

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»



**ЮБИЛЕЙНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
посвященная 85-летию
Гомельского государственного университета
имени Франциска Скорины**

(Гомель, 17 июня 2015 года)

Материалы

В четырех частях

Часть 4

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2015

УДК 378.4(476.2-2Гом)(082)

Юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины (Гомель, 17 июня 2015 г.) : материалы : в 4 ч. Ч. 4 / редкол. : О. М. Демиденко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 260 с.

ISBN 978-985-577-033-7 (Ч. 4)

ISBN 978-985-577-030-6

В сборнике помещены материалы докладов юбилейной научно-практической конференции, освещающие историю, современное положение, проблемы и перспективы развития естественных, технических, общественных и гуманитарных наук.

Адресуется научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам, магистрантам и студентам.

Редакционная коллегия:

О. М. Демиденко (главный редактор), В. С. Аверин,
Л. С. Банникова, В. А. Бейзеров, В. А. Бобрик, А. П. Гусев,
С. П. Жогаль, Д. Л. Коваленко, А. К. Костенко,
Н. Н. Мезга, Г. И. Нарскин, И. И. Эсмантович

ISBN 978-985-577-033-7 (Ч. 4)
ISBN 978-985-577-030-6

© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины», 2015



Н. А. Алешкевич, С. В. Короткевич, В. В. Кравченко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ И ТУРБИННЫХ МАСЕЛ

Весьма актуальными в сфере энергетики являются вопросы улучшения показателей надежности, экономичности, маневренности и ремонтпригодности роторного оборудования. Увеличение сроков службы механизмов во многом определяется функциональным состоянием подшипников различного назначения, используемых в узлах трения энергетического оборудования. При нестационарном или переходном режимах работы энергоемкого оборудования (остановка и разгон турбины) безопасный режим эксплуатации турбин может нарушаться, при этом особую опасность вызывают температурные изменения в узлах трения [1, с. 25]. Поэтому задачи разработки новых методов и средств неразрушающего контроля узлов трения энергетического оборудования, позволяющих на ранних стадиях обнаруживать отклонения их эксплуатационных параметров, являются сегодня приоритетными.

Разрушение и износ подшипников скольжения во многом определяется механизмами разрушения приповерхностных слоев металлов при фрикционном нагружении. Физико-химические процессы, протекающие в граничном смазочном слое (ГСС), определяют характер формирования дислокационной структуры поверхности металлов. Период изменения плотности дислокаций и интенсивности изнашивания поверхности металлов определяется нагрузочно-скоростными режимами эксплуатации узла трения и состоянием ГСС, его прочностными, антифрикционными и противозадирными свойствами. Продление срока эксплуатации подшипников скольжения во многом также определяется свойствами используемых масел.

Многообразие методов оценки противозадирных свойств масел и неоднозначность трактовки полученных результатов, ставит перед конструкторами задачи разработки новых экспресс-методов и критериев объективной оценки состояния и свойств ГСС, которые бы адекватно в режиме реального времени позволили бы контролировать эксплуатационные показатели конкретного узла трения.

Ранее мы уже говорили о возможностях использования метода электрофизического зондирования для диагностики подшипниковых узлов трения. В работе [2, с. 59] показано, что метод электрофизического зондирования позволяет оценивать эксплуатационные свойства смазочных материалов, изучать кинетику формирования и разрушения ГСС в подшипниковых узлах трения качения. Отмечено, что достаточно информативным параметром для оценки эксплуатационных свойств смазочных материалов, является значение контактного сопротивления слоя, которое коррелирует с механической прочностью и триботехническими параметрами ГСС.

Для диагностики жидких смазочных материалов, используемых в гидродинамических опорах скольжения, нами разработан стенд, имитирующий работу подшипников скольжения энергетического оборудования. Данный стенд позволяет имитировать критические режимы эксплуатации гидродинамических опор (пуск, остановка, масляное голодание, критические нагрузки), определять критические параметры применяемых смазочных материалов, отлаживать систему обратной связи (обеспечивающую подачу смазочного материала в зону трения под большим давлением, либо меняющую нагрузку на валу ротора или его скорость, а возможна реализация сразу всех возможных вариантов). Принципиальная схема стенда приведена на рисунке 1.

Стенд состоит из регулируемого электрического привода, устройства измерения энергетических затрат, реального узла трения, оснащенного схемой электрофизического контроля состояния граничного смазочного слоя (гидродинамический или гидростатический подшипник скольжения), регулируемая гидростанция для подачи смазочного материала в узлы трения, регулируемой нагрузки.

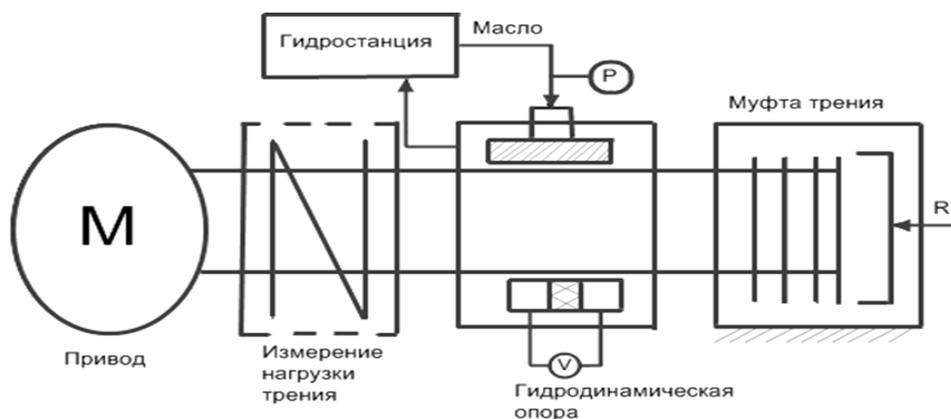


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда для диагностики подшипников скольжения и турбинных масел

В реальных турбинах энергетического оборудования, ротор турбины вращается в неподвижных опорных вкладышах подшипников, установленных в их корпусах. Вкладыш заднего подшипника является комбинированным, в нем установлены колодки, воспринимающие от ротора через упорный диск осевое усилие. Муфта передает крутящий момент на ротор генератора.

В основу конструкции стенда положена бабка изделия шлифовального станка модели ЗУ10А, имеющая аналогичные узлы трения скольжения (рисунок 2).

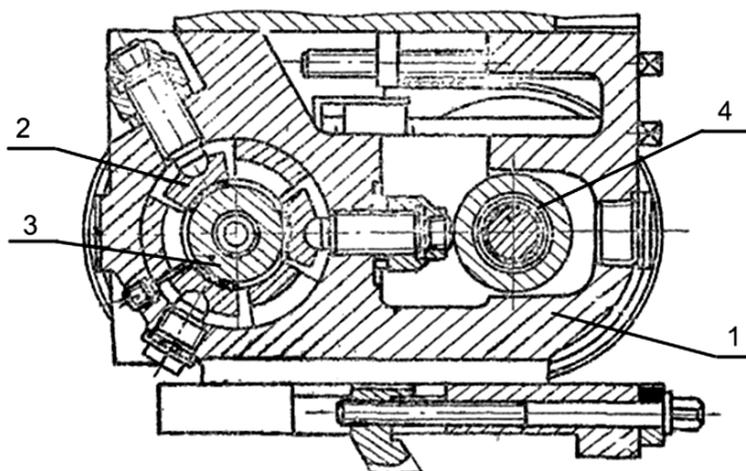


Рисунок 2 – Бабка изделия шлифовального станка (модель ЗУ10А)

Дооснадив бабку изделия приводом (состоящим из электрического мотора и устройства частотного управления), промежуточными ременными передачами, устройством нагружения (фрикцион), электрической схемой контроля состояния граничного смазочного слоя и гидростанцией удалось получить функционально законченный стенд, имитирующий работу подшипников скольжения энергетического оборудования и позволяющий оценивать характеристики турбинных смазочных материалов. Конструктивная схема стенда приведена на рисунке 3.

Принцип работы стенда состоит в следующем (рисунок 2). Исследуемый смазочный материал заливается в корпус стенда 1, где на трехвкладышных самоустанавливающихся гидродинамических подшипниках скольжения 2 смонтирован шпиндель 3, вращаемый через плоскоременную передачу от электрического двигателя с частотным управлением. В осевом направлении шпиндель фиксируется торцевым подшипником скольжения, к которому его прижимают пружины. На переднем фланце корпуса установлена поводковая планшайба, приводимая во вращение от шкива через промежуточный вал 4. К планшайбе прижимается фрикцион задающий нагрузку, которая рассчитывается для контактного давления, создаваемого в реальных подшипниковых узлах турбоагрегатов.

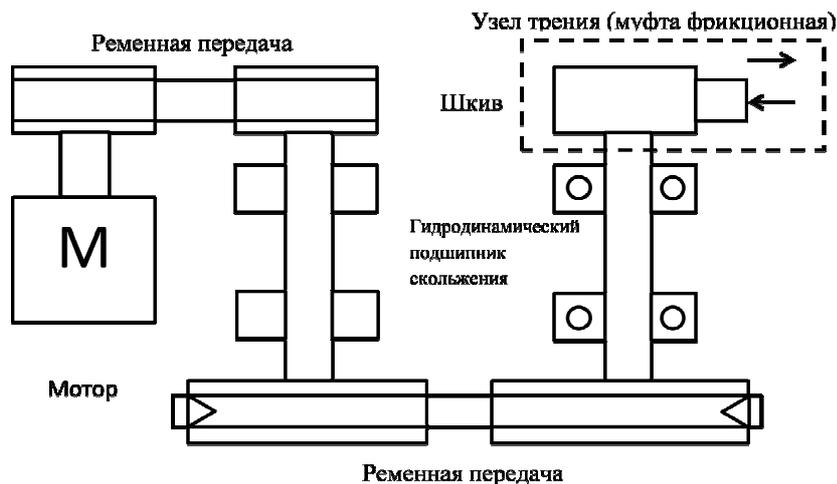
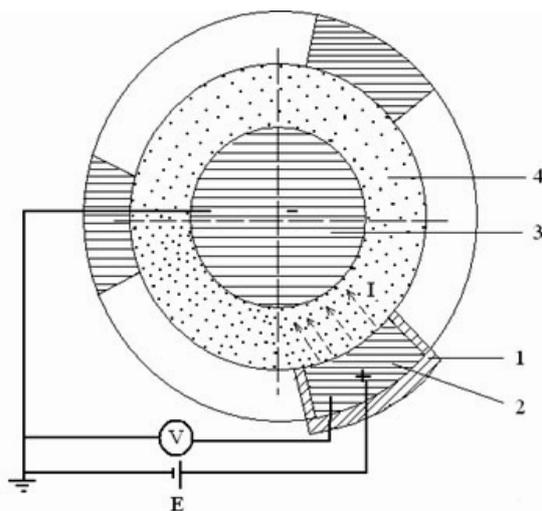


Рисунок 3 – Конструктивная схема стенда для диагностики подшипников скольжения и турбинных масел

Состояние граничного смазочного слоя в гидродинамическом подшипнике контролируется методом электрофизического зондирования. Метод основан на анализе параметров контактного сопротивления сопряженных тел по схеме, приведенной на рисунке 4.



1 – диэлектрик, 2 – гидродинамическая опора, 3 – ротор турбины, 4 – смазочный клин

Рисунок 4 – Схема электрофизического зондирования подшипников скольжения (гидродинамических опор)

Метод заключается в регистрации величины туннельного тока, протекающего между неподвижным электродом и заземленным металлическим валом. Данный метод позволяет в динамике отслеживать критические состояния узлов трения энергетического оборудования. На предварительной стадии разрушения ГСС, когда измеренное сопротивление R_c становится меньше значения нижней границы регистрируемого сопротивления, и наблюдается переход от гидродинамического режима трения к граничному, может сработать сигнализация в системе управления турбиной, что позволит предотвратить ее выход из строя.

Таким образом, разработанный макет стенда позволяет определять эксплуатационные характеристики подшипников скольжения энергетического оборудования и свойства используемых турбинных масел, а реализуемый в данной установке метод электрофизического зондирования состояния ГСС, позволяет регистрировать наступление аварийного режима эксплуатации энергетического оборудования на ранней стадии до наступления задира, схватывания и выхода узлов трения из строя.

Список использованных источников

- 1 Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов. – М. : Физмат-гиз, 1963. – 389 с.
- 2 Диагностика смазочных материалов в подшипниковых узлах трения / С. В. Короткевич, Н. А. Алешкевич, В. В. Кравченко, А. В. Ивахник // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2010. – Т. 5, № 2. – С. 59–63.

В. В. Андреев

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПРЕЦИЗИОННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА С ГИПЕРСИНГУЛЯРНЫМ ЯДРОМ

В данной работе показано, что уравнение Шредингера в импульсном представлении для линейного запирающего потенциала для состояний с нулевым орбитальным моментом может быть решено с высокой точностью (намного превосходящей другие методики) с помощью специальной квадратурной формулы для гиперсингулярного интеграла.

1. Методика решения интегральных уравнений

Уравнение Шредингера в импульсном представлении для центрально-симметричных потенциалов, после парциального разложения примет вид:

$$\frac{k^2}{2\mu} \phi_\ell(k) + \int_0^\infty V_\ell(k, k') \phi_\ell(k') k'^2 dk' = E \phi_\ell(k), \quad (1)$$

где $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ – приведенная масса; m_1, m_2 – массы конститuentов связанной системы; \mathbf{k} – импульс относительного движения ($|\mathbf{k}| = k$); $\phi_\ell(k)$ – радиальная часть фурье-образа волновой функции в координатном представлении; $V_\ell(k, k')$ – оператор l -той составляющей парциального разложения потенциала взаимодействия; E – энергия связи.

Однако описание связанных состояний в импульсном представлении усложняется необходимостью решения интегрального уравнения (1), содержащего сингулярные члены тип которых определяется видом $V_\ell(k, k')$.

Так для линейного запирающего потенциала $V(r) = \sigma r$ имеем, что

$$V_\ell(k, k') = \frac{\sigma}{\pi(kk')^2} Q'_\ell\left(\frac{k^2 + k'^2}{2kk'}\right). \quad (2)$$

где функция $Q'_\ell(y)$ – полином Лежандра 2-го рода.

Поскольку функция Q'_ℓ гиперсингулярная в случае, если $k = k'$, то и сам потенциал $V_\ell(k, k')$, также является гиперсингулярным. Стандартные методики численного решения уравнения (1) с потенциалом (2) дают относительно невысокую точность [1, 2]

Численное решение интегрального уравнения (1) может быть сведено к задаче на собственные значения матрицы, которая возникает при использовании квадратурных формул для интегралов, входящих в уравнение.

В итоге интегральное уравнение вида (1) может быть сведено к задаче

$$\sum_{j=1}^N H(k_i, k_j) \phi(k_j) = \sum_{j=1}^N H_{ij} \phi(k_j) = E \phi(k_i), \quad (3)$$

где для получения собственных значений и векторов необходимо знать элементы матрицы H_{ij} . И если для $i \neq j$, задача расчета элементов H_{ij} для линейного запирающего потенциалов не является сложной, то при $i = j$ ($k = k'$) напрямую это сделать не удастся, вследствие наличия сингулярностей.

2. Построение квадратурных формул для сингулярных интегралов

Получим квадратурную формулу для интеграла

$$I(z) = \int_{-1}^1 F(t)w(t)g(t, z)dt \quad (4)$$

где $g(t, z)$ функция сингулярная при $t = z$.

Для этого функция $F(t)$ в (4) с помощью интерполяционного многочлена

$$G_i(t) = \frac{P_N^{(\alpha, \beta)}(t)}{(t - \xi_{i, N})P_N^{1pt(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N})} \quad (5)$$

заменяется разложением

$$F(t) \approx \sum_{i=1}^N G_i(t)F(\xi_{i, N}), \quad (6)$$

где $\xi_{i, N}$ являются корнями многочлена Якоби

$$P_N^{(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N}) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N). \quad (7)$$

Подставляя разложение (6) в $I(z)$ получим, что квадратурная формула для интеграла принимает вид

$$I(z) \approx \sum_{i=1}^N \omega_i(z)F(\xi_{i, N}), \quad (8)$$

где

$$\omega_i(z) = \frac{1}{P_N^{(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N})} \int_{-1}^1 g(t, z)w(t) \frac{P_N^{(\alpha, \beta)}(t)}{t - \xi_{i, N}} dt. \quad (9)$$

Таким образом вычисление (9) позволит найти весовые коэффициенты для квадратурной формулы (4), содержащей сингулярности.

3. Аналитический весовых множителей

Рассмотрим возможность аналитического вычисления весовых множителей для различных видов сингулярностей т. е. в зависимости от вида функции $g(t, z)$.

3.1 Сингулярный интеграл Коши

Наиболее известным вариантом (4) в литературе является интеграл Коши

$$g(t, z) = \frac{1}{t - z}, \quad -1 < z < 1.$$

Для этого случая имеется большое количество работ (см., например, [3–5], в которых предлагаются различные варианты квадратурных формул. В этом случае можно получить формулы для весовых множителей (9) непосредственно вычислением интеграла

$$\omega_i^C(z) = \int_{-1}^1 \frac{w(t)}{P_N^{(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N})} \frac{P_N^{(\alpha, \beta)}(t)}{(t - \xi_{i, N})(t - z)} dt. \quad (10)$$

С помощью тождества

$$\frac{1}{(t - \xi_{i, N})(t - z)} = \frac{1}{z - \xi_{i, N}} \left[\frac{1}{t - z} - \frac{1}{t - \xi_{i, N}} \right] \quad (11)$$

коэффициенты (10) приведем к виду

$$\omega_i^C(z) = \begin{cases} \frac{1}{P_N^{(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N})} \frac{\Pi_N^{(\alpha, \beta)}(z) - \Pi_N^{(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N})}{(z - \xi_{i, N})}, & \text{если } z \neq \xi_{i, N}, \\ \Pi_N^{(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N}) / P_N^{(\alpha, \beta)}(\xi_{i, N}), & \text{если } z = \xi_{i, N} \end{cases} \quad (12)$$

где

$$\Pi_n^{(\alpha, \beta)}(z) = \int_{-1}^1 w(t) \frac{P_n^{(\alpha, \beta)}(t)}{(t - z)} dt. \quad (13)$$

Для расчета коэффициентов $\omega_i^C(z)$ с высокой степенью точности необходимо рассчитать аналитически интеграл (13) для различных вариантов функции $w(t)$.

Наиболее известный вариант, когда функция $w(t)$ является весовой функцией полинома Якоби $P_n^{(\alpha,\beta)}(t)$ т. е.

$$w(t) = w^{(\alpha,\beta)}(t) \equiv (1-t)^\alpha (1+t)^\beta.$$

Тогда для интеграла (13) имеем

$$\Pi_n^{(\alpha,\beta)}(z) = Q_n^{(\alpha,\beta)}(z),$$

где

$$Q_n^{(\alpha,\beta)}(z) = \int_{-1}^1 (1-t)^\alpha (1+t)^\beta \frac{P_n^{(\alpha,\beta)}(t)}{(t-z)} dt. \quad (14)$$

В самом общем случае для произвольных α и β , функция $Q_n^{(\alpha,\beta)}(z)$ связана с полиномами Якоби второго рода $Q_n^{(\alpha,\beta)}(z)$.

3.2 Гиперсингулярный вариант

Рассмотрим гиперсингулярный вариант интеграла (9), когда функция $g(t, z) = 1/(t-z)^2$

Концепция расчета конечной части такого типа интегралов была впервые введена Адамаром (J. Hadamard, Lectures on Cauchy's Problem in Linear Partial Differential Equations, Yale University Press (1923).) и развита в работах [6–8, и др.]. Конечную часть гиперсингулярного интеграла можно представить в виде

$$\int_{-1}^1 \frac{f(t)}{(t-z)^2} dt = \frac{d}{dz} \left[\int_{-1}^1 \frac{f(t)}{t-z} dt \right], \quad -1 < z < 1. \quad (15)$$

Следовательно, весовые коэффициенты квадратурной формулы

$$\int_{-1}^1 \frac{f(t)}{(t-z)^2} dt = \sum_{i=1}^N \omega_i^H(z) f(\xi_{i,N}) \quad (16)$$

связаны с коэффициентами (12) соотношением

$$\omega_i^H(z) = \frac{d}{dz} [\omega_i^C(z)]. \quad (17)$$

Тогда весовые коэффициенты для интеграла (4) с функцией $g(t, z) = 1/(t-z)^2$ можно рассчитать по формулам

$$\omega_i^H(z) = \begin{cases} \frac{1}{P_N^{(\alpha,\beta)}(\xi_{i,N})} \left\{ \frac{\Pi_N^{(\alpha,\beta)}(z)}{(z-\xi_{i,N})} - \frac{\Pi_N^{(\alpha,\beta)}(z) - \Pi_N^{(\alpha,\beta)}(\xi_{i,N})}{(z-\xi_{i,N})^2} \right\}, & \text{если } z \neq \xi_{i,N}, \\ \frac{\Pi_N^{(\alpha,\beta)}(\xi_{i,N})}{2P_N^{(\alpha,\beta)}(\xi_{i,N})}, & \text{если } z = \xi_{i,N}. \end{cases} \quad (18)$$

Для интеграла Коши ($g(t, z) = 1/(t-z)$) с $\alpha = -\beta = -1/2$ имеем

$$\Pi_n^{(-1/2,1/2)}(z) = \int_{-1}^1 \sqrt{\frac{1+t}{1-t}} \frac{V_n(t)}{(t-z)} dt = \pi W_n(z), \quad (19)$$

где $V_n(z)$ и $W_n(z)$ полиномы Чебышева 3 и 4-го рода соответственно (см. [9]).

Тогда квадратурная формула для интеграла Коши имеет вид:

$$\int_{-1}^1 \sqrt{\frac{1+t}{1-t}} \frac{f(t)}{(t-z)} dt \approx \sum_{i=1}^N \omega_i^C(z) f(\xi_{i,N}), \quad (20)$$

где

$$\omega_i^C(z) = \begin{cases} \frac{\pi}{V_N'(\xi_{i,N})} \frac{W_N(z) - W_N(\xi_{i,N})}{(z-\xi_{i,N})}, & \text{если } z \neq \xi_{i,N}, \\ \pi W_N'(\xi_{i,N}) / V_N'(\xi_{i,N}), & \text{если } z = \xi_{i,N} \end{cases}. \quad (21)$$

Квадратурная формула для гиперсингулярного интеграла имеет вид:

$$\int_{-1}^1 \sqrt{\frac{1+t}{1-t}} \frac{f(t)}{(t-z)^2} dt \approx \sum_{i=1}^N \omega_i^H(z) f(\xi_{i,N}), \quad (22)$$

где

$$\omega_i^H(z) = \begin{cases} \frac{\pi}{V_N'(\xi_{i,N})} \left\{ \frac{W_N'(z)}{(z-\xi_{i,N})} - \frac{W_N(z) - W_N(\xi_{i,N})}{(z-\xi_{i,N})^2} \right\}, & \text{если } z \neq \xi_{i,N}, \\ \frac{\pi}{2} \frac{W_N''(\xi_{i,N})}{V_N'(\xi_{i,N})}, & \text{если } z = \xi_{i,N}. \end{cases} \quad (23)$$

Формула (23) для весовых коэффициентов позволяет рассчитать их с высокой точностью и следовательно может быть использована для решения уравнения Шредингера с линейным запирающим потенциалом в импульсном пространстве.

4. Расчет спектра для линейного запирающего потенциала с $\ell = 0$

Уравнение Шредингера с линейным запирающим потенциалом

$$\frac{k^2}{2\mu} \phi_\ell(k) + \frac{\sigma}{\pi k^2} \int_0^\infty Q_\ell'(y) \phi_\ell(k') dk' = E \phi_\ell(k), \quad y = \frac{k^2 + k'^2}{2kk'}, \quad (24)$$

приведем к виду

$$\tilde{k}^2 \phi_\ell(\tilde{k}) + \frac{1}{\pi \tilde{k}^2} \int_0^\infty Q_\ell'(y) \tilde{k}' \phi_\ell(\tilde{k}') d\tilde{k}' = \varepsilon \phi_\ell(\tilde{k}) \quad (25)$$

с помощью замен $k = \beta \tilde{k}$, $E = \frac{\beta^2}{2\mu} \varepsilon$, $\beta = (2\mu\sigma)^{1/3}$.

Используя отображение $\tilde{k} = \beta_0 \sqrt{\frac{1+z}{1-z}}$, $\tilde{k}' = \beta_0 \sqrt{\frac{1+t}{1-t}}$ получим, что уравнение (25) для случая $\ell = 0$ после упрощений запишется следующим образом:

$$-\frac{1}{\pi\beta_0} (1-z)^2 \int_{-1}^1 \phi_{\ell=0}(t) \sqrt{\frac{1+t}{1-t}} \frac{dt}{(t-z)^2} = \left(\varepsilon - \beta_0^2 \frac{1+z}{1-z} \right) \phi_{\ell=0}(z). \quad (26)$$

Таким образом, для запирающего потенциала имеем гиперсингулярное ядро: $1/(t-z)^2$ и следовательно для численного решения необходимо использовать весовые коэффициенты, приведенные в разделе 3.2. Функция $w(t)$ естественным образом выбирается в виде $w(t) = \sqrt{\frac{1+t}{1-t}}$. В итоге матрица для задачи на собственные значения принимает вид:

$$H_{ij} = \left[\beta_0^2 \delta_{ij} \left(\frac{1+\xi_{j,N}}{1-\xi_{j,N}} \right) - \frac{\omega_j^H(\xi_{i,N})}{\pi\beta_0} (1-\xi_{i,N})^2 \right], \quad (27)$$

где $z \rightarrow \xi_{i,N}$ и $t \rightarrow \xi_{j,N}$, $\xi_{i,N}$ – нули полинома $V_N(t)$, а матрица $\omega_j^H(\xi_{i,N})$ рассчитывается с помощью (23).

Для линейного запирающего потенциала при $\ell = 0$ известно, что

$$\varepsilon = -z_n, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (28)$$

где z_n являются нулями функции Айри. Поэтому имеется возможность сравнить результаты численных расчетов с матрицей (27) и точными значениями (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Относительная погрешность δ решения уравнения (27) ($\beta_0 = 0,9999$)

N	$n = 1$	$= 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$
50	3×10^{-22}	4×10^{-20}	3×10^{-17}	3×10^{-15}	8×10^{-14}	2×10^{-12}
80	5×10^{-33}	2×10^{-29}	1×10^{-26}	3×10^{-24}	4×10^{-22}	3×10^{-20}
100	2×10^{-39}	1×10^{-35}	1×10^{-32}	4×10^{-31}	5×10^{-28}	6×10^{-26}
150	4×10^{-54}	8×10^{-50}	5×10^{-47}	1×10^{-43}	6×10^{-42}	6×10^{-39}

Таким образом, выбор весовых коэффициентов в которых сингулярности обработаны аналитически и функции $w(t)$ связанной с интерполяционными полиномами $P_N^{(\alpha,\beta)}(t)$ позволяет решать уравнение (24) для $\ell = 0$ в импульсном пространстве с высокой точностью. Точность расчетов выше, чем аналогичные расчеты в импульсном пространстве на много порядков [1, 10–13].

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (г. Минск, Республика Беларусь).

Список используемых источников

- 1 Tang, A. The Nyström plus correction method for solving bound state equations in momentum space / A. Tang, J. W. Norbury // Phys. Rev. – 2001. – Vol. E63. – P. 066703.
- 2 Norbury, J. W. Confining potential in momentum space / J. W. Norbury, D. E. Kahana, K. Maung Maung // Can. J. Phys. – 1992. – Vol. 70. – P. 86–89.
- 3 Golberg, M. A. Numerical Solution of Integral Equations / M. A. Golberg // Mathematical concepts and methods in science and engineering. – New York and London : Plenum Press , 1990. – 436 p.
- 4 Корнейчук, А. А. Квадратурные формулы для сингулярных интегралов / А. А. Корнейчук // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1964. – Т. 4. – С. 64–74.
- 5 Шешко, М. А. О сходимости квадратурных процессов для сингулярного интеграла / М. А. Шешко // Известия вузов. Математика. – 1976. – Т. 12. – С. 108–118.
- 6 Hui, C.-Y. Evaluations of hypersingular integrals using Gaussian quadrature / C.-Y. Hui, D. Shia // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 1999. – Vol. 44, № 2. – P. 205–214.
- 7 Kaya, A. C. On the solution of integral equations with strongly singular kernels / A. C. Kaya, F. Erdogan // Quart. Appl. Math. – 1987. – Vol. XLV. – P. 105–122.
- 8 Kutt, H. R. On the numerical evaluation of finite part integrals involving an algebraic singularity / H. R. Kutt. – 1975. – National Research Institute for Mathematical Sciences, Pretoria.
- 9 Mason, J. C. Chebyshev polynomials / J. C. Mason, D. C. Handscomb. – Chapman & Hall/Crc, 2002. – 335 p.
- 10 Chen, J.-K. Spectral method for the Cornell and screened Cornell potentials in momentum space / J.-K. Chen // Phys. Rev. D. – Vol. 88. – P. 076006. – Erratum Phys. Rev. D 89, 099904 (2014).
- 11 Deloff, A. Quarkonium bound-state problem in momentum space revisited / A. Deloff // Annals Phys. – 2007. – Vol. 322. – P. 2315–2326.
- 12 Hersbach, H. Relativistic linear potential in momentum space / H. Hersbach // Phys. Rev. D. – Vol. 47. – P. 3027–3033.
- 13 Linear confinement in momentum space: singularity-free bound-state equations / S. Leitão, A. Stadler, M. T. Peña, E. P. Biernat // Phys.Rev. – 2014. – Vol. D90, № 9. – P. 096003.

В. В. Андреев, О. М. Дерюжкова, Н. В. Максименко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ДИПОЛЬНЫЕ СПИНОВЫЕ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ И ЭЛЕКТРОСЛАБЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НУКЛОНА

С развитием стандартной модели электрослабых взаимодействий в последнее время введены новые электрослабые характеристики адронов, связанные с несохранением четности, которые обладают свойствами гирации в оптике [1]. В свою очередь, такие характеристики, как поляризуемости и гирации, непосредственно связаны с внутренней структурой адронов и с механизмами электрослабых фотон-адронных взаимодействий.

Для более достоверного определения поляризуемостей и характеристик адронов, связанных с нарушением четности, используется достаточно широкий класс электродинамических процессов, в которых реализуется рассеяние реальных и виртуальных фотонов, а также двухфотонное рождение в адрон-адронных взаимодействиях. Решение подобных задач возможно выполнить в рамках релятивистского теоретико-полевого подхода описания взаимодействия электромагнитного поля с адронами с учетом их электромагнитных и электрослабых характеристик.

Важную роль в понимании взаимодействия электромагнитного поля с адронами играют низкоэнергетические теоремы, поскольку в их основе лежат общие принципы квантовой теории и разложения амплитуд комптоновского рассеяния по энергиям фотонов. В последнее время одним из эффективных методов исследования электродинамических процессов является

использование феноменологических лагранжианов, полученных в рамках теоретико-полевых подходов и согласующихся с низкоэнергетическими теоремами, установленными в стандартной модели электрослабых взаимодействий. Построение таких лагранжианов позволяет получить физическую интерпретацию электромагнитных и электрослабых характеристик адронов.

В работе [2] для построения эффективного релятивистски-инвариантного лагранжиана взаимодействия электромагнитного поля с частицами с постоянными электрическими и магнитными дипольными моментами был введен антисимметричный тензор дипольных моментов, который не зависит от тензора электромагнитного поля $F_{\mu\nu}$.

В данной работе получен квантово-полевой релятивистски-инвариантный лагранжиан, в котором определен тензор наведенных дипольных моментов, т.е. этот тензор, в отличие от работы [2], зависит от $F_{\mu\nu}$. Тем самым, посредством релятивистского полевого учета свойств С-, Р-, Т-преобразований, а также перекрестной симметрии, установлены ковариантные спиновые структуры амплитуды комптоновского рассеяния и выполнено согласование с низкоэнергетическими теоремами.

В работе [3] предложен вариант релятивистски-инвариантного определения спиновой поляризуемости нуклона. В продолжение этой работы определим эффективный лагранжиан взаимодействия электромагнитного поля с нуклоном с учетом электрослабых характеристик подобных гирации и обратим внимание на различие вкладов в амплитуду комптоновского рассеяния дипольных спиновых поляризуемостей и электрослабых характеристик.

Амплитуду комптоновского рассеяния в области низких энергий в дипольном приближении можно получить, если воспользоваться определением дипольных моментов с помощью тензоров поляризуемостей:

$$\alpha_{ij} = \alpha \delta_{ij} + i\tilde{\alpha} \epsilon_{ijk} \hat{S}_k + i\chi_E \epsilon_{ijk} \partial_k, \quad (1)$$

$$\beta_{ij} = \beta \delta_{ij} + i\tilde{\beta} \epsilon_{ijk} \hat{S}_k + i\chi_M \epsilon_{ijk} \partial_k. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) введены величины α и β – электрическая и магнитная поляризуемости, $\tilde{\alpha}$ и $\tilde{\beta}$ – спиновые поляризуемости, χ_E и χ_M – гирации структурной частицы.

Вклад гираций χ_E и χ_M в амплитуду комптоновского рассеяния имеет вид:

$$T(\vec{n}_2) = 4\pi i \omega^3 \left[\chi_E \left(\vec{e}^{(x_2)} \left[\vec{n}_1 \vec{e}^{(\lambda_1)} \right] \right) + \chi_M \left(\vec{n}_1 \left[\vec{n}_2 \vec{e}_2 \right] \left[\vec{n}_1 \vec{e}_1 \right] \right) \right]. \quad (3)$$

Поскольку гирация связана с нарушением четности, то в ковариантном лагранжиане работы [3], не будем учитывать инвариантность относительно инверсии пространства. В результате получим:

$$L = \frac{i\pi}{4m^2} \epsilon^{\mu\beta\lambda\alpha} \left[\chi_E F_{\nu\mu} \tilde{\partial}_\lambda F_{\alpha\sigma} + \chi_M \tilde{F}_{\nu\mu} \tilde{\partial}_\lambda \tilde{F}_{\alpha\sigma} \right] \bar{\Psi} \left[(\gamma^\nu \tilde{\partial}^\sigma) \tilde{\partial}_\beta \right] \Psi, \quad (4)$$

где Ψ – биспинор нуклона, $\tilde{\partial}^\sigma = \partial^\sigma - \bar{\partial}^\sigma$, γ^ν – матрицы, удовлетворяющие перестановочным соотношениям $\gamma^\mu \gamma^\nu + \gamma^\nu \gamma^\mu = 2g^{\mu\nu}$.

Амплитуда комптоновского рассеяния (3), полученная с использованием лагранжиана (4), имеет вид:

$$T = 4\pi i \omega^3 \chi_f \left\{ \begin{array}{l} \chi_E \omega_1 \omega_2 \left((\vec{k}_1 + \vec{k}_2) \left[\vec{e}^{(\lambda_2)} \vec{e}^{(\lambda_1)} \right] \right) + \\ + \chi_M \left((\vec{k}_1 + \vec{k}_2) \left[\left[\vec{k}_2 \vec{e}_2 \right] \left[\vec{k}_1 \vec{e}_1 \right] \right] \right) \end{array} \right\} \chi_i, \quad (5)$$

где χ_i и χ_f – спиноры начального и конечного нуклонов соответственно.

Согласно работе [3] вклад спиновых поляризуемостей в низкоэнергетическом приближении определяется соотношением:

$$T = 4\pi i (\omega_1 + \omega_2) (\omega_1 \omega_2) \chi_f \left\{ \begin{array}{l} \chi_1 \left(\hat{S} \left[\vec{e}^{(x_2)} \vec{e}^{(x_1)} \right] \right) + \\ + \chi_2 \left(\hat{S} \left[[\vec{n}_2 \vec{e}_2] [\vec{n}_1 \vec{e}_1] \right] \right) \end{array} \right\} \chi_i. \quad (6)$$

Из уравнений (5) и (6) следует:

- 1) в обоих амплитудах выполняется условие перекрестной симметрии;
- 2) если в соотношении (6) выполняется условие инвариантности относительно инверсии пространства, то в соотношении (5) это условие нарушается;
- 3) вклады гираций и спиновых дипольных поляризуемостей в амплитуду комптоновского рассеяния на нуклоне начинаются с третьего порядка по частоте излучения.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (г. Минск).

Список использованных источников

- 1 Федоров, Ф. И. Теория гиротропии / Ф. И. Федоров. – Минск : Наука и техника. – 1976. – 456 с.
- 2 Anandan, J. S. Classical and quantum interaction of the dipole / J. S. Anandan // Phys. Rev. Lett. – 2000. – Vol. 85. – P. 1354–1357.
- 3 Андреев, В. В. Ковариантное представление спиновых поляризуемостей нуклона / В. В. Андреев, О. М. Дерюжкова, Н. В. Максименко // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – № 3. – С. 7–12.

Д. Г. Бегун
г. Минск, БГУИР

ФОРМИРОВАНИЕ ШАГОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСТРАПОЛИРОВАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОЦЕНОЧНОЙ ФУНКЦИИ

В управляющих устройствах промышленного оборудования применяются различные типы алгоритмов формирования шаговых траекторий [1]. В данной статье представлены алгоритмы контурного управления для формирования отрезков прямой и окружности, основанные на методе оценочной функции [2] с использованием экстраполированных значений оценочной функции.

Алгоритм формирования траектории определяет узловые точки, наиболее близко расположенные к заданной линии $F(x, y) = 0$. Он, как правило, основан на использовании экстраполированного значения оценочной функции F_{ij}^3 . Значения функции вычисляются в точках $x_i \pm 0,5h$, $y_i \pm 0,5h$. Сущность алгоритма состоит в том, что направление элементарных шагов выбирается в зависимости от знака оценочной функции F_{ij}^3 , вычисленной с экстраполяцией на половину шага сетки вперед по обеим координатам. Таким образом как бы предугадывая поведение линии $F(x, y) = 0$ в области каждого пересекаемого этой линией элементарного квадрата с учётом того, что выбор направления шага осуществляется из узловой точки с координатами x_i, y_i .

Направление элементарных шагов (рисунок 1) в близлежащей узловой точке выбирается в зависимости от знака разности величин $(F_{i,j+1} - F_{i+1,j})$. Если она положительная, то узловая точка B с координатами x_i, y_{j+1} дальше расположена от линии $F(x, y) = 0$, чем узловая точка C с координатами x_{i+1}, y_j , следовательно, элементарный шаг необходимо выполнять к узловой точке C. Сущность предложенного метода заключается в том, что выполнение элементарных

шагов осуществляется в зависимости от знака оценочной функции, вычисленной в узловой точке D с координатами $x_i + 0,5, y_i + 0,5$.

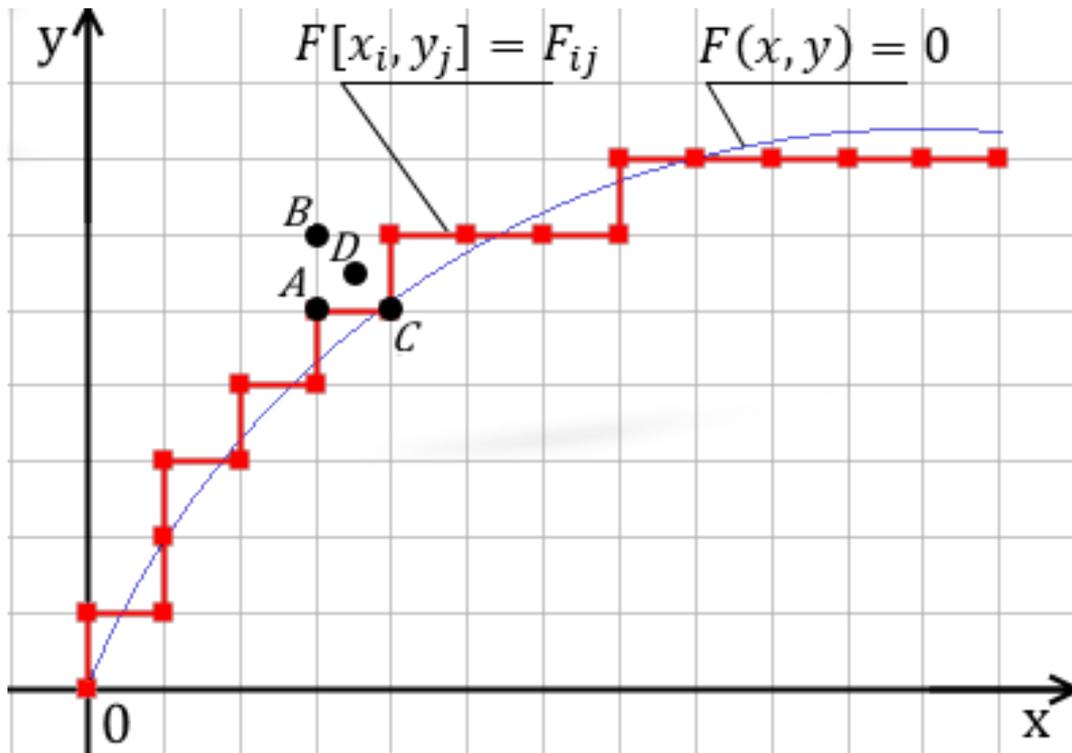


Рисунок 1 – Шаговая траектория, построенная соединением соседних узловых точек, наиболее близко расположенных возле линии $F(x, y) = 0$

В статье подробно представлены разработанные алгоритмы интерполирования шаговых траекторий для отрезка прямой и окружности с равномерным шагом сетки в дискретной системе координат. Начальные условия для отрезка прямой обычно содержат начальные приращения $\Delta X, \Delta Y$ между опорными точками, причём коэффициент наклона можно представить в виде $\alpha = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$. Числовые аналоги граничных условий представлены следующим образом: .Оценочная функция для отрезка прямой описывается при помощи следующего выражения

$$\sum_{j=1}^m \Delta X_j - \sum_{i=1}^n \Delta Y_i + 0,5(\Delta X - \Delta Y) = F_{ij}^3$$

где значения под знаками сумм изменяются в зависимости от выполняемых элементарных ша-

гов $\Delta X_j = \left(\Delta X - \sum_{i=1}^n \Delta x_i \right), \Delta Y_i = \left(\Delta Y - \sum_{j=1}^m \Delta y_j \right)$. Алгоритм формирования шаговой траектории для отрезка прямой на основании функции F_{ij}^3 представлен на рисунке 2.

Для формирования шаговой траектории кривой вида $x^2 + y^2 = R^2$ выполним подстановку в это выражение значения переменных $x \equiv x_i + 0,5 + R, y \equiv y_j + 0,5$ и получим числовой аналог для формирования круговых траекторий

$$\sum_{i=1}^n (i - R) + \sum_{j=1}^m j - 0,5R = F_{ij}^3$$

Алгоритм вычисления значений оценочной функции с использованием данного выражения начиная с точки при движении против часовой стрелки представлен на рисунке 3.

Выполнение элементарных шагов осуществляется в зависимости от знака оценочной функции F_{ij}^3 и знаков приращений $\Delta X_i, \Delta Y_j$ сумм по координатам x и y . Выбор направлений элементарных шагов осуществляется в зависимости от знаков текущих координат x и y .

Пример шаговой траектории и возможные варианты направления элементарных шагов приведены на рисунке 4.

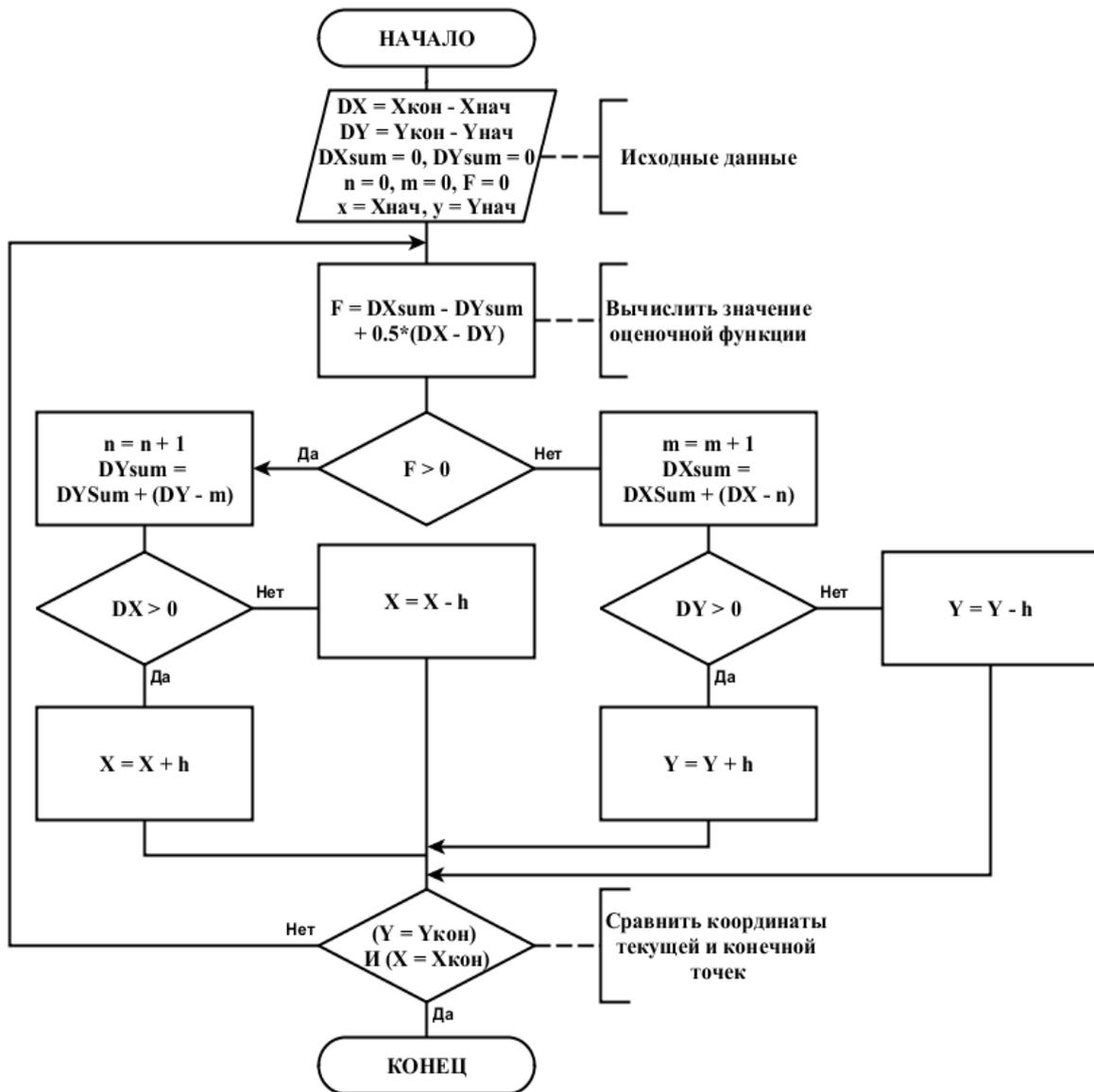


Рисунок 2 – Схема алгоритма формирования шаговой траектории для отрезка прямой

На точность формирования траектории с использованием оценочной функции F влияют:

- точность задания начальных данных;
- величина шага дискретизации;
- алгоритм расчета координат узловых точек.

В свою очередь алгоритм расчета координат узловых точек или выбора направления элементарных шагов характеризуется двумя основными параметрами:

- погрешностью (разность между точным и приближенным результатами решения задачи);
- производительностью (количество элементарных арифметических операций, требуемых для выполнения).

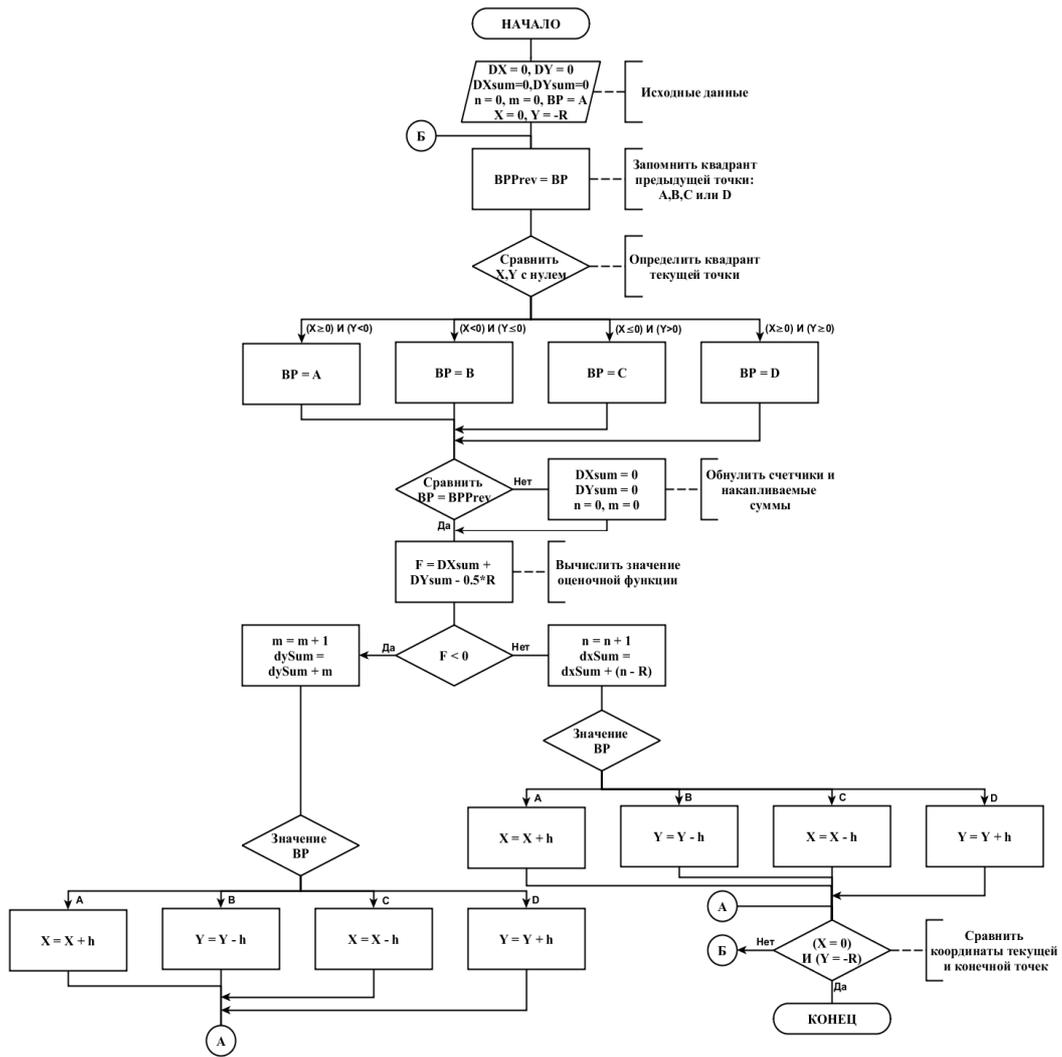


Рисунок 3 – Схема алгоритма формирования шаговой траектории для окружности

В данном случае для оценки погрешности наиболее предпочтителен критерий приближения с использованием параметра ε , характеризующего величину отклонения произвольной узловой точки шаговой траектории от линии $F(x, y) = 0$. Максимальная погрешность составляет $\varepsilon_{\max} = \sqrt{0,5h}$, где h – величина шага дискретизации.

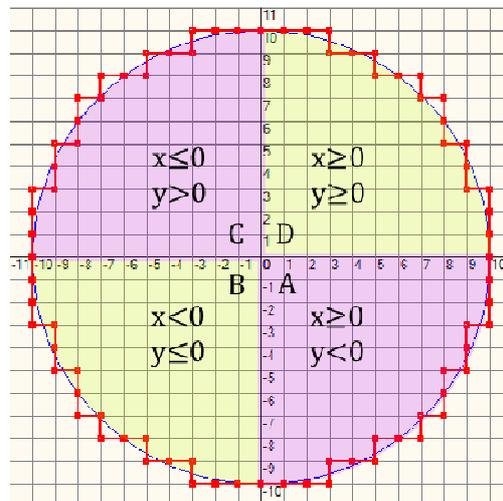


Рисунок 4 – Шаговая траектория для окружности $x^2 + y^2 = 100$ полученная на основании оценочной функции F_{ij}

Для рассмотренной шаговой траектории окружности с радиусом 10, шагом дискретизации $h=1$ и центром в точке (0,0) были получены следующие экспериментальные результаты: 80 узловых точек траектории; максимальное отклонение $\varepsilon_{\max} = 0.63$ (0.71 – максимально возможное отклонение); среднее отклонение $\varepsilon_{\text{avg}} = 0.29$; суммарная погрешность $\sum_{i=1}^{80} \varepsilon_i = 23.16$.

Таким образом, были разработаны алгоритмы формирования шаговых траекторий с использованием экстраполированных значений оценочной функции F_{ij}^3 для отрезка прямой и окружности. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности данного метода и малых затратах на выполнение вычислительные операции. Алгоритмы интерполирования являются достаточно простыми и позволяют получать шаговые траектории с высокой точностью. Они могут быть использованы распределенной системой управления, основанной на технологии EtherCAT.

Список использованных источников

- 1 Программируемые движения в прецизионных системах перемещений / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк. – Минск : ФУАинформ, 2008. – 206 с.
- 2 Тормышев, Ю. И. Методы и средства формирования шаговых траекторий / Ю. И. Тормышев, М. П. Федоренко. – Минск : Наука и техника, 1980. – 144 с.

В. Е. Бурмин, В. И. Кондратенко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОТ МЕТАЛЛО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Применение нанесения диэлектрических слоев на металлические поверхности широко распространено в СВЧ-технике, в частности – при разработке и создании металло-диэлектрических волноводов. В настоящей работе рассмотрено формирование отраженной и волны при отражении от пленки, нанесенной на металлическую поверхность, при наклонном падении для ТЕ- и ТМ-волны. Для решения данной задачи необходимо предварительно решить задачу об отражении и прохождении когерентной электромагнитной волны через плоско- параллельный диэлектрический слой. В оптике данная задача решалась неоднократно. Особенность решения для радиодиапазона заключается в наличии заведомо большой длине когерентности волны. Что в свою очередь требует учета интерференционных эффектов. Можно показать, что при использовании формул Френеля, эффективные коэффициенты передачи $Q_{\text{эф}}$ и отражения $\Gamma_{\text{эф}}$ имеют вид:

$$Q_{\text{эф}} = t_{12}t_{21}R_{21}e^{i\phi} \left(1 + \frac{R_{21}^2 e^{i\phi}}{1 - R_{21}^2 e^{i\phi}}\right), \quad (1)$$

$$\Gamma_{\text{эф}} = -R_{12} + \frac{t_{12}t_{21}R_{21}e^{i\phi}}{1 - R_{21}^2 e^{i\phi}} \quad (2)$$

где $\Phi = 2\varphi + \psi = \frac{4\pi n^2 H \cos^2 \alpha}{\lambda \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$ – общий фазовый набег, $\psi = \frac{4\pi n H \sin^2 \alpha}{\lambda \cos \beta}$ – фазо-

вый набег, обусловленный наклоном падения, а $\varphi = \frac{2\pi n H}{\lambda \cos \beta}$ – фазовый набег, обусловленный разностью хода внутри слоя, H – толщина слоя, α – угол падения, β – угол преломления.

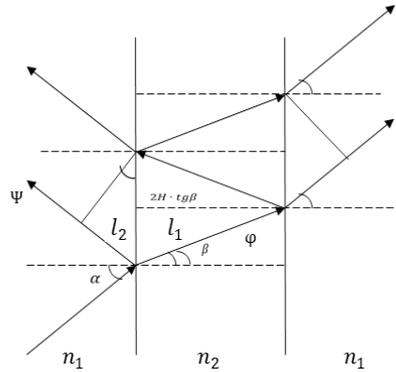


Рисунок 1 – Прохождение волны через плоский слой

Соответствующие коэффициенты передачи и отражения на каждой границе выражаются через известные формулы Френеля, причем для поляризации в плоскости падения (ТМ-волна):

$$t_{12} = \frac{2\cos\alpha}{n\cos\alpha + \cos\beta}, \quad t_{21} = \frac{2\cos\beta}{\cos\beta + n\cos\alpha}, \quad R_{12} = \frac{n\cos\alpha - \cos\beta}{n\cos\alpha + \cos\beta},$$

$$R_{12} = \frac{n\cos\alpha - \cos\beta}{n\cos\alpha + \cos\beta},$$

а для перпендикулярной поляризации (ТЕ-волна):

$$t_{12} = \frac{2\cos\alpha}{\cos\alpha + n\cos\beta}, \quad t_{12} = \frac{2n\cos\beta}{\cos\alpha + n\cos\beta}, \quad R_{12} = \frac{\cos\alpha - n\cos\beta}{\cos\alpha + n\cos\beta},$$

$$R_{21} = \frac{n\cos\beta - \cos\alpha}{\cos\alpha + n\cos\beta}.$$

На рисунках 2, 3 представлены зависимости коэффициентов прохождения и отражения от угла падения для слоев малой электрической толщины для ТЕ- и ТМ-волн.

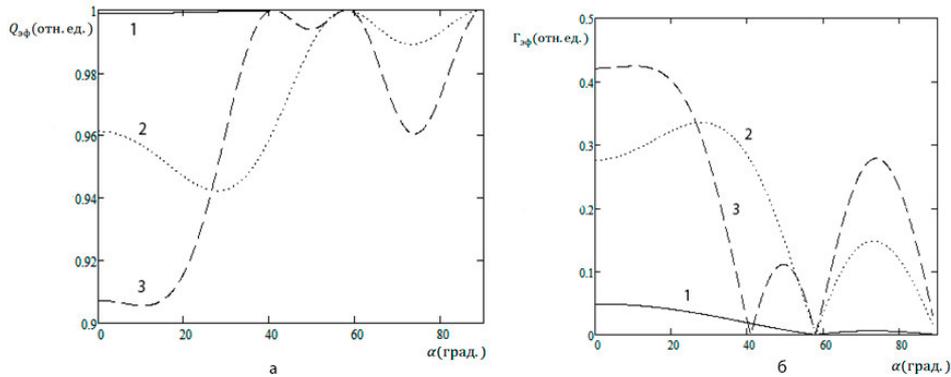


Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов прохождения и отражения (а) и прохождения (б) от угла падения при параллельной поляризации для различной толщины слоя (в длинах волн) 1 – $H=0.01$, 2 – $H=0.25$, 3 – $H=0.5$

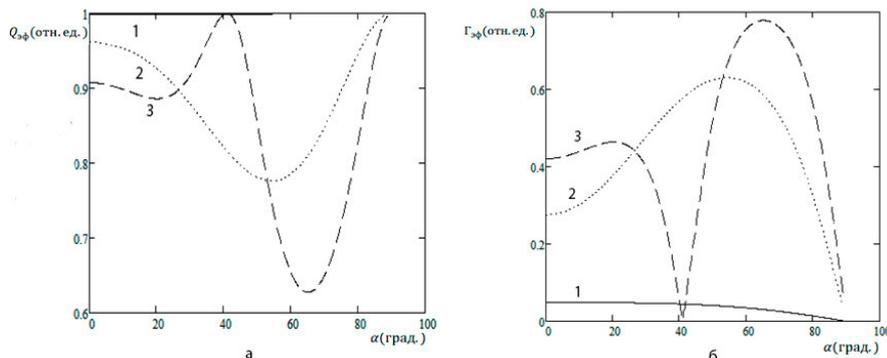


Рисунок 3 – Зависимость коэффициентов отражения (а) и прохождения (б) угла падения при перпендикулярной поляризации для различной толщины слоя (в длинах волн) 1 – $H=0.01$, 2 – $H=0.25$, 3 – $H=0.5$

Поглощение волны не учитывалось. Расчеты показывают, что для тонкого слоя отражение и поглощения имеют иной характер, чем для плоской бесконечной поверхности или для тонкого слоя при некогерентном освещении. Основное различие – стремление коэффициента отражения к нулю, а не к единице при скользющем падении.

Для толстого слоя характер отражения и прохождения меняется (рисунки 4, 5).

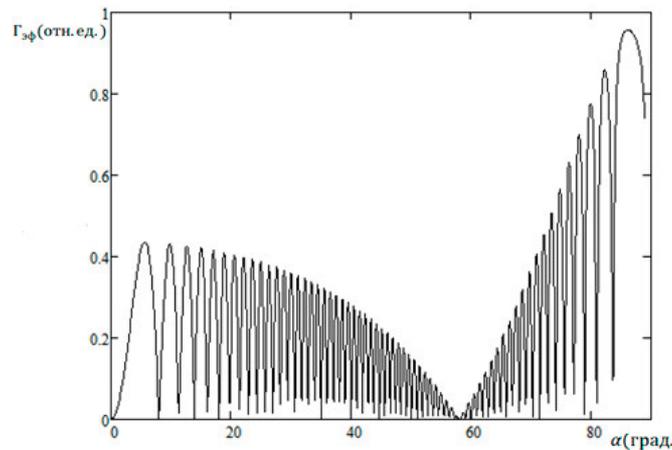


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента отражения от угла падения при параллельной поляризации, $H=20\lambda$

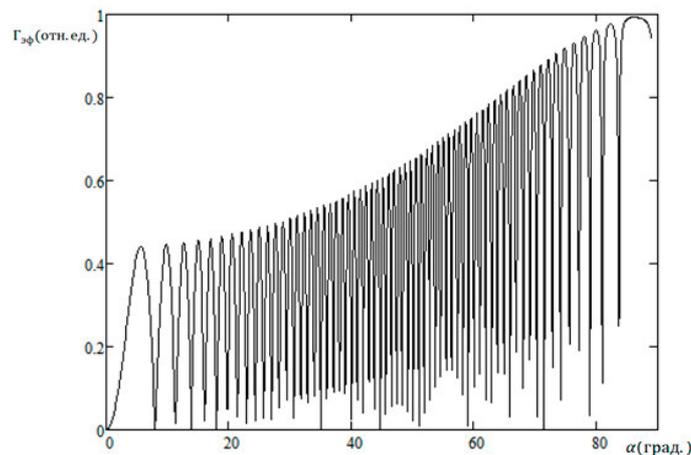


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента отражения от угла падения при перпендикулярной поляризации, $H=20\lambda$

Угловая зависимость коэффициентов приобретает быстропеременный осциллирующий характер, причем огибающая соответствует ходу аналогичных зависимостей при некогерентном освещении. Для поляризации в плоскости падения отражение отсутствует в окрестности угла Брюстера, однако точное значение угла полной поляризации определяется толщиной слоя, равно, как и значение коэффициента отражения в данной точке. Интересной особенностью тонкопленочных структур с толщиной слоя на порядки меньшей длины волны излучения является стремление к нулю коэффициента отражения при любом угле падения. Практически в данном случае речь идет о слое нулевой толщины, для которого волны, отраженные от передней и задней поверхностей слоя оказываются в противофазе, аналогично полуволновой пластинке. В оптике практическая реализация такого слоя не представляется возможной ввиду малости длины волны, однако в радиодиапазоне – это обычная ситуация. При скользющем падении ($\alpha \sim \pi/2$) в малой окрестности коэффициент отражения стремится к нулю для обеих поляризаций.

Полученные выражения позволили аналогичным образом получить зависимость коэффициента отражения от металлической поверхности, покрытой слоем диэлектрика. Поскольку, в соответствии с законом сохранения при отсутствии диссипации коэффициент отражения автоматически становится равным единице, то расчет проводился с учетом поглощения внутри слоя.

$$\Gamma_{\text{эф}} = -R_{12} - \frac{t_{12}t_{21}\lambda e^{i\Phi}}{1 + R_{12}e^{i\Phi}}, \quad (3)$$

где Γ – коэффициент отражения от металлической поверхности. Расчетные кривые для ТЕ- и ТМ-волн представлены на рисунке 6.

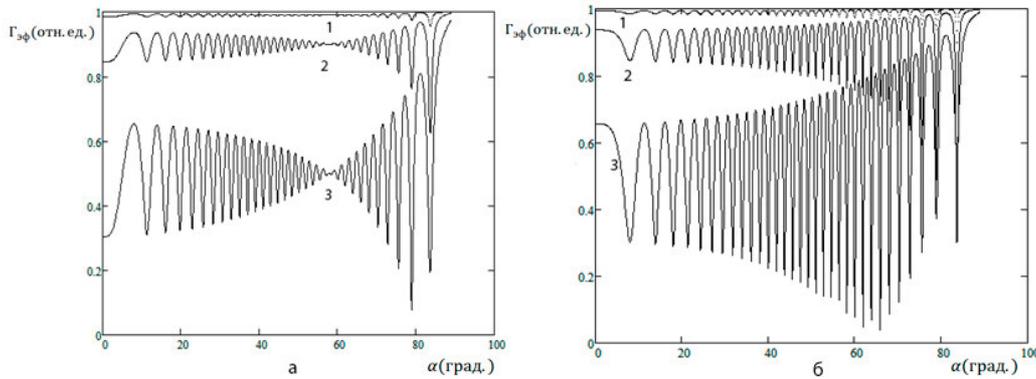


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента отражения от угла падения при параллельной (а) и перпендикулярной (б) поляризации металлической пластинкой,

$$1 - \Gamma = 0.99, 2 - \Gamma = 0.9, 3 - \Gamma = 0.5, \lambda = 1, N = 10$$

Коэффициент отражения для толстого слоя имеет характерный осциллирующий вид, причем его значение с увеличением угла падения, и стремится к единице, в отличие от прозрачного слоя.

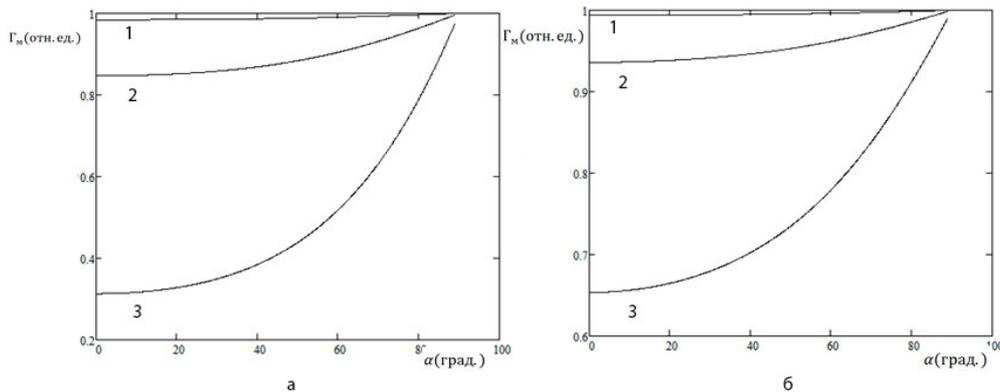


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента отражения от угла падения при параллельной (а) и перпендикулярной (б) поляризации с металлической пластинкой,

$$1 - \Gamma = 0.99, 2 - \Gamma = 0.9, 3 - \Gamma = 0.5, \lambda = 1, N = 0.01$$

Практически важный для технического применения случай тонкой пленки представлен на рисунке 7. Видно, что коэффициент отражения от металло- диэлектрической структуры значительно превышает коэффициент отражения от свободной металлической поверхности в случае перпендикулярной поляризации даже при нормальном падении (ТЕ-мода). Для ТМ-моды такое не наблюдается, однако при наклонном падении коэффициент отражения возрастает для обеих мод и стремится к единице при скользющем падении.

В. Н. Гавриленко, А. Ю. Сетейкин
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины; г. Благовещенск, АМГУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ АБЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБА ЗА КОРОТКИЕ ВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ

Лазер широко применяется в медицине почти с самого его изобретения. Однако в терапевтических целях лазерному воздействию подвергаются, как правило, мягкие ткани, для

воздействия на костную ткань лазер не используется. Основной причиной такого дисбаланса является сильный нагрев большого участка ткани, приводящий к качественному изменению кости, и как следствие – к длительному и болезненному заживанию. Используя лазерное воздействие большой мощности и определенной длины волны, можно минимизировать данный негативный эффект.

В данной работе представлена трехмерная модель лазерной абляции поверхности зуба, состоящая из двух слоев (эмаль и дентин). Процесс лазерной абляции рассматривается в рамках тепловой модели. Лазерное излучение поглощается средой и преобразуется в тепловую энергию, нагревая компоненты ткани, такие как вода или коллаген, в зависимости от длины волны излучения. В результате образуется водяной пар, создается высокое давление, приводящее к деструкции вещества и выбросу минеральных частиц костной ткани [1].

Для определения температуры в каждой точке пространства в произвольный момент времени решается динамическое уравнение теплопроводности [2].

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q(x, y, z, t),$$

где $T(x, y, z, t)$ – температура, [°C]; c – удельная теплоемкость твердого тела, [Дж/(г К)]; κ – коэффициент теплопроводности, [Дж/(мм с К)]; $Q(x, y, z, t)$ – функция теплового источника, [Дж/(мм³ с)]; ρ – плотность твердого тела, [г/мм³].

Взаимодействие наружной поверхности ткани с окружающей средой (конвекция, излучение) в линеаризованном виде может быть описано граничным условием 3-го рода [3]:

$$-\kappa \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = A(T(x, y, z, t) - T_0),$$

где A – приведенный коэффициент теплоотдачи, [Вт/(мм² К)]; T_0 – температура окружающей среды, [°C].

Если через R_0 обозначить радиус лазерного пучка, а через R_1 – радиус цилиндра, включающего в себя расчетную область, то при $R_1 \gg R_0$ на боковой поверхности могут быть приняты следующие граничные условия [3]:

$$\frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{S \text{ бок}} = 0, \quad T \Big|_{S \text{ внутр}} = T_1.$$

При расчетах был использован метод конечных элементов на основе 3-мерных лагранжевых элементов второго порядка, а динамическое изменение температуры рассчитывалось по схеме Кранка-Николсона [4].

Из модельных представлений установлены следующие закономерности процесса абляции костной ткани:

1. Лазерная абляция носит пороговый характер. Это объясняется образованием водяного пара, разрушающего структуру вещества. В костной ткани удаление вещества начинается примерно при температуре 320 °C и, используя полученное распределение температуры, становится возможным вычислить количество удаленного вещества.

2. Наибольшее увеличение температуры наблюдается у поверхности материала в пределах области падения лазерного пучка. Лазерное воздействие в течение 0,85 мс позволяет достичь температуры, близкой к пороговому значению начала абляции.

3. При удалении вещества на поверхности рассматриваемой среды удерживается постоянная температура, выше которой происходит процесс. Частицы вещества при достижении критического значения температуры обладают энергией, достаточной для абляции с поверхности материала. На самой же поверхности температура близка к критическому значению, но не превышает его.

4. В процессе лазерного воздействия в среде образуется кратер, размеры которого соотносимы с диаметром лазерного пучка. Диаметр кратера составляет 20 мкм, глубина – 2 мкм. Грубые очертания образованного кратера вызваны недостаточной точностью аппроксимации границ области. Для устранения этого недостатка планируется при последующих расчетах использовать криволинейные лагранжевы элементы второго порядка.

5. Количество удаленного вещества линейно зависит от времени воздействия при постоянной мощности лазерного излучения. Средняя скорость абляции составляет 153 мкм³/мс. При

продолжительном лазерном воздействии увеличится влияние парогазового облака, рассеивающего лазерный пучок, и характер зависимости удаленного вещества от времени изменится.

Список использованных источников

- 1 Werner, M. Ablation of hard biological tissue and osteotomy with pulsed CO₂ lasers / M. Werner // Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, 2006.
- 2 Welch, A. J. Optical-thermal response of laser-irradiated tissue / A. J. Welch, M. Vangemert. – Plenum Publishing Corporation, 1995. – 952 p.
- 3 Yassene, Mohammed. A finite element method model to simulate laser interstitial thermotherapy in anatomical inhomogeneous regions / Mohammed Yassene, Janko F. Verhey // BioMedical Engineering OnLine. – 2005. – P. 1–10.
- 4 Анисимов, С. И. Избранные задачи теории лазерной абляции / С. И. Анисимов, Б. С. Лукьянюк // Успехи наук. – 2002. – № 3. – С. 301–308.

В. В. Гаврилова, А. С. Воронцов, А. И. Адамчик, С. А. Плескач
г. Гродно, ГрГУ им. Я. Купалы

СОСТАВЫ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Трубопроводы применяются для транспортировки различных жидких и газообразных сред практически во всех отраслях промышленности. Поэтому элементы трубопроводов, в частности запорная арматура, могут подвергаться воздействию разнообразных неблагоприятных климатических и производственных факторов – влаги, химически активных жидкостей, низких и высоких температур. В результате на поверхностях деталей образуются очаги коррозионного поражения, солевые отложения, что способствует ускорению их разрушения и изнашивания.

При эксплуатации элементов запорной арматуры приходится сталкиваться со следующими характерными проблемами – потеря герметичности, заклинивание в режиме работы «открытие-закрытие», приложение больших усилий на привод запирающих элементов и др. Подавляющее большинство отказов вызваны применением смазочных материалов, не соответствующих условиям эксплуатации трубопроводов.

Для длительной надежной работы трубопроводного оборудования необходимо применять арматурные смазки, которые должны соответствовать рабочим средам и условиям эксплуатации [1, с. 5]. На предприятии ЧУП «Цветлит» при изготовлении конусных кранов, в узле трения корпус-пробка, используется смазка НК-50. Недостатком этой смазки является низкая водостойкость. При расфасовке продукции в тару смазка НК-50 поглощает влагу из воздуха. При этом свойства смазки в контактном слое существенно меняются – уменьшается температура каплепадения и устойчивость к вымыванию, снижаются герметизирующие свойства др. Для исключения вышеуказанных недостатков в работе предлагается введение в состав смазки НК-50 ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ) торговой марки «Форум». Ультрадисперсный политетрафторэтилен используется в системах, где требуется уменьшить контакт при взаимодействии деталей с целью увеличения срока службы пары трения. Одновременно наличие УПТФЭ в составах обеспечивает защиту от коррозии во влажных и химически агрессивных средах за счет гидрофобности компонентов [2, с. 25].

Разработка составов смазки с фторсодержащими компонентами для узлов трения запорной арматуры с улучшенными эксплуатационными характеристиками являлась целью настоящей работы. Объектом исследования выступал кран конусный DN25 PN1 со смазкой НК-50. Корпус и пробка крана изготовлены из латуни ЛЦ-40. Смазка НК-50 представляет собой мазеподобный продукт темно-зеленого цвета. Технология изготовления смазки заключается в загущении остаточных нефтяных авиационных масел, типа МС-20 или МК-22. В качестве модификатора предлагалось применение УПТФЭ в виде порошка белого цвета, получаемого при быстром нагревании блочного политетрафторэтилена в потоке инертного газа (аргона) и быстром охлаждении. Порошок представляет собой низкоразмерные частицы сферической формы с размером от 150 до 500 нм. Модификатор вводили в смазку в количестве от 1 до 5 мас. %.

Для проведения триботехнических испытаний подготовили образцы из латуни марки ЛЦ-40 в виде дисков диаметром 65 мм и толщиной 3 мм. На поверхность дисков смазку наносили

с помощью ветоши. Триботехнические испытания проводили на микротрибометре FT-2 при нагрузке 20 Н при скорости вращения главного вала 120 об/мин. Водостойкость смазки определяли по методу В. А. Стуканова [3, с. 137]. Гидрофобные характеристики модифицированных смазок определяли по краевому углу смачивания. Стендовые испытания конусных кранов DN25 PN1 на герметичность и количество рабочих циклов проводили на стендах 7700-0735 и 7700-0124 согласно методике предприятия ЧУП «Цветлит».

Результаты триботехнических испытаний представлены на рисунке 1.

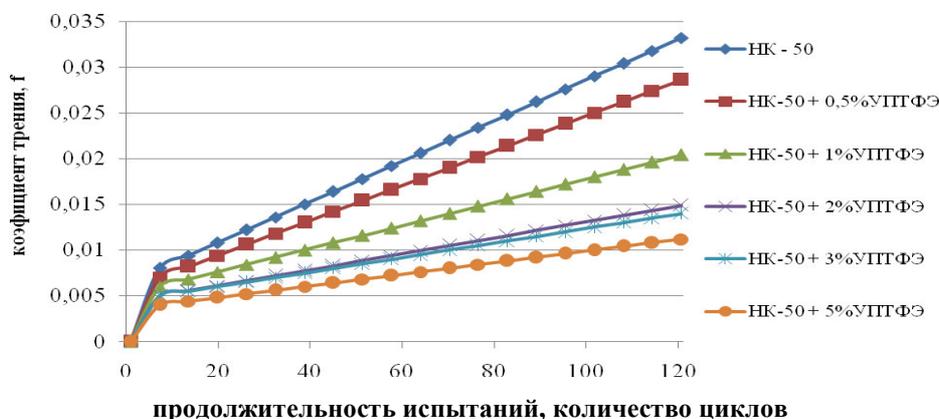


Рисунок 1 – Характер изменения коэффициента трения в зависимости от состава смазочной композиции на основе НК-50

На основании представленных результатов можно сделать вывод о том, что с увеличением содержания УПТФЭ в смазочном составе НК-50, в паре «корпус-пробка» характер трения не меняется, однако значение коэффициента трения в сравнении с исходным образцом имеет тенденцию к снижению за счет увеличения концентрации модификатора. При определении краевого угла смачивания были получены результаты, отраженные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения краевого угла смачивания

Состав композиционного материала на основе смазки НК-50	Значение краевого угла смачивания θ , град.
Смазка НК-50 исходная	28
Смазка НК-50 + 0,5% УПТФЭ	32
Смазка НК-50 + 1% УПТФЭ	35
Смазка НК-50 + 2% УПТФЭ	40
Смазка НК-50 + 3% УПТФЭ	45
Смазка НК-50 + 5% УПТФЭ	47

Отмечено, что с увеличением содержания УПТФЭ гидрофобные характеристики смазочных композиций увеличиваются, что уменьшает взаимодействие смазки с водой.

Результаты испытаний на водостойкость представлены на рисунке 2.

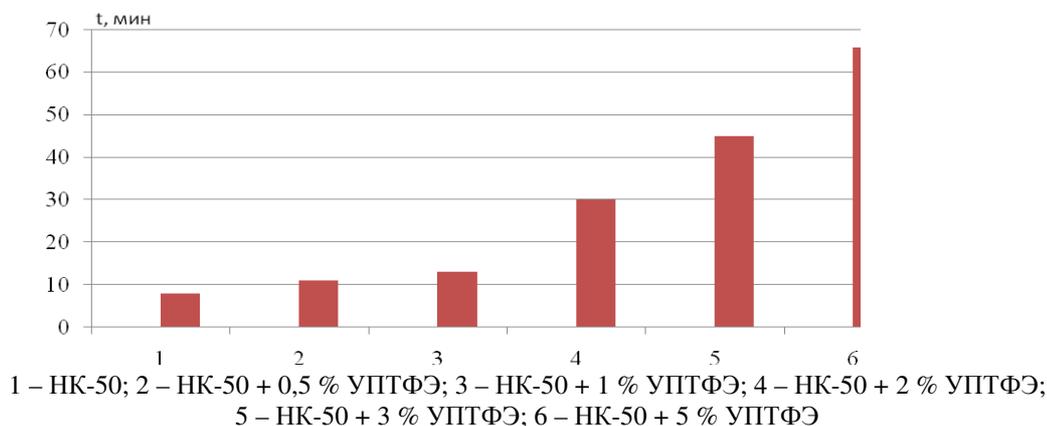


Рисунок 2 – Водостойкость смазки

При проведении испытаний показателем потери качественных характеристик у образцов смазочных материалов являлось образование мутного (мыльного) раствора расслаивающегося продукта, что характерно для образцов, относящихся к натриевым смазкам. С увеличением содержания УПТФЭ растворимость смазки в воде уменьшается, а при содержании УПТФЭ более 5 мас. % в смазке наблюдается увеличение стабильности рабочих характеристик. Это связано с тем, что после полного растворения загустителя (натриевого мыла) в воде, УПТФЭ принимает на себя роль загустителя и препятствует разрушению смазки.

При проведении стендовых испытаний запорной арматуры проверяли конусный кран DN25 PN1 на герметичность затвора и на работоспособность. Краны со смазкой НК-50, модифицированной УПТФЭ, выдержали испытания на герметичность. Результаты стендовых испытаний на рабочий цикл представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний на работоспособность

Состав смазочной композиции в паре трения «пробка-корпус» конусного крана DN25 PN1	Наработка на отказ, кол-во циклов
Смазка НК-50 исходная	3500
Смазка НК-50 + 0,5 % УПТФЭ	3700
Смазка НК-50 + 1 % УПТФЭ	4000
Смазка НК-50 + 2 % УПТФЭ	4200
Смазка НК-50 + 3 % УПТФЭ	4500
Смазка НК-50 + 5 % УПТФЭ	4500

При модифицировании смазки НК-50 ультрадисперсными частицами политетрафторэтилена в количестве 3 мас. % наблюдали повышение работоспособности запорной арматуры на 30 %. Дальнейшее увеличение содержания модификатора в составе смазки НК-50 на количество рабочих циклов пары трения не влияет.

Таким образом установлено, что оптимальным сочетанием эксплуатационных характеристик обладает смазочная композиция следующего состава: НК-50 + 3 мас. % УПТФЭ. Водостойкость разработанного состава выше в 2,8 раза исходной смазки НК-50. Триботехнические испытания показали, что использование предложенного состава композиции обеспечивает снижение коэффициента трения в 1,5÷2 раза, что улучшает плавность хода пробки. В результате стендовых испытаний установлено, что шаровые краны со смазкой НК-50, модифицированной УПТФЭ, успешно выдержали испытания на герметичность и способны обеспечивать повышенную работоспособность запорной арматуры.

Список использованных источников

- 1 Лиханов, В. А. Пластичные смазки : учеб. пособие / В. А. Лиханов, Р. Р. Девятьяров. – Киров : Вятская ГСХА, 2006. – 68 с.
- 2 Авдейчик, С. В. Фторсодержащие ингибиторы изнашивания металлополимерных трибосистем : монография / С. В. Авдейчик [и др.] ; под науч. ред. В. А. Струка. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 270 с.
- 3 Стуканов, В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы / В. А. Стуканов – М. : Форум, 2002. – 203 с.

В. Е. Гайшун, Я. А. Косенок, О. И. Тюленкова
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА РАЗМЕР ЧАСТИЦ В СУСПЕНЗИЯХ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Дисперсные формы диоксида кремния находят разнообразные применения в качестве сорбентов, носителей активных элементов в катализе, хроматографии, биологии и медицине, наполнителей полимеров, загустителей дисперсионных сред и др. Для получения суспензий диоксида кремния часто используют высокодисперсные пирогенные кремнеземы (аэросилы). Аэросил представляет собой порошок диоксида кремния, состоящий из плотных непористых сферических частиц с размерами от 7 до 40 нм и удельной поверхностью от 50 до 400 м²/г. Разброс частиц по размерам обычно достигает 50 %. Насыпная плотность аэросила до 50 г/л. При

решении некоторых технологических задач (например, в процессе химико-механической полировки) все большее внимание привлекают готовые суспензии на основе наноразмерных частиц аэросила. В жидкой среде частицы пирогенного диоксида кремния обладают способностью образовывать агрегаты и агломераты агрегатов. С уменьшением среднего размера частиц, эффект образования агрегатов и агломератов увеличивается. При этом, чем более тонкодисперсным является порошок, тем труднее агломераты диспергировать в жидкости до отдельных агрегатов [1].

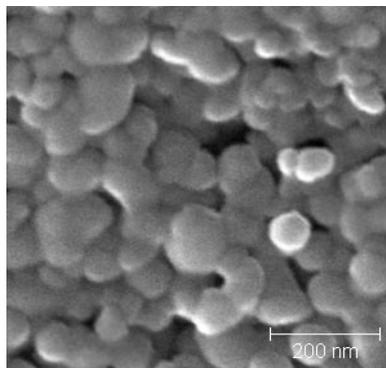


Рисунок 1 – СЭМ-изображение частиц аэросила марки ОХ-50

Получение материалов сверхтонкой дисперсности имеет значение, так как от степени измельчения зависят многие характеристики материалов. Существует множество способов измельчения твердых веществ (измельчение сухих порошков, измельчение в жидкой среде с помощью шаровых, струйных и вибрационных мельниц). Однако все они измельчают твердые вещества до размеров не менее 100 мкм и только ультразвуковое диспергирование обеспечивает получение материалов сверхтонкой дисперсности (1 мкм и менее) [2].

Диспергирующее действие ультразвука связано с кавитацией – образованием и захлопыванием полостей в жидкости. Захлопывание полостей сопровождается появлением кавитационных ударных волн, которые и разрушают материал. Суспензии, полученные ультразвуковым методом, отличаются однородностью размеров частиц дисперсной фазы. Экспериментально установлено, что дисперсность находится в прямой зависимости от частоты ультразвуковых колебаний [3]. Вместе с тем мало исследований, посвященных зависимости размера частиц от времени действия ультразвука. Цель данной работы состоит в исследовании влияния времени ультразвуковой обработки на размер частиц в суспензиях на основе наноразмерного порошка диоксида кремния, используемых в процессе химико-механической полировки пластин монокристаллического кремния.

Для исследований были приготовлены высококонцентрированные суспензии на основе пирогенного кремнезёма (ОХ-50 Degussa AG, Германия), имеющего минимальную удельную поверхность 50 м²/г и слабую агрегированность первичных частиц. Как известно [4], индивидуальные частицы аэросила ОХ-50 оказываются настолько слабо связанными между собой, что их можно диспергировать до агрегатов коллоидных размеров. Средний диаметр первичных частиц составляет около 40 нм. После смешения исходных компонент проводилось ультразвуковое диспергирование суспензии на ультразвуковой установке марки УЗО-44-М1 с частотой 40 кГц. Перемешивание вели с помощью фторопластовой лопастной мешалки, скорость перемешивания – 250 об/мин. Диспергирование кремнезёма в золь, состоящего из дискретных первичных частиц, представляет определенные трудности, поскольку слипание частиц меняется в значительной степени.

Средний радиус частиц суспензий различного состава определялся по методу Геллера. Под термином «частица» подразумевается частица с гидродинамической точки зрения. Общепринятой терминологией для методов, основанных на светорассеянии, является описание гидродинамического радиуса или диаметра частиц, которые могут представлять собой как первичные частицы, так и их агрегаты и агломераты [4]. Оптическую плотность суспензий измеряли на спектрофлуориметре СМ 2203 в диапазоне длин волн от 300 нм до 800 нм.

Внешнее механическое воздействие (ультразвуковая обработка, механическое перемешивание) изменяет структуру вторичных частиц (рисунок 2). В результате ультразвуковой обработки водных суспензий кремнезёма различного состава эффективный диаметр D_{ef} (средний гидродинамический диаметр) зависит от времени обработки t_{us} :

$$D_{ef} = F(C_{SiO_2})exp(-\alpha t_{us}),$$

где F – функция, зависящая от концентрации C_{SiO_2} и диаметра первичных частиц d , α – постоянная для данного образца, t_{us} – время ультразвуковой обработки.

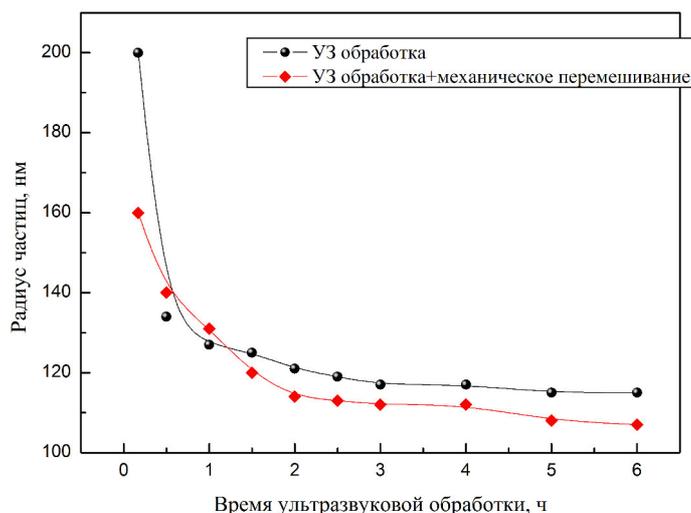


Рисунок 2 – Зависимость эффективного радиуса частиц в водных суспензиях пирогенного диоксида кремния от времени ультразвуковой обработки

Как видно из рисунка 2, радиус частиц уменьшается, если суспензия одновременно подвергается механическому перемешиванию и ультразвуковой обработке. Для суспензий пирогенного кремнезёма существует оптимальное время ультразвукового диспергирования, обеспечивающее получение частиц минимального размера. Длительная обработка может приводить к слипанию частиц и образованию грубодисперсных суспензий. Для нестабилизированных суспензий достаточно 2,5–3 ч ультразвуковой обработки с одновременным механическим перемешиванием для равномерного распределения частиц минимально возможного размера по всему объёму системы, что обеспечивает седиментационную устойчивость суспензий.

В результате проведенных исследований установлено, что оптимальными условиями для получения стабильных водных суспензий на основе пирогенного диоксида кремния является совмещение механического перемешивания и ультразвукового диспергирования.

Список использованных источников

- 1 Чуйко, А. А. Строение и химия поверхности кремнезема / А. А. Чуйко, Ю. И. Горлов, В. В. Лобанов – Киев : Наукова думка, 2007. – 347 с.
- 2 Хмелёв, В. Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве : монография / В. Н. Хмелёв, О. В. Попова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1997. – 160 с.
- 3 Захарченко, В. Н. Коллоидная химия : учебник / В. Н. Захарченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1989. – 238 с.
- 4 Гунько, В. М. Вода на межфазной границе / В. М. Гунько, В. В. Туров, П. П. Горбик ; под ред. В. В. Гончарука. – Киев : Наукова думка, 2009. – 694 с.

M. V. Galaburda, V. M. Bogatyrov, O. I. Oranska
Kyiv, Chuiko Institute of Surface Chemistry
J. Skubiszewska-Zięba
Lublin, Maria Curie-Skłodowska University

FASILE SYNTHESIS OF MESOPOROUS CARBON COMPOSITES FROM IRON-CONTAINING RESORCINOL-FORMALDEGIDE RESINS

Carbon encapsulated iron nanoparticles are an important class of nanomaterials because of their interesting size-dependent properties and plentiful application potential in a wide range of technologies, including magnetic data storage, magnetic separation, catalysis, ferro-fluids, biomedicine, etc.

In the present study, we investigated the development of carbon nanocomposites via carbonization of resorcinol–formaldehyde resin/Fe compounds. The Fe-polymer precursors were prepared using 5 g resorcinol, 7.5 g formaldehyde (37 % aqueous solution) and 2 g $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$ (sample was denoted as RF-Fe(ac)₂) or 4.5 g of $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_3$ (denoted as RF-Fe(ac)₃) using aqueous alcoholic solution (12.5 ml H_2O :12.5 ml Isopropanol) via sol–gel method. Then they were dried at room temperature, ground and dried at 90 °C for 10 h. Carbonization of the samples was carried out in a tubular furnace under argon atmosphere upon heating from room temperature to 800 °C at a heating rate of 5 °C/min and kept at the maximum temperature for 2 h. The effects of the starting composition on the textural and structural characteristics of the Fe-containing carbon composites are discussed. Such composite materials were characterized by N_2 sorption, Raman spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM).

In order to determine the crystal structure and the phases of the particles, the as-made metal particles were analyzed by the XRD of Co K_α radiation. Figure 1a shows the patterns of an iron particle sample. Note that three phases were identified. One is bcc α -Fe, another is fcc γ -Fe, and the carbide phase was found. In addition, an intensive diffraction peak at $2\theta=30.55^\circ$ observed on the XRD patterns that attributed to graphite plane (002). Since most carbides of ferromagnetic materials are either non-magnetic or weakly magnetic, it is desirable to further develop this process where the elemental metal nanoparticles are carbon-coated without the formation of any carbides.

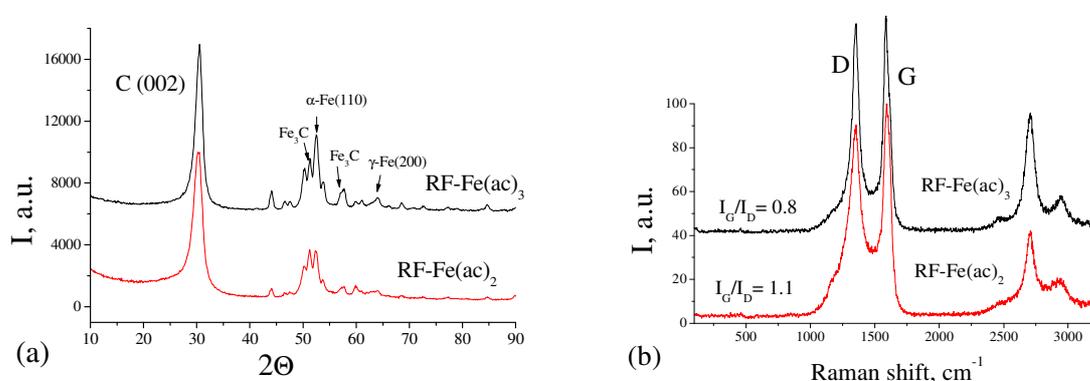


Figure 1 – XRD patterns of chars (a) and Raman spectra of Fe/C nanocomposites (b)

The crystallinity of the carbon was further examined by Raman characterization technique (Fig. 2b). The spectra show distinct D bands (1350 cm^{-1}) and G (1600 cm^{-1}), which are well-known characteristics of graphitic materials. The intensity ratio of these bands (I_G/I_D) is higher in the RF-Fe(ac)₂ sample that demonstrates that the overall crystallinity of carbon has enhanced during the process. The high intensity of the G band shows that the amount of graphitized and well-organized carbon exceeds the amount of amorphous and disordered carbon in our samples, enabling their functionalization. Besides, both samples have a distinct 2D (2700 cm^{-1}) band (Fig. 1b), which indicates very good crystallinity of the material.

Figure 2 shows SEM images of Fe-doped chars. Note that the as-made materials consist of only dense agglomerates of irregular shapes without any additional carbon formations.

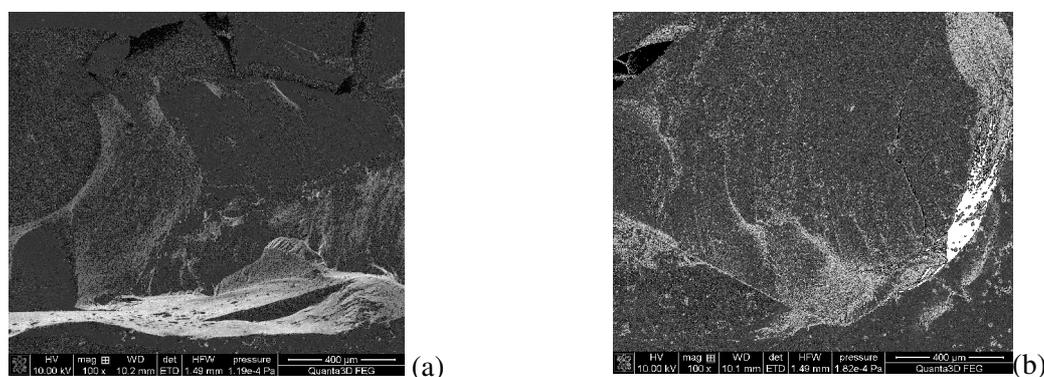


Figure 2 – SEM images of the RF-Fe(ac)₃ (a) and RF-Fe(ac)₂ (b)

The pore structures of the samples were analyzed based on the low-temperature nitrogen adsorption. The Me@C samples exhibited the type IV isotherms (H2 type of hysteresis loops) (Fig. 3)

according to IUPAC classification. Capillary condensation occurs in the relative wide range of pressure at $p/p_0 = 0.45-1.0$ indicating a mesoporous character of the materials and the almost complete absence of microspores is observed (i.e. carbon phase is morphologically similar to soot). According to the pore size distributions, the main contribution into the textural porosity of the Fe/C nanocomposites is due to mesopores (Table 1, S_{meso} and V_{meso} at $1 < R < 25$ nm). The specific surface area of the nanocomposites is 320.6 and 173.2 m^2/g for RF-Fe(acac)₂ and RF-Fe(acac)₃, respectively.

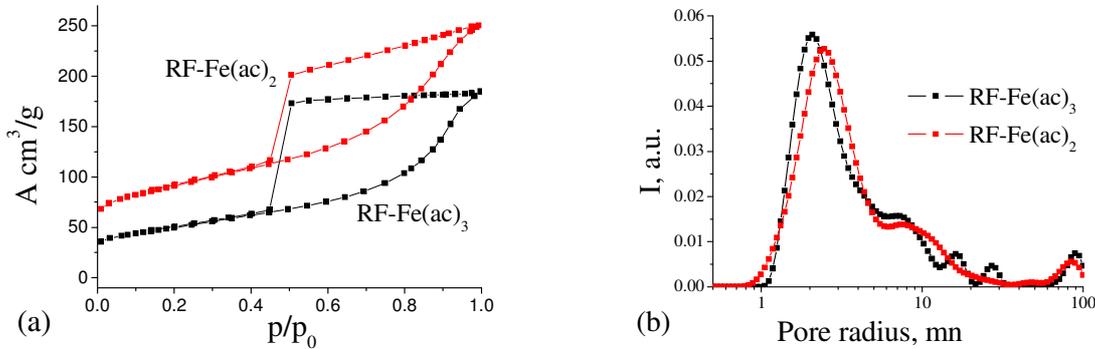


Figure 3 – Nitrogen adsorption isotherms (a) and pore size distributions (b) for nano-composites

Table 1 – Textural characteristics of Fe-doped chars

Sample	S_{BET} , m^2/g	S_{micr} , m^2/g	S_{meso} , m^2/g	S_{macro} , m^2/g	V_{p} , cm^3/g	V_{micr} , cm^3/g	V_{meso} , cm^3/g	V_{macro} , cm^3/g	Δw
RF-Fe(acac) ₂	320.6	0	320.0	0.6	1.157	0.01	1.101	0.046	0.13
RF-Fe(acac) ₃	173.2	0	172.9	0.3	1.166	0.01	1.105	0.051	0.46

Note: Nanopores (S_{nano} , V_{nano}) at radius or half-width $R < 1$ nm, mesopores (S_{meso} , V_{meso}) at $1 \text{ nm} < R < 25$ nm, and macropores (S_{macro} , V_{macro}) at $25 \text{ nm} < R < 100$ nm; Δw is a criterion showing the deviation of the pore model from the real pore in respect to the specific surface area.

Iron-doped carbon composites were synthesized by a simple one-pot procedure through carbonization of resorcinol-formaldehyde polymers containing Iron(II)- or Iron(III) acetylacetonate. The structural and textural characteristics of the as-made materials were investigated. The XRD results indicate that all chars consist of several phases, namely, iron, carbon, and metal carbides. Raman spectroscopy analysis detected the highly ordered graphitic nature of the carbon.

Acknowledgement. The author is grateful to the International Visegrad Fund (Visegrad 4 Eastern Partnership Program, contract Visegrad/V4EaP Scholarship No51400029) for the support of this research.

С. С. Гиргель

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ФРАКЦИОННЫЕ ОБОБЩЕННЫЕ ПУЧКИ БЕССЕЛЯ-ГАУССА

В последнее время наблюдается бум в поиске и исследовании новых типов световых пучков [1]–[5]. Большой интерес привлекают пучки Бесселя и пучки Бесселя-Гаусса (ПБГ) [6]–[10]. Как хорошо известно [6], пучки Бесселя обладают уникальным свойством бездифракционности. Вместе с тем, они переносят бесконечную мощность и не могут быть реализованы практически. Использование гауссовой аподизации функций Бесселя позволяет перейти к скалярным ПБГ [7], которые переносят конечную мощность и могут быть реализованы практически, хотя свойство бездифракционности, строго говоря, при этом нарушается. Свойства векторных ПБГ исследовались нами в [11], [12]. В данной работе вводится новый тип пучков (фракционные обобщенные ПБГ), найдены условия их физической реализуемости и обсуждаются их физические свойства.

1. *Новый тип ПБГ.* Будем исходить из 3D параболического уравнения [1]

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + 2ik \frac{\partial}{\partial z} \right) f(x, y, z) = 0. \quad (1)$$

описывающего скалярные парааксиальные монохроматические световые пучки, распространяющиеся в направлении оси z . Перейдя к цилиндрической системе координат путем стандартной подстановки $\{x = \rho \cos \varphi, y = \rho \sin \varphi\}$ получаем

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + 2ik \frac{\partial}{\partial z} \right) f = 0. \quad (2)$$

Разделяя переменные, находим частное решение

$$f_B(\rho, \varphi, z) = J_\nu(K\rho) \exp(i\nu\varphi) \exp\left(\frac{-iK^2 z}{2k}\right), \quad (3)$$

где параметры ν и K – постоянные разделения переменных, J_ν – функции Бесселя I рода [13]. Поэтому выражение (3) описывает парааксиальные пучки Бесселя. В случае классических пучков Бесселя $K = k_\perp$, где k_\perp – вещественная поперечная составляющая волнового вектора $\mathbf{k} = \mathbf{k}_\perp + k_z \mathbf{e}_z$ и, кроме того, порядок (индекс) ν является целочисленным [1]. С физической точки зрения пучок Бесселя представляет суперпозицию плоских монохроматических волн, волновые векторы каждой из которых расположены по круговому конусу вокруг оси z .

Пучки Бесселя обладают бесконечной энергией. Чтобы найти соответствующие решения для ПБГ с конечной энергией, надо выполнить гауссову аподизацию выражения (3). С этой целью проще всего к парааксиальному уравнению (3) применить преобразование Аппеля [14], которое мы представим в форме

$$f(\mathbf{r}, z) = G \cdot f\left(\frac{\mathbf{r}}{\beta q}, -\frac{z}{\beta^2 q}\right). \quad (4)$$

Здесь гауссиан $G = \frac{1}{q} \exp\left(\frac{i\rho^2}{2q}\right)$, комплексный параметр пучка $q = z - iq_0''$. Размерный коэффициент β можно взять в виде $\beta = i/q_0''$. Тогда получаем

$$f_{BG} = \frac{1}{q} \exp\left(\frac{ik\rho^2}{2q}\right) J_\nu\left(\frac{K\rho}{1 + \frac{iz}{q_0''}}\right) \exp(i\nu\varphi) \exp\left(\frac{-iK^2 q_0''^2}{2kq}\right). \quad (5)$$

Последнее выражение можно представить также в форме

$$f_{BG} = \frac{1}{q} \exp\left(\frac{ik}{2q} \left(\rho^2 - \left(\frac{Kq_0''}{k}\right)^2\right)\right) J_\nu\left(\frac{K\rho}{1 + \frac{iz}{q_0''}}\right) \exp(i\nu\varphi). \quad (6)$$

Это позволяет интерпретировать исследуемые ПБГ также, как децентрированные пучки.

2. *Условия физической реализуемости новых фракционных ПБГ.* Пучок будем считать физически реализуемым, если его комплексная амплитуда является конечной во всем пространстве, а переносимая им мощность через любое сечение, перпендикулярное оси пучка, также является конечной. Эти требования сводятся к непрерывности и квадратичной интегрируемости комплексной амплитуды пучка.

Так как при $\rho \rightarrow \infty \lim J_\nu(\rho) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos\left(\rho - \frac{\pi x}{2} - \frac{\pi}{4}\right)$ [13], то отсюда можно получить, что необходимые условия квадратичной интегрируемости спиральных ПБГ – $q_0'' > 0$. Кроме того, функция Бесселя имеет особенность при $\rho \rightarrow 0$. Отсюда следует, что индекс ν должен быть неотрицательным.

Поскольку индекс ν может принимать непрерывные значения, то фаза при полном обороте вокруг оси пучка также является непрерывной и не обязана быть равной. Пучки, обладающие таким свойством, называются фракционными [2]–[5], [15]. Поэтому обсуждаемые нами ПБГ являются также фракционными и имеют спиральный волновой фронт. Следуя терминологии, применяющейся Абрамочкиным и Волосниковым [16], пучки со спиральным волновым фронтом можно называть также спиральными.

Итак, общие условия физической реализуемости фракционных ПБГ (6):

$$q_0'' > 0 \text{ и } \nu \geq 0. \quad (7)$$

При этом на параметр K не накладываются никакие ограничения и он может быть произвольным комплексным числом.

3. *Обсуждение результатов.* В классических пучках ПБГ [7], [1], как и в пучках Бесселя, свободный параметр K является вещественным. При комплексном параметре K и целочисленных значениях ν получаем обобщенные ПБГ, введенные в работах [8]–[10]. Обобщенные ПБГ можно интерпретировать [10], как суперпозицию пучков Гаусса, центральные волновые векторы которых расположены по круговому конусу вокруг оси z , а оси перетяжек парциальных волн размещены в плоскости $z = 0$ по окружности.

Основными результатами настоящей работы являются выражения (6) и (7). Непрерывный порядок ν дает основание полученные пучки (6) трактовать, как фракционные обобщенные ПБГ, которые обладают спиральным волновым фронтом. В частных случаях, когда неотрицательный индекс (порядок) ν фракционных обобщенных ПБГ (6) становится целым числом, наши выражения (6) эквивалентны выражениям для обобщенных ПБГ, введенных в работах [8], [9]. Однако наши более общие формулы (5) и (6) имеют более простую форму, чем соответствующие формулы в [8], [9], [10].

Попутно отметим, что после получения важных результатов в физике, как правило, всегда находятся забытые предшественники. Так, пучки Бесселя привлекли всеобщий интерес как бездифракционные, после работ Дурнина [6] в 1987 году. Однако решения уравнения Гельмгольца в виде волновых полей Бесселя были получены математиками гораздо раньше, см., напр., [17]. Аналогично, ПБГ нулевого порядка фактически были получены [18] Шеппардомеще в 1978 году, до работы [7]. В забытой работе Валдрона [19] использовалась неортогональная спиральная (цилиндрическая вращающаяся) система координат. Для уравнения Гельмгольца получено решение в виде спиральных волновых полей Бесселя. В отличие от обычных световых полей Бесселя индекс (порядок) ν таких полей не обязан быть целым числом, а может пробегать непрерывный спектр значений: $\nu \geq 0$. Согласно интерпретации Оверфельт [20] в таких случаях непрерывный индекс ν связан не только с угловой фазой, но также является функцией шага спирали волнового фронта и продольной фазовой скорости волны Бесселя.

В работах [2], [3] вводятся новые пучковые решения фракционного порядка для пучков Эрмита-Гаусса и Лагерра-Гаусса. Фракционные ПБГ рассматривались недавно также в [4], однако обсуждаемые нами фракционные ПБГ принадлежат другому типу и отличаются от пучков в [4]. Анализ и графическое моделирование показывают, что картины интенсивности в поперечных сечениях фракционных обобщенныхсо спиральным волновым фронтом ПБГ (6) обладают цилиндрической симметрией и представляют собой множества колец разной интенсивности и ширины. При этом, в отличие от стандартных ПБГ и обычных пучков Лагерра-Гаусса, при увеличении расстояния ρ от оси пучка интенсивности и радиусы колец могут изменяться нерегулярным образом.

Таким образом, выведены выражения, описывающие новый тип пучков – фракционные обобщенные ПБГ. Они характеризуются тремя свободными параметрами: двумя вещественными непрерывными ν , q_0'' и комплексным параметром K . Частными случаями введенных здесь пучков являются известные обобщенные ПБГ с дискретными целочисленными индексами ν , а также фракционные пучки Бесселя со спиральным волновым фронтом.

Найдены условия физической реализуемости новых типов пучков во всем пространстве: $q_0'' > 0$ и $\nu \geq 0$. Одновременный переход от дискретных значений ν к непрерывному спектру, а также от вещественных к комплексным значениям K сильно расширяет класс известных в настоящее время ПБГ. Варьирование новых свободных параметров таких пучков несомненно расширяет и предоставляет новые дополнительные возможности создания и исследования пучков с заданными свойствами для последующих практических применений.

Для экспериментального получения спиральных обобщенных ПБГ могут, в принципе, быть использованы после модернизации некоторые методики получения стандартных ПБГ и фракционных пучков. Так, в работах Гао и др. обсуждались возможности экспериментального получения и изучения фракционных пучков Бесселя (см., напр., [5]).

В настоящем сообщении обсуждались скалярные фракционные обобщенные ПБГ. Нелегко перейти к соответствующим векторным пучкам с произвольной поляризацией, используя, например, формализм, предложенный нами в [21], [22].

Список использованных источников

- 1 Киселев, А. П. Локализованные световые волны: параксиальные и точные решения волнового уравнения (обзор) / А. П. Киселев // Оптика и спектроскопия. – 2007. – Т. 102, № 4. – С. 661–681.
- 2 Gutierrez-Vega, J. C. Fractionalization of optical beams: I. Planar Analysis / J. C. Gutierrez-Vega // Optics Letters. – 2007. – Vol. 32, № 11. – P. 1521–1523.
- 3 Gutierrez-Vega, J. C. Fractionalization of optical beams: II. Elegant Laguerre-Gaussian modes / J. C. Gutierrez-Vega // Optics Express. – 2007. – Vol. 15, № 10. – P. 6300–6313.
- 4 Gutierrez-Vega, J. C. Nondiffracting vortex beams with continuous orbital angular momentum order dependence / J. C. Gutierrez-Vega, C. Lopez-Mariscal // J. Opt. A. Pure Appl. Opt. – 2008. – 10015009 (8 pp).
- 5 Tao, S. H. Experimental study of holographic generation of fractional Bessel beams / S. H. Tao, W. M. Lee, X. Yuan // Applied Optics. – 2004. – Vol. 43, № 1. – P. 122–126.
- 6 Durnin, J. Exact solutions for nondiffracting beams. I. The scalar theory / J. Durnin // JOSA A. – 1987. – Vol. 4, № 4. – P. 651–654.
- 7 Gori, F. Bessel-Gauss beams / F. Gori, G. Guattari, C. Padovani // Optics Communications. – 1987. – Vol. 64, № 6. – P. 491–495.
- 8 Generalized Bessel-Gauss beams / V. Bagini [et al.] // Journal of Modern Optics. – 1996. – Vol. 43, № 6. – P. 1155–1166.
- 9 Imaging of generalized Bessel-Gauss beams / C. Palma [et al.] // Journal of Modern Optics. – 1996. – Vol. 43, № 11. – P. 2269–2277.
- 10 Santarsiero, M. Propagation of general Bessel-Gauss beams through ABCD optical systems / M. Santarsiero // Optics Communications. – 1996. – Vol. 132. – P. 1–7.
- 11 Гиргель, С. С. Поляризационные свойства бessel-гауссовых пучков света / С. С. Гиргель // Известия Гомельского госуниверситета имени Франциска Скорины. – 2001. – № 6. – С. 150–154.
- 12 Гиргель, С. С. Поляризационные и энергетические свойства векторных бessel-гауссовых световых пучков / С. С. Гиргель // Известия Гомельского госуниверситета имени Франциска Скорины. – 2006. – № 6. – Ч. 1. – С. 49–52.
- 13 Бейтмен, Г. Высшие трансцендентные функции / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. – М.: Наука, 1974. – 295 с.
- 14 Миллер, У. Симметрия и разделение переменных / У. Миллер. – М.: Мир, 1981. – 342 с.
- 15 Berry, M. V. Optical vortices evolving from helicoidal integer and fractional phase steps / M. V. Berry // Journal of Optics. – 2003. – № 6. – P. 259–268.
- 16 Абрамочкин, Е. Г. Спиральные пучки света / Е. Г. Абрамочкин, В. Г. Волосников // УФН. – 2004. – Т. 174, № 12. – С. 1273–1300.
- 17 Стрэттон, Дж. А. Теория электромагнетизма / Дж. А. Стрэттон. – М.: ОГИЗ, 1948. – 539 с.
- 18 Sheppard, C. J. R. Gaussian-beam theory of lenses with annular aperture / C. J. R. Sheppard, T. Wilson // IEEE J. Microwaves, Optics and Acoustics. – 1978. – Vol. 2. – P. 105–112.
- 19 Waldron, R. A. A helical coordinate system and its applications in electromagnetic theory / R. A. Waldron // Quart. Journ. Mech. and Applied Math. – 1958. – Vol. XI, Pt. 4. – P. 438–461.
- 20 Overfelt, P. L. Scalar optical beams with helical symmetry / P. L. Overfelt // Phys. Rev. A. – 1992. – Vol. 46, № 6. – P. 3516–3522.
- 21 Гиргель, С. С. Свойства векторных параксиальных световых пучков. II. Неоднородная поляризация / С. С. Гиргель // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – № 1. – С. 11–14.
- 22 Гиргель, С. С. Свойства векторных параксиальных световых пучков. I. Однородная поляризация / С. С. Гиргель // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – № 1. – С. 20–24.

Е. А. Дей

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СТАЦИОНАРНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА В БАЗИСЕ ЭРМИТОВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе выполнена программная реализация и исследована вычислительная эффективность метода конечных элементов в подходе Галеркина с использованием эрмитовых конечных элементов высших порядков аппроксимации для численного решения одномерного и радиального уравнений Шредингера для связанных состояний. Программная реализация выполнена отдельно в системе Matlab и в системе Mathcad, что позволяет осуществить независимую проверку численных результатов. Показано, что применение эрмитовых конечных элементов более высокого порядка позволяет получать численное решение стационарного уравнения Шредингера на персональных компьютерах с высокой точностью.

1. Расчетные формулы метода конечных элементов при решении уравнения Шредингера. Численное решение одномерного уравнения Шредингера [1]

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi(x) = \varepsilon\psi(x) \quad (1)$$

находилась в области [a; b], которая разбивалась на E равных конечных элементов заданного типа.

Функции формы эрмитовых конечных элементов [2; 3] являются полиномами, коэффициенты которых обеспечивают выполнение непрерывности функции и ее первых производных до порядка (D-1) в узлах. В одномерном случае при выборе U узлов на каждом элементе это означает, что искомую функцию можно представить в виде суммы

$$\psi_{(e)}(x) = \sum_{k=0}^{U-1} \sum_{\alpha=0}^{D-1} \psi_k^{(\alpha)} N_{D-k+\alpha}(x) = \sum_{j=0}^{U \cdot D - 1} \varphi_j N_j(x). \quad (2)$$

Производные эрмитовых базисных функций равны единице в узлах с таким же номером и равны нулю в остальных узлах

$$N_{D-k+\alpha}^{(\alpha)}(x_l) = \delta_{kl}; \quad k, l = 0..U-1; \quad \alpha = 0..D-1. \quad (3)$$

Каждая функция формы является полиномом порядка s=U·D-1, коэффициенты полиномов находятся на основании условий (3).

Для получения системы расчетных соотношений выражение для искомой волновой функции в виде суммы по всем конечным элементам

$$\psi(x) = \sum_{e=1}^E \psi_{(e)}(x) = \sum_{j=0}^n \varphi_j N_j(x) \quad (4)$$

подставим в уравнение (1). Здесь $n = E \cdot D \cdot (U - 1) + D$ – общее число неизвестных.

После выполнения стандартного для метода Галеркина умножения на весовые (они же – базисные) функции (3) и перехода к слабой формулировке метода взвешенных невязок получаем обобщенную задачу на собственные значения

$$\sum_{j=0}^n A_{i,j} \varphi_j = \varepsilon \sum_{j=0}^n C_{i,j} \varphi_j, \quad A\varphi = \varepsilon C\varphi, \quad (5)$$

где матрицы A и C вычисляются суммированием матриц по конечным элементам

$$A = \sum_{e=1}^E A^{(e)}; \quad C = \sum_{e=1}^E C^{(e)}, \quad (6)$$

$$A_{i,j}^{(e)} = \frac{\hbar^2}{2m} \int_{x_{e-1}}^{x_e} [N_i'(x)N_j'(x) + N_i(x)V(x)N_j(x)] dx; \quad C_{i,j}^{(e)} = \frac{\hbar^2}{2m} \int_{x_{e-1}}^{x_e} N_i(x)N_j(x) dx \quad (7)$$

Решение задачи (7) позволяет получить собственные значения энергии ε_n и соответствующие собственные векторы, содержащие значения волновой функции и ее производных в узлах конечных элементов.

2. Результаты численного решения одномерного уравнения Шредингера.

Рассмотрим в качестве тестовой задачи одномерное уравнение Шредингера с потенциалом гармонического осциллятора $V(x) = x^2/2$ с точными значениями $\varepsilon_k^{точн} = k + 1/2$, $k = 0, 1, 2, \dots$ в системе единиц $\hbar=1$, $m=0.5$ [1]. Значения абсолютной погрешности $|\varepsilon_k^{числен} - \varepsilon_k^{точн}|$ первых 50 вычисленных уровней для значений параметров $a=-20$, $b=20$, $h_x=0,1$ и различных U, D приведены в таблицах 1-3. В скобках указан порядок полинома s. На рисунке 1 приведен график численной и точной нормированной волновой функции гармонического осциллятора для уровня $k=50$ (область [-12;12], E=80, U=4, D=3, s=11, n=722).

Таблица 1 – Абсолютная погрешность вычисления уровней энергии гармонического осциллятора при D=2

k	$\varepsilon_k^{точн}$	U=2 (s=3)	U=3 (s=5)	U=4 (s=7)	U=5 (s=9)
0	0.5	-1.07e-010	-1.01e-012	3.09e-013	3.73e-013
5	5.5	-7.11e-008	-6.42e-012	-8.35e-014	3.82e-013
10	10.5	-8.48e-007	-2.00e-010	7.32e-013	0.00e+000
15	15.5	-3.85e-006	-1.83e-009	-1.33e-012	-4.21e-013
20	20.5	-1.14e-005	-9.06e-009	-1.17e-011	-6.61e-013
25	25.5	-2.64e-005	-3.15e-008	-5.79e-011	-2.27e-013

30	30.5	-5.25e-005	-8.72e-008	-2.24e-010	-4.33e-013
35	35.5	-9.37e-005	-2.06e-007	-7.11e-010	-3.94e-012
40	40.5	-1.54e-004	-4.34e-007	-1.95e-009	-1.07e-011
45	45.5	-2.40e-004	-8.35e-007	-4.70e-009	-3.58e-011
50	50.5	-3.55e-004	-1.50e-006	-1.26e-008	-9.88e-011

Таблица 2 – Абсолютная погрешность вычисления уровней энергии гармонического осциллятора при D=3

k	$\epsilon_k^{точн}$	U=2 (s=5)	U=3 (s=8)	U=4 (s=11)	U=5 (s=14)
0	0.5	-5.53e-013	-4.39e-013	8.58e-013	2.86e-012
5	5.5	-4.51e-013	-2.12e-012	4.15e-013	-2.44e-012
10	10.5	-7.03e-013	-4.03e-013	1.17e-012	-7.74e-012
15	15.5	-3.63e-012	-2.54e-013	-6.18e-013	-7.85e-012
20	20.5	-1.40e-011	-4.26e-014	-4.33e-013	-9.43e-012
25	25.5	-4.92e-011	-3.20e-013	-1.14e-013	-1.21e-011
30	30.5	-1.45e-010	-3.84e-013	-4.48e-013	-8.87e-012
35	35.5	-3.70e-010	4.97e-014	7.89e-013	-1.36e-011
40	40.5	-8.33e-010	-6.54e-013	-7.46e-013	-1.11e-011
45	45.5	-1.71e-009	-9.95e-014	6.04e-013	-1.50e-011
50	50.5	-3.28e-009	-2.02e-012	-1.98e-012	-1.41e-011

Таблица 3 – Абсолютная погрешность вычисления уровней энергии гармонического осциллятора при D=4

k	$\epsilon_k^{точн}$	U=2 (s=7)	U=3 (s=11)	U=4 (s=15)
0	0.5	8.68e-014	-1.67e-012	-3.87e-012
5	5.5	-1.82e-013	-1.26e-012	-1.24e-012
10	10.5	-1.21e-013	4.65e-013	-6.50e-013
15	15.5	-7.94e-013	1.36e-012	-5.77e-012
20	20.5	-4.41e-013	-2.50e-012	3.90e-012
25	25.5	-8.74e-013	9.95e-014	-7.90e-012
30	30.5	-1.56e-013	-1.07e-012	-4.36e-012
35	35.5	-1.56e-013	-3.77e-013	-8.49e-012
40	40.5	-4.90e-013	-1.51e-012	-1.34e-011
45	45.5	-1.28e-012	-5.47e-013	-1.65e-011
50	50.5	-1.58e-012	-1.61e-012	-2.36e-011

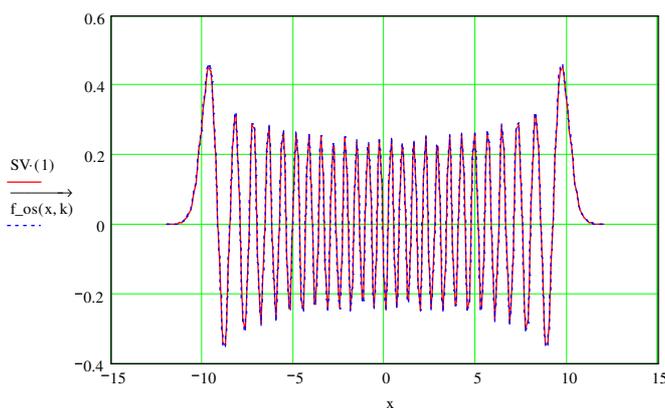


Рисунок 1 – График численной и точной нормированной волновой функции гармонического осциллятора для уровня k=50 (область [-12;12], E=80, U=4, D=3, s=11, n=722)

Результаты показывают, что использование высших порядков полиномов Эрмита позволяет не только получить более точные значения первых уровней, но и существенно расширить диапазон приемлемых численных значений для больших n.

3. Результаты численного решения радиального уравнения Шредингера.

Используем описанный вариант метода конечных элементов для решения радиального уравнения Шредингера [1] для функции $\psi(r) = rR(r)$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dr^2} + \left[V(r) + \frac{\hbar^2}{2m} \frac{l(l+1)}{r^2} \right] \psi(r) = E\psi(r), \quad \psi(0) = 0, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} \psi(r) = 0 \quad (8)$$

с учетом условия нормировки $\int_0^{\infty} |\psi(r)|^2 r^2 dr = 1$. Численное решение выполним в ограниченной области $0 \leq r \leq r_{\max}$, $\psi(r_{\max}) = 0$.

В таблице 4 приведены абсолютные погрешности вычисленных значений энергии для потенциала Вудса-Саксона, в системе единиц $\hbar = 1$, $m=0.5$ имеющего вид [4]

$$V(r) = \frac{a}{1+D} - \frac{acD}{(1+D)^2}, \quad D = e^{c(r-b)}, \quad a = -50, \quad b = 7, \quad c = \frac{5}{3}. \quad (9)$$

Результаты получены при $r_{\max}=16$, $L=0$, $E=80$, $U=3$, $D=3$, $h_e=0,2$, $n=483$. В качестве опорных использовались результаты работы [4], в которых за счет применения весьма сложного численного метода гарантирована точность 10^{-14} .

Таблица 4 – Результаты численного решения радиального уравнения Шредингера с потенциалом Вудса-Саксона

k	Значения E_k , [4]	Вычисленные E_k	Δ
0	49.45778872808258	49.45778872808402	1.43e-12
1	48.14843042000636	48.148430420006065	2.98e-13
2	46.29075395446608	46.29075395446601	7.10e-14
3	43.96831843181423	43.96831843181449	2.55e-13
4	41.23260777218022	41.23260777217989	3.34e-13
5	38.12278509672792	38.12278509672763	2.84e-13
6	34.67231320569966	34.67231320570122	1.56e-12
7	30.91224748790885	30.91224748791057	1.72e-12
8	26.87344891605987	26.87344891605888	9.91e-13
9	22.58860225769321	22.58860225769382	6.11e-13
10	18.09468828212442	18.094688282124473	5.32e-14
11	13.43686904025008	13.436869040248716	1.36e-12
12	8.67608167073655	8.67608167073653	2.13e-14
13	3.90823248120623	3.908232481207072	8.47e-13

В работе на основе ряда выполненных тестовых расчетов исследованы свойства эрмитовых конечных элементов высших порядков при решении уравнения Шредингера. Показано, что использование конечных элементов высших порядков позволяет повысить эффективность решения задач квантовой механики при улучшении точности результатов.

Разработанные программные блоки могут быть использованы для решения широкого класса задач, связанных с расчетом уровней энергии и волновых функций одномерных квантовых систем в стационарных состояниях. Использование эрмитовых конечных элементов является эффективным и экономичным вариантом численного решения уравнения Шредингера. Важным преимуществом является возможность прямого получения в ходе численного решения производной от волновой функции, без дополнительной операции численного дифференцирования. С точки зрения квантовой механики непрерывность первой производной численного решения означает непрерывность тока вероятности в каждом узле расчетной сетки. Предполагается дальнейшее развитие этого подхода в направлении более точного учета поведения волновой функции на бесконечности и оптимизации размеров конечных элементов на неравномерной сетке с целью более полного учета поведения функции в областях ее наиболее резкого изменения.

Список использованных источников

- 1 Давыдов, А. С. Квантовая механика / А. С. Давыдов. – М. : Наука, 1973. – 704 с.
- 2 Schweizer, W. Numerical Quantum Dynamics / W. Schweizer. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 267 p.
- 3 Ramdas Ram–Mohan, L. Finite Element and Boundary Element Applications in Quantum Mechanics / L. Ramdas Ram–Mohan. – Oxford University Press, 2002. – 605 p.
- 4 Ledoux, V. High order CP methods for the Numerical Solution of Schrödinger Problems / V. Ledoux, M. Van Daele, G. Vanden Berghe // ICNAAM 2005. International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics. Extended Abstracts. – P. 858–861.

МОДЕЛЬ ПЛАНАРНОЙ ГИРОТРОПНОЙ СРЕДЫ В ДИАПАЗОНЕ СВЧ

В настоящее время пристальное внимание уделяется проблеме построения искусственных моделей оптических сред в радиодиапазоне (метасреды) на основании применения проводящих элементов различной формы с размерами, меньшими длины волны электромагнитного излучения. С одной стороны, подобное моделирование позволяет на основании применения элементов макроскопических размеров создавать аналоги пленочных структур с совершенно уникальными свойствами в диапазоне СВЧ, а с другой – рассмотреть механизм тех или иных явлений оптического диапазона с отказом от феноменологического подхода, путем построения моделей среды, учитывающих дискретность ее структуры. В настоящей работе теоретически рассматривается возможный механизм гирации в среде с планарной анизотропной структурой на основе представления среды в виде совокупности слоев с анизотропией проводимости, развернутых друг относительно друга на малый постоянный угол. Подобная структура может быть описана, как последовательность идеальных поляризаторов. В оптическом диапазоне длин волн в качестве аналога может быть рассмотрен холестерический жидкий кристалл, обладающий подобной планарной структурой. В диапазоне радиочастот планарный поляризатор легко реализуется в виде решетки равноудаленных проводников с расстоянием между ними, значительно меньшим половины длины волны электромагнитного излучения.

Рассмотрим две скрещенных решетки, выполняющие соответственно роли анализатора и поляризатора. С учетом частичного прохождения и отражения от каждой структуры, а также переотражений внутри системы, можно получить выражения для эффективных коэффициентов отражения и прохождения соответственно в виде:

$$R_{\text{эф}} = -\frac{\sin^2 \alpha e^{i2\varphi}}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}} \quad (1)$$

и

$$T_{\text{эф}} = -\frac{\cos^2 \alpha e^{i2\varphi} (1 - e^{i2\varphi})}{1 - \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}, \quad (2)$$

где α – угол между поляризаторами, φ – набег фазы при прохождении волны в пространстве между поляризаторами. Данный параметр определяется соотношением между геометрическими размерами системы и длиной волны:

$$\varphi = 2\pi \frac{l}{\lambda}$$

Здесь l – расстояние между поляризаторами, λ – длина волны. Зависимость расчетных коэффициентов от параметров не столь очевидна, потому обратимся к графическому представлению (рисунок 1).

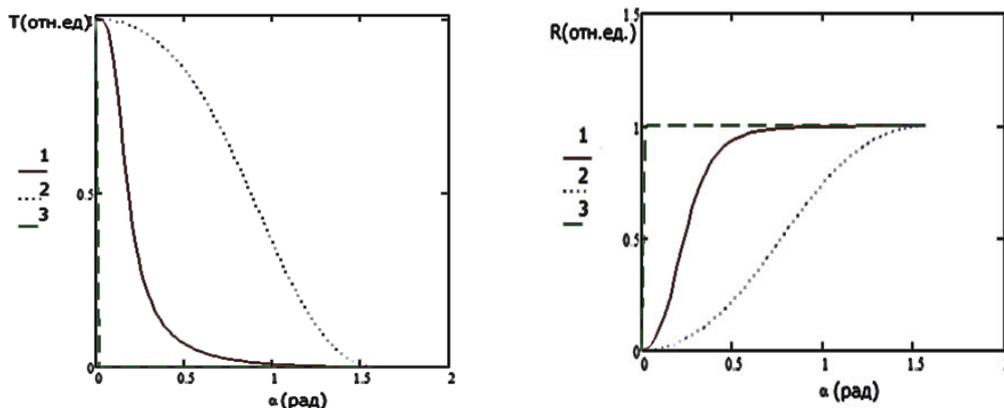


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов отражения и прохождения от α для двух решеток при φ , равном 0,01 (кривая 1); $\pi/5$ (кривая 2); π (кривая 3).

Из формул (1) и (2) следует, что при одновременном обращении в ноль α и φ коэффициент отражения равен нулю, а коэффициент прохождения – единице. Однако при сколь угодно малом,

ненулевом относительном развороте совмещенных поляризаторов коэффициент передачи обращается в ноль, а коэффициент отражения становится равным единице (кривая 3). Причина такого поведения отражения и прохождения волны понятна, если рассмотреть идеальный поляризатор, как совокупность проводящих элементов, расположенных на бесконечно малом расстоянии друг от друга. Наложение двух таких структур при параллельном расположении проводящих элементов не изменяет характера взаимодействия электромагнитной волны с данной структурой, а при развороте на сколь угодно малый угол образуется ячеистая структура с бесконечно малым размером ячеек, по своим отражающим свойствам идентичная сплошной среде. При этом утверждение остается справедливым для любого угла разворота поляризаторов.

При увеличении расстояния между решетками зависимость становится более гладкой, и коэффициент прохождения обращается в ноль только при скрещенных поляризаторе и анализаторе, однако и в этом случае зависимость остается отличной от косинусоидальной. На рисунке 2 представлена аналогичная зависимость, как функция набега фаз. Крайнему значению соответствует разность хода в половину длины волны. При продольном размере системы, кратном половине длины волны, прохождение отсутствует при любом угле разворота поляризаторов, так как обе отраженные волны (от переднего и заднего поляризаторов) находятся в фазе. Если разность хода составляет четверть длины волны, то отраженные волны находятся в противофазе – образуется аналог четвертьволновой пластинки оптического диапазона. Это соответствует минимуму отражения и максимуму пропускания.

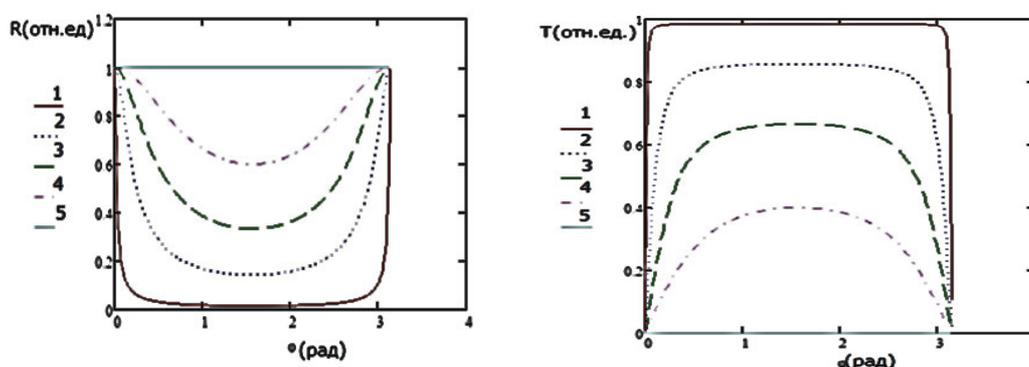


Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов отражения и прохождения от φ для двух решеток $\alpha = 10^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ на кривых 1, 2, 3, 4, и 5 соответственно

При полностью скрещенных решетках, как и следовало ожидать, прохождение волны отсутствует, и коэффициент отражения равен единице.

Для того, чтобы получить элементарную ячейку, способную передать излучение в ортогональную поляризацию, добавим между скрещенными поляризаторами еще один, с промежуточной ориентацией. При этом учтем, что реальным системам присуща диссипация энергии, что можно также учесть введением коэффициента отражения γ , отличного от единицы. Тогда для элемента, образованного парой поляризаторов, можно ввести эффективные коэффициенты передачи и отражения в виде:

$$R_{\text{эф}} = -\frac{\gamma \sin^2 \alpha e^{i2\varphi}}{1 - \gamma \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}, \quad (3)$$

$$T_{\text{эф}} = -\frac{\cos^2 \alpha e^{i2\varphi} (1 - \gamma e^{i2\varphi})}{1 - \gamma \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}. \quad (4)$$

Рассчитанные в подобном приближении частотные характеристики структуры из трех поляризаторов сообщим поворотом на девяносто градусов и общей длиной 1 и 3 сантиметра представлены ниже (рисунок 3). Расчет проводился при $\gamma = 0,9$ в диапазоне до 20 ГГц. Характер зависимостей для обоих случаев принципиальных различий не имеет. Наблюдается значительное снижение как коэффициента отражения, так и коэффициента передачи на частотах, соответствующих резонансным, когда в пространство между поляризаторами укладывается целое число полуволн – т.е. на частоте, кратной 5 ГГц, что соответствует длине волны в три сантиметра, и на частоте, кратной 15 ГГц, что соответствует длине волны в один сантиметр. Значение

фазы рассчитывалось в соответствии с выражением $\varphi = \frac{2\pi f d}{c}$.

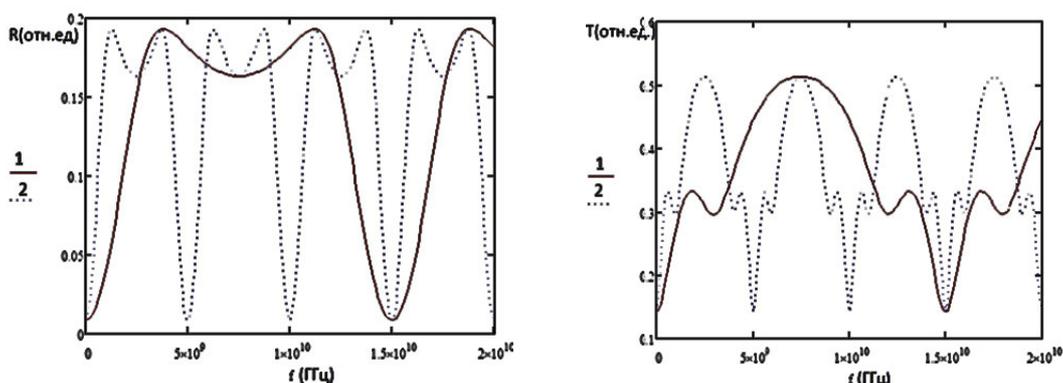


Рисунок 3 – Частотная зависимость для трех решеток при $\alpha = 45^\circ$ для $d = 3$ см (кривая 1) и $d = 1$ см (кривая 2)

При наличии поглощения характер пропускания и отражения в целом не меняется. На рисунке 4 представлена зависимость коэффициентов передачи и отражения от фазового набега при различных значениях коэффициента отражения. Характер является резонансным, однако с увеличением потерь особенности сглаживаются. При этом, если для коэффициента отражения повышение потерь приводит к монотонному снижению его значения, особенно в области экстремумов, то коэффициент пропускания, снижаясь в области максимумов, наоборот, возрастает в области минимумов. Коэффициент передачи в целом снижается значительно меньше, чем коэффициент отражения, что обусловлено формированием коэффициента отражения исключительно в результате переотражений, в то время как в коэффициент передачи существенный вклад вносит прямая передача энергии.

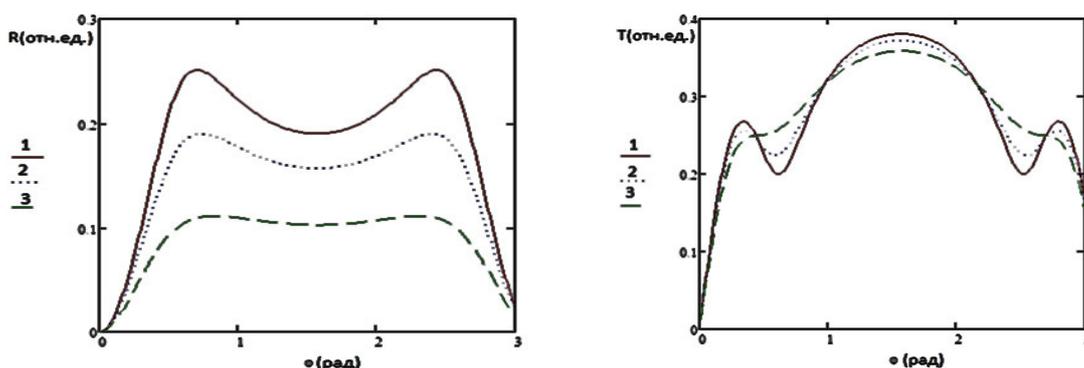


Рисунок 4 – Зависимость коэффициентов отражения и пропускания трехэлементной структуры от фазовой задержки при наличии диссипации. $\gamma = 0,999$ (кривая 1); $0,8$ (кривая 2); $0,5$ (кривая 3)

Для произвольного числа поляризующих элементов были получены рекуррентные соотношения, позволившие проанализировать поведение системы поляризаторов при неограниченном увеличении их числа. Общий угол поворота выбирался равным 90 градусам из соображений целесообразности.

$$R_{n+1} = \frac{T_n^2 \gamma \sin^2 \alpha e^{i2\varphi}}{1 - \gamma R_n \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}, \quad (5)$$

$$T_{n+1} = \frac{T_n \cos^2 \alpha e^{i2\varphi} (1 - \gamma R_n e^{i2\varphi})}{1 - \gamma R_n \cos^2 \alpha e^{i2\varphi}}. \quad (6)$$

Результаты моделирования представлены на рисунке 5. Общая толщина при расчете полагалась равной половине длины волны. При увеличении числа элементов структуры коэффициент отражения стремится к нулю, а коэффициент передачи – к единице. Обращает на себя внимание то, что коэффициент передачи сходится к единице при любом значении коэффициента отражения. Парадоксальность, на первый взгляд, такого поведения, объясняется просто. При стремлении к нулю угла разворота поляризаторов с одновременным неограниченным увеличением их числа возрастает доля излучения, прошедшего без отражений. Действительно, $\lim_{n \rightarrow \infty} (\cos \frac{\alpha}{n})^n = 1$ при любом α , отличном от нуля. Кривые, описывающие зависимость

коэффициента передачи быстрее сходятся к единице ввиду более быстрого уменьшения коэффициента отражения.

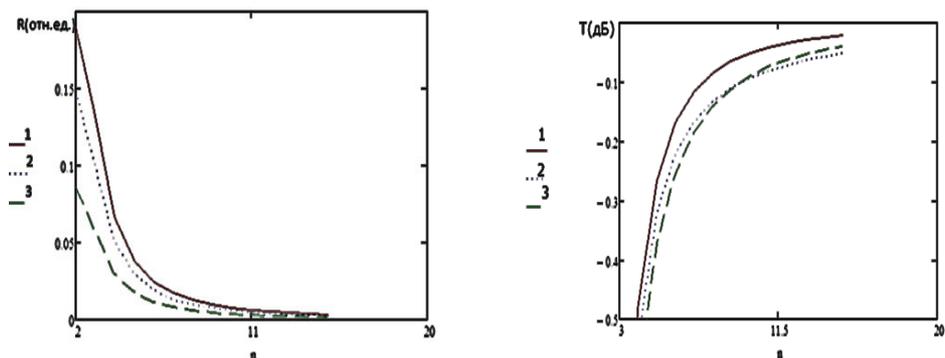


Рисунок 5 – Зависимость коэффициентов отражения и пропускания многоэлементной структуры от числа элементов. $\gamma=0,999$ (кривая 1); 0,8 (кривая 2); 0,5 (кривая 3)

Таким образом, оказывается возможным создание искусственной гиротропной анизотропной среды в радиодиапазоне на основе планарных структур с выраженной анизотропией проводимости.

Т. П. Желонкина, С. А. Лукашевич
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ИЗЛОЖЕНИЕ ТЕМЫ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В КОНТАКТАХ» В КУРСЕ ФИЗИКИ

В настоящее время в физике твердого тела и полупроводников теория контактных явлений базируется на последовательном применении квантовой теории [1; 2]. В курсах общей физики [3; 4; 5] и даже курсах физики твердого тела [6; 7], однако, до настоящего времени применяется упрощенный подход, основанный на использовании классических представлений об электронном газе, о потенциальной и кинетической энергии и электрона наряду с квантовым понятием об энергии Ферми. Это приводит к непоследовательному противоречивому толкованию контактных явлений, что не соответствует современным научным представлениям и затрудняет их понимание студентами. В данной статье предлагаем метод изложения контактных явлений, основанный на законах термодинамики и квантовой физики твердого тела, который отличается простотой и доступностью для понимания студентами.

1. *Контактная разность потенциалов между металлами.* При соприкосновении двух различных металлов между ними возникает разность потенциалов, называемая *контактной разностью потенциалов*. Основным исходным положением является условие термодинамического равновесия двух систем, способных обмениваться частицами. В частности, это условие выражается в равенстве электрохимических потенциалов двух систем, которые могут быть представлены как термодинамический потенциал, отнесенный к одной частице [8]:

$$\mu = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial N} \right)_{P, T}$$

Тогда очевидно, что для электронов в твердых телах в случае термодинамического равновесия электрохимический потенциал будет равен энергии Ферми $\mu = \varepsilon_F$ [1].

Здесь необходимо отметить, что при построении энергетических диаграмм для электронов в твердых телах, находящихся в контакте, необходимо применять единую шкалу энергий, единое начало отсчета. Естественной шкалой энергий, применяемой как в случае невзаимодействующих, так и в случае контактирующих металлов, является энергетическая шкала с началом отсчета $\varepsilon = 0$ на бесконечности. Таким образом, условием равновесия систем электронов двух контактирующих металлов будет равенство их электрохимических потенциалов, отсчитанных относительно общего начала. Выравнивание энергий Ферми имеющихся в контакте металлов осуществляется за счет преимущественного перехода электронов из металла с меньшей работой выхода в металл с большей работой выхода, вследствие чего устанавливается контактная

разность потенциалов, определяемая разностью работ выхода электронов из находящихся в контакте металлов $e\varphi_k = A_1 - A_2$. В условиях равновесия металл I будет во всех точках иметь электростатический потенциал φ_1 , а металл II – электростатический потенциал φ_2 . Между металлами I и II при термодинамическом равновесии установится контактная разность потенциалов $e\varphi_k = A_1 - A_2$, реально измеримая, определяющая контактное поле непосредственно в области контакта и в окружающем пространстве. Эта разность потенциалов будет единой макроскопической величиной, характеризующей условие равновесия двух электронных систем металлов, находящихся в контакте. Если шкалу энергий для металла I условиться считать неизменной, то при образовании контакта энергия любого электронного состояния металла II изменится на одну и ту же величину $e\varphi_k = A_1 - A_2$.

Вводимое во многих учебных пособиях по курсу общей физики и физики твердого тела [3; 4; 6; 7] понятие внутренней контактной разности потенциалов основано на применении классических представлений о потенциальной и кинетической энергии электронов внутри металла и не имеет физического смысла, так как не определяет реально измеримых на опыте величин: контактного поля и контактной разности потенциалов. Не имеет оснований также деление контактной разности потенциалов на внешнюю и внутреннюю. Эти выводы подтверждаются теорией и экспериментальными данными по исследованию полупроводниковых приборов, основанных на использовании р-п-переходов, гетеропереходов и переходов металл – полупроводник [2; 9; 10].

2. *Контактная разность потенциалов на р-п-переходе.* Рассмотрим энергетическую диаграмму контакта полупроводников с одинаковой шириной запрещенной зоны р- и п-типов, которая изображена на рисунке 1.

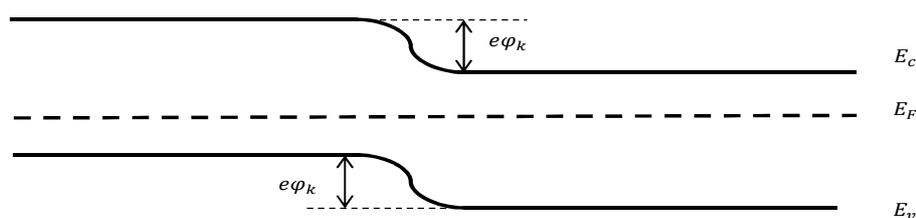


Рисунок 1 – Энергетическая диаграмма р-п-перехода

В этом случае, очевидно, контактная разность потенциалов будет равна разности энергетического положения краёв валентной зоны или зоны проводимости р- и п-типов. Так как для носителей заряда в невырожденных полупроводниках применима статистика Больцмана, то контактная разность потенциалов будет определять соотношение между концентрациями носителей тока каждого знака в р- и п-областях:

$$n_p = n_n e^{-\frac{e\varphi_k}{KT}}, \quad p_p = p_n e^{\frac{e\varphi_k}{KT}},$$

т. е. для контактной разности потенциалов $e\varphi_k = A_1 - A_2$ окажется справедливым выражение

для так называемой «внутренней» разности потенциалов [3; 5; 7] $e\varphi_k = KT \ln \frac{n_2}{n_1}$.

3. *Контактная разность потенциалов на гетеропереходе.* Из рассмотрения р-п-перехода может сложиться впечатление, что разность потенциалов, возникающая при контакте двух полупроводников, может быть определена двумя способами: как разность работ выхода электронов из двух контактирующих частей полупроводника или как энергетическое смещение положения краёв зон на контакте. Это, однако, справедливо только для контакта полупроводников с одинаковой шириной запрещенной зоны, т. е. физически одного исходного кристаллического вещества, легированного примесями различного типа. Такой подход, в частности, совершенно не применим для гетеропереходов.

На рисунке 2 приведена энергетическая схема гетероперехода – контакта полупроводников р- и п-типов, отличающихся шириной запрещенной зоны [2]. И в данном случае контактная разность потенциалов определяется как разность работ выхода электронов из соответствующих

полупроводников. Но она не равна энергетическому различию положения краев зон, а определяется суммой изгибов краев зон в приконтактной области $e\varphi_k = e\varphi_1 + e\varphi_2$ [2].

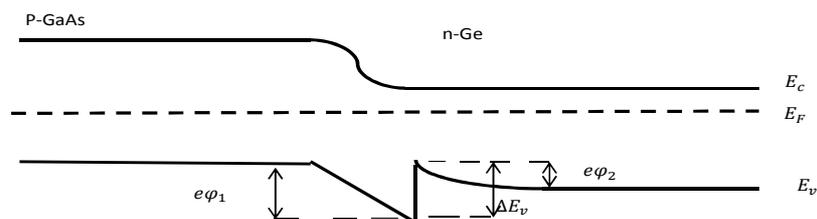


Рисунок 2 – Энергетическая диаграмма р-п-гетероперехода

4. *Контакт металл – полупроводник.* При определении контактной разности потенциалов в системе металл – полупроводник следует также руководствоваться общими принципами термодинамического равновесия двух систем, обменивающимися частицами. Так как контактное поле вследствие существенного различия концентрацией носителей заряда в металле и полупроводнике практически полностью локализовано в приконтактной области полупроводника, то изгиб зон полупроводника в приконтактной области будет равен контактной разности потенциалов. Контактная разность потенциалов в этом случае будет определять не соотношение концентраций электронов в объеме полупроводника и металла, а соотношение концентраций носителей заряда в объеме полупроводника и приконтактной области полупроводника, так что классическое соотношение $e\varphi_k = KT \ln \frac{n_2}{n_1}$ никоим образом не определяет контактной разности потенциалов металлов – полупроводник.

Таким образом, из рассмотренных примеров вытекают следующие выводы.

1. Основным фактором, определяющим контактную разность потенциалов двух находящихся в равновесии электронных систем, является равенство электрохимических потенциалов, т. е. общие условия термодинамического равновесия.

2. Для систем электронов в твердых телах условием равновесия является равенство энергий Ферми, отсчитанных в единой энергетической шкале (например, с началом отсчета в бесконечности).

3. Контактная разность потенциалов определяется разностью термодинамических работ выхода электрона из данного твердого тела вакуум.

4. Эта контактная разность потенциалов является единой электрической характеристикой двух систем и ее деление на внешнюю и внутреннюю не имеет физического смысла.

5. Классическое выражение для так называемой «внутренней» разности потенциалов может оказаться справедливым для контактной разности потенциалов в частном случае р-п-перехода невырожденных полупроводников с одинаковой шириной запрещенной зоны.

Список использованных источников

- 1 Бонч-Бруевич, В. А. Физика полупроводников / В. А. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников. – М. : Наука, 1977. – 375 с.
- 2 Милте, А. Гетеропереходы и переходы металл – полупроводник / А. Милте, Д. Фойхт. – М. : Наука, 1975. – 272 с.
- 3 Калашников, С. Г. Электричество / С. Г. Калашников. – М. : Наука, 1985. – 668 с.
- 4 Сивухин, Д. В. Общий курс физики / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1983. – Том 3. Электричество. – 677 с.
- 5 Телеснин, Р. В. Курс физики. Электричество / Р. В. Телеснин, В. Ф. Яковлев. – М. : Просвещение, 1970. – 488 с.
- 6 Шалимова, К. В. Физика полупроводников / К. В. Шалимова. – М. : Наука, 1985. – 378 с.
- 7 Елифанов, Г. И. Физика твердого тела / Г. И. Елифанов. – М. : Наука, 1977. – 479 с.
- 8 Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики / А. И. Ансельм. – М. : Наука, 1973. – 487 с.
- 9 Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин, А. Д. Шинков. – М. : Наука, 1981. – 273 с.
- 10 Зи, С. М. Физика полупроводниковых приборов / С. И. Зи. – М. : Наука, 1984. – 357 с.

Д. Л. Коваленко, В. Е. Гайшун, Д. Л. Горбачев, В. В. Васькевич
 г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины
 D. Luca
 Romania, Alexandru Ioan Cuza University

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ SiO_2 И TiO_2 ПОКРЫТИЙ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ ИЗ МИШЕНЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

В работе представлен золь-гель метод формирования мишеней, для последующего синтеза из них функциональных покрытий вакуумно-плазменными методами. Методика заключается в получении ксерогелей (мишеней) на основе органических соединений Ti и Si. Ксерогель из полимерного золя образуется в процессе полимеризации мономеров и полимеров, находящихся в золе. Для возможности использования получаемых ксерогелей в качестве мишеней при формировании покрытий электронно-лучевым диспергированием необходимо избавиться от растворителей, которые находятся внутри ксерогелей после сушки. Для этого после высушивания ксерогели подвергают обжигу, в процессе которого формируется керамический материал.

Основные свойства ксерогелей на основе органических соединений Ti, и Si представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства получаемых ксерогелей

Основа ксерогеля	Время сушки, сут.	Температура сушки, °С	Объемная усадка, %	Удельная поверхность, м ² /г
Тетраэтилортосиликат	5–10	40–200	25–30	250–500
Метилтриэтоксисилан	5–10	40–200	40–50	350–600
Бутоксид титана	90–120	20–50	300–350	100–200
Этоксид титана	90–120	20–50	300–350	150–200

В работе в качестве испаряемых веществ при электронно-лучевом формировании покрытий использовались мишени TiO_2 и SiO_2 , сформированные золь-гель методом, а также для сравнения характеристик получаемых покрытий использовались производственные мишени SiO_2 и TiO_2 . В качестве подложек для покрытий использовались кремний, кварцевое стекло, и стекла марок ВК7, КВ и КУ.

Покрытия формировались с помощью установки вакуумного напыления ВУ-1А (ОАО «Сморгонский завод оптического станкостроения», Республика Беларусь), оснащенной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и системой контроля оптических характеристик модели Iris 0211 (ООО «Эссент Оптик», Республика Беларусь). Источник электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 специально предназначен для испарения в вакууме тугоплавких окислов, полупроводниковых материалов и металлов с максимальным ускоряющим напряжением 12 кВ и максимальным током нагрузки 500 мА. Технологические параметры работы электронно-лучевого испарителя: напряжение анода 6–12 кВ, ток луча 0,1–0,2 А; среднее время осаждения 20 мин, расстояние от источника испарения до подложки составляло 40 см. Значения расчетной толщины получены в программе для расчета покрытий Мульти Спектр ООО «Эссент Оптик», которая шла в комплекте с СОК Iris. Для контроля оптических параметров провели измерения спектров отражения покрытий, на кремниевых подложках в диапазоне длин волн от 200 до 2000 нм, с помощью спектрофотометра PHOTON RT. Показатели преломления и толщины слоев аналитически рассчитывались с помощью программы Photon Soft поставляемой в комплекте со спектрофотометром. В таблице 2 представлены табличные и измеренные значения показателя преломления и толщины покрытий.

Таблица 2 – Табличные и измеренные значения показателя преломления и толщины покрытий

Тип покрытия	Табличный показатель преломления на длине волны 550 нм	Расчетная толщина покрытия, нм	Измеренное среднее значение показателя преломления	Измеренная толщина покрытия, нм
SiO_2	1,46	298,2	1,50	319,7
SiO_2 (золь-гель)	–	–	1,45	335,8
TiO_2	2,04	214,2	1,67	270,7
TiO_2 (золь-гель)	–	–	1,88	176,7

На рисунке 1 представлены аналитически рассчитанные, на основе спектров отражения, показатели преломления покрытий для различных длин волн. На рисунке пунктирной линией показана зависимость табличных значений показателя преломления для покрытий. Некоторым отличием от табличного значения показателя преломления обладает покрытие TiO_2 , однако данный эффект наблюдается преимущественно в ультрафиолетовой области спектра.

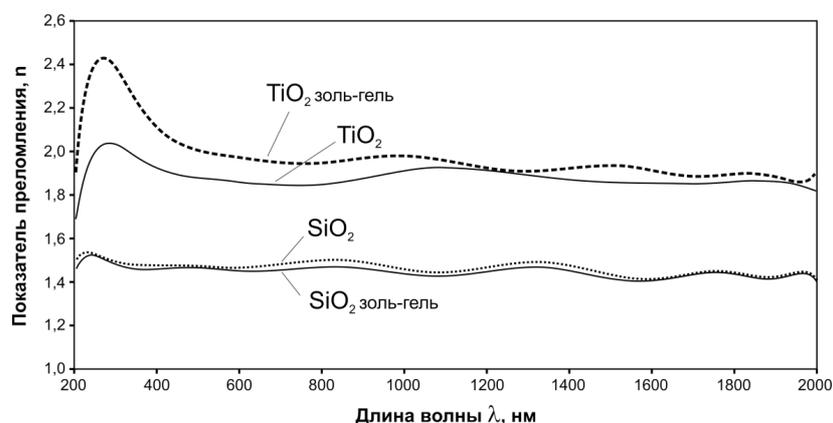


Рисунок 1 – Зависимость показателя преломления полученных покрытий от длины волны

Численные результаты исследования топологии покрытий методом атомно-силовой микроскопии представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Топологические параметры поверхности покрытий

Тип покрытия	Среднее значение по высоте, Z нм	Суб-шероховатость, R _{анм}	Средний диаметр зерен у основания, D _{нм}	Среднее соотношение высоты зерна к его диаметру, h/D
SiO_2	5,79	0,97	50	0,040
SiO_2 (золь-гель)	5,37	1,21	95	0,015
TiO_2	3,76	0,79	30	0,083
TiO_2 (золь-гель)	2,86	0,64	75	0,010

Все покрытия, в той или иной степени имеют зерненую структуру со средним диаметром зерен у основания от 20 до 95 нм. Наибольшими значениями диаметра зерен обладают покрытия сформированные из мишеней изготовленных золь-гель методом, однако зерна данных покрытий имеют самые малые значения соотношения высоты зерна к его диаметру $h_{\text{зерна}}/D_{\text{зерна}} = 0,010 - 0,015$, что говорит о формировании довольно «плоских» зерен. Покрытия TiO_2 обладают наибольшими значениями соотношения высоты зерна к его диаметру $h_{\text{зерна}}/D_{\text{зерна}} = 0,083$ (рисунок 3). При сравнении покрытий из стандартных и золь-гель мишеней, как видно из таблицы, наибольшей шероховатостью характеризуется покрытие SiO_2 (золь-гель) (рисунок 2).

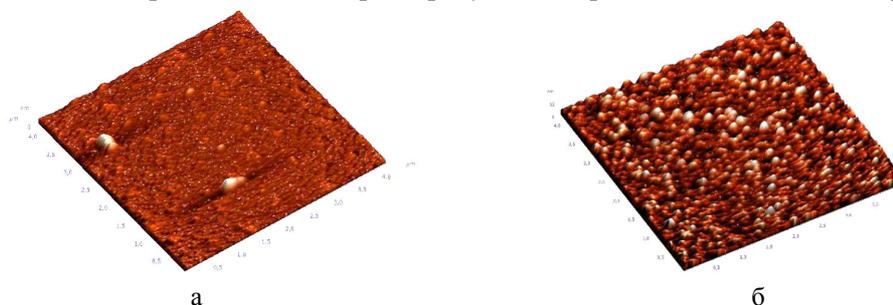


Рисунок 2 – Изображение поверхности покрытия SiO_2 полученное методом атомно-силовой микроскопии: а – из стандартной мишени; б – из мишени, полученной золь-гель методом

На снимках поверхности, представленных на рисунке 2, видно, что покрытие SiO_2 (золь-гель) сформировано из относительно крупных зерен со средним размером около 95 нм. Покрытие синтезированное из стандартной мишени характеризуется слабовыраженной зерновой структурой со средним размером зерна около 50 нм, однако при меньшем приближении на поверхности заметно присутствие больших фрагментов размером от 200 до 350 нм, когда покрытие

SiO₂ (золь-гель) при меньшем увеличении состоит из зерен одинакового размера и формы. Данное различие видимо связано с особенностями электронно-лучевого испарения монолитной SiO₂ мишени и подготовленной золь-гель методом.

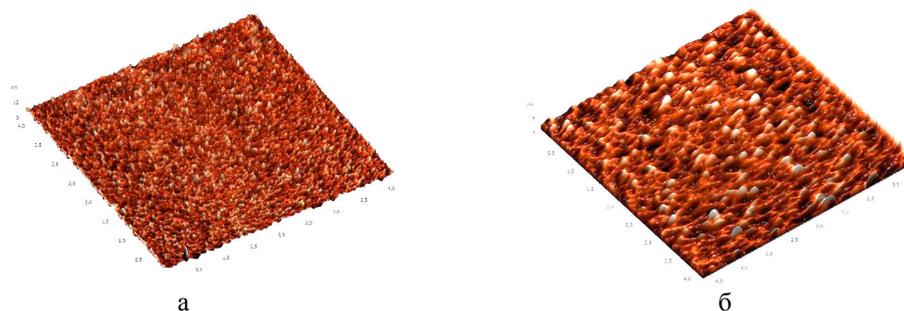


Рисунок 3 – Изображение поверхности покрытия TiO₂ полученное методом атомно-силовой микроскопии: а – из стандартной мишени; б – из мишени, полученной золь-гель методом

На снимках АСМ покрытий на основе TiO₂ (рисунок 3) в целом можно видеть картину подобную для покрытий SiO₂, т. е. покрытие TiO₂ (золь-гель) характеризуется большим размером зерен, около 75 нм, тогда как покрытие TiO₂, сформированное из стандартной мишени, имеет размер зерен около 30 нм. Однако, различие характера морфологии состоит в том, что зерна покрытия TiO₂, сформированного из стандартной мишени, имеют относительно большую высоту, т. е. зерненная структура покрытия более выражена.

Список использованных источников

1 Гайшун, В. Е. Формирование золь-гель методом просветляющих двухслойных TiO₂-SiO₂ покрытий / В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, В. В. Васкевич, Н. А. Алешкевич, А. М. Гришкевич // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2012. – № 3. – С. 63–68.

2 Vacuum-plasma synthesis of functional coatings using targets obtained by the sol-gel method / A. V. Rogachev, D. L. Kovalenko, D. Luca, V. Gaishun, D. L. Gorbachev, V. V. Vaskevich // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol. 1117. – P. 156–159.

Е. А. Кулеш, Н. Н. Федосенко, Д. Г. Пилипцов, А. С. Руденков
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ ТИПА АПП/Cu/АПП И Cu/АПП/Cu

Алмазоподобные углеродные покрытия (АПП) привлекают большое внимание исследователей во всем мире благодаря своим уникальным свойствам: высокая микротвердость, оптическая прозрачность и высокая теплопроводность, низкие значения коэффициента трения и высокая износостойкость [1]. Однако наряду с высокими физико-механическими свойствами АПП имеют ряд недостатков, ограничивающие их применение: низкая температурная стабильность, высокий уровень остаточных напряжений. Актуальной является задача в управлении оптическими свойствами АПП, при этом незначительно влияя на механические свойства.

Формирование многослойных систем, состоящих из чередующихся слоев металла и углеродного слоя является наиболее подходящим технологическим решением с целью управления оптическими свойствами. Основное внимание исследовательских работ посвящено изучению свойств двуслойных систем Me/АПП или АПП/Me, для формирования которых используются металлы из группы Ti, Zr, Cr, W, Va, и практически отсутствуют сведения о системах типа Me/АПП/Me или АПП/Me/АПП. Учитывая низкую химическую активность по отношению к углероду и высокую электрическую проводимость меди, а также другие ее физические свойства, можно ожидать, что введение слоев меди в углеродное покрытие обусловит изменение свойств, проявление структурных и фазовых эффектов. Как показали предыдущие исследования [2; 3], наличие слоя меди и его расположение относительно слоя углерода оказывает влияние на свойства покрытия. В данной работе представлены результаты исследования влияния расположения слоя меди в покрытии со структурой АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu на оптические свойства покрытия и фазовый состав.

Медь-углеродные покрытия осаждали с помощью установки вакуумного напыления УВ-НИПА-1-001, содержащей: газовый ионный источник типа «Радикал»; источник плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим катодом; магнетронную распылительную систему постоянного тока (МРС), источник импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита, используемого для нанесения углеродных покрытий. В качестве материала мишени для МРС использовали медь (99,95 %). Формирование металлического слоя происходило при следующих параметрах: давление рабочего газа (аргона) – 2×10^{-2} Па, напряжение разряда – 400 В, ток разряда – 500 мА. АПП формировали из плазмы импульсного разряда с частотой следования импульсов 20 Гц и импульсным напряжением 350 В. В качестве подложек использовали монокристалл кремния (111) и кварц марки КУ. В целях удаления оксидного слоя с поверхности подложки проводили её травление ионами аргона в течение 15 минут. Энергия ионов Ar^+ и плотность ионного тока были равны 4 кэВ и 25 A/m^2 соответственно.

Толщину покрытия определяли с помощью профилометра Ambios Technology XP-2. Толщина рассматриваемых в работе слоистых покрытий не превышала 200 нм (при формировании Cu/АПП/Cu: толщина медного слоя – 10 нм, толщина слоя АПП – 160 нм и при формировании АПП/Cu/АПП: толщина медного слоя – 20 нм, толщина слоя АПП – 80 нм). Структуру связей АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu покрытий оценивали методом спектроскопии комбинационного рассеивания (КР-микроскоп Senterra (Bruker)). КР-спектры углеродных покрытий со структурой АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu, изображены на рисунке 1.

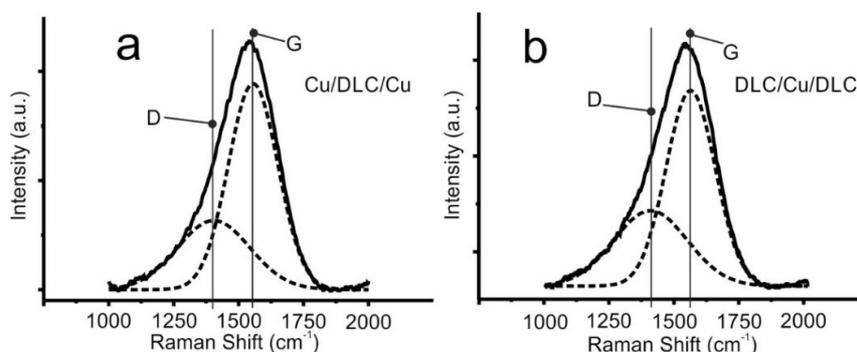


Рисунок 1 – КР-спектры медь-углеродных покрытий: а) Cu/АПП/Cu, б) АПП/Cu/АПП

Установлено, что для покрытия Cu/АПП/Cu максимум положения G-пика в КР-спектре слегка смещается в направлении больших волновых чисел. Это в значительной степени обусловлено увеличением размеров и количества кластеров негексагональных групп, в которых атомы находятся в состоянии sp^2 -гибридизации, что характерно при графитизации. Для покрытия АПП/Cu/АПП характерно уменьшение ширины G-пика и увеличение отношения I_D/I_G , что является признаком того, что эффект разупорядочения, инициированный наличием слоя Cu, превышает эффект упорядочения, обусловленный температурными и энергетическими аспектами формирования углеродного слоя. Можно сделать вывод, что при введении функционального слоя Cu в углеродное покрытие АПП/Cu/АПП изменяется структура связей и эффективно предотвращается дальнейшая его графитизация, в сравнении с покрытием Cu/АПП/Cu. Из результатов анализа КР-спектров следует, что для Cu/АПП/Cu покрытия происходит увеличение доли атомов углерода sp^2 -гибридизации, и степени разупорядочения Csp^2 -кластеров АПП.

Анализ данных морфологии покрытий, полученных методом атомно-силовой микроскопии (NT-MDT, Solver-PRO P47) в режимах измерения топографии и фазового контраста показал, что размер частиц на поверхности покрытия не превышает 80 нм для АПП/Cu/АПП и 35 нм для Cu/АПП/Cu. Изучение морфологии покрытий с помощью оптического микроскопа при увеличении $800\times$ показало, что на поверхности АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu покрытий имеется некоторое количество частиц больших размеров. Анализ распределения размеров частиц АПП/Cu/АПП покрытия показывает, что при достаточно жестком импульсном режиме испарения присутствует значительное количество частиц большого размера, находящихся на поверхности покрытия. Крупные частицы состоят из атомов углерода, находящихся в состоянии sp^2 -гибридизации, или представляют агломерации металлических частиц.

Регистрацию оптического спектра пропускания покрытий в УФ-Вид области проводили с использованием спектрофотометра Cary-50 (Varian). Установлено, что прозрачность АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu покрытий в области (200÷1100) нм возрастает при увеличении длины волны,

и достигает максимального значения ~ 78 % в диапазоне 750–850 нм). Для покрытия Cu/АПП/Cu характерна более высокая прозрачность в данном диапазоне, что связано с более низким поглощением поверхностного слоя меди по сравнению с АПП (рисунок 2).

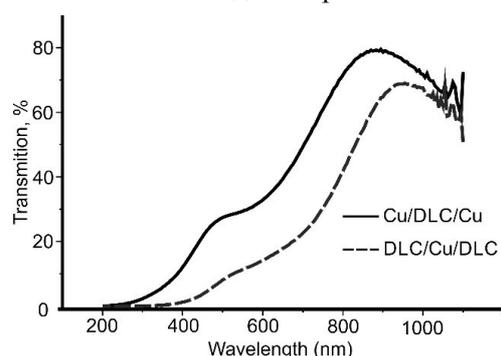


Рисунок 2 – УФ-Вид спектры пропускания покрытий Cu/АПП/Cu и АПП/Cu/АПП

Оптическая ширина запрещенной зоны (E_g) АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu покрытий была определена из соотношения Тауца. При изменении структуры покрытия с АПП/Cu/АПП на Cu/АПП/Cu значение E_g изменяется от 2,91 эВ до 4,32 эВ (рисунок 3). Величина E_g для АПП, в соответствии с кластерной моделью, зависит от размеров углеродных sp^2 кластеров и увеличивается при увеличении фракции sp^2 -состояний, образующих их [4]. Именно поэтому E_g для покрытий на основе аморфного углерода нельзя считать истинным энергетическим параметром, как для монокристаллических структур.

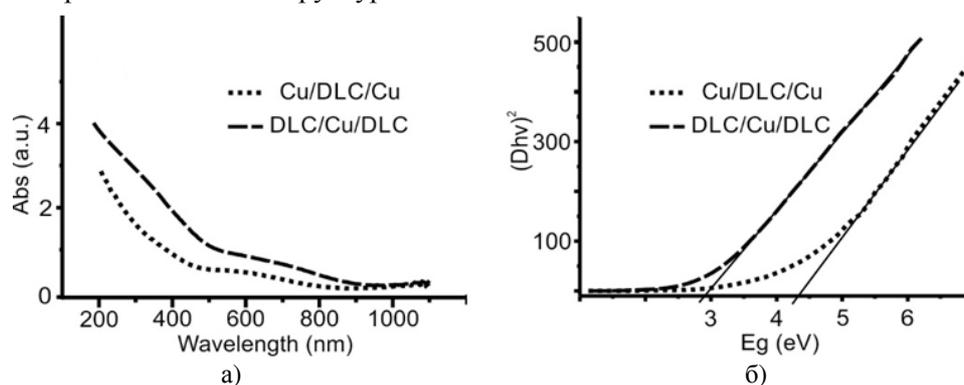


Рисунок 3 – УФ-Вид спектры пропускания АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu

В работе [5] установлено, что увеличение E_g при увеличении доли sp^2 -связей, и большой диапазон размеров sp^2 -кластеров обуславливают формирование широкой полосы поглощения, что характерно для АПП/Cu/АПП покрытий (рисунок 3, а). Таким образом, возрастание E_g характерное для Cu/АПП/Cu является признаком изменения их оптических свойств вследствие образования разориентированной структуры и увеличения sp^2 -связей.

Таким образом, установлено влияние взаимного расположения слоев меди и углерода в покрытии на фазовый состав, оптические свойства и оптическую ширину запрещенной зоны.

Список использованных источников

- 1 Zhang, H. S. Surface modification of magnetic recording media by filtered cathodic vacuum arc / H. S. Zhang, K. Komvopoulos // Journal of Applied Physics. – 2009. – Vol. 106, № 9. – Article ID 093504.
- 2 Zhou, B. Synthesis of diamond-like carbon film on copper and titanium interlayer by vacuum cathode arc evaporation / B. Zhou, X. Jiang, Z. Liu, A. V. Rogachev, R. Shen, D. G. Piliptsov // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 189. – P. 167–171.
- 3 Zhou, B. Effects of copper interlayer and annealing on structure and mechanical properties of diamond-like carbon films by cathode arc evaporation / B. Zhou, X. Jiang, A. V. Rogachev, R. Shen // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 629 – P. 25–31.
- 4 Abbas, G. A. Hydrogen softening and optical transparency in Si-incorporated hydrogenated amorphous carbon films / G. A. Abbas, P. Papakonstantinou, J. A. McLaughlin, T. D. M. Weijers-Dall, R. G. Elliman, J. Filik // Journal of Applied Physics. – 2005. – Vol. 98. – 103505-1.
- 5 Kim, Y. T. Dependence of the bonding structure of DLC thin films on the deposition conditions of PECVD method / Y. T. Kim [et al.] // Surf. Coat. Technol. – 2003. – Vol. 169–170. – P. 291–294.

А. Н. Купо, Н. Н. Федосенко, А. С. Побияха
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛАЗЕРНОГО ЭКСПОНИРОВАНИЯ ФОТОРЕЗИСТОВ

Процесс фотолитографии включает в себя большое число стадий, каждую из которых можно охарактеризовать несколькими параметрами, поэтому его оптимизация при использовании экспериментальных методов весьма неэффективна. Невозможно осуществить оптимизацию всех параметров при помощи большой серии литографических экспериментов, проведенных при переборе всех возможных значений параметров.

Проблему можно упростить, а иногда и полностью устранить, если воспользоваться методами математического моделирования и машинными экспериментами [1; 2]. Моделирование фотолитографии позволяет проводить машинные эксперименты в виртуальном окружении, что может быть значительно быстрее и дешевле, чем полномасштабные эксперименты с использованием реальных заготовок. Преимущества проведения математического моделирования фотолитографии очевидны: они не являются слишком дорогими и не требуют для своего проведения большого времени, а моделируемые ими эксперименты могут быть проведены при большем числе технологических параметров, чем используемом для экспериментальной оптимизации технологического процесса.

Компьютерное моделирование в фотолитографии. В настоящее время существуют программные продукты, которые позволяют точно моделировать процесс дифракции и иных искажений на границе раздела фотошаблон-экспонируемая подложка. На примере (рисунок 1) показан результат моделирования профиля фоторезистивной маски для структуры 0,35 мкм темный элемент/зазор и изолированного элемента 0,35 мкм.

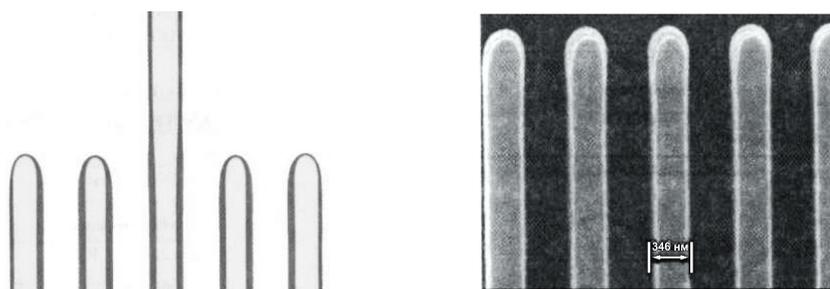


Рисунок 1 – Математическая модель структуры элемент/зазор 0,35 мкм (без оптических aberrаций объектива) и изображение полученной методом растровой электронной микроскопии

Наиболее известным вычислительным комплексом для решения вышеуказанных задач является пакет программ PROLITH [5]. В результате вычислений получаются зависимости профилей проявления от технологических параметров процесса экспонирования и проявления. Исходными параметрами для моделирования являются параметры оборудования для нанесения, экспонирования и проявления фоторезиста, тип фоторезиста, режимы обработки. Пример технического задания на моделирование техпроцесса приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример технического задания на моделирование

Формируемая структура	Темный элемент 700 нм в зазоре 400 нм
Активный слой	Si ₃ N ₄ 200 nm-Poly-SI 50 nm-SiO 20nm-Si
Тип фоторезиста	SPR 955-1,1 CM
Режимы нанесения	d=1,05±0,05 мкм, T=100 °C, 90 sec.
Экспонирование NSR2205illD	Апертура объектива NA=0,63 Апертура осветительной системы NA=0,38
Проявление	Проявитель Megaposit CD-26A 60 сек
Задачи моделирования:	1. Оптимизировать температуру постэкспозиционной сушки (ПЭС) 2. Оптимизировать толщину пленки фоторезиста

На рисунке 2 представлен результат компьютерного моделирования.

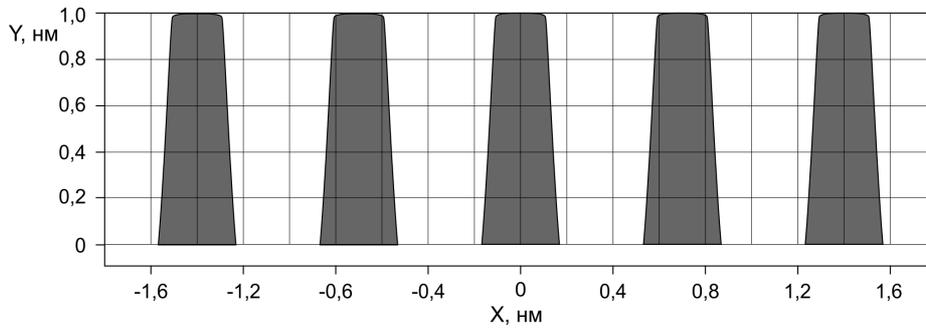


Рисунок 2 – Изображение профиля фоторезистивной маски структуры элемент/зазор 0,35 мкм, полученное в результате компьютерного моделирования

Математическое моделирование фотохимических процессов. Моделирование стадии фотохимической реакции и, особенно, стадии проявления задача нетривиальная. Для последних стадий используются достаточно примитивные модели. Одним из альтернативных подходов является разработка специальных систем математических уравнений для описания фотохимической кинетики, допускающих точные решения [3; 4].

Пионерские работы в этой области выполнены Диллом и его последователями [6]. Согласно его модели поглощение света в слое толщиной d является функцией молярных коэффициентов поглощения ингибитора a_1 , новолачной смолы a_2 , и продуктов фотолиза a_3 . Далее делается предположение о том, что доля непрореагировавшего ортонафтохинондиазида $M(x,t)$ в момент времени t является функцией следующих параметров: A – функция поглощенного излучения; B – не зависит от поглощенного излучения, C – функция светочувствительности. Параметры A , B и C являются функциями длины волны и подбираются экспериментально. Скорость проявления R зависит от химического состава фоторезиста, величины M и состава проявителя. Для постоянных условий эксперимента можно определить функцию $R=f(M)$, которая описывает проявление конкретного фоторезиста в данном проявителе.

В случае одинаковых показателей преломления подложки и позитивного фоторезиста изменение интенсивности излучения I и нормализованной концентрации светочувствительного компонента M в зависимости от глубины (расстояния от поверхности) x и времени экспонирования t выражаются следующими уравнениями:

$$\frac{\partial I(x,t)}{\partial x} = -I(x,t) \cdot [A \cdot M(x,t) + B], \quad (1)$$

$$\frac{\partial M(x,t)}{\partial t} = -I(x,t) \cdot M(x,t) \cdot C, \quad (2)$$

при использовании начальных условий

$$I(0,t) = I_0, \quad (3)$$

$$M(x,0) = 1, \quad (4)$$

Параметры A , B и C можно определить экспериментально для каждой партии фоторезиста по формулам:

$$A = \frac{1}{d} \ln \left[\frac{T(\infty)}{T(0)} \right], \quad (5)$$

$$B = -\frac{1}{d} \ln(T(\infty)), \quad (6)$$

$$C = \frac{A + B}{A \cdot I_0 \cdot T(0) \cdot [1 - T(0)]} \cdot \frac{dT(0)}{dt}. \quad (7)$$

После численного интегрирования уравнений (1) и (2) с учетом граничных условий (3) и (4), получаем распределение светочувствительного компонента по объему фоторезиста в процессе его экспонирования. Функцию $R=f(M)$ можно определить экспериментально. Часто пользуются эмпирическим соотношением:

$$R(M) = \exp(E_1 + E_2 \cdot M + E_3 \cdot M^2), \quad (8)$$

где E_1 , E_2 и E_3 – эмпирические параметры.

Использование соотношений (1) – (8) позволяет проанализировать зависимость динамики интенсивности излучения I и нормализованной концентрации светочувствительного компонента M от времени экспозиции t и толщины слоя фоторезиста.

Полученные зависимости, представленные в относительных единицах, изображены на рисунках 3 и 4.

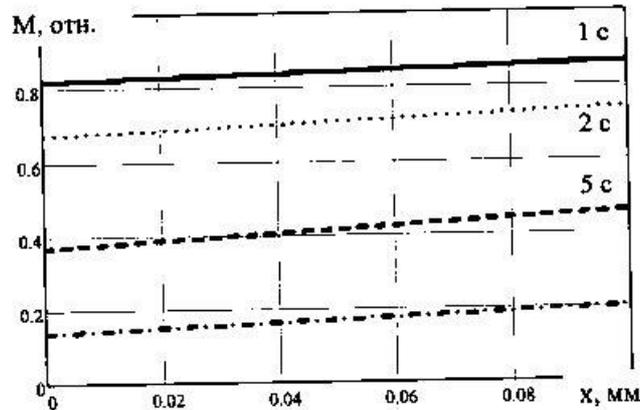


Рисунок 3 – Зависимость нормализованной концентрации светочувствительного компонента от толщины слоя фоторезиста и различного времени экспозиции

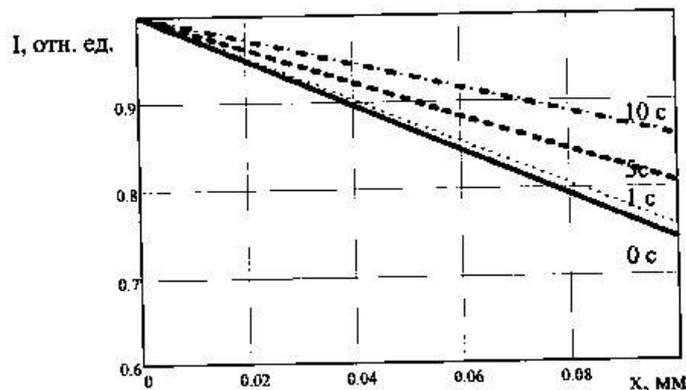


Рисунок 4 – Зависимость относительной интенсивности излучения от толщины слоя фоторезиста, рассчитанная для различных времен экспозиции

Из приведенных на рисунках графиков видно, что распределение относительной концентрации в слое электролита толщиной 0,1 мм, в процесс обработки практически однородно по толщине (отклонение составляет ~ (10–15) %), при этом с увеличением времени экспозиции в пределах (1÷10) с уменьшается в 4–5 раз. Интенсивность экспонирующего лазерного излучения в начале процесса уменьшается на 25 % при прохождении толщины слоя 0,1 мм, однако с течением времени доля поглощенного излучения уменьшается до 13 %, что согласуется с соответствующим уменьшением концентрации светочувствительного компонента.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны и созданы математические модели фотохимических процессов, протекающих при экспонировании фоторезистов. Сделан анализ существующих математических моделей. Показана целесообразность использования методов математического моделирования для исследования процессов фототравления. На основании модели Дилла [5] разработана математическая модель и проанализированы зависимости динамики интенсивности излучения и нормализованной концентрации светочувствительного компонента от времени экспозиции и толщины слоя фоторезиста.

Список использованных источников

- 1 Cui, Z. Comparative study of AZPF514 and UVIII chemically amplified resists for electron beam nanolithography / Z. Cui, P. D. Prewett // Microelectron. Eng. – 1999. – Vol. 46, № 1–4. – P. 255–258.

- 2 Umbach, C. P. Nanolithography with an acid catalyzed resist / C. P. Umbach, A. N. Broers, C. G. Willson, R. Koch, R. B. Laibowitz // J. Vac. Sci. Technol. B. – 1988. – Vol. 6, № 1. – P. 319–322.
- 3 Gould, C. Advanced process control: basic functionality requirements for lithography/ C. Gould // Proc. IEEE Advanced Semiconductor Manufacturing Conference XII, 2001. – P. 49–53.
- 4 Валиев, К. А. Физические основы субмикронной литографии в микроэлектронике / К. А. Валиев, А. В. Раков. – М. : Радио и связь, 1984. – 350 с.
- 5 Mack, C. A. PROLITH: a comprehensive optical lithography model / C. A. Mack // Proc. SPIE. – 1985. – Vol. 538. – P. 207–220.
- 6 Dill, F. H. IEEE Trans. Electron. Devices / F. H. Dill // V. ED-22. – 1975. – №. 7. – P. 440–444.

М. П. Купреев, Е. Н. Леонович
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВЫСОКОПОРИСТЫЙ АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ ИЗ ЭЛЕКТРОКОРУНДА

Для обработки фасонных поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов все большее применение находят высокопористые абразивные круги на керамической связке с повышенными номерами структуры. Повышение номера структуры, которое сопровождается уменьшением объемного содержания абразивного зерна в шлифовальном круге, оказывает благоприятное влияние на термодинамическую напряженность процесса шлифования. Это позволяет повысить производительность и качество обработки деталей. Высокая пористость способствует лучшему подводу охлаждающей жидкости в зону шлифования и отводу отработанного шлама.

Известные на мировом рынке абразивного инструмента зарубежные фирмы, такие как, например, Rappold Winterthur (Австрия-Швейцария), Tyrolit (Австрия), Norton (США-Франция), Carborundum (Германия) и др. предлагают высокопористые шлифовальные круги высокого качества с номерами структуры до 22 и выше. Рабочая скорость этих кругов достигает 75 м/с. Инструментом этого класса, например, оснащаются все профилешлифовальные и зубошлифовальные станки известных станкостроительных фирм [1, с. 7].

Многие востребованные в машиностроении позиции высокопористого инструмента, например, круги прямого или фасонного профиля со структурами 12...16 и выше в странах СНГ до недавнего времени не производились из-за отсутствия технологии их изготовления. По этой причине белорусские предприятия, на которых используются современные высокопроизводительные шлифовальные станки, вынуждены приобретать для их оснащения высокотехнологичный абразивный инструмент за рубежом. В этой связи проблема создания и применения нового отечественного высокопористого абразивного инструмента, который бы по эффективности не уступал, а по возможности превосходил бы зарубежные аналоги, является актуальной как с экономической точки зрения, так и с целью обеспечения технологической безопасности белорусских машиностроительных предприятий.

Целью исследований является разработка энергосберегающей технологии изготовления высокоэффективного абразивного инструмента повышенной пористости с максимальным использованием сырья, производимого в РБ.

Существующие технологии изготовления высокопористых шлифовальных кругов с повышенной структурностью основаны на добавлении в абразивную массу специального порообразующего наполнителя, который, как правило, ухудшает экологию их производства. В качестве порообразующих наполнителей в разное время использовали: пробковую крошку, древесные опилки, крошку мрамора, бурый уголь, торф, солому, гипс, синтетический кокс, сланец, древесный уголь, отходы производства пластмассовых изделий и др. В процессе изготовления инструмента все вышеописанные порообразователи выявили те или иные недостатки. Одним из наиболее экологически безопасных порообразователей является крупа манная. С ее использованием на ОАО «Волжский абразивный завод» совместно с Волжским институтом строительства и технологий велись работы по освоению производства высокопористых шлифовальных кругов для глубинного шлифования. Например, по этой технологии изготавливались высокопористые круги типоразмера 1 500x20x203 из электрокорунда белого со структурой 10 и с твердостью ВМ – М. По мнению разработчиков технологии при использовании манной крупы улучшается внешний вид электрокорундовых кругов (устраняется брак-мушка) с сохранением физико-механических и эксплуатационных показателей. Высокопористые шлифовальные круги

прошли лабораторные и производственные испытания на операциях глубинного шлифования турбинных лопаток из жаропрочных сплавов. В процессе исследований выявлено следующее: абразивная масса обладает высокой технологичностью, визуально порообразователь равномерно распределился по приготовленной объему массы, а по прочности сырца масса с манной крупой превосходит прочность массы с аналогичной характеристикой, но изготовленной с применением молотых фруктовых косточек. Однако в процессе естественной сушки на всех заформованных шлифовальных кругах типоразмера 1 500x125x305 образовались трещины, а круги типоразмера 1 350x32x127 сильно деформировались при обжиге [1, с. 28, 29].

По всей видимости, эта технология требует дальнейшей доработки. С целью совершенствования технологии нами исследовано влияние размеров частиц манной крупы и ее содержания в формовочной массе на поровую структуру и прочностные свойства шлифовальных кругов из белого электрокорунда. Результаты исследований представлены на рисунках 1, 2.



Рисунок 1 – Зависимость прочности на изгиб абразивной композиции от содержания в формовочной массе манки с размерами частиц 0,25–0,4 мм (порошок электрокорунда А25 зернистостью F60, содержание связки С10У – 15 масс. %)

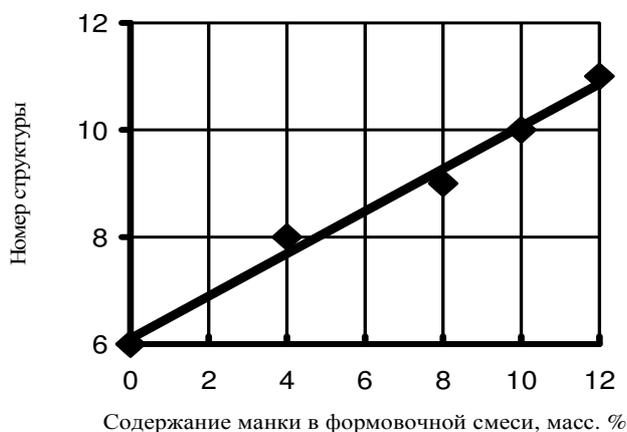


Рисунок 2 – Зависимость пористости абразивной композиции от содержания в формовочной массе манки с размерами частиц 0,25–0,4 мм (порошок электрокорунда А25 зернистостью F60, содержание связки С10У – 15 масс. %)

Из рисунка 1 следует, что прочность на изгиб абразивной композиции существенно снижается при введении в абразивную массу манной крупы. Так, при ее содержании в формовочной массе в количестве 12 % (по массе) прочность на изгиб уменьшается более чем на 40 %, что обусловлено значительным повышением пористости спеченного изделия. Установлено, что с помощью манной крупы можно изготавливать абразивные композиции от 6 до 12 структур (рисунок 2). При дальнейшем увеличении содержания манной крупы в абразивной массе годные изделия не удастся получить, т.к. они рассыпаются во время обжига изделий. Из рисунков 1, 2 видно, что при введении в состав абразивной массы 2 масс. % порошка манной крупы зернистостью 0,25–0,4 мм структура абразивного инструмента повышается в среднем на 1 единицу.

При введении манной крупы существенно уменьшается твердость абразивной композиции. Из таблицы 1 следует, что при повышении содержания манной крупы на 2 % твердость композиции снижается в среднем на 3 степени.

Таблица 1 – Влияние содержания в формовочной массе манки с размерами частиц 0,25–0,4 мм (порошок электрокорунда А25 зернистостью F60, содержание связки С10У – 15 масс. %) на прочностные свойства абразивной композиции

Содержание манки в формовочной смеси, масс. %	Прочность на изгиб б, МПа	Твердость Н, МПа	Степень твердости
0	51,5	370	СТ2
4	41,4	234	С1
8	34,9	186	СМ1
10	32,3	146	СМ2
12	32,3	100	М2

На основании представленных исследований разработаны технологические режимы и изготовлены экспериментальные образцы высокопористых шлифовальных кругов из белого электрокорунда на легкоплавкой керамической связке. Проведены их испытания в условиях производства на ОАО «МТЗ». Параметры кругов: 1 (ПП) 32x32x10 25А 40 СМ1 8К 35 м/с 1–2 А (рисунок 3). Эти круги имеют повышенную пористость (8-я структура) и при их изготовлении в формовочную массу вводилась манная крупа с размерами частиц 0,32–0,5 мм в количестве 4 % по массе. Круги спрессованы при усилии 13800 Н (давление прессования – 190 кг/см²). Режим спекания кругов в электропечи: подъем температуры до 1050 °С со скоростью 40 град/ч; выдержка при температуре 1050 °С в течение 40 мин; охлаждение с печью до 200 °С.



Рисунок 3 – Шлифовальный круг 1 32x32x10 25А 40 СМ1 8К 35 м/с 1–2 А

В таблице 2 приведены результаты проведенных на ОАО «МТЗ» сравнительных производственных испытаний стойкости экспериментальных высокопористых шлифовальных кругов на легкоплавкой керамической связке при обработке шестерни 70-240753 (сталь 20ХНР, HRC 45 min, отверстие Ø32,94 мм, Лрез. – 30 мм, внутришлифовальный станок модели 3К227В инв. № 463209).

Таблица 2 – Результаты проведенных на ОАО «МТЗ» сравнительных производственных испытаний

№ опыта	Изготовитель шлифовальных кругов	Параметры шлифовального круга	№ шлифовального круга	Количество обработанных деталей, шт
1	2	3	4	5
1	ГГУ имени Ф. Скорины	1 32x32x10 25А 40 СМ1 8К 35м/с 1-2 А	1	48
		2	52	
		1 32x32x10 25А 40 СМ1 8К 35м/с 1-2 А. Круг пропитан в растворе бакелита	3	14
2	ГГУ имени Ф. Скорины	1 32x32x10 25А 40 С1 8 К 35м/с 1-2	1	55
		2	32	
		1 32x32x10 25А 40 С1 8 К 35м/с 1-2. Круг пропитан в растворе бакелита	3	84
3	ГГУ имени Ф. Скорины	1 32x32x10 25А 40 СТ1 8 К 35м/с 1-2 А	1	50
		2	36	
		1 32x32x10 25А 40 СТ1 8 К 35м/с 1-2 А. Круг пропитан в растворе бакелита	3	134
4	Волжский абразивный завод	1 32x32x10 25А 40 С 8 К 35м/с 1-2 А	4 круга	10 (средняя стойкость)

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
5	ЧУП «АЗИД»	1 32x32x10 25A 40 С 8 К 35м/с 1-2 А	5 кругов	15 (средняя стойкость)
6	ООО «Техномир» (Челябинск)	1 32x32x10 25A 40 С 8 К 35м/с 1-2 А	1	17

Результаты производственных испытаний показали, что изготовленный по разработанной технологии абразивный инструмент повышенной пористости отличается высокой режущей способностью и по стойкости в 3...13 раз превышает аналогичный инструмент, производимый в Республике Беларусь и в России по традиционной технологии.

Список использованных источников

1 Рябцев, С. А. Разработка абразивного инструмента с повышенной структурностью и управляемой пористостью для высокопроизводительного шлифования фасонных поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.07 / С. А. Рябцев. – Москва, 2011. – 387 с.

В. В. Поляковский
г. Минск, БГУИР

ПОСТРОЕНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО МОДУЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Современные тенденции в приборостроении, микро- и нанoeлектронике требуют от производителя все более широкий спектр элементной базы оборудования, при этом требования к интегральным схемам (ИС) с каждым годом растут. Разработка таких ИС требует создание все более сложных и специализированных производств, которые должны иметь возможность быстрой перенастройки согласно требованиям технологических процессов. Одним из способов организации таких производств является внедрение специализированных кластерных технологических линий, которые представляют собой связанные в единую систему комплексы из N модулей, выполняющие различные технологические задачи. Одним из ключевых решений таких систем является обеспечение транспортной связанности модулей комплекса, которая достигается с помощью специализированных систем перемещений, выполняющих перемещение изделия по запрограммированной последовательности технологических операций [1]. В данной статье рассмотрен подход построения транспортных систем для такого рода комплексов, а также предложены алгоритмы формирования программируемых движений.

Транспортная система на базе планарных шаговых двигателей. В НИЧ БГУИР «Мехатроника и Микросистемы» была предложена концепция модульного построения транспортной системы для производственных комплексов изделий микро- и нанoeлектроники. Общая структурная схема такого комплекса представлена на рис. 1. Предложенный модульный подход подразумевает формирование необходимой структуры транспортной системы перемещения из базового модуля, в качестве которых выступает планарный линейный шаговый двигатель (ПЛШД), получивший широкое применение и зарекомендовавший себя как система координатных перемещений сборочного оборудования производства изделий микро- и нанoeлектроники.

На рисунке 1 схематически представлен производственный комплекс, содержащий несколько технологических модулей, транспортная связь между которыми осуществляется с помощью пяти ПЛШД.

В общем случае такие системы могут содержать N планарных позиционеров, которые выполняют согласованные программируемые перемещения по заданным траекториям согласно технологическому процессу, позволяя перемещать образец из одного технологического модуля в другой, при этом позиционируя его с точностью до 5 мкм [1].

В зависимости от требуемой технологической операции, каждый их планарных позиционеров может дополнительно оснащаться локальными линейными или поворотными системами перемещений для обеспечения дополнительных степеней свободы изделия, его подъема, поворота в технологический модуль.

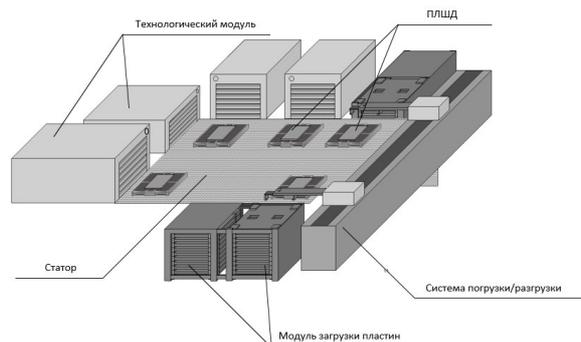


Рисунок 1 – Производственный комплекс для микро- и нанoeлектроники

Алгоритмы формирования программируемых движений. При разработке алгоритмов управления транспортными системами на базе мультикоординатных планарных систем перемещений ключевым решением являлся алгоритм формирования бесколлизийных перемещений N планарных позиционеров на одном статоре. При этом алгоритм должен обеспечивать требования мультиплицирования, т.е. использования в системе любого произвольного количества базовых элементов ПЛШД.

Представленный в работе алгоритм анализа и предотвращения коллизий для N планарных ЛШД основан на том [2], что каждый позиционер представляется его проекцией на плоскость статора в виде геометрического места, ограниченного подвижным четырехугольником. Рассмотрим приложенный алгоритм на примере системы из двух планарных ЛШД. Геометрическая модель разработанного алгоритма представлена на рисунке 2. Внешний прямоугольный контур определяет рабочее поле статора, в пределах которого возможно движение координатных позиционеров (КП). Четырехугольники LGOK и AMEF определяют геометрическое место на статоре, которое занимают в данный момент времени позиционеры КП1 и КП2 соответственно. Геометрические зоны на статоре, в которых происходит перемещение позиционеров от начальной точки к конечной в работе принято называть шлейфами. Так, для позиционера КП1 шлейфом является шестиугольник KLGHIJ, для позиционера КП2 – ABCDEF.

Не нарушая общности решения поставленной задачи, нами разработан алгоритм анализа и предотвращения коллизий для двух координатных позиционеров КП1 и КП2 имеющих форму квадрата со стороной L , при их прямолинейном движении от начального положения к конечному.

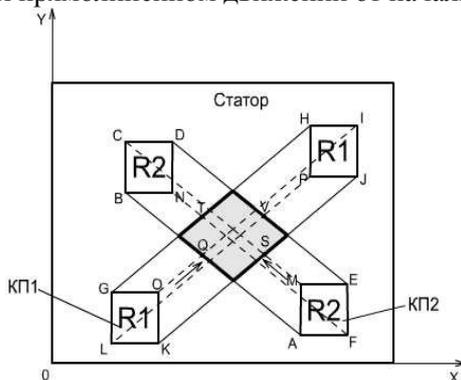


Рисунок 2 – Геометрическая модель анализа коллизий двух планарных ЛШД на одном статоре

Параметрические уравнение перемещения любой точки позиционера в выбранной системе координат XOY имеют вид:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_x t, \\ y = y_0 + v_y t, \end{cases} \quad (1)$$

где $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ – скорость позиционера на траектории в виде прямой.

При этом уравнение траектории будет иметь вид:

$$y = k \cdot x + b, \quad (2)$$

где $k = \operatorname{tg} \varphi = \frac{v_x}{v_y}$ – угловой коэффициент траектории движения.

Если заданы начальная и конечная точки перемещения, то постоянные параметры прямой (2) рассчитываются по формулам:

$$k = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}, \quad (3)$$

$$b = y_0 - \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} x_0, \quad (4)$$

где x_0, y_0 – координаты начальной точки перемещения; x_1, y_1 – координаты конечной точки перемещения.

В этом случае значения v_x и v_y будут определяться по формулам:

$$\begin{cases} v_x = v \cdot \cos \varphi \\ v_y = v \cdot \sin \varphi, \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{где } \varphi = \begin{cases} \arctg\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 \geq 0, \\ 180 + \arctg\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, по заданным начальным и конечным точкам движения позиционеров однозначно определяем уравнения их траекторий.

Областью на статоре, где возможно столкновение позиционеров, является геометрическое место пересечения шлейфов движения позиционеров (на рисунке 1 эта область выделена серым цветом). В соответствии с принятым в алгоритме правилом приоритетов, преимущество в движении имеет тот позиционер, который первым вошел в общую зону.

Моменты времени входа позиционеров в общую зону можно рассчитать по следующим формулам:

$$t_{1in} = \frac{\sqrt{(X_{in1} - X_{10})^2 + (Y_{in1} - Y_{10})^2}}{V_1}, \quad (7)$$

$$t_{2in} = \frac{\sqrt{(X_{in2} - X_{20})^2 + (Y_{in2} - Y_{20})^2}}{V_2}, \quad (8)$$

где X_{in1}, Y_{in1} – координаты центра позиционера КП1 при входе в общую зону; X_{10}, Y_{10} – координаты центра позиционера КП1 в начальном положении; X_{in2}, Y_{in2} – координаты центра позиционера КП2 при входе в общую зону; X_{20}, Y_{20} – координаты центра позиционера КП2 в начальном положении; V_1, V_2 – скорость движения позиционера КП1 и КП2 соответственно.

Сравнивая полученные по формулам (7) и (8) значения моментов времени входа и выхода в общую зону, принимаем решение о приоритетах движения позиционеров.

Предположим, что $t_{in1} < t_{in2}$. Тогда, в соответствии с выше сказанным, приоритет движения имеет позиционер КП1, т.е. он может двигаться без остановок. Позиционер КП2 должен остановиться у входа в общую зону на время Δt , определяемое по следующей формуле:

$$\Delta t = t_{out1} - t_{in2}. \quad (9)$$

где t_{out1} – момент времени выхода позиционера КП1 из общей зоны.

В момент времени $t = t_{in2} + \Delta t$ позиционер КП2 может продолжить свое движение.

Для мультикоординатной системы перемещения включающей N планарных позиционеров необходимо производить расчет времени остановки у входа в общую зону для каждой пары позиционеров. Так, для позиционера КП1 полный расчет времен остановки у входа в общую зону будет производиться по следующей формуле:

$$\begin{cases} \Delta t_{12} = t_{out21} - t_{in12}, \text{ при } t_{in12} > t_{in21}, \\ \Delta t_{12} = 0, \text{ при } t_{in12} \leq t_{in21}, \\ \Delta t_{13} = t_{out31} - t_{in13}, \text{ при } t_{in13} > t_{in31}, \\ \Delta t_{13} = 0, \text{ при } t_{in13} \leq t_{in31}, \\ \dots\dots\dots \\ \Delta t_{1i} = t_{outi1} - t_{in1i}, \text{ при } t_{in1i} > t_{in1i}, \\ \Delta t_{1i} = 0, \text{ при } t_{in1i} \leq t_{in1i}. \end{cases} \quad (10)$$

где $\Delta t_{12}, \Delta t_{13}, \dots, \Delta t_{1i}$ – время остановки у входа в общую зону позиционеров КП1 и КП2, КП1 и КП3, КП1 и КПi соответственно; t_{in12}, t_{ini} – время входа позиционера КП1 в общую зону позиционеров КП1 и КП2, КП1 и КПi соответственно; t_{in21}, t_{ini1} – время входа позиционера КП2 и КПi соответственно в общую зону с позиционером КП1; t_{out21}, t_{outi1} – время выхода позиционера КП2 и КПi соответственно из общей зоны с позиционером КП1.

Аналогичное выражение для расчета времен остановки у входа в общие зоны можно составить и для других позиционеров системы. Таким образом, предложенный алгоритм формирования бесколлизийных перемещений масштабируется для системы из N планарных ЛШД.

Список использованных источников

1 Жарский, В. В. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования : монография / В. В. Жарский [и др.] ; под. ред. д-ра техн. наук, проф. С. Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.

2 Поляковский, В. В. Анализ и предотвращение коллизий планарных позиционеров в системе перемещений Трипланар / В. В. Поляковский [и др.] // Доклады БГУИР. – 2007. – № 6. – С. 65–71.

А. Л. Самофалов, Е. А. Михолап
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВИРТУАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ТЕМЕ «МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ»

Развитие компьютерной техники и внедрение ее в различные сферы деятельности человека открывает новые возможности в проведении учебного физического эксперимента. Виртуальный эксперимент обладает большим потенциалом в реализации образовательного процесса: расширяет представления обучающихся об экспериментальном методе познания, позволяет осуществить экспериментальное исследование явления или процесса в различных видеоизменённых условиях, развивает самостоятельность в постановке и решении практической задачи, реализовывает межпредметные связи физики и информатики, активизирует познавательную деятельность, способствует более многогранному проявлению способностей [1].

Из опыта преподающих дисциплину «Механика» известно, что студенты часто испытывают трудности при изучении таких понятий и явлений как фаза колебания, биения, фигуры Лиссажу. Для решения этой проблемы на физическом факультете ГГУ им. Ф. Скорины разработан мультимедийный обучающий ресурс «Механические колебания», в котором этим понятиям и явлениям придана наглядность и обеспечено не только изучение теоретического материала по теме, но и выполнение виртуального эксперимента с использованием визуальных средств.

При разработке мультимедийного обучающего ресурса по теме «Механические колебания» в качестве языка программирования выбран язык JavaScript, ориентированный на использование веб-страниц. В учебном материале веб-приложения имеется большое количество формул и математических вычислений, однако стандарт языка гипертекстовой разметки не содержит инструментов для работы с формулами. Эта проблема решена применением специально предназначенной для этого библиотеки jqMath.

Для построения графиков функций по заданным пользователем параметрам в обучающем ресурсе используется JavaScript-библиотека Flot. Совместно с данной библиотекой используется плагин FlotAnimator, обеспечивающий возможность анимации графиков функций. Для построения более сложных графиков (например, фигур Лиссажу) возможностей JavaScript-библиотеки Flot недостаточно, поэтому для этих целей в веб-приложении используется другая, более сложная JavaScript-библиотека JSXGraph. В некоторых учебных материалах для наглядности отображения физических процессов (например, колебания груза на пружине) используется gif-анимация. Чтобы анимация не отвлекала внимания пользователя от учебного материала, было принято решение о создании скрипта, который запускает анимационные эффекты только при наведении курсора на соответствующее изображение.

Интерфейс веб-приложения максимально прост, поэтому пользователь имеет возможность сконцентрироваться на учебной информации и не отвлекаться на побочные элементы.

Главная страница обучающего ресурса максимально упрощена и содержит название приложения со ссылкой на страницу меню. Страница меню предназначена для навигации по учебному ресурсу и содержит четыре раздела: общие понятия о колебаниях, гармонические колебания, понятие о биениях, фигуры Лиссажу. Каждый пункт списка в разделах – это ссылка на страницу с соответствующим учебным материалом.

Каждый раздел содержит теоретический материал, графики и анимационные элементы. После содержания учебного материала помещены формы для построения графиков и выполнения виртуального эксперимента. Чтобы построить график гармонических колебаний, необходимо заполнить форму данными, а затем нажать на кнопку «Построить» – и график гармонических колебаний по заданным параметрам строится автоматически.

В материале раздела «Понятие о биениях» содержится несколько интерактивных элементов: анимация биений (для ее запуска необходимо привести курсор на изображение); аудиоплеер с примером биений, возникающих при суперпозиции акустических волн (для воспроизведения звука необходимо нажать кнопку «Play»); форма для выполнения виртуального эксперимента «Биения». Меняя значения частот двух складываемых колебаний, можно убедиться, что биения наблюдаются только при наложении близких по частоте периодических колебаний. Используя данную форму, можно наблюдать результат сложения двух гармонических колебаний, различающихся амплитудой, частотой и начальной фазой.

Для выполнения виртуального эксперимента «Фигуры Лиссажу» разработана форма, показанная на рисунке 1. Обычно фигуры Лиссажу наблюдают на экране осциллографа, подавая на его входы сигналы заданной частоты. Если частоты не синхронизированы, фигура на экране вращается. При достижении синхронизации частот фигура застывает неподвижно, однако на практике вследствие повторяющейся кратковременной нестабильности сигналов добиться покоя фигуры Лиссажу на экране осциллографа бывает очень сложно.

Варьируя параметры в разработанной форме (рисунок 1), можно наблюдать неподвижные фигуры Лиссажу при разных соотношениях амплитуд, частот и фаз складываемых взаимно перпендикулярных колебаний.

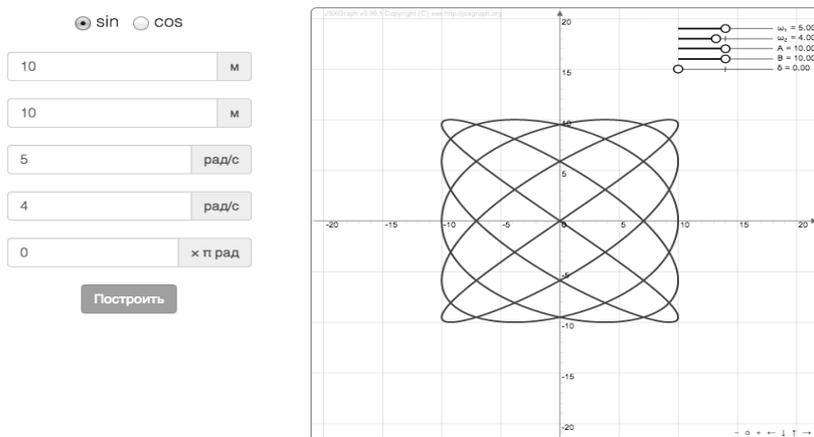


Рисунок 1 – Форма для задания параметров и результат построения фигуры Лиссажу при соотношении частот 5:4

Для полноценной работы веб-приложения пригодна любая операционная система, в которой возможна установка и поддержка современных браузеров (Opera, Google Chrome, Firefox, Safari, Internet Explorer).

Функциональные возможности мультимедийного обучающего ресурса апробированы на учебных занятиях со студентами первого курса физического факультета по разделу «Механика» курса общей физики. Практическое применение разработанного мультимедийного обучающего ресурса способствует не только изучению теоретического материала по теме «Механические колебания», но и повышению эффективности обучения благодаря алгоритмическому использованию студентами интерактивных дидактических средств и зримых образов.

Список использованных источников

- 1 Васильев, А. А. Реально-виртуальный эксперимент в учебном процессе по физике / А. А. Васильев, А. В. Вопилов // Учебная физика. Научно-практический журнал. – 2007. – № 1. – С. 135–141.

А. В. Семченко, В. В. Сидский, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины
В. В. Колос, А. С. Турцевич
г. Минск, ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга ОАО «Интеграл»
В. Б. Залесский, В. В. Малютина-Бронская
г. Минск, Институт физики НАН Б им. Б. И. Степанова

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Золь-гель методом возможно синтезировать SBT-пленки для последующего изготовления малогабаритных низкочастотных конденсаторов с большой удельной емкостью, использования в качестве материалов с большой нелинейностью поляризации для диэлектрических усилителей, модуляторов и других управляемых устройств, использование сегнетоэлементов в счетно-вычислительной технике в качестве ячеек памяти в устройствах энергонезависимой памяти и т. д. Физические и структурные свойства покрытий существенно зависят от состояния ее поверхности, стехиометрии, плотности, микроструктуры и кристаллографической ориентации. Эти свойства покрытий, в первую очередь, зависят от технологии получения пленки. Проблема усложняется также необходимостью высокотемпературного нагрева (600–1000 °С) для кристаллизации пленок, при наличии в их составе химически активных и летучих компонентов (например, висмута).

Свежеприготовленный раствор (золь), как правило, недостаточно чист вследствие неизбежного загрязнения исходных препаратов нерастворимыми примесями, которые могут быть мелкодисперсными и обуславливать общую мутность золя. Для получения чистого золя нерастворимые примеси удаляют центрифугированием, процеживанием или фильтрованием через плотную фильтровальную бумагу. Очистку золя от случайных технологических примесей и частиц, проводили в два этапа: 1 – центрифугирования золя при 2500 об/мин в течение 20 минут; 2 – фильтрования золя через плотную фильтровальную бумагу. После фильтрования проводится контроль чистоты золя. Это осуществляется путем легкого встряхивания и просматривания укупоренного флакона с раствором в прямом и отраженном свете. В случае обнаружения взвешенных частиц золь фильтруют повторно.

Для созревания золя его выдерживают при температуре окружающей среды (22–25 °С) в течение 2–3 дней. По изменению вязкости в зависимости от времени созревания определяли стабильность золя и его пригодность для последующего процесса нанесения пленок. Золь пригоден в течение одного месяца при температуре хранения 5–10 °С. Перед нанесением на подложку золь подогревается до комнатной температуры (20–22 °С), дополнительно проводится очистка золя по вышеперечисленной методике.

Золь наносили в производственных условиях на установке SEMIX TR 6171 UD методом центрифугирования. Перед нанесением поверхность подложки подвергалась адгезионной обработке для улучшения смачиваемости поверхности нижнего электрода. В случае платинового электрода, хороший результат дает низкотемпературная обработка (около 400 °С) в атмосфере кислорода [1]. Нанесение золь-гель-композиции представляет собой многостадийный процесс. Схема установки нанесения золь-гель-композиции показана на рисунке 1.

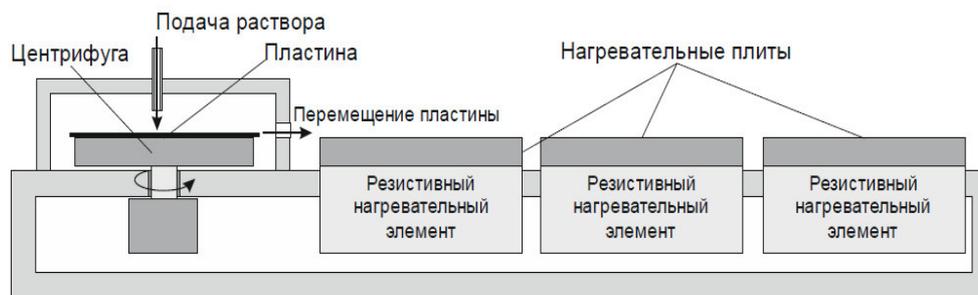


Рисунок 1 – Схема установки нанесения слоев танталата висмута стронция

Золь наносится на пластину, вращающуюся с небольшой скоростью, до 500 об/мин так, чтобы полностью покрыть раствором поверхность пластины. После нанесения, скорость пластины

увеличивается до 500–4000 об/мин. На этом этапе скорость вращения выбирается таким образом, чтобы получить необходимую толщину и равномерность пленки [1; 2]. Толщина пленки зависит как от скорости вращения, так и от вязкости раствора.

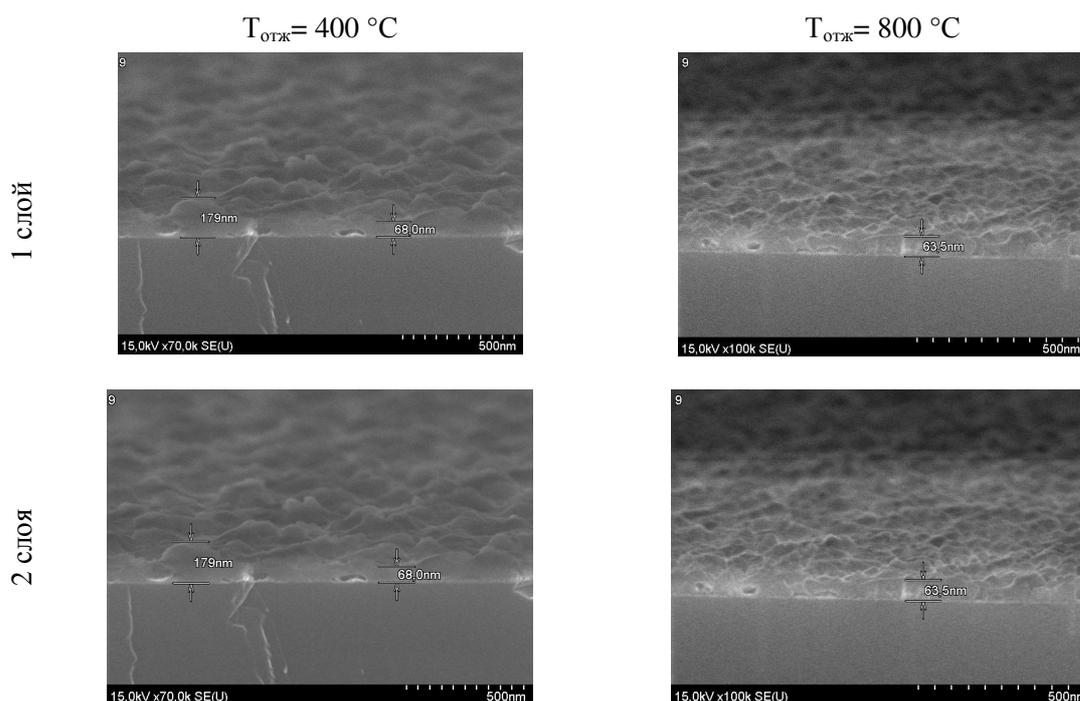
После нанесения золя пластины прошли ступенчатую термообработку 80–150 °С, 200–250 °С, 300–350 °С по 60 с, а затем отжиг в атмосфере кислорода при температуре 500–750 °С в течение двух часов и 1000 °С в течение 20 минут. В ходе термообработки происходит испарение растворителя и усиление поликонденсационных процессов, образование пространственной структуры полимера с последующим уплотнением. Однородное SBT-покрытие получается только при равномерном прогреве подложки. В качестве подложки использовали монокристаллический кремний и монокристаллический кремний с платиновым слоем. При необходимости получения толстых пленок стадии нанесения, сушки и пиролиза повторяются до достижения желаемой толщины. В результате получены одно-, двух- и трехслойные SBT-покрытия. Синтезированные покрытия имеют высокую адгезию к поверхности подложки, высокую сплошность.

Исследования толщины полученных покрытий проводили методом сканирующей электронной микроскопии. Толщина пленок является важным параметром оказывающим влияние на сегнетоэлектрические свойства SBT-покрытий. Начиная с некоторого критического значения толщины пленки, которое зависит от температуры отжига, величина спонтанной поляризации ферроэлектрика начинает понижаться с уменьшением толщины пленки, что приводит к резкому снижению выхода годных пленок [3]. Уменьшение толщины пленки состава $\text{Sr}(\text{Bi}_x\text{Ta}_x)\text{O}_9$ или размеров образующих ее гранул приведет к изменению сегнетоэлектрических свойств формируемого материала, а именно: температуры Кюри, спонтанной поляризации, диэлектрической проницаемости. В таблице 1 приведены параметры получения однослойных, двухслойных и трехслойных SBT-пленок, полученных золь-гель методом.

Таблица 1 – Технические параметры золь-гель методом получения SBT-пленок на основе пентахлорида с молярным соотношением Sr:Bi:Ta: (1)1,2:2,2:2,0

Номер образца	Параметры нанесения золя, об /мин , в течение 15 с			Количество слоев	Толщина до отжига, нм	Толщина после отжига, нм	Показатель преломления
	300	500	1500				
1	300	500	1500	1	109,0	49,6	1,734
2	300	500	1500	2	179,0	63,5	1,762
3	300	500	1500	3	409,0	306,0	1,769

На рисунке 2 приведен РЭМ – скол SBT-пленок, полученных золь-гель методом при разных температурах отжига и количествах наносимых слоев.



3 СЛОЯ

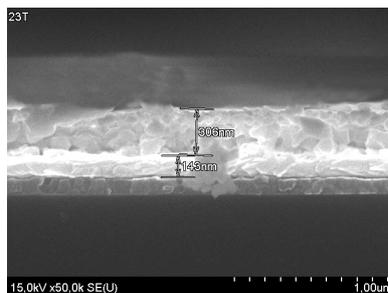
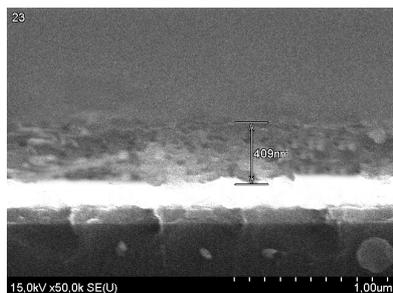


Рисунок 2 – РЭМ-сколы SBT-пленок на монокристаллическом кремнии с платиновым подслоем при температуре отжига 400 °С (а) и 800 °С (б) для однослойных (1), двухслойных (2) и трехслойных (3) покрытий, с мольным соотношением Sr:Bi:Ta: (1) 1,2:2,2:2,0

Как видно из рисунка 2 после отжига происходит уплотнения плёнки, что приводит к увеличению однородности пленки, как по составу, так и по топографии поверхности. После отжига усадка плёнки составляет 20–36 %. При нанесении второго слоя толщина SBT-пленки увеличивается незначительно и составляет 63,5 нм, по сравнению с SBT-пленкой до отжига 49,6 нм. Как видно из таблицы 1 толщина пленки слабо влияет на показатель преломления. Наблюдается незначительное увеличение коэффициента преломления пленок при процессе нанесения в две стадии, как это видно из рисунка, что может быть связано с наличием оптической границы раздела между слоями пленки. Из рисунков и таблицы видно, что при увеличении температуры до 800 °С, происходит уплотнение (усадка) пленки на 25–40 % по сравнению с пленкой, отожженной при температуре 400 °С. Усадка трехслойных пленок меньше, чем усадка одно- и двухслойных. Усадка пленки связана с выгоранием органических примесей в SBT-пленках. При повторении циклов можно добиться нужной толщины.

Список использованных источников

- 1 Провести исследования и разработать технологию формирования сегнетоэлектрических конденсаторов : отчет по заданию 1.1.17 ГНТП «Микроэлектроника» (заключительный) / Министерство промышленности РБ, УП «Завод полупроводниковых приборов» ; рук. темы В. В. Колос. – Минск, 2011. – 105 с. – № ГР 20115206.
- 2 Effect of Annealing Method to Crystallize on Sr0,9Bi2,3Ta209+a Thin Film Properties Formed from Alkoxide Solution / Ichiro Koiwa [et al.] // Jpn. J. Appl. Phys. – 1998. – Vol. 37. – P. 192–197.
- 3 Morrison, D. Ferroelectric nanotubes / D. Morrison, Y. Luo, I. Szafraniak [ed. al.] // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2003. – № 4. – P. 114–122.

Г. Ю. Тюменков

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

О МОДЕЛИРОВАНИИ РАДИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ПЛАНЕТ

Задача моделирования поведения радиальной функций плотности планет [1; 2] в настоящее время становится все более актуальной в связи с нарастающим потоком достоверных астрофизических данных [3; 4] в том числе и об экзопланетах. В работе [5] в приближении сферической симметрии и с учетом физически корректного радиального поведения проведено моделирование функции плотности в виде линейной, экспоненциальной и двух вариантов обратной функции. На этой основе получены массы шаровых слоев μ_k :

– для линейного приближения функции плотности

$$\mu_k = M(r_{k+1}) - M(r_k) = \frac{4\pi}{3} \left[\rho_0 (r_{k+1}^3 - r_k^3) - \frac{3\alpha}{4} (r_{k+1}^4 - r_k^4) \right], \quad (1)$$

– для экспоненциального приближения

$$\mu_k = M(r_{k+1}) - M(r_k) = \frac{4\pi\rho_0}{\beta^3} [\gamma(3; \beta(r_{k+1})) - \gamma(3; \beta(r_k))], \quad (2)$$

– для обратного приближения с размерным коэффициентом получаем

$$\mu_k = M(r_{k+1}) - M(r_k) = \frac{4\pi\rho_0}{3} \left[r_{k+1}^3 F(1; 3; 4; -\gamma(r_{k+1})) - r_k^3 F(1; 3; 4; -\gamma(r_k)) \right], \quad (3)$$

– для обратного приближения с безразмерным коэффициентом

$$\mu_k = M(r_{k+1}) - M(r_k) = \frac{4\pi\rho_0}{3} F(1; 3; 4; -\frac{1}{\gamma})(r_{k+1}^3 - r_k^3). \quad (4)$$

Фигурирующие в выражениях (1)–(4) параметры модельных функций плотности α , β , γ определены в [5], а появившиеся специальные функции это: $\gamma(3; \beta r)$ – нижняя неполная гамма-функция, $F(1; 3; 4; -\gamma R)$ – гипергеометрическая функция [6].

Масса шара, состоящего из n слоев, представляется в виде

$$M = \sum_{k=1}^n \mu_k,$$

где μ_k – масса k -го шарового слоя, определяемая согласно (1)–(4).

Предложенному методу расчета массы соответствует обобщенная форма функции плотности

$$\rho(r) = \sum_{k=1}^n \Theta(r - r_k) \cdot \rho_{(j)k}(r) \cdot \Theta(r_{k+1} - r) \cdot A_{(j)k+1},$$

где: $\rho_{(j)k}(r)$ – модельная функция плотности, присутствие у которой индекса j говорит о привязке к j -му приближению, а индекс k номерует слой; $A_{(j)k}$ – коэффициент сшивания, индексированный аналогичным образом (в данной работе все коэффициенты сшивания приняты равными единице); $\Theta(r)$ – функция Хэвисайда; $r_1 = 0$.

Расчет по усредненным характеристикам масс планет земной группы показал правомерность использования данного метода [4]. Полученные для них результаты можно рассматривать как вполне удовлетворительные (может быть, за исключением Марса), а соответствующие функции плотности считать близкими к реальным и допускающими использование при соответствующих расчетах. Поэтому имеет смысл его применения и для расчета масс газовых гигантов Солнечной системы. Полученные результаты приведены в таблицах ниже.

Вначале рассмотрим возможность использования только одной из четырех функций плотности (приближение одного слоя).

Таблица 1 – Расчетная масса в приближении одного слоя

Планета	Масса (кг)	Расчетная масса (кг)			
		Приближение			
		линейное I	экспоненциальное II	обратное III	обратное IV
Юпитер	$1,899 \cdot 10^{27}$	$2,301 \cdot 10^{23}$	$2,222 \cdot 10^{27}$	$2,148 \cdot 10^{27}$	$2,155 \cdot 10^{27}$
Сатурн	$5,685 \cdot 10^{26}$	$5,484 \cdot 10^{26}$	$4,998 \cdot 10^{26}$	$5,328 \cdot 10^{26}$	$5,497 \cdot 10^{26}$
Уран	$8,683 \cdot 10^{25}$	$7,287 \cdot 10^{25}$	$7,756 \cdot 10^{25}$	$7,888 \cdot 10^{25}$	$7,954 \cdot 10^{25}$
Нептун	$1,024 \cdot 10^{26}$	$1,325 \cdot 10^{26}$	$1,118 \cdot 10^{26}$	$1,067 \cdot 10^{26}$	$1,103 \cdot 10^{26}$

Отклонение лучших результатов от реальных масс составляют:

- на 13,1 % выше у Юпитера (III);
- на 3,3 % ниже у Нептуна (IV);
- на 8,4 % ниже у Урана (IV);
- на 4,2 % выше у Нептуна (III).

Полученные отклонения существенны, что говорит о недостаточности однослойного приближения при расчете массы планеты с исследуемыми функциями плотности.

Теперь учтем внутреннюю структуру исследуемых газовых планет [1], считая атмосферу единым слоем. Количество комбинации функций плотности для рассматриваемых чисел слоев составляет порядка 150. Поэтому приводим три лучших результата расчета. Как основным источником астрофизической информации использовался Интернет-ресурс [4].

Таблица 2 – Расчетная масса с учетом слоистой структуры

Планета	Масса (кг)	Расчетная масса (кг)		
		II–III–IV	II–IV–III	IV–III–II
Юпитер	$1,899 \cdot 10^{27}$	$1,919 \cdot 10^{27}$	$1,965 \cdot 10^{27}$	$1,988 \cdot 10^{27}$
Сатурн	$5,685 \cdot 10^{26}$	$5,767 \cdot 10^{26}$	$5,708 \cdot 10^{26}$	$5,671 \cdot 10^{26}$
Уран	$8,683 \cdot 10^{25}$	$8,331 \cdot 10^{25}$	$8,606 \cdot 10^{25}$	$8,633 \cdot 10^{25}$
Нептун	$1,024 \cdot 10^{26}$	$1,029 \cdot 10^{26}$	$1,099 \cdot 10^{26}$	$1,102 \cdot 10^{26}$

Теперь лучшие результаты более точны и отклоняются от действительных масс следующим образом:

- на 1,07 % выше у Юпитера (II–III–IV);
- на 0,25 % ниже у Сатурна (IV–III–II);
- на 0,58 % ниже у Урана (IV–III–II);
- на 0,44 % выше у Нептуна (II–III–IV).

Эти результаты можно рассматривать как вполне удовлетворительные, а соответствующие функции плотности считать близкими к реальным. Дальнейшая корректировка результатов, приведенных в таблице 2, в сторону улучшения возможна в случае учета слоистости атмосфер и сфероидальности формы с существенными коэффициентами сжатия, например, у Юпитера это параметр составляет порядка 6,5 %.

Список использованных источников

- 1 Уильям, Б. Внутреннее строение планет / Б. Уильям. – М. : Мир, 1987. – 328 с.
- 2 Anderson, D. L. Theory of the Earth / D. L. Anderson, E. C. Robertson. – Boston : Blackwell Publications, 1989. – 366 p.
- 3 Carroll, B. W. An Introduction to Modern Astrophysics / B. W. Carroll, D. A. Ostlie. – Pearson International Edition, 2007. – 1309 p.
- 4 California Institute of Technology (USA) [Electronic resource] / NASA's Jet Propulsion Laboratory. – Pasadena, CA, 2004. – Mode of access : www.jpl.nasa.gov/solar_system/. – Date of access : 10.08.2014.
- 5 Тюменков, Г. Ю. Моделирование радиальной функции плотности гравитирующего шара / Г. Ю. Тюменков, Е. П. Ельников, Е. В. Фирагина // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – № 4. – С. 36–39.
- 6 Кузнецов, Д. С. Специальные функции / Д. С. Кузнецов. – М. : Высшая школа, 1962. – 249 с.

П. А. Хило, П. С. Шаповалов

г. Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого

РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАУССОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ НУЛЕВОГО И ПЕРВОГО ПОРЯДКА В СРЕДАХ С КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Распространение и взаимодействия пучков в нелинейной оптике представляет интерес, так как в бистабильных элементах и других приборах обработки и передачи информации часто наблюдается распространение нескольких мощных лазерных пучков в нелинейной среде. В настоящее время, учет взаимодействия решается или в приближении совпадении параметров пучков и задача сводится к самовоздействию одного пучка, или с помощью численного счета. В данной работе эта задача решается вариационным методом в классе гауссовых функций.

Предположим, что в нелинейной среде распространяются два круговых пучка нулевого и первого порядка. В качестве исходного уравнения описывающие лазерные пучки используется нелинейное параболическое уравнение записанное в цилиндрической системе координат (r, φ, z)

$$\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} - 2ik \frac{\partial U}{\partial z} + \beta |U|^2 U = 0 \quad , \quad (1)$$

где U – комплексная амплитуда электромагнитного поля, β – коэффициент нелинейности среды. Предположим, что $U = U_0 + U_1$, где U_0, U_1 – комплексные амплитуды взаимодействующих пучков. Подставляя это в уравнение (1), имеем

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial U_0}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_0}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U_0}{\partial \varphi^2} - 2ik \frac{\partial U_0}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U_1}{\partial \varphi^2} - 2ik \frac{\partial U_1}{\partial z} + \\ & + \beta |U_0|^2 U_0 + 2\beta |U_1|^2 U_0 + \beta |U_1|^2 U_1 + 2\beta |U_0|^2 U_1 + \beta U_0^2 U_1^* + \beta U_1^2 U_0^* = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Двумя последними интерференционными членами в (2) пренебрегаем и уравнение записываем в виде системы двух нелинейных параболических уравнений

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial U_0}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_0}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U_0}{\partial \varphi^2} - 2ik \frac{\partial U_0}{\partial z} + \beta |U_0|^2 U_0 + 2\beta |U_1|^2 U_0 = 0 \\ & \frac{1}{r} \frac{\partial U_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U_1}{\partial \varphi^2} - 2ik \frac{\partial U_1}{\partial z} + \beta |U_1|^2 U_1 + 2\beta |U_0|^2 U_1 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Решение системы уравнений (3) ищем в классе круговых Лагерра-Гаусса функций

$$U_0 = \sqrt{I_0} \exp \left\{ -P_0 - iQ_0 - \frac{r^2}{w_0^2} - \frac{ikr^2}{2R_0} \right\}, \quad (4a)$$

$$U_1 = \sqrt{I_1} e^{i\varphi} \frac{r}{w_1} \exp \left\{ -P_1 - iQ_1 - \frac{r^2}{w_1^2} - \frac{ikr^2}{2R_1} \right\}, \quad (4b)$$

где I – интенсивность излучения на оси пучка, w – радиус светового пятна, R – радиус кривизны фазовой поверхности. Световое пятно пучка первого порядка (4a) имеет кольцевую форму, т. е. интенсивность света на оси пучка равна нулю.

Для системы уравнений (3) запишем интеграл действия

$$\begin{aligned} J = \int_0^z dz \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\infty dr \left[r \frac{\partial U_0}{\partial r} \frac{\partial U_0^*}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_0}{\partial \varphi} \frac{\partial U_0^*}{\partial \varphi} - ikr \left(U_0 \frac{\partial U_0^*}{\partial z} - U_0^* \frac{\partial U_0}{\partial z} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{r} \frac{\partial U_1}{\partial r} \frac{\partial U_1^*}{\partial r} - ikr \left(U_1 \frac{\partial U_1^*}{\partial z} - U_1^* \frac{\partial U_1}{\partial z} \right) - \frac{\beta r}{2} \left(|U_0|^4 + 4|U_0|^2 |U_1|^2 + |U_1|^4 \right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Подставляем (3) в (4) и берем интеграл по координатам r и φ . Из условия экстремума функционала, т. е. из равенства нулю вариации $\delta J = 0$, получим систему восьми обыкновенных дифференциальных уравнений для параметров двух пучков. Из этой системы нетрудно выделить систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для радиусов световых пятен пучков.

$$\begin{aligned} k^2 \frac{\partial^2 w_0}{\partial z^2} &= \frac{4(1 - \chi_0)}{w_0^3} - \frac{128 \chi_1 w_0 (w_0^2 - w_1^2)}{(w_0^2 + w_1^2)^2}, \\ k^2 \frac{\partial^2 w_1}{\partial z^2} &= \frac{4(1 - \chi_1)}{w_1^3} - \frac{32 \chi_0 w_0^2 w_1}{(w_0^2 + w_1^2)^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\chi_0 = I_0 \beta w_{00}^2 / 8 = \beta P_0 / 4\pi$, $\chi_1 = I_1 \beta w_{10}^2 / 64 = \beta P_1 / 16\pi$ – эффективная мощность пучков в нелинейной среде, P_0, P_1 – мощность пучков нулевого и первого порядка, w_{00}, w_{10} – значение радиуса световых пятен пучков на границе нелинейной среды $z=0$. Сравнивая выражения для χ_0 и χ_1 , заключаем что критическая мощность самофокусировки для кольцевого пучка (Лагерра-Гауссова

Умножая первое уравнение системы (5) на χ_1 а второе уравнение на χ_2 дифференцируя их по z и складывая получим соотношение

$$\frac{d^3 (\chi_1 w_1^2 + \chi_2 w_2^2)}{dz^3} = 0 \quad (6)$$

Решение уравнение (6) имеет вид:

$$\chi_1 w_1^2 + \chi_2 w_2^2 = C_2 z^2 + C_1 z + C_0, \quad (7)$$

где постоянные интегрирования C_0, C_1, C_2 равны

$$\begin{aligned} C_0 &= \chi_1 w_{10}^2 + \chi_2 w_{20}^2, \\ C_1 &= 2\chi_1 \frac{w_{10}^2}{R_{10}} + 2\chi_2 \frac{w_{20}^2}{R_{20}}, \\ C_2 &= \chi_1 \frac{w_{10}^2}{R_{10}^2} + \chi_2 \frac{w_{20}^2}{R_{20}^2} + \frac{4\chi_1(1-\chi_1)}{k^2 w_{10}^2} + \frac{4\chi_2(1-\chi_2)}{k^2 w_{20}^2} - \frac{32\chi_1\chi_2}{k^2(w_{10}^2 + w_{20}^2)}. \end{aligned}$$

Здесь R_{10}, R_{20} – радиусы кривизны фазовой поверхности пучков при $z=0$. Для упрощение решения системы (5) сделаем замену функции

$$w_1 = \sqrt{C_2 z^2 + C_1 z + C_0} V(\tau), \quad (8)$$

где τ новая переменная $\tau = \int_0^z \frac{dz}{C_2 z^2 + C_1 z + C_0}$.

Подставляя (8) в первое уравнение системы (5) получим следующее выражение

$$k^2 \frac{d^2 V}{d\tau^2} = k^2 \gamma V + \frac{4(1-\chi_1)}{V^3} - \frac{32\chi_2^3 V}{[1 + (\chi_2 - \chi_1)V^2]^2}, \quad (9)$$

где $\gamma = -C_2 C_0$.

Для дальнейшего упрощения предположим, что эффективные мощности пучков равны, т.е. $\chi_1 = \chi_2 = \chi$, а начальные фазовые поверхностей пучков плоские ($1/R_{10} = 1/R_{20} = 0$). Тогда уравнение (8) запишется в следующем виде:

$$k^2 \frac{d^2 V}{d\tau^2} = k^2 \gamma V + \frac{4(1-\chi)}{V^3} - 32\chi^3 V. \quad (10)$$

Интегрируя уравнение (10) получим, при $\chi < 1$, решение

$$2\chi V^2 = 1 + \sqrt{1 + \frac{16\chi^2(1-\chi)}{\delta}} \sin \left[-\frac{2\sqrt{-\delta}}{k} \tau + T_0 \right], \quad (11)$$

где постоянная интегрирования $T_0 = \arcsin \left(2\chi V_0^2 - 1 / \sqrt{1 + \frac{16\chi^2(1-\chi)}{\delta}} \right)$, а $V_0^2 = \frac{w_{10}^2}{\chi_1 w_{10}^2 + \chi_2 w_{20}^2}$,

$$\delta = k^2 \gamma - 32\chi^2.$$

В случаи $\chi > 1$ решение уравнение (9) имеет вид

$$\delta V^2 \left(V^2 + \frac{1}{\sqrt{\delta}} - \frac{1}{\chi} \right) = \exp \left(\frac{2\sqrt{\delta}}{k} \tau + T_0 \right) + 4(1-\chi) + \frac{\sqrt{\delta}}{2\chi}. \quad (12)$$

Здесь $T_0 = \ln \left| \sqrt{\delta} V_0^4 + \left(\sqrt{\delta} - \frac{\delta}{\chi} \right) V_0^2 - 4(1-\chi) - \frac{\sqrt{\delta}}{2\sqrt{\chi}} \right|$.

Численный счет системы уравнений (5) показывает, что поведение взаимодействующих пучков в нелинейной среде достаточно сложно. Размер взаимодействующих пучков может или одновременно возрастают, или уменьшается, а возможно что один из них будет возрастать а второй уменьшаться. Как следует из формулы (ба), в случаи распространения двух гауссовых пучков в нелинейной среде величина $2W^2 = \chi_1 w_1^2 + \chi_2 w_2^2$ изменяется по параболическому закону аналогичному закону изменения радиуса светового пятна кругового пучка. По типу изменение величины W можно выделить три режима распространения взаимодействующих пучков.

В случае совпадения мощности взаимодействующих пучков ($\chi_1 = \chi_2 = \chi$) и плоским начальным фазовым фронтом в работе было получено аналитическое выражение для функции описывающей поперечный размер пучков ($V^2 = w_1^2 / (\chi_1 w_1^2 + \chi_2 w_2^2)$) (см. формулы (11), (12)). При мощности пучков меньше критической мощности для случая распространения одного пучка, взаимодействующие пучки будут осциллировать. Функция V^2 по переменной τ изменится по закону синуса. Период ее колебания равен $T = k\pi / \sqrt{-\delta}$. При мощности пучков больше критической функция V^2 уменьшается по экспоненте до нуля.

Критическая мощность нелинейного сжатия взаимодействующих пучков равна $\chi_{кр} = (w_{10}^2 + w_{20}^2)^2 / ((w_{10}^2 + w_{20}^2)^2 + 8w_{10}^2 w_{20}^2)$. Она изменяется от значения $\chi_{кр} = 1/3$ при $w_{10} = w_{20}$ до единицы при значительном отличии поперечных размеров пучков (например $w_{10} \gg w_{20}$).

Из всего выше приведенного следует, что при большом отличии мощностей или поперечных размеров пучков влияние их друг на друга при распространении в нелинейной среде незначительно. При близком значении мощности пучков и их поперечных размеров нелинейное взаимодействие пучков существенно влияет на их геометрию и его необходимо учитывать при расчетах оптических устройств.

А. С. Чаус

г. Трнава, Словацкий технический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

При производстве отливок из подавляющего большинства литейных сплавов обработка расплава модифицирующими добавками является практически стандартным технологическим приемом повышения качества и технико-экономических показателей литых изделий [1]. Введение модифицирующих добавок в расплав позволяет целенаправленно управлять формированием первичной микроструктуры литейных сплавов на стадии получения отливок с целью обеспечения заданного комплекса механических и эксплуатационных свойств в готовом изделии. Поэтому к настоящему времени накоплен большой теоретический и экспериментальный опыт по модифицированию литейных сплавов. Но, по сравнению со стандартными литейными сплавами, с целью улучшения структуры и свойств литых быстрорежущих сталей используется ограниченное число модификаторов. Такая ситуация обусловлена недостаточной изученностью многих элементов, которые априори считаются вредными только на основании того, что они ухудшают технологическую пластичность деформированных быстрорежущих сталей, подвергаемых горячей пластической деформации на стадии металлургического передела. С учетом вышеизложенного в данной работе* представлены результаты теоретической оценки поверхностной активности элементов с целью расширения номенклатуры эффективных модификаторов для литых вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей.

Теоретические расчеты поверхностной активности элементов. Известно, что модифицирующий эффект элементов зависит от их поверхностной активности [2; 3]. Чем меньше поверхностная энергия на границе кристалл–расплав, тем стабильнее система, т. е. более благоприятные условия для зарождения центров кристаллизации в расплаве. Изменить величину поверхностной энергии можно за счет придания в расплав поверхностно-активных элементов. С одной стороны, такие элементы, адсорбируясь на поверхности раздела твердая фаза (кристаллический зародыш) – жидкость, уменьшают там поверхностное натяжение, что увеличивает скорость зарождения и стабильность центров кристаллизации (зародышей) с меньшим критическим размером. С другой стороны, поверхностно-активные элементы, за счет образования адсорбционных мономолекулярных пленок на растущих кристаллах затрудняют диффузию атомов кристаллизующегося вещества и, как следствие, способствуют снижению скорости роста кристаллов, что в конечном итоге приводит к измельчению структуры сплава [2].

С точки зрения поверхностной активности модификаторы должны обладать низкой свободной энергией на границе твердая фаза – газ (пар). Это означает, что они должны иметь

* Работа выполнена благодаря финансовой поддержке по проекту VEGA № 1/0520/15.

слабые силы сцепления в твердом и жидком состояниях и, как следствие, низкую температуру плавления. С учетом вышеупомянутого предположения поверхностная активность элементов в расплаве железа может быть оценена с учетом разницы между температурой плавления ($\Delta T_{пл}$) и поверхностной энергией ($\Delta\sigma$) для железа (Fe) и модификатора (M) соответственно. Если

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{Fe} - T_M > 0 \\ \Delta\sigma &= \sigma_{Fe} - \sigma_M > 0\end{aligned}\quad (1)$$

модификатор будет поверхностно активным по отношению к железу [2]. Значение поверхностной энергии на границе твердая фаза – жидкость может быть найдено из выражения [2]:

$$\sigma = \sigma_L \left(\frac{\rho_S}{\rho_L} \right)^{2/3} q/\lambda \quad (2)$$

где σ_L – поверхностное натяжение (поверхностная энергия на границе газ – жидкость, ρ_S – плотность твердой фазы, ρ_L – плотность жидкой фазы, q – скрытая теплота плавления, λ – скрытая теплота испарения.

Для оценки поверхностной активности можно использовать разницу и в удельной теплоте сублимации (ΔP) [2]:

$$\Delta P = P_{Fe} - P_M > 0 \quad (3)$$

Полный потенциальный барьер электронов (энергия активации электронов) также используется в качестве критерия поверхностной активности элементов. Этот показатель может быть рассчитан следующим образом [2]:

$$\psi = \frac{h}{2m} \left(\frac{3N}{8\pi} \right)^{2/3} (\rho/M \cdot z)^{2/3} + \omega \quad (4)$$

где h – постоянная Планка, N – число Авагадро, ρ – плотность, M – атомный вес, z – число валентных электронов, m – масса электрона, ω – работа выхода электрона. Модификатор будет поверхностно активным если [2]:

$$\Delta\psi = \psi_{Fe} - \psi_M > 0 \quad (5)$$

Принимая во внимание, что при адсорбции электростатическое взаимодействие оказывает существенное влияние, свойства молекул вещества, а именно их способность адсорбировать или адсорбироваться, могут быть выражены через так называемый статический обобщенный момент m^s , то есть потенциал нейтрального атома, находящегося от ядра на расстоянии, равном атомному радиусу по Гольдшмидту. Статический обобщенный момент может быть рассчитан в соответствии со статистической моделью атома Томаса-Ферми следующим образом [2]:

$$m^s = \frac{eZ}{r} \varphi(\eta) \quad (6)$$

где e – элементарный заряд, Z – порядковый номер элемента или количество электронов в нейтральном атоме, r – атомный радиус по Гольдшмидту для координационного числа 12, и

$$\varphi(\eta) = \frac{r^3 \sqrt{Z}}{0,468} \cdot 10^8 \quad (7)$$

Модификатор будет уменьшать поверхностное натяжение в том случае, если его статический обобщенный момент меньше, чем у железа:

$$\Delta m^s = m^s_{Fe} - m^s_M > 0 \quad (8)$$

Наконец, поверхностную активность элементов можно оценить и по величине энтропии в стандартном состоянии S^{298} . Модификатор будет поверхностно активным если [2]:

$$\Delta S^{298} = S^{298}_M - S^{298}_{Fe} > 0 \quad (9)$$

Теоретическая оценка модифицирующего потенциала 23 элементов была выполнена путем расчета их поверхностной активности в расплавленном железе с использованием вышеупомянутых уравнений [3]. Результаты расчетов разности между величинами отдельных критериев для железа и конкретного модификатора приведены в таблице 1. На основании этих данных были получены ряды активности элементов (таблица 2), которые показали, что список наиболее активных элементов возглавляет Bi (общая сумма мест в рядах активности 18), за которым следуют Ca (27), Sr и Sn (35), Sb (36), Cd (37), Mg (47).

К инактивным элементам относятся (таблица 2):
 по температуре плавления – Ti, Zr, Hf, B, Nb и Ta;
 по поверхностной энергии – Co, Nb, и Ta;
 по энтропии в стандартном состоянии – Si и B;
 по удельной теплоте сублимации – Co, Ni, Nb, Ta и B;
 по статистическому обобщенному моменту – Co, Ni, B;
 по потенциальному барьеру электронов – Cu, Co, Ni, Ti и B.

Таблица 1 – Разность между температурой плавления ($\Delta T_{пл}$), поверхностной энергией ($\Delta\sigma$), удельной теплотой сублимации (ΔP), энтропией в стандартном состоянии (ΔS^{298}), статистическим обобщенным моментом (Δm^c), полным потенциальным барьером электронов ($\Delta\psi$) железа и модификатора соответственно

Элемент	$\Delta T_{пл}$, К	$\Delta\sigma$, мН/м	ΔP , кДж/м ³	ΔS^{298} , Дж/К	$\Delta m^c \cdot 10^{-10}$, Кл/см	$\Delta\psi$, эВ
Sn	1304,1	1328	37,66	24,3	0,561	4,69
Bi	1265,0	1494	46,51	29,7	0,725	7,73
Cd	1215,1	1302	47,60	24,3	0,541	3,94
Pb	1208,6	1404	45,48	37,7	0,682	5,44
Zn	1116,5	1090	41,80	14,5	0,306	1,82
Sb	905,5	1505	47,04	18,4	0,588	3,61
Al	875,9	958	23,81	1,14	0,374	3,02
Mg	887	1313	45,57	5,30	0,597	4,75
Sr	766	1569	50,91	25,13	0,030	9,20
Ca	697	1511	48,87	14,46	0,784	8,11
Ge	599	1251	27,36	3,99	0,306	3,44
Cu	452	587	8,90	6,17	0,058	-0,09
Mn	292	782	16,68	4,62	0,111	0,13
Si	124	1007	18,84	-8,40	0,206	3,43
Ni	81	94	-8,87	2,61	-0,062	-0,74
Co	44	-1	-7,21	2,86	-0,030	-0,63
Y	17	1262	34,85	17,20	0,714	4,83
Zr	-316	392	12,40	11,70	0,570	4,31
Ti	-131	222	12,77	3,11	0,405	-2,06
Hf	-691	242	10,67	16,80	0,570	5,36
B	-764	802	-67,51	-21,30	-4,055	-8,47
Nb	-931	-28	-10,47	9,35	0,433	3,06
Ta	-1444	-278	-15,70	14,20	0,420	2,98

Рафинирующую способность элементов оценивали сравнением теплоты образования и энергии Гиббса их оксидов, нитридов, сульфидов, и гидридов с соответствующими характеристиками аналогичных соединений основных компонентов быстрорежущих сталей – Fe, W, Mo, Cr и V [3]. Вероятность образования соединений тем выше, чем больше отрицательное значение энергии Гиббса и теплоты образования. По этим признакам многие из выбранных элементов имеют большую вероятность образования соединений с вредными примесями, чем элементы легирующего комплекса быстрорежущих сталей.

Наиболее активными элементами являются:
 по отношению к кислороду – Ti, Ta, Y, Nb, Al, Mn, B;
 по отношению к сере – Al, Ca, Sr, Mg, Co, B, Si, Mn, Ni, Bi, Sn, Cd, Ge;
 по отношению к азоту – Si, Mg, Ca, Sr, Hf, Zr, Ti, Al, Nb, B, Ta;
 по отношению к водороду – Ca, B, Si и Ni.

Таблица 2 – Ряды активности элементов в расплаве железа, построенные по следующим параметрам*:

$\Delta T_{пл}$	$\Delta\sigma$	ΔP	ΔS^{298}	Δm^c	$\Delta\psi$
Sn	Sr	Sr	Pb	Ca	Sr
Bi	Ca	Ca	Bi	Bi	Ca
Cd	Sb	Cd	Sr	Y	Bi
Pb	Bi	Sb	Cd	Pb	Pb
Zn	Pb	Bi	Sn	Mg	Hf
Sb	Sn	Mg	Sb	Sb	Y
Mg	Mg	Pb	Y	Zr	Mg
Al	Cd	Zn	Hf	Hf	Sn
Sr	Y	Sn	Zn	Sn	Zr
Ca	Ge	Y	Ca	Cd	Cd
Ge	Zn	Ge	Ta	Nb	Sb
Cu	Si	Al	Zr	Ta	Ge
Mn	Al	Si	Nb	Ti	Si
Si	B	Mn	Cu	Al	Nb
Ni	Mn	Ti	Mg	Zn	Al
Co	Cu	Zr	Mn	Ge	Ta
Y	Zr	Hf	Ge	Si	Zn
Ti	Hf	Cu	Ti	Mn	Mn
Zr	Ti	Co	Co	Cu	Cu
Hf	Ni	Ni	Ni	Sr	Co
B	Co	Nb	Al	Co	Ni
Nb	Ni	Ta	Si	Ni	Ti
Ta	Ta	B	B	B	B

Таким образом, проведена теоретическая оценка поверхностной активности элементов и выбраны перспективные модификаторы для улучшения структуры и свойств литых быстрорежущих сталей.

Список использованных источников

- 1 Гелин, Ф. Д. Металлические материалы / Ф. Д. Гелин, А. С. Чаус. – Минск : Вышэйшая школа, 2007. – 396 с.
- 2 Chaus, A. S. Application of bismuth for solidification structure refinement and properties enhancement in as-cast high-speed steels / A. S. Chaus // ISIJ International. – 2005. – Vol. 45, № 5. – P. 1297–1306.
- 3 Чаус, А. С. Влияние модифицирования на структуру и свойства литых вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей / А. С. Чаус, Ф. И. Рудницкий // Ми ТОМ. – 1989. – № 2. – С. 27–32.

А. К. Черепок
г. Минск, СШ № 130

ФОРМИРОВАНИЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ НАВЫКОВ У УЧАЩИХСЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАБЛЮДЕНИЙ

В общей системе естественно-научного образования современного человека физика играет основополагающую роль. Под влиянием физической науки развиваются новые направления научных исследований. Одной из основных целей и задач физики как учебного предмета является овладение исследовательскими умениями учащимися проводить наблюдения, планировать, выполнять и оценивать результаты физических экспериментов, выдвигать предположения и строить модели, применять полученные знания по физике для объяснения разнообразных физических явлений и свойств веществ [1].

* Примечание. Выше ломаной линии расположены поверхностно-активные элементы, ниже – инактивные.

На начальных этапах обучения физике используют как метод исследования – наблюдение реальных явлений. Наблюдение – это целенаправленное восприятие, дающее возможность всесторонне рассмотреть объект окружающего мира, увидеть происходящие в нем изменения, определить их причины и условия протекания. Наблюдение как метод исследования характеризуется рядом предъявляемых к его проведению требований. К ним относят требование сохранения условий естественности прохождения исследуемых явлений, целенаправленного изучения и поэтапной фиксации результатов. Для проведения наблюдения необходимо разработать программу исследований, в которой должны быть определены цели и задачи исследования, объект, ситуация и предмет. Также выбирают способ изучения явлений, временные границы наблюдения. Составляют график наблюдения и определяют способ его регистрации.

Учащиеся в ходе обучения проведению научных наблюдений и качественных экспериментов, так как принципиальных различий между ними нет, должны понять основные методы их проведения. К ним относят: выделение наиболее существенных черт изучаемого явления; разложение сложного явления на простые составляющие; осмысление результатов; выдвижение предположений, объясняющих явление; поиск способов проверки этих предположений; выявление существенных факторов, влияющих на изучаемое явление. При проведении наблюдений желательно акцентировать внимание учащихся на получение ответов на следующие вопросы: что происходит? что и как влияет на характеристики изучаемого явления? какие факторы являются существенными, а какие можно не рассматривать? [2, с. 43].

В процессе наблюдения желательно, чтобы учащиеся выдвигали различные предположения для объяснения увиденного и размышляли о том, как это можно проверить. Проверка предположений может осуществляться при помощи наблюдения или путем постановки качественного эксперимента, без проведения измерений. Учитель задания для наблюдения формулирует в предельно общем виде. Некоторые простые наблюдения или демонстрационные эксперименты учащиеся могут проводить непосредственно во время учебных занятий, используя web-камеру, фотоаппарат, персональный компьютер и интерактивную доску. Задания, требующие для проведения большего времени, могут выполняться учащимися дома, самостоятельно. Желательно приучать учащихся представлять собственные результаты в виде отчета. Так как в настоящее время учащиеся широко используют персональный компьютер, фото- и видеоаппаратуру, то отчеты желательно иллюстрировать фотографиями и видеоматериалами.

Возможна следующая форма представления отчета учащимися:

1. Дата выполнения.
2. Название работы.
3. Цель исследования. Формулировка цели должна быть предельно конкретизирована и не повторять названия работы.
4. Описание эксперимента и использованного оборудования. Описание должно быть кратким и отражать все проведенные действия. Следует отметить, какие внешние условия могли повлиять на изучаемое явление. Необходимо точно указать использованное оборудование, регистрирующую аппаратуру и их характеристики, существенные в проводимых исследованиях. Ход эксперимента сопровождать фото- и видеоматериалами.
5. Результаты экспериментов. Результаты, как правило, представляют в виде таблиц, где отражены полученные значения, даже если они носят качественный характер.
6. Выводы. В выводах следует обобщить полученные результаты и ответить на вопросы, поставленные в цели исследования, также приложить данные фото- и видеорегистрации.

Учащиеся должны понимать основные методы проведения научных наблюдений и качественных экспериментов (принципиальных различий между ними нет): выделение наиболее существенных черт изучаемого явления; разложение сложного явления на простые составляющие; постоянное осмысление результатов; постоянное выдвижение предположений, объясняющих явление; поиск способов проверки предположений; выявление существенных факторов, влияющих на изучение явления. При подведении итогов, можно предложить учащимся воспользоваться следующей памяткой:

УЧУСЬ НАБЛЮДАТЬ

- Уточни ОБЪЕКТ наблюдения: ЧТО будешь НАБЛЮДАТЬ?
- Осмысли ЦЕЛЬ наблюдения: ЧТО хочешь УЗНАТЬ?
- Выясни УСЛОВИЯ, необходимые для проведения наблюдения.
- Разработай ПЛАН проведения наблюдения: КАК будешь ДЕЙСТВОВАТЬ?

- Подумай. КОГДА ты будешь ФИКСИРОВАТЬ наблюдаемые явления (в процессе наблюдения или сразу же после его окончания).
- Наблюдение проведи НЕСКОЛЬКО РАЗ.
- Опиши ПРИЗНАКИ наблюдаемых процессов: ЧТО и КАК ПРОИСХОДИЛО?
- Сделай АНАЛИЗ увиденного: КАК полученные НОВЫЕ ДАННЫЕ согласуются с тем, ЧТО ты ЗНАЛ РАНЬШЕ?
- Сформулируй и запиши основные ВЫВОДЫ.

В настоящее время имеются наборы оборудования, которые созданы для внеурочной работы или домашнего пользования с целью повышения мотивации учащихся к исследованию по физике. Например, наборы фирмы «Научные развлечения». Каждый из таких наборов содержит методические рекомендации к выполнению нескольких десятков экспериментов, что позволяет построить систему самостоятельных исследований учащихся.

При проведении наблюдения использование датчиков, web-камеры, фотоаппарата, персонального компьютера и интерактивной доски активизирует внимание учащихся, усиливает их мотивацию, развивает познавательные процессы, мышление, внимание, воображение и фантазию, позволяет проводить моделирование сложных физических объектов; осуществить автоматизированный контроль качества полученных знаний; реализовать технологию дистанционного и личностно-ориентированного обучения.

Список использованных источников

- 1 Концепция учебного предмета «Физика» : утверждено приказом Министерства образования Республики Беларусь от 29.05.2009 № 675.
- 2 Практикум по учебному физическому эксперименту : практикум / И. И. Елисеева, А. А. Луцевич, О. Н. Белая [и др.]. – Минск : БГПУ им. М. Танка, 2013. – 140 с.

**К. В. Чернякова, И. А. Врублевский, С. М. Завадский,
Д. А. Голосов, Д. Д. Котинго
г. Минск, БГУИР**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СТРУКТУР АНОДНЫЙ ОКСИД АЛЮМИНИЯ – ПЛЕНКА НИХРОМА

Для процессов экранирования электромагнитного излучения (ЭМИ) используются особенности распространения волн, связанные с поглощением электромагнитной энергии в материалах и отражением электромагнитной волны от границы раздела двух сред. При распространении ЭМИ на границе раздела сред с различными волновыми сопротивлениями часть электромагнитной энергии проходит через нее, а часть отражается от нее. Причем коэффициент отражения зависит от соотношения волновых сопротивлений двух сред. Для решения задачи согласования волновых сопротивлений используются диэлектрические структуры с тонкой пленкой металла толщиной 10–100 нм, в частности с пленкой нихрома, для поглощения ЭМИ [1, с. 84].

В данной работе представлены результаты исследований частотной зависимости коэффициента отражения электромагнитной волны, формируемой при взаимодействии ее со структурой анодный оксид алюминия–пленка нихрома. Пленки пористого оксида алюминия имели толщину 70 мкм (значение диэлектрической проницаемости 8). На одну из сторон пленки пористого оксида алюминия методом ионно-лучевого испарения наносили тонкие пленки нихрома различной толщины с поверхностным сопротивлением 140, 70, 30 и 10 Ом/□. Поверхностное сопротивление пленок нихрома измеряли на установке ИУС–3М. Тонкие радиопоглощающие пленки нихрома на Al₂O₃ использовались для уменьшения коэффициента отражения и повышения ослабления в конструкциях экранов ЭМИ. Методика получения пленок пористого анодного оксида алюминия описана в [2, с. 157]. Характеристики экранирования исследуемых структур в диапазоне частот 8...12 ГГц определяли с помощью панорамного измерителя ослабления и коэффициента стоячей волны по напряжению Я2Р-67. При измерениях образцы зажимали между фланцами волноводов прибора. Такой способ регистрации спектров при малой толщине образцов считали эквивалентным использованию измерительной ячейки.

Для осаждения пленок нихрома использовалась лабораторная установка, разработанная на базе вакуумного поста ВУ-2Мп. Схема лабораторной установки для нанесения пленок

нихрома методом ионно-лучевого распыления представлена на рисунке 1. Вакуумная камера установки оборудована двумя холловскими ионными источниками. Один из источников использовали для предварительной ионной очистки поверхности образцов, а второй – для распыления материала мишени. Образцы (пленки анодного оксида алюминия) устанавливали на перемещаемый подложкодержатель, что позволило поочередно подводить образец в рабочую зону двух ионно-плазменных устройств. Расстояние от образца до мишени распыляющего ионного источника составляло 20 см. Перед процессом осаждения пленок нихрома производили ионную очистку поверхности образцов. Для этого камера вакуумной установки откачивали до остаточного давления 2×10^{-3} Па. Затем Ag подавался в камеру до рабочего давления $2.0 \cdot 10^{-2}$ Па. Время очистки, энергия ионов и ток разряда во всех экспериментах было постоянным и составляло 3 мин, 500 эВ, 70 мА соответственно.

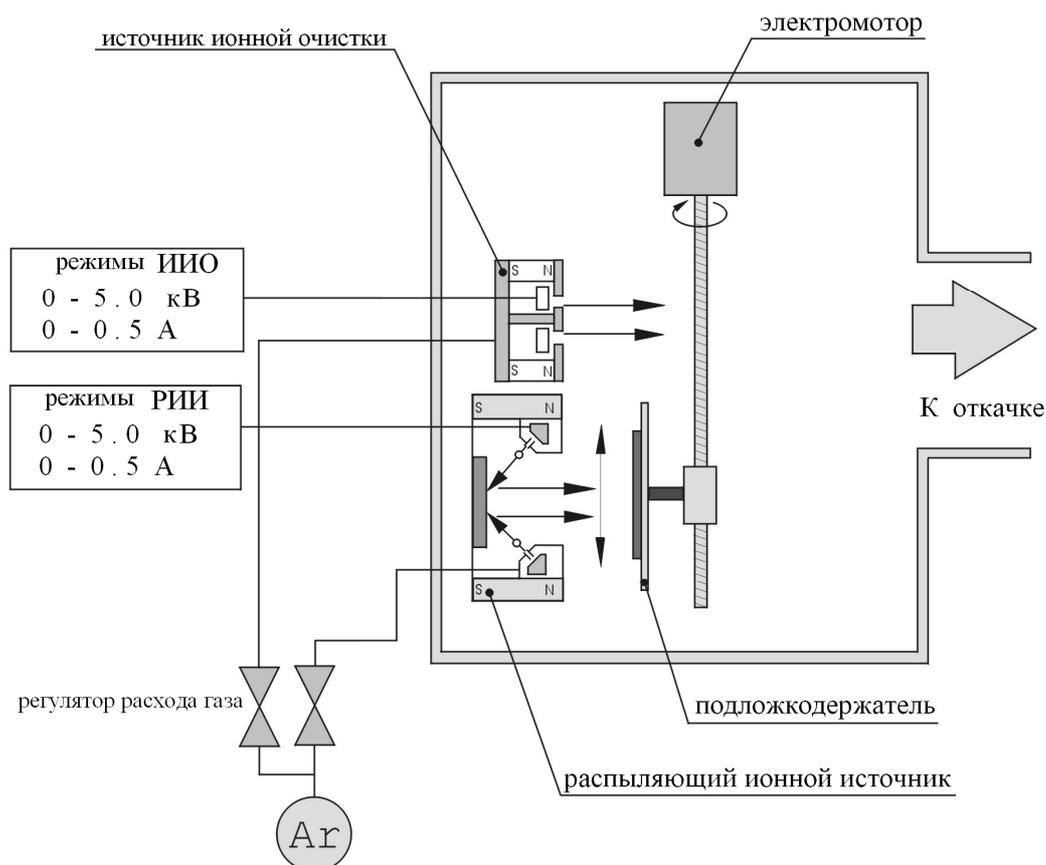
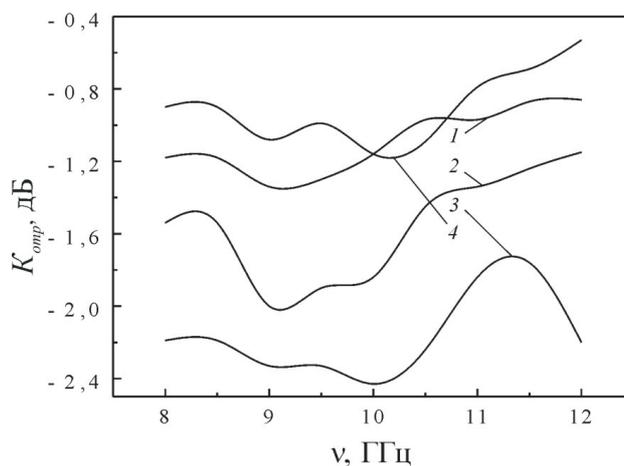


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для нанесения пленок нихрома методом ионно-лучевого распыления

Ионно-лучевое распыление мишени нихрома диаметром \varnothing 80 мм и толщиной 10 мм осуществляли ионами Ag^+ с энергией 1300 эВ, генерируемыми распыляющим ионным источником. Ток разряда во всех экспериментах был постоянным и составлял 160 мА (ток мишени 170–180 мА). Расход Ag подаваемого в распыляющий ионный источник контролировали с помощью регулятора расхода газа РРГ-1. Время нанесения пленок нихрома выбирали в интервале от 5 до 20 мин. Пленки нихрома, осажденные на образцы в выбранных режимах ионно-лучевого распыления, имели удельное поверхностное сопротивление от 400 до 12 Ом/□.

На рисунке 2 приведены частотные зависимости коэффициента отражения для структур анодный оксид алюминия–нихром с различной толщиной пленки нихрома. Для анодного оксида алюминия толщиной 70 мкм минимальный коэффициент отражения на уровне –2,5 дБ имела структура с пленкой нихрома с поверхностным сопротивлением 70 Ом/□ (рисунок 2).

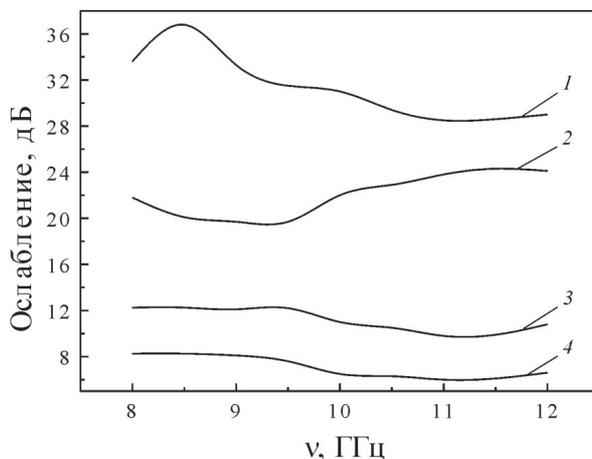
На рисунке 3 показано влияние толщины пленки нихрома на частотную зависимость ослабления электромагнитного излучения слоистой структурой. Уровень ослабления для такой структуры был низким, около 8 дБ (рисунок 3) только для удельного поверхностного сопротивления 140 Ом/□. Более высокое ослабление имели структуры с пленкой с поверхностным сопротивлением 30 и 10 Ом/□, в среднем 24 и 30 дБ соответственно.



1 – пленка нихрома 10 Ом/□; 2 – пленка нихрома 30 Ом/□;
3 – пленка нихрома 70 Ом/□; 4 – пленка нихрома 140 Ом/□

Рисунок 2 – Зависимости коэффициентов отражения ЭМИ для структур с анодным оксидом алюминия (толщина 70 мкм) и пленкой нихрома с различным поверхностным сопротивлением

В то же время коэффициенты отражения таких структур оставались высоким – 1,9 дБ (30 Ом/□) и – 1,2 дБ (10 Ом/□). Для процессов взаимодействия ЭМИ со слоистой структурой с анодным оксидом алюминия толщиной 70 мкм и тонкой пленкой нихрома можно выделить следующие закономерности. Увеличение толщины пленки нихрома (уменьшение поверхностного сопротивления) приводило к заметному росту ослабления и к увеличению коэффициента отражения. Исключение было только для образца с пленкой нихрома с поверхностным сопротивлением 140 Ом/□. Это, возможно, связано с островковой структурой пленки, что подтверждает низкое значение ослабления ЭМИ.



1 – пленка нихрома 10 Ом/□; 2 – пленка нихрома 30 Ом/□;
3 – пленка нихрома 70 Ом/□; 4 – пленка нихрома 140 Ом/□

Рисунок 3 – Зависимости ослабления ЭМИ для структур с анодным оксидом алюминия (толщина 70 мкм) и пленкой нихрома с различным поверхностным сопротивлением

Показано, что нанесение тонких радиопоглощающих пленок нихрома на поверхность пористого анодного оксида алюминия приводило к перераспределению волновой энергии для падающей электромагнитной волны. Образцы пленок пористого анодного оксида алюминия с пленкой нихрома удельным поверхностным сопротивлением 70,0 Ом/□ имели наименьший коэффициент отражения ЭМИ. Ослабление ЭМИ для таких образцов было на уровне не менее 12 дБ. Дальнейшее увеличение толщины пленки нихрома (уменьшение поверхностного сопротивления ниже 70,0 Ом/□) на поверхности пористого анодного оксида алюминия приводило к увеличению коэффициента отражения ЭМИ, что ухудшало характеристики экранирования ЭМИ.

Работа выполнена при частичном финансировании Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проекты Ф15М-100, Т14Р-165).

Список использованных источников

- 1 Усанов, Д. А. Измерение электропроводности нанометровых металлических пленок в слоистых структурах по спектрам отражения электромагнитного излучения / Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль, А. В. Абрамов [и др.]. – Саратов : Изд-во Сарат. университета, 2007. – С. 84.
- 2 Электромагнитные экранирующие свойства пористых матриц на основе анодного оксида алюминия / К. В. Чернякова, Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И. А. Врублевский, Г. А. Пухир // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины – 2014. – № 3. – С. 156–159.

С. В. Шалупаев, Ю. В. Никитюк, А. А. Середа
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ В ПЛОСКОСТИ {111} В РАМКАХ ЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Благодаря удачному сочетанию свойств арсенид галлия занимает одно из лидирующих мест по своему значению в современной электронной технике. Арсенид галлия имеет неплохие теплофизические характеристики, достаточно большую ширину запрещенной зоны, высокую подвижность электронов, благоприятные особенности зонной структуры, обуславливающие возможность прямых межзонных переходов носителей заряда. Разработаны технологии получения материала с хорошими изолирующими свойствами и высокой прозрачностью в инфракрасной области спектра [1]. Арсенид галлия обладает более высокой подвижностью электронов, которая позволяет приборам работать на частотах до 250 ГГц. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия генерируют меньше шума, чем кремниевые приборы на той же частоте. Из-за более высокой напряженности электрического поля пробоя в арсениде галлия по сравнению с кремнием приборы из арсенида галлия могут работать при большей мощности. Эти свойства делают арсенид галлия широко используемым в полупроводниковых лазерах, некоторых радарных системах [2, с. 1].

Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия имеют более высокую радиационную стойкость, чем кремниевые, что обуславливает их использование в условиях радиационного излучения (например, в солнечных батареях, работающих в космосе).

Важнейшей задачей при производстве приборов на основе арсенида галлия является качественное разделение пластин, вырезанных в какой либо кристаллографической плоскостях на элементы. Одним из наиболее эффективных методов высокоточного разделения хрупких неметаллических материалов является управляемое лазерное термораскалывание, отличительная особенность которого заключается в том, что разделение материала на части заданной формы происходит вследствие образования трещины, формируемой в результате поверхностного нагрева материала лазерным излучением и последующего охлаждения зоны нагрева хладагентом [3]. В работе [4] авторами в рамках теорий термоупругости и линейной механики разрушения на основе разработанного алгоритма выполнено трехмерное конечно-элементное моделирование процесса развития лазерно-индуцированной трещины в силикатных стеклах при двулучевом лазерном управляемом термораскалывании. Определен профиль трещины и ее глубина при различных параметрах обработки, хорошо согласующиеся с результатами экспериментальных исследований.

В связи с этим представляется целесообразным проведение трехмерного моделирования процесса управляемого лазерного термораскалывания кристаллического арсенида галлия, вырезанного в плоскости {111} на основе разработанного в работе [4] алгоритма, с целью последующей оптимизации технологических режимов обработки на эксперименте.

Арсенид галлия относится к числу разлагающихся соединений. Начиная с 600 °С, разлагается с выделением мышьяка [5]. Поэтому режимы обработки были выбраны такими, чтобы температура материала не превышала 600 °С. Согласно [6] условия разрушения можно представить одним параметром, в качестве которого можно использовать коэффициент интенсивности напряжений K_I . При этом необходимыми условиями роста трещины являются следующие: напряжения в вершине трещины должны быть растягивающими; коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины должен превышать критический коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} (для силикатного стекла $K_{IC}=0,45 \text{ МПа м}^{1/2}$) [7]. С учетом этих условий было выполнено моделирование процесса управляемого лазерного термораскалывания, при котором выполнялись расчеты коэффициента интенсивности напряжений K_I в вершинах лазерно-

индуцированной трещины для определения динамики ее развития. Расчеты были выполнены с использованием метода конечных элементов.

В качестве образца выбраны пластины с геометрическими размерами 40x30x0,2 и 40x30x1 мм. Теплофизические свойства материала были выбраны следующие: плотность – 5320 кг/м³, теплопроводность – 55 Вт/(м·К), удельная теплоемкость – 330 Дж/(кг·К), коэффициент линейного расширения – 5,73·10⁻⁶ К⁻¹, коэффициент Пуассона – 0,3 [8; 9]. Согласно [10], для кристаллов, относящихся к кубической системе, упругие свойства пластины вырезанной в плоскости {111} изотропны, поэтому модуль Юнга был выбран равным 144·ГПа [7, с. 3]. В качестве источника излучения использован лазер с длиной волны 0,808 мкм энергия которого эффективно поглощается в поверхностных слоях. Диаметр лазерного пучка 3 мм, хладагента 6 мм, расстояние между их центрами 5 мм. Анализ проведен для скорости обработки 10 мм/с при плотности мощности излучения 3,8 Вт/м². В области подачи хладагента задается теплоотдача с коэффициентом равным 6800 Вт/(м²·К).

На рисунке 1 (а) представлены расчетные значения коэффициента интенсивности напряжений K_I в вершинах трещины на поверхности образца со стороны обработки от времени t . Кривая 1 (сплошная линия) соответствует пластинке толщиной 0,2 мм, кривая 2 (штриховая линия) – пластинке толщиной 1 мм. На рисунке 1 (б) представлены аналогичные кривые для обратной стороны пластинки, а на рисунках 2 (а) и 2 (б) расчетные значения упругих напряжений σ_{22} в вершинах трещины от времени t .



Рисунок 1 – Расчетные значения коэффициентов интенсивности напряжений K_I в вершинах трещины от времени обработки t : а) – при обработке пластины толщиной 0,2 мм, б) – при обработке пластины толщиной 1 мм

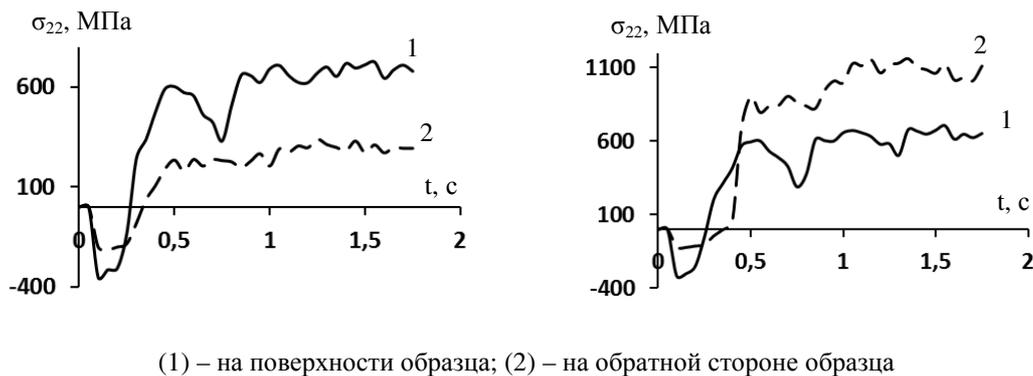


Рисунок 2 – Расчетные значения упругих напряжений σ_{22} в вершинах трещины от времени обработки t : а) – при обработке пластины толщиной 0,2 мм, б) – при обработке пластины толщиной 1 мм

По расчетным данным максимальная температура арсенида галлия в области воздействия лазерного пучка составляет 590 °С для пластинки толщиной 0,2 мм и 160°С для пластинки толщиной 1 мм. В промежуток времени от 0 до 0,3 секунды движения лазерного пучка и хладагента вершина стартовой трещины на поверхности образца подвергается воздействию лазерного излучения и во всех узлах фронта трещины по всей толщине образца формируются значительные по величине сжимающие напряжения. При этом роста трещины не происходит. Далее вершина трещины попадает в область воздействия хладагента, происходит резкое охлаждение поверхности материала и напряжения становятся растягивающими, и уже в момент времени 0,4 секунды

коэффициент интенсивности напряжений в этой вершине достигает критического значения. Трещина на поверхности образца начинает развитие вдоль линии обработки. При этом коэффициент интенсивности напряжений выше критического одновременно по всей толщине материала, что свидетельствует об образовании сквозной разделяющей трещины.

На рисунке 3 представлены расчетные значения координат X вершины сквозной трещины от времени обработки для пластин толщиной 0,2 и 1 мм.

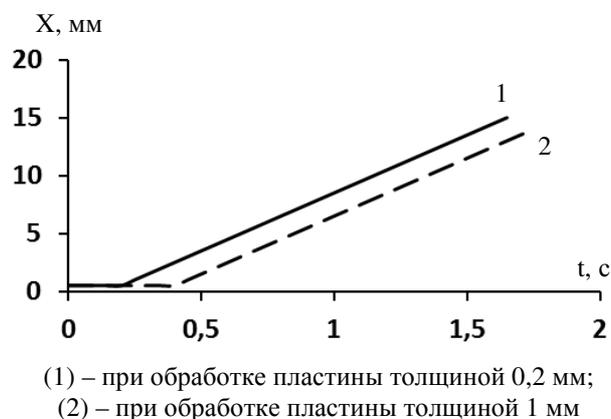


Рисунок 3 – Расчетные значения координат X вершины сквозной трещины от времени обработки t

Таким образом, результаты моделирования показывают, что разделение пластин кристаллического арсенида галлия методом управляемого лазерного термораскалывания осуществимо при температурах на поверхности образца менее 600 °С. Разработанный алгоритм моделирования позволяет моделировать процесс управляемого лазерного термораскалывания и, варьируя параметры лазерных пучков и хладагента, скорость обработки, геометрические размеры образца и вид конечно-элементной сетки получать информацию о профиле разделяющей трещины.

Список использованных источников

- 1 Галлия арсенид [Электронный ресурс] / Мега энциклопедия Кирилла и Мефодия : энциклопедический мультимедийный интернет-ресурс – Режим доступа : <http://megabook.ru/article/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%8F%20%D0%90%D1%80%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B4>. – Дата доступа : 20.03.2015.
- 2 Кузнецов, П. М. Исследование поверхности кристаллов GaAs, подвергнутых термическому воздействию / П. М. Кузнецов, М. В. Бойцова, М. В. Озерова // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 155–157.
- 3 Способ резки неметаллических материалов : пат. 2024441 Рос. Федерация, МПК5 С 03 В 33/02 № 5030537/33 // В. С. Кондратенко. – Заявл. 02.04.92 ; опубл. 15.12.94.
- 4 Шалупаев, С. В. Моделирование процесса двулучевого лазерного термораскалывания силикатных стекол в рамках линейной механики разрушения / С. В. Шалупаев, А. Н. Сердюков, Ю. В. Никитюк, А. А. Середа // Проблемы физики, математики и техники. – 2013. – № 2. – С. 29–34.
- 5 Гольдаде, В. А. Материалы электронной техники : курс лекций [Электронный ресурс] / В. А. Гольдаде // Электронные документы ГГУ имени Ф.Скорины. – Режим доступа : http://docs.gsu.by/DocLib8/Учебные20пособия/Материалы20электронной%20техники/13.%20Гл.11.Полупров_А3В5.doc. – Дата доступа : 25.03.2015.
- 6 Сиратори, М. Вычислительная механика разрушения / М. Сиратори, Т. Миеси, Х. Мацусита : пер. с японск. – М. : Мир, 1986. – 334 с.
- 7 Chen, C. P. Fracture mechanics evaluation of GaAs / C. P. Chen // Final report Jet propulsion laboratory. – Pasadena : California, 1984. – P. 63.
- 8 GaAs – Gallium Arsenide: Basic Parameters [Электронный ресурс] / Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН» – Режим доступа : <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond.html>. – Дата доступа : 06.04.2015.
- 9 GaAs – Gallium Arsenide: Thermal properties [Электронный ресурс] / Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН» – Режим доступа : <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaAs/thermal.html>. – Дата доступа : 06.04.2015.

П. С. Шаповалов, В. И. Дробышевский
г. Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДЕ

Часто, при обработки и передачи информации, наблюдается одновременное распространение нескольких мощных лазерных пучков, способных инициировать нелинейные эффекты. Их изучению посвящен ряд работ [1; 2; 3; 4]. Так, в статье [1, с. 97] исследуется взаимодействие двух соосных ортогонально поляризованных гауссовых пучков света в кубически нелинейной среде. Рассматриваемая там задача сводится вариационным методом к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, анализ которых проводится численно. В работах [2, с. 549] изучается взаимодействие параллельных световых пучков. При этом случай совпадения их осей исследуется аналитически, но приводится к задаче о распространении одинаковых пучков, что не представляется интересным. Данная работа посвящена исследованию взаимодействия двух взаимно некогерентных гауссовых пучков света, разной мощности, распространяющихся в нелинейной среде с квадратичной неоднородностью.

Для описания взаимодействия световых пучков будем исходить из системы нелинейных параболических уравнений [2], записанных в цилиндрической системе координат (r, φ, z) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_1}{\partial y^2} - 2ik_1 \frac{\partial U_1}{\partial z} - k_1^2 \alpha (x^2 + y^2) U_1 + k_1^2 \beta (|U_1|^2 + 2|U_2|^2) U_1 &= 0, \\ \frac{\partial^2 U_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_2}{\partial y^2} - 2ik_2 \frac{\partial U_2}{\partial z} - k_2^2 \alpha (x^2 + y^2) U_2 + k_2^2 \beta (|U_2|^2 + 2|U_1|^2) U_2 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь для j -го пучка ($j=1, 2$) U_j – комплексная амплитуда электромагнитного поля на круговой частоте колебаний ω_j , $k_j = \sqrt{\epsilon_j} \omega_j$ – волновое число, ϵ_j – линейная диэлектрическая проницаемость среды, α и β – ее коэффициент квадратичной неоднородности и коэффициент нелинейности. Система (1) описывает взаимодействие лазерных пучков в диапазоне частот, где временная дисперсия среды пренебрежимо мала.

Решение данной системе уравнений (1) проведем вариационным методом [3, с. 87; 4, с. 115] в классе круговых гауссовых функций [5, с. 27]:

$$U_i = \sqrt{I_i} \exp \left\{ -P_i - iQ_i - \frac{x^2}{w_{xi}^2} - \frac{y^2}{w_{yi}^2} - \frac{ik_i x^2}{2R_{xi}} - \frac{ik_i y^2}{2R_{yi}} \right\}, \quad (3)$$

где $i=1, 2$, I_i – интенсивность света на оси i -го пучка, w_{xi}, w_{yi} – полуоси эллипса светового пятна, R_{xi}, R_{yi} – радиусы кривизны фазовой поверхности.

Подставляем (3) в (2) и интегрируем по координатам x и y . Из условия экстремума функционала, т. е. из равенства нулю вариации $\delta J=0$, получим систему двенадцати обыкновенных дифференциальных уравнений для параметров двух пучков. Из этой системы можно выделить систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающие параметры пучков,

$$\begin{aligned}
w_{x1}^3 \frac{\partial^2 w_{x1}}{\partial z^2} &= \frac{4}{k_1^2} - 4\mu_1 \frac{w_{x1}}{w_{y1}} - \alpha w_{x1}^4 - \frac{32\mu_2 w_{x1}^4}{\sqrt{(w_{x1}^2 + w_{x2}^2)^3 (w_{y1}^2 + w_{y2}^2)}}, \\
w_{y1}^3 \frac{\partial^2 w_{y1}}{\partial z^2} &= \frac{4}{k_1^2} - 4\mu_1 \frac{w_{y1}}{w_{x1}} - \alpha w_{y1}^4 - \frac{32\mu_2 w_{y1}^4}{\sqrt{(w_{x1}^2 + w_{x2}^2) (w_{y1}^2 + w_{y2}^2)^3}}, \\
w_{x2}^3 \frac{\partial^2 w_{x2}}{\partial z^2} &= \frac{4}{k_2^2} - 4\mu_2 \frac{w_{x2}}{w_{y2}} - \alpha w_{x2}^4 - \frac{32\mu_1 w_{x2}^4}{\sqrt{(w_{x1}^2 + w_{x2}^2)^3 (w_{y1}^2 + w_{y2}^2)}}, \\
w_{y2}^3 \frac{\partial^2 w_{y2}}{\partial z^2} &= \frac{4}{k_2^2} - 4\mu_2 \frac{w_{y2}}{w_{x2}} - \alpha w_{y2}^4 - \frac{32\mu_1 w_{y2}^4}{\sqrt{(w_{x1}^2 + w_{x2}^2) (w_{y1}^2 + w_{y2}^2)^3}}, \\
\frac{dw_{x1}}{dz} &= \frac{w_{x1}}{R_{x1}}, \quad \frac{dw_{x1}}{dz} = \frac{w_{x1}}{R_{x1}},
\end{aligned} \tag{4}$$

где $\mu_i = \beta w_{xi0} w_{yi0} I_i / 8$ – эффективная мощность первого ($i=1$) и второго ($i=2$) пучка, w_{xi0} , w_{yi0} – значение полуосей светового пятна эллиптического пучка на границе нелинейной среды $z=0$.

Умножая первое и второе уравнения системы (4) на μ_1 , а третье и четвертое – уравнения на μ_2 , дифференцируя их по z и складывая, получим соотношение

$$\begin{aligned}
\frac{d^3 A}{dz^3} + 4\alpha \frac{dA}{dz} &= 0, \\
A &= \mu_1 (w_{x1}^2 + w_{y1}^2) + \mu_2 (w_{x2}^2 + w_{y2}^2).
\end{aligned} \tag{5}$$

Общее решение уравнения (5), в случае однородной среды ($\alpha = 0$), имеет вид:

$$\mu_1 (w_{x1}^2 + w_{y1}^2) + \mu_2 (w_{x2}^2 + w_{y2}^2) = C_2 z^2 + C_1 z + C_0. \tag{6a}$$

Для квадратично неоднородной среды ($\alpha \neq 0$) решение имеет вид:

$$\mu_1 (w_{x1}^2 + w_{y1}^2) + \mu_2 (w_{x2}^2 + w_{y2}^2) = S_2 \sin(2\sqrt{\alpha}z) + S_1 \cos(2\sqrt{\alpha}z) + S_0. \tag{б)$$

Постоянные интегрирования C_2 , C_1 , C_0 , S_2 , S_1 , S_0 находятся из граничных условий при $z=0$ и системы уравнений (4).

Численный счет системы уравнений (4) показывает, что поведение взаимодействующих пучков в нелинейной среде достаточно сложно. Размер взаимодействующих пучков может или одновременно возрастать, или уменьшаться. Как следует из формулы (6), в случае распространения двух эллиптических гауссовых пучков в нелинейной среде, величина $2w_{эф}^2 = \mu_1 (w_{x1}^2 + w_{y1}^2) + \mu_2 (w_{x2}^2 + w_{y2}^2)$ изменяется, в однородной среде, по параболическому закону, а в квадратично неоднородной среде – по гармоническому закону, аналогичному закону изменения радиуса светового пятна кругового пучка, распространяющегося в такой среде. Следовательно, при распространении двух эллиптических пучков в среде с кубической нелинейностью им можно поставить в соответствие эффективный круговой пучок. Полуоси эллипсов световых пятен пучков будут осциллировать около эффективного значения $w_{эф}$.

По типу изменения величины $w_{эф}$ можно выделить три режима распространения взаимодействующих пучков в однородной среде в зависимости от величины B , равной

$$\begin{aligned}
B &= \frac{\mu_1}{k_1^2} \left(\frac{1}{w_{x10}^2} + \frac{1}{w_{y10}^2} \right) + \frac{\mu_2}{k_2^2} \left(\frac{1}{w_{x20}^2} + \frac{1}{w_{y20}^2} \right) - \frac{2\mu_1^2}{w_{x10} w_{y10}} - \\
&\quad - \frac{2\mu_2^2}{w_{x20} w_{y20}} - \frac{16\mu_1\mu_2}{\sqrt{(w_{x10}^2 + w_{x20}^2)(w_{y10}^2 + w_{y20}^2)}}.
\end{aligned}$$

При $B > 0$ эффективный размер пучков $w_{\text{эф}}$ будет увеличиваться с ростом продольной координаты z . В случае $B = 0$ наблюдается квазиволноводный режим распространения, т.е. эффективный размер $w_{\text{эф}}$ не изменяется с изменением z , а размеры полуосей эллипса светового пятна будут испытывать периодические осцилляции. При $B < 0$ наблюдается схлопывание пучков в точку.

В неоднородной среде по типу изменения величины $w_{\text{эф}}$ можно выделить, в отличие от однородной среды, четыре режима распространения пучков. Причем, как и в однородной среде, схлопывание пучков наблюдается при $B < 0$.

Из численных расчетов следует, что при большом отличии мощностей или поперечных размеров пучков влияние их друг на друга при распространении в нелинейной среде незначительно. При близком значении мощности пучков и их поперечных размеров нелинейное взаимодействие пучков существенно влияет на их геометрию и его необходимо учитывать при расчетах оптических устройств.

Список использованных источников

- 1 Lopes, Lago E. Copropagation of two waves of different frequencies and arbitrary initial polarization states in an isotropic Kerr medium / E. Lago Lopes, R. de Fuente // Phys. Rev. A. – 1999. – Vol. 60, № 1. – P. 549–558.
- 2 Berge, L. Coalescence and instability of copropagating nonlinear waves / L. Berge // Phys. Rev. E. – 1998. – Vol. 58, № 5. – P. 6606–6625.
- 3 Bang, O. Fusion, collapse, and stationary bound states of incoherently coupled waves in bulk cubic media / O. Bang, L. Berge // Phys. Rev. E. – Vol. 59, № 4. – P. 4600–4613.
- 4 Гончаренко, А. М. К теории взаимодействия ортогонально поляризованных световых пучков в нелинейных средах / А. М. Гончаренко, П. С. Шаповалов // Доклады НАНБ. – 2003. – Т. 22, № 2. – С. 323–325.
- 5 Гончаренко, А. М. Гауссовы пучки света / А. М. Гончаренко // Наука и техника. – 1977.

В. Ф. Шолох

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ФАЗОВАЯ И ГРУППОВАЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ В ДВИЖУЩЕЙСЯ ОДНООСНОЙ СРЕДЕ

При исследовании распространения электромагнитных волн в среде и изучении их трансформации на движущихся границах раздела, существенное значение имеет информация о поведении векторов фазовой и групповой скоростей этих волн [1; 2]. В данной работе получены выражения для фазовой и групповой скоростей электромагнитных волн в движущейся среде, описываемой одноосным тензором диэлектрической проницаемости в системе ее покоя. Показано, что для необыкновенной волны коэффициент увлечения Френеля является тензором второго ранга. Определены границы черенковской области для e -волны и рассмотрены возможные варианты взаимной ориентации конуса групповых скоростей и поверхности показателей преломления e -волны, в зависимости от ориентации скорости движения среды относительно ее оптической оси в собственной системе покоя.

Используя решения уравнения нормалей [3] для электромагнитных волн в движущейся среде, описываемой одноосным тензором диэлектрической проницаемости $\epsilon = \epsilon_o + (\epsilon_e - \epsilon_o)\vec{c} \circ \vec{c}$ в системе ее покоя, и известные методы расчета [1] для векторов фазовой и групповой скоростей e -волны были получены следующие выражения:

$$\vec{V}_{\phi 1,2}^{(e)} = c \frac{\beta \vec{h} (\epsilon_o \epsilon_e - \epsilon) \vec{\tau} \pm \sqrt{\beta^2 (\vec{n} \epsilon \vec{\tau})^2 - \beta^2 \vec{n} \epsilon \vec{n} \circ \vec{\tau} \epsilon \vec{\tau} + \epsilon_o \epsilon_e \vec{h} \xi \epsilon \xi \vec{h}}}{\gamma (\epsilon_o \epsilon_e - \beta^2 \vec{\tau} \epsilon \vec{\tau})} \vec{n}. \quad (1)$$

$$\vec{V}_{g 1,2}^{(e)} = c \frac{\epsilon \vec{m} + ((\gamma - 1) \vec{m} \vec{\tau} - \gamma \beta) \epsilon \vec{\tau} + W \vec{\tau}}{\gamma \beta \vec{m} \epsilon \vec{\tau} + \gamma \beta (\gamma - 1) \vec{\tau} \epsilon \vec{\tau} \circ \vec{m} \vec{\tau} - \gamma^2 \beta^2 \vec{\tau} \epsilon \vec{\tau} + \gamma^2 \epsilon_o \epsilon_e (1 - \beta \vec{m} \vec{\tau})} \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) использованы следующие общепринятые обозначения: $\beta = V/c$ – отношение скорости движения среды к скорости света в вакууме; $\gamma = \sqrt{1 - \beta^2}$; $\vec{m} = n_e \vec{n}$ – вектор рефракции необыкновенной волны; $\vec{\tau}$ – единичный вектор скорости движения среды; $\vec{a} \circ \vec{b} = a_i b_j$ – диада построенная из векторов \vec{a} и \vec{b} . Другие величины, входящие в выражения (1) и (2), определены равенствами:

$$\vec{h} = \vec{n} + (\gamma - 1) \vec{n} \vec{\tau} \circ \vec{\tau}; \quad \xi = 1 - \beta^2 \vec{\tau} \circ \vec{\tau};$$

$$W = (\gamma - 1) \vec{m} \varepsilon \vec{\tau} + (\gamma - 1)^2 \vec{\tau} \varepsilon \vec{\tau} \circ \vec{m} \vec{\tau} - \gamma \beta (\gamma - 1) \vec{\tau} \varepsilon \vec{\tau} + \gamma^2 \beta \varepsilon_o \varepsilon_e (1 - \beta \vec{m} \vec{\tau}).$$

Сохраняя в выражениях (1) и (2) члены первого порядка малости по β , запишем выражения для фазовой и групповой скоростей необыкновенной волны, справедливые при нерелятивистских скоростях движения среды

$$\vec{V}_{\phi 1,2}^{(e)} = \pm c \left(\sqrt{\frac{\vec{n} \varepsilon \vec{n}}{\varepsilon_o \varepsilon_e}} \pm \frac{\vec{n} (\varepsilon_o \varepsilon_e - \varepsilon) \vec{\tau}}{\varepsilon_o \varepsilon_e} \beta \right) \vec{n}, \quad (3)$$

$$\vec{V}_{g 1,2}^{(e)} = \pm c \frac{\varepsilon \vec{n}}{\sqrt{\varepsilon_o \varepsilon_e \vec{n} \varepsilon \vec{n}}} + \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o \varepsilon_e} \right) \beta \vec{\tau}. \quad (4)$$

Из (4) видно, что коэффициент увлечения Френеля для необыкновенной волны $\chi^{(e)} = 1 - \varepsilon / \varepsilon_o \varepsilon_e$ является тензором второго ранга. Это означает, что энергия электромагнитной волны увлекается движущейся анизотропной средой не только в направлении ее движения, но и вдоль оптической оси.

При $\varepsilon_o = \varepsilon_e$ выражения (1) и (2) принимают вид

$$\vec{V}_{\phi 1,2}^{(o)} = c \frac{\gamma^2 \beta (\varepsilon_o - 1) \vec{n} \vec{\tau} \pm \sqrt{1 + (\varepsilon_o - 1) \gamma^2 (1 - \beta^2 \vec{n} \vec{\tau} \circ \vec{n})}}{1 + \gamma^2 (\varepsilon_o - 1)}, \quad (5)$$

$$\vec{V}_{g 1,2}^{(o)} = c \frac{n_{1,2}^{(o)} \vec{n} + \beta \gamma^2 (\varepsilon_o - 1) (1 - \beta n_{1,2}^{(o)} \vec{n} \vec{\tau}) \vec{\tau}}{\gamma^2 (\varepsilon_o (1 - \beta n_{1,2}^{(o)} \vec{n} \vec{\tau}) - \beta^2 + \beta n_{1,2}^{(o)} \vec{n} \vec{\tau})} \quad (6)$$

и совпадают с известными выражениями для фазовой и групповой скоростей волны в движущейся изотропной среде [1].

Фазовая и групповая скорости необыкновенной волны не совпадают по направлению, но, как и в случае движущейся изотропной среды [1], проекция групповой скорости на фазовую равна фазовой скорости

$$\vec{V}_{\phi}^{(e)} \vec{V}_g^{(e)} = \vec{V}_{\phi}^{(e)2}. \quad (7)$$

В движущихся анизотропных средах вектор групповой скорости направлен по нормали к поверхности показателей преломления [4]. При досветовых скоростях движения среды возможны любые направления групповой скорости необыкновенной волны, а при сверхсветовых скоростях движения $\vec{V}_g^{(e)}$ лежат внутри конуса, образующие которого перпендикулярны к соответствующим образующим конической поверхности, «сотканной» из асимптот гипербол, возникающих в результате сечения поверхности показателей преломления e -волны плоскостями, проходящими через прямую, вдоль которой движется среда. Уравнение последней, позволяющее сделать некоторые выводы о конусе групповых скоростей, можно получить из условия обращения в ноль знаменателя в выражении определяющем показатель преломления необыкновенной волны в движущейся одноосной среде [3]:

$$\vec{r} (1 + (\gamma - 1) \vec{\tau} \circ \vec{\tau}) (\varepsilon - \varepsilon_o \varepsilon_e \beta^2 \vec{\tau} \circ \vec{\tau}) (1 + (\gamma - 1) \vec{\tau} \circ \vec{\tau}) \vec{r} = \vec{r} \sigma \vec{r} = 0, \quad (8)$$

где \vec{r} – переменный радиус-вектор, совпадающий по направлению с вектором волновой нормали \vec{n} .

Проанализируем уравнение (8), считая ε_o и ε_e положительными величинами.

1. *Среда движется вдоль оптической оси \vec{c} .* Тензор σ в выражении (8) принимает вид

$$\sigma = \varepsilon_o + \gamma^2 \beta^2 \varepsilon_o (1 - \varepsilon_o) \vec{c} \circ \vec{c}$$

и является одноосным. \vec{c} – собственный вектор тензора σ , а $\lambda_1 = \varepsilon_o \gamma^2 (1 - \beta^2 \varepsilon_o)$ – отвечающее ему собственное значение. Два других собственных вектора могут быть выбраны произвольно, но взаимно ортогонально в плоскости перпендикулярной вектору \vec{c} . Им соответствуют собственные значения $\lambda_2 = \lambda_3 = \varepsilon_o$. Коническая поверхность возникает при значениях $\beta^2 > 1/\varepsilon_o$ называемых границей черенковской области [5]. Ось конуса направлена вдоль вектора \vec{c} . Сечение конуса плоскостью ортогональной направлению движения среды является окружностью.

2. *Среда движется перпендикулярно оптической оси \vec{c} .* В этом случае

$$\sigma = \varepsilon_o + (\varepsilon_e - \varepsilon_o) \vec{c} \circ \vec{c} + \gamma^2 \beta^2 \varepsilon_o (1 - \varepsilon_e) \vec{c} \circ \vec{c}$$

Собственные векторы тензора σ : \vec{c} , \vec{c} и $[\vec{c} \vec{c}]$; отвечающие им собственные значения равны соответственно $\lambda_1 = \gamma^2 \varepsilon_o (1 - \beta^2 \varepsilon_e)$, $\lambda_2 = \varepsilon_e$, $\lambda_3 = \varepsilon_o$. Конус, с осью направленной по \vec{c} , образуется при значениях $\beta^2 > 1/\varepsilon_e$. Сечение конуса плоскостью, перпендикулярной его оси, есть эллипс с отношением осей $\rho = \sqrt{\varepsilon_o / \varepsilon_e}$ и осями направленными вдоль векторов \vec{c} и $[\vec{c} \vec{c}]$.

3. *Среда движется под углом φ к оптической оси \vec{c} ($\varphi \neq 0$; $\varphi \neq \pi/2$).*

Векторы $[\vec{c} \vec{c}]$, $\vec{P}_\pm = \vec{c} + (2\gamma - 1)(\varepsilon_e - \varepsilon_o)(\lambda_\pm - \varepsilon_e - 2(\gamma - 1)(\varepsilon_e - \varepsilon_o)(\vec{c} \vec{c})^2)^{-1} \vec{c} \vec{c} \circ \vec{c}$ – собственные векторы тензора σ . Собственные значения равны $\lambda_1 = \varepsilon_o$,

$$2\lambda_\pm = G \pm \sqrt{G^2 - 4\gamma^2 \varepsilon_o \varepsilon_e (1 - \beta^2 \varepsilon_o (\vec{c} \vec{c})^2 - \beta^2 \varepsilon_e [\vec{c} \vec{c}]^2) - 4(\gamma - 1)^2 (\varepsilon_e - \varepsilon_o)^2 (\vec{c} \vec{c})^2 [\vec{c} \vec{c}]^2}$$

где $G = (\varepsilon_e + \gamma^2 \varepsilon_o) [\vec{c} \vec{c}]^2 + (\varepsilon_o + \gamma^2 \varepsilon_e) (\vec{c} \vec{c})^2 - \gamma^2 \beta^2 \varepsilon_o \varepsilon_e$. Так как $\varepsilon_o > 0$, то λ_\pm должны иметь разные знаки, что возможно, если

$$\gamma^2 \varepsilon_o \varepsilon_e (1 - \beta^2 \varepsilon_o (\vec{c} \vec{c})^2 - \beta^2 \varepsilon_e [\vec{c} \vec{c}]^2) + (\gamma - 1)^2 (\varepsilon_e - \varepsilon_o)^2 (\vec{c} \vec{c})^2 [\vec{c} \vec{c}]^2 < 0.$$

При этом $\lambda_- < 0$, то есть ось конуса, в котором заключены все возможные векторы $\vec{V}_g^{(e)}$, параллельна вектору \vec{P}_- . Конус возникает при значениях $\beta^2 > (\varepsilon_o (\vec{c} \vec{c})^2 + \varepsilon_e [\vec{c} \vec{c}]^2)^{-1}$. Вводя тройку векторов $[\vec{c} \vec{c}]^*$, \vec{P}_\pm^* , обратных собственным векторам тензора σ , запишем уравнение эллипса, полученного в результате сечения конуса плоскостью перпендикулярной его оси

$$\vec{R}(\varepsilon_o [\vec{c} \vec{c}] \circ [\vec{c} \vec{c}]^* + \lambda_+ \vec{P}_+ \circ \vec{P}_+^*) \vec{R} = const.$$

Здесь \vec{R} – двумерный радиус-вектор, удовлетворяющий условию $\vec{R} \vec{P}_- = 0$. Оси эллипса направлены вдоль векторов $[\vec{c} \vec{c}]$ и \vec{P}_+ , а эллиптичность $\rho = \sqrt{\lambda_+ / \varepsilon_o}$.

Проведенный анализ совместно со сведениями о поверхности показателей преломления [3] позволяет построить конус, содержащий векторы групповой скорости необыкновенной волны $\vec{V}_g^{(e)}$. На рисунке 1 приведено соответствующее построение для случая $[\vec{c} \vec{c}] = 0$.

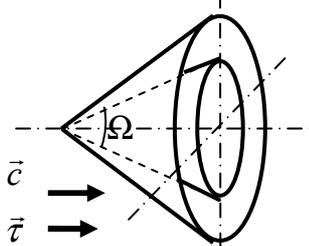


Рисунок 1

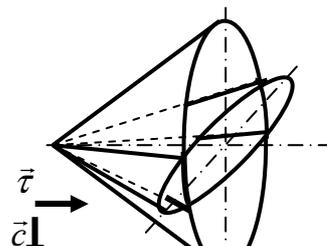


Рисунок 2

С ростом β , от значения $1/\sqrt{\epsilon_0}$ до 1, угол раствора Ω асимптотического конуса гиперboloида показателей преломления стремиться к π , а угол раствора конуса групповых скоростей стремиться к 0. При $\Omega = \pi/2$ оба конуса совпадают. Если угол $\Omega < \pi/2$, то конус из асимптот содержится внутри конуса групповых скоростей, если $\Omega > \pi/2$, то наоборот. В случае движения среды в направлении перпендикулярном ее оптической оси эллипсы, полученные при сечении конусов плоскостью ортогональной \vec{v} , ориентированы перпендикулярно друг другу. Один из возможных случаев взаимного расположения этих конусов приведен на рисунке 2.

Список использованных источников

- 1 Болотовский, Б. М. Современное состояние электродинамики движущихся сред (безграничные среды) / Б. М. Болотовский, С. Н. Столяров // Эйнштейновский сборник. – М. : Наука, 1976. – С. 179–275.
- 2 Столяров, С. Н. Граничные задачи электродинамики движущихся сред / С. Н. Столяров // Эйнштейновский сборник. – М. : Наука, 1978. – С. 152–215.
- 3 Шолох, В. Ф. Плоские электромагнитные волны в движущейся одноосной среде / В. Ф. Шолох, В. В. Вергун. – М., 1981. – Деп. в ВИНТИ 4.03.81. – №1004–81. – 12 с.
- 4 Глинский, Г. Ф. Уравнение лучевой поверхности и принцип Ферма в движущихся анизотропных средах / Г. Ф. Глинский // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. – 1980. – Т. 23, № 1. – С. 90–95.
- 5 Cheng, D. E. Time-harmonic fields in source-free bianisotropic media / D. E. Cheng, J. A. Kong // J. Appl. Phys. – 1968. – Vol. 39, № 12. – P. 5792–5796.



МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Л. П. Авдашкова, М. А. Грибовская
г. Гомель, БТЭУ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СЦЕНАРИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Обеспечение подготовки высоко квалифицированных специалистов на основе новейших достижений науки и техники для удовлетворения потребностей государства, приведение качества подготовки специалистов с высшим образованием в соответствие с требованиями современного уровня инновационного развития отраслей экономики и социальной сферы, а также обеспечение развития способностей и интеллектуально-творческого потенциала личности, ее идейно-нравственного воспитания являются целями высшего образования [1]. Данные цели достигаются путем комплексного решения ряда задач. Одной из важных задач является внедрение новых образовательных технологий и принципов организации учебного процесса, которые обеспечивают эффективную реализацию компетентностной модели и содержания непрерывного образования, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий, наряду с традиционными средствами обучения, для обеспечения и повышения качества образовательного процесса в ВУЗе. Решением данной задачи становится внедрение в образовательный процесс программных средств учебного назначения, особое место среди которых занимают обучающие электронные учебно-методические комплексы (ЭУМК), позволяющие организовать дистанционно самостоятельное обучение.

Электронный учебно-методический комплекс – это совокупность структурированных учебно-методических материалов, объединенных посредством компьютерной среды обучения, обеспечивающих полный дидактический цикл обучения и предназначенных для оптимизации овладения обучаемым профессиональных компетенций в рамках учебной дисциплины [2, с. 10]. Процесс создания ЭУМК включает в себя:

- проектирование структуры и содержания ЭУМК на основе учебно-программной документации образовательных программ высшего образования, учебно-методической документации (методики преподавания, методические рекомендации), учебных изданий, информационно-аналитических материалов;
- проектирование педагогического сценария: анализ целевой аудитории, формулировка целей обучения и основных дидактических задач, определение структуры курса, построение информационной модели изучаемой дисциплины, предварительное определение общего содержательного наполнения – контента;
- проектирование и реализация технологического сценария: определение и использование программно-технических средств для разработки ЭУМК;
- тестирование и апробация в учебном процессе.

Педагогический сценарий ЭУМК должен предусматривать наличие всех структурных элементов дидактики: целевого, потребностно-мотивационного, содержательного, операционно-деятельностного, эмоционально-волевого, контрольно-регулирующего, оценочно-результативного элемента. ЭУМК, как средство обучения, должен обеспечивать полный дидактический цикл обучения в рамках конкретной дисциплины [3, с. 74]. Педагогический сценарий ЭУМК для реализации важнейших задач обучения предлагается разбить на три компонента: вводный, обучающий, итоговый, включающие в себя все указанные структурные элементы дидактики.

Вводный компонент, с одной стороны, предоставляет информацию о том, какому образовательному стандарту соответствует ЭУМК, каковы междисциплинарные связи, какие вопросы предлагаются к изучению, каков план-график изучения дисциплины или карта дисциплины, т. е. время изучения дисциплины, контрольные точки, способы информационного взаимодействия между преподавателем и обучаемым. С другой стороны, вводный компонент предназначен для

выявления уровня информационной компетентности обучаемого, наличия интереса и мотивации к изучению дисциплины и получению будущей профессии, уровня подготовки обучаемого по смежным дисциплинам, знание которых необходимо для усвоения изучаемой дисциплины. Вводный компонент может содержать описание некоторой проблемы, для решения которой недостаточно имеющихся знаний, что и будет являться побуждающим мотивом к изучению дисциплины, позволяющей решить эту проблему. Для выяснения уровня знаний обучаемого по смежным дисциплинам могут быть предусмотрены задачи, тесты, может быть проведено предварительное обсуждение проблем на форуме.

Вводный компонент предусматривает описание целевой аудитории и анализ потребностей обучаемых для определения рекомендаций при проектировании ЭУМК, для возможности его использования обучаемыми разных образовательных уровней. Обучающий компонент предназначен для организации учебно-познавательной деятельности по овладению знаниями, умениями, навыками по изучаемой дисциплине и их совершенствованию; развития мышления, памяти и творческих способностей; формирования научного мировоззрения и нравственно-эстетической культуры, умения самостоятельно углублять и пополнять свои знания. Обучающий компонент предусматривает представление изучаемого материала в виде небольших логически завершенных порций – модулей. В каждом модуле должны быть краткое и углубленное изложение материала, профессионально-ориентированные задачи, интерактивные задачи и упражнения, требующие удаленного общения с преподавателем, ссылки на печатные и электронные литературные источники, дополнительная информация по изучаемому материалу модуля; предусматривается самоконтроль знаний и умений по выделенному блоку учебного материала, индивидуальные творческие задания, стимулирующие познавательную активность обучаемого. В обучающем компоненте предусматриваются способы информационного общения с преподавателем (например, личное общение, чат, форум и др.) для обсуждения результатов промежуточного контроля знаний, наличия мотивации, результатов творческой, исследовательской деятельности обучаемого согласно карте дисциплины.

Организация обучения связана, прежде всего, с четким определением его целей преподавателем, осознанием и принятием этих целей обучаемыми. Цель обучения – это желаемое изменение в поведении обучаемого. Цель формулируется в виде краткого описания деятельности обучаемого. При формировании контента (содержания) ЭУМК необходимо четко формулировать цели обучения, чтобы возможно было проверить степень их достижения. Например, цель дисциплины «Эконометрика и экономико-математические методы и модели» в виде «Обучаемый должен овладеть моделированием» сформулирована неверно, поскольку такую цель невозможно проверить. Ее нужно отредактировать следующим образом: «Обучаемый должен построить модель экономической задачи средствами моделирования». Проверкой достижения отредактированной цели является конкретная построенная модель.

Цель определяет виды познавательной деятельности. Профессор Чикагского университета Бенджамин Блум выделил шесть уровней познавательной деятельности (таксономия Блума), которые успешно используются при планировании обучения, стимулирующего развитие у обучаемых мыслительных навыков высокого уровня. Блум выделил следующие уровни: знание – механическое запоминание информации; понимание – способность объяснить факты, интерпретировать, перефразировать материал; применение – способность использования знаний в новых ситуациях; анализ – способность разделять целое на части для лучшего понимания; синтез – умение комбинировать элементы для создания нового целого. Задачи для достижения цели обучения определяются исходя из таксономии Блума. Виды познавательной деятельности каждого конкретного раздела (модуля) определяются его целью. Например, для реализации цели «Владеть основными понятиями математического программирования (МП)» необходимы почти все познавательные действия. При этом ставятся следующие задачи: для познавательного действия «знание» – знать понятие МП, знать основные понятия МП, знать общую постановку задачи МП, перечислять компоненты задачи МП, записывать математическую модель задачи МП, знать виды задач МП; «понимание» – объяснять постановку задачи МП, объяснять особенности видов задач МП; «применение» – выделять компоненты в модели; «анализ» – уметь соотносить задачу к конкретному виду модели. Задача формулируется таким образом, чтобы ее выполнение можно было проверить с помощью вопросов тестов, интерактивного общения.

Для формирования потребностей в учении необходимо создавать в процессе обучения проблемные ситуации, для решения которых необходимо овладеть новыми знаниями; ставить познавательные вопросы, решить которые обучаемые могут, только изучив новый материал;

побуждать обучаемых к анализу излагаемых фактов и примеров, к формированию обобщающих выводов. Учебная деятельность стимулируется радостью достигаемых успехов в овладении знаниями. В ЭУМК необходимо предусмотреть наличие элементов контента (например, в виде графического или словесного поощрения), побуждающих интерес к учебному материалу и мотивирующих процесс обучения, позволяющих получить положительные эмоции от достижения успехов.

Овладение изучаемым материалом происходит путем своеобразного воспроизведения обучающимися тех познавательных действий, которые совершали ученые при открытии тех или иных научных закономерностей, то есть «переоткрытия» их для себя. При формировании контента должна предусматриваться необходимость выполнения обучаемым следующей системы учебно-познавательных действий: первичное восприятие и осмысление изучаемого материала; последующее его более глубокое осмысление; усвоение, запоминание изучаемого материала; применение усвоенных знаний на практике; дальнейшее повторение, углубление и систематизацию знаний, упрочение умений и навыков, а так же мировоззренческих и нравственно-эстетических идей. В ЭУМК добиться результата восприятия позволяет краткое изложение материала, сопровождаемое графикой. Для реализации осмысления в ЭУМК могут быть сформулированы проблемные ситуации, использованы претесты, предусмотрена система примеров, позволяющая рассмотреть материал с разных позиций. Для организации запоминания необходимо предусмотреть неоднократное, распределенное во времени обращение к одному и тому же факту науки.

При правильной организации восприятие, осмысление, усвоение, запоминание изучаемого материала обеспечивают овладение обучаемыми научными фактами и теоретическими знаниями, что в дидактике принято выделять в качестве первого этапа учебно-познавательной деятельности. Вторым ее этапом является применение усвоенных знаний на практике и выработка обучаемыми соответствующих умений и навыков. В ЭУМК эта деятельность приобретает форму тренировочных упражнений. Овладение знаниями не сводится к одному познавательному акту, а требует неоднократного обращения к их более глубокому осмыслению, систематизации и упрочению. Разбиение учебного материала по уровням сложности, использование ссылок на интернет-источники, на дополнительную литературу, научные статьи обеспечивают повторение, углубление и систематизацию знаний.

Эмоциональность обучения означает такой характер организации учебной работы, при которой у обучаемых пробуждается чувство интереса к учению. Важными условиями успешного обучения являются регулирование учебно-познавательной деятельности и контроль за ее ходом. При создании контента нужно продумать, на каких этапах предусмотреть тренировочные и контрольные тесты, после каких тем в средствах навигации ЭУМК установить запрет на изучение дальнейшего материала без успешного усвоения предыдущего, систему комментариев и ссылок при неверных ответах на контрольные вопросы и тестовые задания.

В обучении большое значение имеет обратная связь, при которой определяется степень достижения обучаемым поставленной цели с помощью контрольных тестов, вопросов, упражнений, организации электронных форумов. Правильность ответов и решений должна быть отмечена непосредственно после ответа. Причем желательно, чтобы в ЭУМК имелись пояснения, или подсказки, или подробные описания решений, или ссылки на соответствующий раздел (модуль) при неправильном ответе на вопрос теста или упражнения.

Итоговый компонент предназначен для оценки полученных знаний и умений по изученной дисциплине; для выявления изменения мотивации обучаемого по отношению к будущей профессии, готовности решать профессионально ориентированные задачи; для выработки индивидуальных методических рекомендаций по изучению дисциплины на основе карты дисциплины, отражающей процесс изучения дисциплины обучаемым; для организации научно-исследовательской деятельности. Для определения уровня знаний и умений, полученных в ходе изучения дисциплины, формируется итоговый комплект тестовых заданий, в котором в равной доле следует отразить содержание каждого модуля, а так же комплект интерактивных задач, для решения которых необходимы умение анализировать литературные источники. Список печатных и электронных литературных источников в каждом модуле, словарь терминов, персоналий, исторические факты, ссылки на форумы и чаты, где обсуждаются профессиональные проблемы, сайтов конференций, конкурсов позволят повысить общий и профессиональный кругозор, вызвать интерес к научно-исследовательской деятельности.

Каждый компонент педагогического сценария реализуется с помощью возможностей различных инструментальных программных средств разработки ЭУМК – программного комплекса,

включающего систематизированный учебные, научные и методические материалы по определенной учебной дисциплине, методику ее изучения средствами информационных технологий, обеспечивающих реализацию дисциплины в образовательном процессе и способствующих эффективному освоению обучаемыми учебного материала.

Проектирование педагогического сценария ЭУМК базируется на знаниях теоретических и методических основ обучения. Создание педагогического сценария, позволяющего достигнуть цели обучения, возможно только с применением основ дидактики.

Список использованных источников

1 Об утверждении государственной программы развития высшего образования на 2011–2015 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 1 июля 2011 г. № 893 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2011. – № 5/34104.

2 Шалкина, Т. Н. Электронные учебно-методические комплексы: проектирование, дизайн, инструментальные средства / Т. Н. Шалкина, В. В. Запорожко, А. А. Рычкова. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008. – 160 с.

3 Харламов, И. Ф. Педагогика / И. Ф. Харламов. – М. : Гардарики, 1999. – 520 с.

В. В. Аниськов

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

О ПРИВОДИМЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ФОРМАЦИЯХ КОНЕЧНЫХ ГРУПП ПИ-РАЗЛОЖИМОГО ДЕФЕКТА 3

Непустое множество, на котором введена бинарная алгебраическая операция, называется группой, если относительно введенной операции на этом множестве существует нейтральный элемент, и каждый элемент множества содержится вместе со своим симметричным. Группы, о которых будет идти речь в данной работе, предполагаются конечными, т. е. состоящими из конечного числа элементов. Определения и обозначения, которые используются в работе, стандартны и при необходимости их можно найти в [1; 2], здесь приводятся только самые необходимые для первоначального ознакомления с результатами.

Классом групп называется такое множество групп, которое вместе с каждой своей группой содержит все другие группы, ей изоморфные. Формацией групп F называется такой класс групп, который замкнут относительно взятия гомоморфных образов и всегда из того, что $G/N_1 \in F$ и $G/N_2 \in F$, где $N_1 \cap N_2 = 1$, всегда следует, что $G \in F$. Локальным экраном называется такое отображение f класса Ψ всех групп во множество всех формаций групп, что выполняются следующие условия:

1) $f(1) = \Psi$;

2) $f(A) = f(B)$ для любых двух неединичных групп A и B , где p – некоторое простое число;

3) $f(G) = \bigcap_{p \in \pi(G)} f(p)$ для любой неединичной группы G .

f -центральный главный фактор – такой главный фактор H/K группы G , что $G/C_G(H/K) \in f(p)$ для всех $p \in \pi(H/K)$. Локальный экран f называется локальным экраном формации F , если F – класс всех групп с f -центральными главными факторами. Формация, обладающая хотя бы одним локальным экраном, называется локальной.

В докладе, прочитанном Л. А. Шеметковым на VI Всесоюзном симпозиуме по теории групп в 1978 г., была поставлена общая проблема изучения минимальных локальных не H -формаций. Минимальной локальной не H -формацией называется такая локальная формация, которая сама в классе H не содержится, но все ее собственные локальные подформации в этот класс входят. Изучение такого рода формаций проводилось А. Н. Скибой, который занимаясь вопросами классификации этих формаций, ввел в работе [3] понятие H -дефекта. Пусть H – непустой класс групп, F – некоторая локальная формация групп. Если решетка локальных формаций, заключенных между F и $F \cap H$ имеет конечную длину n , то число n называется H -дефектом локальной формации F . В случае, если H -дефект достаточно мал, а класс H хорошо изучен, то

свойства формации F можно изучать на основе свойств класса H . В работе [4] была предпринята первая попытка обобщения изученных свойств локальных формаций заданного дефекта.

Локальная формация называется приводимой, если она может быть представлена в виде объединения своих собственных локальных подформаций в решетке локальных формаций и неприводимой в противном случае.

Формация, обладающая таким локальным экраном, все непустые значения которого – локальные формации, называется 2-кратнолокальной. Следует отметить, что 2-кратнолокальными являются многие известные локальные формации. В работе [5] были изучены приводимые локальные формации H -дефекта 2 для произвольной 2-кратнолокальной формации H .

Пусть p – некоторое простое число. Группа называется p -замкнутой, если она обладает нормальной силовой p -подгруппой. Группа называется p -нильпотентной, если она обладает нормальной холловой p' -подгруппой. Группа, которая является одновременно и p -замкнутой и p -нильпотентной, называется p -разложимой. Пусть π – некоторое непустое множество простых чисел. Группа называется π -разложимой, если она является p -разложимой для всякого $p \in \pi$. Через $H_1 V_l H_2$ обозначается объединение локальных формаций H_1 и H_2 в решетке локальных формаций. В данной работе дана классификация приводимых локальных формаций π -разложимого дефекта 3. Доказательству основного результата предшествовало доказательство трех вспомогательных утверждений.

Лемма 1. В локальной формации $F = H_1 V_l H_2 V_l M$, где H_1 и H_2 – различные минимальные локальные не π -разложимые формации, а M – некоторая локальная π -разложимая формация, не существует других минимальных локальных не π -разложимых формаций, отличных от H_1 и H_2 .

Лемма 2. В разрешимой локальной формации $F = H_1 V_l M$, где H_1 – некоторая неприводимая локальная формация π -разложимого дефекта 2, а M – некоторая локальная π -разложимая формация, существует единственная минимальная локальная не π -разложимая формация.

Лемма 3. В разрешимой локальной формации $F = H_1 V_l M$, где H_1 – некоторая неприводимая локальная формация π -разложимого дефекта 2, а M – некоторая локальная π -разложимая формация, не существует других неприводимых локальных формаций π -разложимого дефекта 2, кроме формации H_1 .

Теорема. Пусть π – некоторое непустое множество простых чисел, F – разрешимая приводимая локальная формация. Тогда и только тогда формация F имеет π -разложимый дефект 3, когда $F = H V_l M$, где M – некоторая локальная π -разложимая формация, а формация H удовлетворяет одному из следующих условий:

- 1) $H = H_1 V_l H_2 V_l H_3$, где H_1 , H_2 и H_3 – различные минимальные локальные не π -разложимые формации;
- 2) $H = H_1 V_l H_2$, где H_1 – некоторая неприводимая локальная формация с π -разложимым дефектом 2, а H_2 – минимальная локальная не π -разложимая формация, не входящая в формацию H ;
- 3) H – некоторая неприводимая локальная формация с π -разложимым дефектом 3;
- 4) $H = H_1 V_l H_2$, где H_1 и H_2 – различные неприводимые локальные формации с π -разложимым дефектом 2 такие, что $H_1 \cap H_2$ – локальная формация с π -разложимым дефектом 1.

Список использованных источников

- 1 Шеметков, Л. А. Формации конечных групп / Л. А. Шеметков. – М. : Наука, 1978. – 267 с.
- 2 Шеметков, Л. А. Формации алгебраических систем / Л. А. Шеметков, А. Н. Скиба. – М. : Наука, 1989. – 253 с.
- 3 Скиба, А. Н. Классификация локальных формаций конечных групп с нильпотентным дефектом 2 / А. Н. Скиба, Е. А. Таргонский // Математические заметки. – 1987. – Т. 41, № 4. – С. 490–499.

4 Аниськов, В. В. Некоторые общие свойства локальных формаций с заданным X -дефектом / В. В. Аниськов. – Гомель, 1994. – 14 с. – (Препринт / Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины; № 20).

5 Аниськов, В. В. О приводимых локальных формациях с заданным H -дефектом / В. В. Аниськов // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 1997. – № 4. – С. 65–68.

М. С. Белокурский

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

А. К. Деменчук

г. Минск, Институт математики НАН Беларуси

ЗАДАЧА ЕРУГИНА О СУЩЕСТВОВАНИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ В СЛУЧАЕ ВЫРОЖДЕННОГО СТАЦИОНАРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Рассмотрим линейную систему вида

$$\dot{x} = (AP(t) + B)x, \quad t \in R, \quad x \in R^n, \quad n \geq 2, \quad (1)$$

где A, B – постоянные $(n \times n)$ -матрицы, $P(t)$ – непрерывная ω -периодическая $(n \times n)$ -матрица.

Пусть $\tilde{P}(t) = P(t) - \hat{P}$, где $\hat{P} = \frac{1}{\omega} \int_0^\omega P(\tau) d\tau$. Обозначим через S такую постоянную не-

особенную $(n \times n)$ -матрицу, что у матрицы SA первые r строк будут линейно независимыми, в то время как остальные строки будут нулевыми. Тогда через C обозначим $(r \times n)$ -матрицу, образованную первыми r строками матрицы SA . Пусть Λ – матрица, столбцами которой являются такие линейно независимые векторы $\alpha^{(1)}, \dots, \alpha^{(k)}$, что $(\alpha^{(j)}, \Pi(t)) \equiv 0$ ($j = 1, \dots, k$), где вектор $\Pi(t)$ образован столбцами матрицы $C\tilde{P}(t)$. Предположим, что ненулевой минор порядка k матрицы Λ расположен в строках с номерами i_1, \dots, i_k (в порядке возрастания). Обозначим тогда через Λ_1 соответствующую ему матрицу и через Λ_2 – $(n-k) \times k$ -матрицу, составленную из оставшихся строк Λ . Образуют матрицы: A' и A'' из строк матрицы A с номерами соответственно i_1, \dots, i_k и i_{k+1}, \dots, i_n ; \hat{P}' и \hat{P}'' из столбцов матрицы \hat{P} с номерами i_1, \dots, i_k и i_{k+1}, \dots, i_n ; B' и B'' из столбцов матрицы B с номерами i_1, \dots, i_k и i_{k+1}, \dots, i_n (блоки B_1' и B_1'' образованы первыми k строками матриц B' и B'' , а блоки B_2' и B_2'' – оставшимися $n-k$ строками этих матриц). И обозначим соответственно $x' = \text{col}(x_{i_1}, \dots, x_{i_k})$ и $x'' = \text{col}(x_{i_{k+1}}, \dots, x_{i_n})$. Пусть отношение ω/Ω является иррациональным числом.

Теорема. Пусть в системе (1) стационарный коэффициент A является вырожденным и его ранг равен r , а периодический коэффициент $P(t)$ является верхним треугольным.

Для того чтобы система (1) имела сильно нерегулярное периодическое решение, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись условия:

1) система $C\tilde{P}(t)x = 0$ имела $0 < k < n$ линейно независимых стационарных решений;

2) среди собственных значений матрицы $H = A'\hat{P}' + B_1' + (A'\hat{P}'' + B_1'')\Lambda_2\Lambda_1^{-1}$ имелись числа $\pm i\lambda_s$ ($s = 1, \dots, k'; 1 \leq k' \leq [k/2]$), где $\lambda_s = 2k_s\pi/\Omega$, $k_s \in N$;

3) $(\Lambda_2\Lambda_1^{-1}(A'P' + B_1' + (A'P'' + B_1'')\Lambda_2\Lambda_1^{-1}) - A''P'' - B_2' - (A''P'' + B_2'')\Lambda_2\Lambda_1^{-1})x'(t) \equiv 0$, где

$x'(t) = \sum_{s=1}^{k'} \alpha_s \cos \lambda_s t + \beta_s \sin \lambda_s t$ является Ω -периодическим решением стационарной системы

$\dot{x}' = Hx'$, коэффициенты α_s, β_s зависят от $2r$ произвольных вещественных постоянных

(p_s – число групп элементарных делителей, отвечающих собственному значению $\pm i\lambda_s$, $p_1 + \dots + p_k = p$, $2p \leq k$).

Если система (1) имеет сильно нерегулярное периодическое решение, то оно будет тригонометрическим многочленом вида $x(t) = \text{ord} \{x_{i_1}(t), \dots, x_{i_k}(t), x_{i_{k+1}}(t), \dots, x_{i_n}(t)\} = \text{ord} \{ \text{col} (x'(t), x''(t)) \}$, где $\text{ord} \{ \cdot \}$ означает упорядочение компонент вектора $\{ \cdot \}$ в порядке возрастания их индексов, а $x'' = \Lambda_2 \Lambda_1^{-1} x'$.

Примером может служить линейная $\sqrt{2\pi}$ -периодическая система

$$\begin{aligned} \dot{x} &= x(1 + \sin \sqrt{2}t) + y(4 + \sin \sqrt{2}t) + z(\sin \sqrt{2}t - 1), \\ \dot{y} &= x \sin \sqrt{2}t + y(\sin \sqrt{2}t - 1) + z(1 + \sin \sqrt{2}t), \\ \dot{z} &= -x \sin \sqrt{2}t - y(2 + \sin \sqrt{2}t) + z(1 - \sin \sqrt{2}t), \end{aligned}$$

которая имеет двухпараметрическое семейство 2π -периодических решений

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \cos t + b \sin t \\ \frac{1}{5}(b - 2a) \cos t - \frac{1}{5}(a + 2b) \sin t \\ \frac{1}{5}(a - 3b) \sin t - \frac{1}{5}(3a + b) \cos t \end{pmatrix},$$

где a, b – произвольные вещественные постоянные.

Список использованных источников

- 1 Еругин, Н. П. Линейные системы обыкновенных дифференциальных уравнений с периодическими и квазипериодическими коэффициентами / Н. П. Еругин. – Минск : АН БССР, 1963. – 273 с.
- 2 Грудо, Э. И. О периодических решениях с несоизмеримыми периодами периодических дифференциальных систем / Э. И. Грудо // Дифференциальные уравнения. – 1986. – Т. 22, № 9. – С. 1499–1504.
- 3 Деменчук, А. К. Асинхронные колебания в дифференциальных системах. Условия существования и управления / А. К. Деменчук. – Lambert Academic Publishing Saarbrücken, 2012.

Р. В. Бородич, Е. Н. Бородич, М. В. Селькин
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

О НЕ p -НИЛЬПОТЕНТНЫХ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОДГРУППАХ

Рассматриваются конечные группы. Одно из классических направлений в исследовании конечных групп связано с задачей о свойствах пересечений заданных максимальных подгрупп и исследовании влияния этих свойств на строение группы, которое берет начало с работ Г. Фраттини [1], В. Гашюца [2] и в дальнейшем было продолжено в работах многих авторов [3; 4].

В настоящее время к исследованию пересечений максимальных подгрупп и изучению свойств классов групп, все чаще, подходят с позиций теории подгрупповых функторов.

Обозначим через $D(G)$ пересечение всех не p -нильпотентных максимальных подгрупп, не сопряженных с некоторой максимальной подгруппой.

Всегда полагаем, что пересечение пустого множества подгрупп из G совпадает с самой группой G .

Теорема. В любой не p -разрешимой группе G , $p > 2$ существует нормальная q -подгруппа Q такая, что $D(G)/Q \in N$.

Следствие. В любой не p -разрешимой группе G , $p > 2$ подгруппа, равная пересечению не p -нильпотентных максимальных подгрупп, не сопряженных с некоторой максимальной подгруппой, метанильпотентна.

Список использованных источников

- 1 Frattini, G. Intorno alla generazione dei gruppi di operazioni / G. Frattini // Atti Acad. Dei Lincei. – 1885. – Vol. 1. – P. 281–285.
- 2 Gaschutz, W. Uber die Φ -Untergruppen endlicher Gruppen / W. Gaschutz // Math. Z. – 1953. – Bd. 58. – S. 160–170.
- 3 Шеметков, Л. А. Формации конечных групп / Л. А. Шеметков. – М. : Наука, 1978. – 267 с.
- 4 Селькин, М. В. Максимальные подгруппы в теории классов конечных групп / М. В. Селькин. – Минск : Беларуская навука, 1997. – 144 с.

Т. В. Бородич

г. Гомель, ГГУ им. Ф.Скорины

О РАЗРЕШИМОСТИ ГРУППЫ С ДОБАВЛЕНИЯМИ К НОРМАЛИЗАТОРАМ ВЫДЕЛЕННЫХ СИЛОВСКИХ ПОДГРУПП

В научной алгебраической литературе, влияние нормализаторов силовских подгрупп конечной группы на структуру самой группы изучались многими авторами. Известно, что нормализатор силовских подгрупп группы играет важную роль в исследовании конечных групп. Например, согласно классической теореме Силова индекс нормализатора силовской p -подгруппы сравним с единицей по модулю p и совпадает с числом сопряженных силовских p -подгрупп.

В данной работе все рассматриваемые группы предполагаются конечными. Добавление к подгруппе X в группе G называется подгруппа Y такая, что $G=XY$. Если $X \cap Y=I$, то подгруппа Y называется дополнением к подгруппе X в группе G . Добавление Y к подгруппе X в группе G называется: примарным, если порядок Y есть примарное число; холловым, если подгруппа Y холлова в группе G ; нильпотентным, если подгруппа Y нильпотентна.

В 1968 г. В. А. Ведерников доказал разрешимость группы, у которой порядки всех классов сопряженных силовских подгрупп есть степени простых чисел, [1], теорема 5. При доказательстве использовалась непростота таких групп, установленная П. И. Трофимовым в 1963 г., [2], теорема 6.

Напомним, что натуральное число, которое является степенью некоторого простого числа, называют примарным. Поскольку порядок класса сопряженных подгрупп совпадает с индексом нормализатора любой подгруппы из этого класса, то теорему В. А. Ведерникова можно сформулировать так: если индексы нормализаторов силовских подгрупп в группе G примарны, то группа G разрешима. В такой формулировке эта теорема доказывалась в работах [3; 4; 5].

Д. Бухталь в работе [3] также доказал, что если в группе G нормализатор каждой силовской подгруппы обладает циклическим добавлением, то группа G либо сверхразрешима, либо содержит нормальную подгруппу N такую, что факторгруппа G/N изоморфна S_4 . Здесь S_4 – симметрическая группа степени 4.

Более детальное изучение групп с примарными индексами нормализаторов силовских подгрупп проведено Го Веньбином в [5]. В перечисленных выше работах классификация конечных простых групп не использовалась.

В 2005 г. Го Веньбинь и Шам в [6] показали, что для разрешимости группы достаточно только примарность индексов нормализаторов силовских 2- и 3-подгрупп. Их доказательство основано на теореме Фисман [7], которая использует классификацию конечных простых групп.

Б. Ли, В. Го и Цз. Хуан доказали в [8] критерий, что нормализатор любой силовской подгруппы конечной группы G имеет нильпотентное холлово добавление тогда и только тогда, когда G разрешима и любая трипримарная холлова подгруппа H группы G (если такая существует) удовлетворяют одному из следующих двух условий:

- 1) H обладает нильпотентной бипримарной холловой подгруппой;
- 2) если $\pi(H)=\{p, q, r\}$, то существуют силовские p -, q -, r -подгруппы H_p, H_q и H_r группы H такие, что $H_q \subseteq N_H(H_p), H_r \subseteq N_H(H_q), H_p \subseteq N_H(H_r)$.

Напомним, что группу X называют кф Y -свободной, если она не имеет композиционных факторов, изоморфных группе Y .

В 2009 году Э.М. Пальчик в своей работе [9] установил, что в конечной группе $X=HB$ с холловой подгруппой H нечетного порядка, а $B=N_X(P)$ для некоторой силовской p -подгруппы

P из X . Если $p=2$, то X является кф $SL(2,2^n)$ -свободной группой, для $n>1$. Тогда X есть p -разрешимая группа.

В 2009 г. В. С. Монахов и Т. В. Бородич в своей работе [10] установили разрешимость группы G в том случае, когда нормализаторы силовских 2- и 3-подгрупп обладают нильпотентными холловыми добавлениями. Их доказательство основано на теореме Казарина [11], которая использует классификацию конечных простых групп.

В настоящей заметке исследуются группы с ограничениями на количество нормализаторов силовских подгрупп, которые обладают холловыми добавлениями. Доказывается следующая теорема.

Теорема. Пусть G группа и $p \in \pi(G)$. Если для любого значения $q \in \pi(G) \setminus \{p\}$ нормализатор силовской q -подгруппы обладает нильпотентным холловым добавлением, то группа G разрешима.

Следствие. Пусть G группа и $p \in \pi(G)$. Если для любого значения $q \in \pi(G) \setminus \{p\}$ индекс нормализатора каждой силовской q -подгруппы примерен, то группа G разрешима.

Пример 1. В простой группе A_5 , порядка 60, если мы исключим два простых делителя 3 и 5 из $\pi(A_5)$, то нормализатор силовской 2-подгруппы обладает циклическим дополнением. Поэтому в теореме нельзя исключить два простых делителя из $\pi(G)$.

Пример 2. В простой группе $PSL(2,7)$, порядка 168, холловыми дополнениями к нормализаторам силовских 2- и 7-подгрупп, являются разрешимые группы. Поэтому в теореме нельзя рассматривать разрешимое добавления к нормализаторам силовских q -подгрупп $q \in \pi(PSL(2,7)) \setminus \{3\}$.

Доказательство теоремы использует классификационную теорему Л. С. Казарина [11] о неабелевых композиционных факторах группы, являющейся произведением своих разрешимых подгрупп.

Список использованных источников

- 1 Ведерников, В. А. О признаках разрешимости и сверхразрешимости конечных групп / В. А. Ведерников // Сибирский математический журнал. – 1962. – Т. VIII, № 6. – С. 1236–1244.
- 2 Трофимов, П. И. О признаках непростоты и разрешимости конечных групп / П. И. Трофимов // Сибирский математический журнал. – 1962. – Т. II, № 6. – С. 876–881.
- 3 Buchthal, D. On factorized groups / D. Buchthal // Trans. Amer. Math. Soc. – 1973. – Vol. 183. – P. 425–432.
- 4 Zhang, J. Sylow numbers of finite groups / J. Zhang // J. Algebra. – 1995. – Vol. 176. – P. 111–123.
- 5 Guo, W. Finite groups with given indices of normalizers of Sylow subgroups / W. Guo // Siberian Math. J. – 1996. – Vol. 37. – P. 207–214.
- 6 Guo, W. A note on finite groups whose normalizers of Sylow 2-, 3-subgroups are prime power induces / W. Guo, K.P. Shum // Journal of Applied Algebra and Discrete Structures. – 2005. – Vol. 3, № 1. – P. 1–9.
- 7 Fisman, E. On the product of two finite solvable groups / E. Fisman // J. Algebra. – 1983. – Vol. 80. – P. 517–536.
- 8 Ли, Б. Конечные группы, в которых нормализаторы силовских подгрупп имеют нильпотентные холловы добавления / Б. Ли, В. Го, Цз. Хуан // Сибирский математический журнал. – 2009. – Т. 50, № 4. – С. 841–849.
- 9 Пальчик, Э. М. О конечных факторизуемых группах с нильпотентным холловым фактором / Э. М. Пальчик // Весці НАН Беларусі. – 2009. – № 2. – С. 52–56.
- 10 Monakhov, V. S. Solvability of any group with Hall supplements to normalizers of Sylow subgroups / V. S. Monakhov, T. V. Borodich // Mathematical Notes. – 2009. – Vol. 85, № 2. – P. 209–214.
- 11 Kazarin, L. S. Groups which are the product of two solvable subgroups / L. S. Kazarin // Comm. Algebra. – 1986. – Vol. 14, № 6. – P. 1001–1066.

В. В. Бураковский

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

СИММЕТРИЧНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ЛОКАЛЬНАЯ СЕТЬ С БЕСКОНЕЧНЫМИ БУФЕРАМИ И ВЕНТИЛЬНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

Рассмотрим симметричную кольцевую маркерную ЛВС, объединяющую N абонентских станций, каждая из которых имеет бесконечный буфер. Будем исследовать случай ветвильной дисциплины обслуживания на АС, когда после получения маркера станция передает все данные, накопившиеся у нее за время цикла T . На каждую АС поступает пуассоновский поток

сообщений с одинаковой интенсивностью λ . Причем данные поступают пачками так, что данные одного поступления с вероятностью r_i упаковываются в i - пакетов, $i \in \mathbb{N}$. За один цикл длительности T (интервал времени между последовательными поступлениями маркера на одну АС) на каждую АС поступит случайное число сообщений, которые упаковываются в ξ_i пакетов. При этом случайные величины $\{\xi_i, 1 \leq i \leq N\}$ независимы в совокупности.

Обозначим через δ время передачи сообщения между соседними АС, а – время приема сообщения на АС – адресате, V_i – число пакетов, имеющих на некоторой АС в момент поступления i -го СМ, ξ_i – число пакетов, поступивших на эту АС в течение i -го цикла. Тогда имеет место рекуррентная формула

$$V_{i+1} = \xi_i, \quad V_i, \xi_i \in \mathbb{N}. \quad (1)$$

Основными характеристиками, определяющими эффективность функционирования рассматриваемой КЛВС, являются следующие:

- 1) среднее время задержки пакета на АС τ ;
- 2) коэффициент загрузки АС ρ ;
- 3) коэффициент загрузки моноканала K ;
- 4) пропускная способность КЛВС Π ;
- 5) условие существования стационарного режима.

Теорема. Характеристики 1-5 рассматриваемой КЛВС определяются по формулам:

$$\tau = \frac{N\delta}{1 - \Lambda\Delta}; \quad (2)$$

$$\rho = 1 - e^{-\Lambda\delta(1-\Lambda\Delta)^{-1}}; \quad (3)$$

$$K = \Lambda\Delta; \quad (4)$$

$$\Pi = \Delta^{-1}; \quad (5)$$

$$\Lambda < \Delta^{-1}, \quad (6)$$

где $\Lambda = \lambda NL$, $L = \sum_{j=1}^{\infty} jr_j$.

Доказательство. По формуле полной вероятности, учитывая (1), получим

$$P(V_{i+1} = u) = P(\xi_i = u), \quad u \in \mathbb{N} \cup \{0\}. \quad (7)$$

В стационарном режиме $P(V_i = u)$ не зависят от i . Обозначим для стационарного режима $p_u = P(V_i = u)$. Тогда получим для p_u систему уравнений

$$p_u = q_u, \quad u \in \mathbb{N} \cup \{0\}. \quad (8)$$

Здесь через q_u обозначена безусловная вероятность поступления u пакетов на АС за один цикл, которая вычисляется по формуле

$$q_u = \int q'_u(T) dF(T),$$

где $F(T)$ – функция распределения длительности цикла, а интегрирование производится по всему интервалу возможных значений T , $q'_u(T)$ – условная вероятность поступления u пакетов за один цикл, если он продолжался время T . В нашем случае $T = T_0 + n\Delta$, где n – число сообщений, переданных за один цикл, $T_0 = N\delta$. Таким образом, $F(T)$ является дискретным распределением. Обозначая через F_n – вероятность того, что за один цикл передано n сообщений, получим

$$q_u = \sum_{n=0}^N q'_u(T_0 + n\Delta) F_n.$$

Обозначим производящую функцию числа пакетов, необходимых для передачи данных, поступивших в одной пачке

$$r(z) = \sum_{i=1}^{\infty} r_i z^i.$$

Тогда производящая функция числа пакетов, необходимых для передачи данных, поступивших за время T на одну АС, имеет вид

$$q(z) = e^{\lambda T(r(z)-1)}.$$

Поскольку все АС одинаковые, то производящая функция числа пакетов в КЛВС за один цикл равна

$$p(z) = q^N(z) = e^{\lambda NT(r(z)-1)}. \quad (9)$$

Отсюда следует, что среднее число пакетов, передаваемых за цикл длительности T

$$\bar{n} = \left. \frac{dp(z)}{dz} \right|_{z=1} = \lambda NLT = \Lambda T. \quad (10)$$

Поскольку средняя длительность цикла равна $T_0 + \bar{n}\Delta$, получаем следующее уравнение для определения явного вида \bar{n}

$$\lambda N(T_0 + \bar{n}\Delta)L = \bar{n}.$$

Откуда

$$\bar{n} = \frac{\Lambda N \delta}{1 - \Lambda \Delta}, \quad (11)$$

где $\Lambda = \lambda NL$, $T_0 = N\delta$, $L = \sum_{j=1}^{\infty} jr_j$.

Таким образом, условие существования стационарного режима в КЛВС ($\bar{n} < \infty$) имеет вид (6).

Среднее значение длительности цикла

$$\bar{T} = T_0 + \bar{n}\Delta = \frac{\Lambda N \delta}{1 - \Lambda \Delta}. \quad (12)$$

Поскольку в рассматриваемом варианте дисциплины обслуживания передаются все данные, имеющиеся на АС к моменту прихода СМ, то среднее число переданных за цикл пакетов соответствует среднему числу имеющихся пакетов данных в КЛВС. Так как все АС имеют одинаковые характеристики, то среднее число пакетов данных на одной АС

$$\bar{n}_{AC} = \frac{1}{N} \bar{n} = \frac{\Lambda \delta}{1 - \Lambda \Delta}. \quad (13)$$

Рассматривая каждую АС как СМО типа $M|G|1$, по формуле Литтла получаем, что среднее время пребывания пакета в КЛВС, то есть среднее время задержки, определяется соотношением

$$\tau = \frac{N \delta}{1 - \Lambda \Delta}, \quad (14)$$

следовательно, в рассматриваемом случае совпадает со средней длительностью цикла.

Коэффициент загрузки АС $\rho = 1 - p_0$. Поскольку $p_0 = e^{-\Lambda \delta(1-\Lambda \Delta)^{-1}}$, то ρ вычисляется по формуле (3).

Коэффициент загрузки моноканала передачи полезной информации вычисляется как отношение среднего времени, которое передается информация с АС, к средней длительности цикла

$$K = \frac{\bar{n}\Delta}{T_0 + \bar{n}\Delta} = \Lambda \Delta.$$

Пропускная способность КЛВС

$$\Pi = \lambda_{\max} NL = \Delta^{-1}.$$

Теорема доказана.

Очевидно, что в рассматриваемом случае среднее время задержки сообщений монотонно увеличивается с ростом λ . Поэтому условная пропускная способность КЛВС Π_* при условии, что $\tau \leq T_*$ находится из уравнения

$$T_* = \frac{T_0}{1 - \Delta\lambda_*LN} = \frac{N\delta}{1 - \Delta\Pi_*}. \quad (15)$$

Откуда

$$\Pi_* = \lambda_*LN = \frac{T_* - N\delta}{\Delta T_*}. \quad (16)$$

Расчеты, проведенные на ПЭВМ, дают возможность построить графики зависимостей коэффициентов загрузки АС, коэффициентов загрузки моноканала, средних времен задержки сообщений на АС от суммарной интенсивности Λ поступления пакетов в КЛВС для обеих дисциплин обслуживания.

Список использованных источников

- 1 ANSI/IEEE 802.5 Standard – 1985. Token-passing ring access method and physical layer specification // IEEE Press. – 1985. – 89 p.
- 2 Бураковский, В. В. Кольцевая локальная сеть с протоколом маркерного доступа / В. В. Бураковский, Г. А. Медведев // Техника средств связи. Сер. Системы связи. – 1990. – Вып. 7. – С. 9–16.
- 3 Бураковский, В. В. Кольцевая локальная сеть с протоколом маркерного доступа, буферами конечной емкости и вентильной дисциплиной обслуживания / В. В. Бураковский. – Гомель, 1997. – 9 с. Деп. в БелИСА 12.06.1997 г., № Д199716.
- 4 Бураковский, В. В. Исследование кольцевых маркерных локальных вычислительных сетей при помощи циклических марковских процессов / В. В. Бураковский. – Гомель : ГГУ, 1997. – 15 с. (Препринт № 31).

П. В. Бычков

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

МАСШТАБИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПЛАТФОРМЫ RAVBITMQ

Масштабируемость (англ. scalability) – в электронике и информатике означает способность системы, сети или процесса справляться с увеличением рабочей нагрузки (увеличивать свою производительность) при добавлении ресурсов (обычно аппаратных). Масштабируемость – важный аспект электронных систем, программных комплексов, систем баз данных, маршрутизаторов, сетей и т. п., если для них требуется возможность работать под большой нагрузкой. Система называется масштабируемой, если она способна увеличивать производительность пропорционально дополнительным ресурсам. Масштабируемость можно оценить через отношение прироста производительности системы к приросту используемых ресурсов. Чем ближе это отношение к единице, тем лучше. Также под масштабируемостью понимается возможность наращивания дополнительных ресурсов без структурных изменений центрального узла системы.

В системе с плохой масштабируемостью добавление ресурсов приводит лишь к незначительному повышению производительности, а с некоторого «порогового» момента добавление ресурсов не дает никакого полезного эффекта.

Вертикальное масштабирование – увеличение производительности каждого компонента системы с целью повышения общей производительности. Масштабируемость в этом контексте означает возможность заменять в существующей вычислительной системе компоненты более мощными и быстрыми по мере роста требований и развития технологий. Это самый простой способ масштабирования, так как не требует никаких изменений в прикладных программах, работающих на таких системах.

Горизонтальное масштабирование – разбиение системы на более мелкие структурные компоненты и разнесение их по отдельным физическим машинам (или их группам), и (или) увеличение количества серверов, параллельно выполняющих одну и ту же функцию. Масштабируемость в этом контексте означает возможность добавлять к системе новые узлы, серверы,

процессоры для увеличения общей производительности. Этот способ масштабирования может требовать внесения изменений в программы, чтобы программы могли в полной мере пользоваться возросшим количеством ресурсов [1].

RabbitMQ – платформа, реализующая систему обмена сообщениями между компонентами программной системы (Message Oriented Middleware) на основе стандарта AMQP (Advanced Message Queuing Protocol). RabbitMQ создан на основе испытанной Open Telecom Platform, обеспечивающий высокую надёжность и производительность промышленного уровня и написан на языке Erlang. RabbitMQ состоит из: сервера RabbitMQ; поддержки протоколов HTTP, XMPP и STOMP; клиентских библиотек AMQP для Java и .NET Framework (поддержка других языков программирования реализована в ПО других производителей); различных плагинов (таких, как плагины для мониторинга и управления через HTTP, или веб-интерфейс, или плагин «Shovel» для передачи сообщений между брокерами).

Поддерживается горизонтальное масштабирование для построения кластерной архитектуры. Имеется реализация клиентов для доступа к RabbitMQ для целого ряда языков программирования и платформ, широко используемых для веб-разработки: Java, .NET, Perl, Python, Ruby, PHP и др. В качестве движка базы данных для хранения сообщений используется Mnesia.

RabbitMQ позволяет взаимодействовать различным программам при помощи протокола AMQP. RabbitMQ является отличным решением для построения SOA (сервис-ориентированной архитектуры) и распределением отложенных ресурсоемких задач. RabbitMQ – это брокер сообщений. Его основная цель – принимать и отдавать сообщения. Его можно представлять себе, как почтовое отделение: когда Вы бросаете письмо в ящик, Вы можете быть уверены, что рано или поздно почтальон доставит его адресату. В этой аналогии RabbitMQ является одновременно и почтовым ящиком, и почтовым отделением, и почтальоном. Наибольшее отличие RabbitMQ от почтового отделения в том, что он не имеет дела с бумажными конвертами: RabbitMQ принимает, хранит и отдает бинарные данные, т. е. сообщения [2].

В RabbitMQ, а также обмене сообщениями в целом, используется следующая терминология:

– Producer (поставщик) – программа, отправляющая сообщения. В схемах он будет представлен кругом с буквой «P»:



– Queue (очередь) – имя «почтового ящика». Она существует внутри RabbitMQ. Хотя сообщения проходят через RabbitMQ и приложения, хранятся они только в очередях. Очередь не имеет ограничений на количество сообщений, она может принять сколь угодно большое их количество (можно считать ее бесконечным буфером). Любое количество поставщиков может отправлять сообщения в одну очередь, также любое количество подписчиков может получать сообщения из одной очереди. В схемах очередь будет обозначена стеком и подписана именем:

queue_name

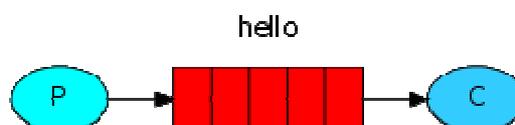


– Consumer (подписчик) – программа, принимающая сообщения. Обычно подписчик находится в состоянии ожидания сообщений. В схемах он будет представлен кругом с буквой «C»:



Поставщик, подписчик и брокер не обязаны находиться на одной физической машине, обычно они находятся на разных.

Пример отправки сообщения и вывода его на экран.



Поставщик отправляет сообщения в очередь с именем «hello», а подписчик получает сообщения из этой очереди.

Далее приведем пример кода на C#, в котором производитель посылает одно сообщение, а потребитель, получает сообщения и печатает его. Для работы с .NET понадобится подключить библиотеку RabbitMQ.Client.dll. Мы создадим два класса: 1) Class Send, который будет подключаться к RabbitMQ, отправлять одно сообщения, и совершать выход; 2) Class Receive, который будет принимать сообщение и распечатывать его.

Класс Send.cs:

```
using System;
using RabbitMQ.Client;
using System.Text;
class Send
{
    public static void Main()
    {
        var factory = new ConnectionFactory() { HostName = "localhost" };
        using (var connection = factory.CreateConnection())
        {
            using (var channel = connection.CreateModel())
            {
                channel.QueueDeclare("hello", false, false, false, null);

                string message = "Hello World!";
                var body = Encoding.UTF8.GetBytes(message);

                channel.BasicPublish("", "hello", null, body);
                Console.WriteLine(" [x] Sent {0}", message);
            }
        }
    }
}
```

Здесь мы настраиваем подключение к серверу и далее подключаемся к брокеру на локальной машине (если бы мы хотели подключиться к брокеру на другой машине мы просто указали бы его имя или IP-адрес).

Класс Class Receive

```
using RabbitMQ.Client;
using RabbitMQ.Client.Events;
using System;
using System.Text;
class Receive
{
    public static void Main()
    {
        var factory = new ConnectionFactory() { HostName = "localhost" };
        using (var connection = factory.CreateConnection())
        {
            using (var channel = connection.CreateModel())
            {
                channel.QueueDeclare("hello", false, false, false, null);

                var consumer = new QueueingBasicConsumer(channel);
                channel.BasicConsume("hello", true, consumer);

                Console.WriteLine(" [*] Waiting for messages." +
                    "To exit press CTRL+C");
                while (true)
                {
                    var ea = (BasicDeliverEventArgs)consumer.Queue.Dequeue();
```

```

var body = ea.Body;
var message = Encoding.UTF8.GetString(body);
Console.WriteLine(" [x] Received {0}", message);
    }
}
}
}
}
}
}
}
}

```

Настройка такая же, как и у класса Send; мы открываем соединение и канал и объявляем очередь, из которой мы собираемся получать данные.

Таким образом, использование RabbitMQ позволяет нам подключать к нашему приложению огромное количество пользователей, находящихся в любой точке мира. Также вы можете найти RabbitMQ симулятор по вот этой ссылке: <http://tryrabbitmq.com/>.

Список использованных источников

- 1 IBM Redbook: The RS/6000 SP Inside Out, id: SG24-5374-00, с. 15.
- 2 <http://www.rabbitmq.com/>

А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева, А. С. Вегера
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины, БелГУТ

КЛАССЫ КОНЕЧНЫХ ГРУПП, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ВЛОЖЕНИЕМ СИЛОВСКИХ ПОДГРУПП

Рассматриваются только конечные группы. Хорошо известно, что группа нильпотентна тогда и только тогда, когда любая ее силовая подгруппа является субнормальной в ней. В 1969 году Т. О. Хоукс [1] обобщил понятие субнормальности, введя определение F -субнормальной подгруппы в разрешимой группе. В 1978 году Л. А. Шеметков в монографии [2] распространил данное понятие на произвольные конечные группы.

Пусть F – непустая формация. Подгруппа H группы G называется F -субнормальной в G (обозначается $H F$ -sn G), если либо $H = G$, либо существует максимальная цепь подгрупп $H = H_0 < H_1 < \dots < H_n = G$ такая, что $H_i^F \leq H_{i-1}$ для $i = 1, \dots, n$. В случае, когда F совпадает с классом N всех нильпотентных групп, всякая N -субнормальная подгруппа является субнормальной, обратное утверждение в общем случае неверно. Однако в разрешимых группах эти понятия эквивалентны.

Еще одно обобщение субнормальности предложил в 1978 году О. Кегель [3], введя понятие F -достижимой (K - F -субнормальной, согласно [4, с. 236]) подгруппы.

Подгруппа H группы G называется K - F -субнормальной в G (обозначается $H K$ - F -sn G), если существует цепь подгрупп $H = H_0 \leq H_1 \leq \dots \leq H_n = G$ такая, что либо H_{i-1} нормальна в H_i , либо $H_i^F \leq H_{i-1}$ для $i = 1, \dots, n$.

Отметим, что субнормальная подгруппа является K - F -субнормальной в любой группе, обратное утверждение верно не всегда. Для случая $F = N$ понятия субнормальной и K - N -субнормальной подгрупп эквивалентны.

Свойства F -субнормальных и K - F -субнормальных подгрупп и их приложения активно изучались в различных направлениях, и нашли отражение в многочисленных работах, в частности, в монографиях [4; 5].

В работе [6] было начато рассмотрение следующей общей задачи. Пусть F – непустая формация. Изучить влияние F -субнормальных (K - F -субнормальных) силовских подгрупп на строение всей группы.

Определение. Для некоторого множества простых чисел π и непустой формации F введем классы групп:

$W_\pi F$ – класс всех групп G , у которых $1 F$ -sn G и $Q F$ -sn G для любой силовской q -подгруппы Q из G , где $q \in \pi \cap \pi(G)$;

$\overline{W}_\pi F$ – класс всех групп G , у которых $Q K$ - F -sn G для любой силовской q -подгруппы Q из G , где $q \in \pi \cap \pi(G)$.

В случае, когда $\pi = \mathbf{P}$ – множество всех простых чисел, будем обозначать WF и \overline{WF} , вместо $W_\pi F$ и $\overline{W}_\pi F$ соответственно.

В [7] исследовался класс всех групп G , у которых $\pi(G) \subseteq \pi(F)$ и все силовские подгруппы являются F -субнормальными в G . В частности, для наследственной насыщенной формации F было доказано, что такой класс групп образует наследственную насыщенную формацию. Также в классе разрешимых групп было установлено ее локальное задание. Легко заметить, что данный класс групп совпадает с WF .

В работах [8; 9; 10] аналогичные результаты были получены для класса всех групп, у которых все силовские подгруппы группы являются K - F -субнормальными, т. е. для класса групп \overline{WF} .

В работах [11] и [12] были введены определения \mathbf{P} -субнормальной и K - \mathbf{P} -субнормальной подгрупп, которые для формации U всех сверхразрешимых групп являются обобщениями понятий U -субнормальной и K - U -субнормальной подгрупп соответственно.

Подгруппа H группы G называется \mathbf{P} -субнормальной в G , если либо $H=G$, либо существует цепь подгрупп $H = H_0 < H_1 < \dots < H_{n-1} < H_n = G$ такая, что $|H_i : H_{i-1}|$ – простое число для любого $i = 1, \dots, n$.

Подгруппа H группы G называется K - \mathbf{P} -субнормальной в G , если существует цепь подгрупп $H = H_0 \leq H_1 \leq \dots < H_{n-1} \leq H_n = G$ такая, что либо H_{i-1} нормальна в H_i , либо $|H_i : H_{i-1}|$ есть простое число для любого $i = 1, \dots, n$.

В любой группе всякая U -субнормальная подгруппа является \mathbf{P} -субнормальной, а для разрешимых групп имеет место и обратное утверждение. Однако в общем случае оно неверно.

Понятие K - \mathbf{P} -субнормальной подгруппы шире, чем понятие \mathbf{P} -субнормальной подгруппы. Каждая K - U -субнормальная в G подгруппа является K - \mathbf{P} -субнормальной в G . В общем случае обратное утверждение не выполняется. Например, в знакопеременной группе A_5 степени 5 силовская 2-подгруппа K - \mathbf{P} -субнормальна, но не K - U -субнормальна. В разрешимой группе понятия U -субнормальной, \mathbf{P} -субнормальной, K - \mathbf{P} -субнормальной и K - U -субнормальной подгрупп эквивалентны [12, лемма 3.4].

В [11] исследовался класс wU всех групп, у которых любая силовская подгруппа \mathbf{P} -субнормальна в G . В частности, было установлено, что wU состоит из разрешимых групп, является наследственной насыщенной формацией, найдено ее локальное задание. Из разрешимости групп из wU следует, что $WU = wU = \overline{W}U$.

Важность классов WU и $\overline{W}U$ была подчеркнута работами [11; 12; 13; 14; 15], где исследовались их свойства и приложения для изучения произведений групп.

В работе [12] был рассмотрен класс $\overline{W}_\pi U$ всех групп, у которых все силовские p -подгруппы являются K - \mathbf{P} -субнормальными для p из некоторого множества простых чисел π . В частности, установлены некоторые свойства класса групп $\overline{W}_\pi U$ для множества $p = \mathbf{P} \setminus \{r\}$, r – простое число. Из отмеченных выше свойств K - U -субнормальных и K - \mathbf{P} -субнормальных подгрупп следует, что $\overline{W}_\pi U \subseteq \overline{W}_\pi U$.

В связи с полученными результатами возникает следующая естественная

Проблема. Для множества простых чисел π и непустой формации F установить свойства и связь классов групп $W_\pi F$ и $\overline{W}_\pi F$.

Решению этой проблемы посвящено данное сообщение.

Теорема 1. Пусть F – наследственная формация и $\pi \subseteq \mathbf{P}$. Тогда справедливы следующие утверждения:

- 1) если $\pi_1 \subseteq \mathbf{P}$ и $\pi \subseteq \pi_1$, то $W_{\pi_1} F \subseteq W_\pi F$ и $\overline{W}_{\pi_1} F \subseteq \overline{W}_\pi F$;
- 2) $F \subseteq WF \subseteq W_\pi F \subseteq \overline{W}_\pi F$ и $\pi(W_\pi F) = \pi(F)$;
- 3) $N_{\pi \cap \pi(F)} \subseteq W_\pi F$ и $N_\pi \subseteq \overline{W}_\pi F$;
- 4) $W_\pi F = W_{\pi \cap \pi(F)} F$;
- 5) $W_\pi F$ и $\overline{W}_\pi F$ – наследственные формации;
- 6) $W_\pi(W_\pi F) = W_\pi F$ и $\overline{W}_\pi(\overline{W}_\pi F) = \overline{W}_\pi F$;
- 7) если H – наследственная формация и $F \subseteq H$, то $W_\pi F \subseteq W_\pi H$ и $\overline{W}_\pi F \subseteq \overline{W}_\pi H$.

Теорема 2. Пусть F – наследственная формация и $\pi \subseteq \mathbf{P}$. Тогда справедливы следующие утверждения:

- 1) $\overline{W}_\pi F \cap G_{\pi \cup \pi(F)} \supseteq N_{\pi \setminus \pi(F)} \times W_\pi F$;
- 2) если $\pi(F) \subseteq \pi$, то $\overline{W}_\pi F \cap G_\pi = N_{\pi \setminus \pi(F)} \times W_\pi F$.

Следствие 2.1 [10, теорема 2.2]. Если F – наследственная формация и $\pi = \pi(F)$, то $WF = N_\pi \times WF$.

Следствие 2.2. Если F – наследственная формация и $\pi(F) = \mathbf{P}$, то $\overline{W}F = WF$.

Заметим, что условие $\pi(F) \subseteq \pi$ в 2) теоремы 3.3 существенно. Например, пусть $\pi = \{7\}$, $F = N_{\pi(F)}$, где $\pi(F) = \{2, 3, 5, 7\}$, и $G = A_5$ – знакопеременная группа на 5 символах. Тогда $G \in \overline{W}_\pi F$. Из $G = G^F$ следует, что $G \notin W_\pi F$.

Теорема 3. Пусть F – наследственная насыщенная формация и $\pi \subseteq \mathbf{P}$. Тогда $W_\pi F$ является наследственной насыщенной формацией.

Следствие 3.1 [7, теорема В]. Пусть F – наследственная насыщенная формация. Тогда WF – наследственная насыщенная формация.

Следствие 3.2. Если F – наследственная насыщенная формация, то класс групп с F -субнормальной единичной подгруппой является наследственной насыщенной формацией.

Пусть F – локальная формация, h – ее максимальный внутренний локальный экран и $\pi \subseteq \mathbf{P}$. Для любого простого p обозначим через $h_{\pi^*}(p)$ следующий класс групп: $h_{\pi^*}(p) = (G \mid 1 \text{ F-sn } G, Q \text{ F-sn } G \text{ и } Q \in h(p) \text{ для любой } Q \in \text{Syl}_q(G) \text{ и } q \in \pi \cap \pi(G))$.

Если $\pi = \mathbf{P}$, то вместо $h_{\pi^*}(p)$ будем писать $h^*(p)$.

Теорема 4. Пусть F – наследственная насыщенная формация, h – ее максимальный внутренний локальный экран и $\pi \subseteq \mathbf{P}$. Тогда $W_\pi F = \text{LF}(f)$, где f – максимальный внутренний локальный экран формации $W_\pi F$ такой, что $f(p) = h_{\pi^*}(p)$, если $p \in \pi(F)$; $h_{\pi^*}(p) = \emptyset$, если $p \in \mathbf{P} \setminus \pi(F)$.

Следствие 4.1. Пусть F – наследственная насыщенная формация, h – ее максимальный внутренний локальный экран и $\pi \subseteq \pi(F) = \mathbf{P}$. Тогда $W_\pi F = \text{LF}(h_{\pi^*})$, где h_{π^*} – максимальный внутренний локальный экран формации $W_\pi F$.

Следствие 4.2. Пусть F – наследственная насыщенная формация, h – ее максимальный внутренний локальный экран. Тогда $WF = \text{LF}(f)$, где f – максимальный внутренний локальный экран формации WF такой, что $f(p) = h^*(p)$, если $p \in \pi(F)$; $f(p) = \emptyset$, если $p \in \mathbf{P} \setminus \pi(F)$.

Следствие 4.3. Если F – наследственная насыщенная формация, h – ее максимальный внутренний локальный экран и $\pi(F) = \mathbf{P}$, то $WF = \text{LF}(h^*)$, где h^* – максимальный внутренний локальный экран формации WF .

Согласно [16, гл. IV, пример 3.4 (f)] формация U всех сверхразрешимых групп имеет внутренний локальный экран f такой, что $f(p) = A(p-1)$ – класс всех абелевых групп экспоненты, делящей $(p-1)$, для любого простого p . Ввиду леммы 1.6 формация U имеет максимальный внутренний локальный экран h такой, что $h(p) = N_p A(p-1)$. В работе [11] был найден локальный экран формации wU , который не является максимальным внутренним. Используя теорему 3.6, нетрудно найти максимальный внутренний локальный экран формации wU .

Следствие 4.4. Формация $wU = WU = \overline{W}U$ имеет максимальный внутренний локальный экран h^* такой, что $h^*(p) = (G \mid Q \text{ P-субнормальна в } G \text{ и } Q \in N_p A(p-1) \text{ для всякой силовской подгруппы } Q \text{ группы } G) \text{ для любого простого } p$.

Теорема 5. Если F – наследственная насыщенная формация и $\pi(F) \subseteq \pi$, то $\overline{W}_\pi F \cap G_\pi$ – наследственная насыщенная формация.

Следствие 5.1 [10, следствие 2.3]. Если F – наследственная насыщенная формация, то $\overline{W}F$ – наследственная насыщенная формация.

Теорема 6. Пусть F – наследственная насыщенная формация, h – ее максимальный внутренний локальный экран и $\pi(F) \subseteq \pi$. Тогда $\overline{W}_\pi F \cap G_\pi = \text{LF}(g)$, где g – максимальный внутренний локальный экран формации $\overline{W}_\pi F \cap G_\pi$ такой, что $g(p) = h_{\pi^*}(p)$, если $p \in \pi(F)$; $g(p) = N_p$, если $p \in \pi \setminus \pi(F)$; $g(p) = \emptyset$, если $p \in \mathbf{P} \setminus (\pi \cup \pi(F))$.

Теорема 5 позволяет строить новые примеры насыщенных формаций.

Предложение 7. Пусть A – формация всех разрешимых групп с абелевыми силовскими подгруппами. Тогда $W(NA) = \overline{W}(NA) = NA$.

Список использованных источников

- 1 Hawkes, T. On formation subgroups of a finite soluble group / T. Hawkes // J. London Math. Soc. – 1969. – Vol. 44. – P. 243–250.
- 2 Шеметков, Л. А. Формации конечных групп / Л. А. Шеметков. – М. : Наука, 1978. – 278 с.

- 3 Kegel, O. H. Untergruppenverbände endlicher Gruppen, die den Subnormalteilerverband echt enthalten / O. H. Kegel // Arch. Math. – 1978. – Bd. 30, № 3. – С. 225–228.
- 4 Ballester-Bolinches, A. Classes of Finite Groups / A. Ballester-Bolinches, L. M. Ezquerro. – Dordrecht : Springer-Verl, 2006. – 385 p.
- 5 Каморников, С. Ф. Подгрупповые функторы и классы конечных групп / С. Ф. Каморников, М. В. Селькин. – Минск : Бел. наука, 2003. – 254 с.
- 6 Васильев, А. Ф. О влиянии примарных F -субнормальных подгрупп на строение группы / А. Ф. Васильев // Вопросы алгебры. – 1995. – Вып. 8. – С. 31–39.
- 7 Васильев, А. Ф. О конечных группах с обобщенно субнормальными силовскими подгруппами / А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – № 4. – С. 86–91.
- 8 Васильева, Т. И. Конечные группы с формационно субнормальными подгруппами / Т. И. Васильева, А. И. Прокопенко // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2006. – № 3. – С. 25–30.
- 9 Вегера, А. С. О насыщенных формациях конечных групп, определяемых свойствами вложения силовских подгрупп / А. С. Вегера // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2012. – № 6. – С. 154–158.
- 10 Вегера, А. С. О конечных группах с заданными K - F -субнормальными силовскими подгруппами / А. С. Вегера // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – № 3. – С. 53–57.
- 11 Васильев, А. Ф. О конечных группах сверхразрешимого типа / А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева, В. Н. Тютянов // Сибирский математический журнал. – 2010. – Т. 51, № 6. – С. 1270–1281.
- 12 Васильев, А. Ф. О K - P -субнормальных подгруппах конечных групп / А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева, В. Н. Тютянов // Математические заметки. – 2014. – Т. 95, № 4. – С. 517–528.
- 13 Васильев, А. Ф. О произведениях P -субнормальных подгрупп в конечных группах / А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева, В. Н. Тютянов // Сибирский матем. журнал. – 2012. – Т. 53, № 1. – С. 59–67.
- 14 Monakhov, V. S. Finite groups with P -subnormal subgroups / V. S. Monakhov, V. N. Kniagina // Recherche mat. – 2013. – Vol. 62. – P. 307–322.
- 15 Ballester-Bolinches, A. Some Results on Products of Finite Groups / A. Ballester-Bolinches, L. M. Ezquerro, A. A. Heliel, M. M. Al-Shomrani // Bull. Malays. Math. Sci. Soc. – 2015. DOI 10.1007/s40840-015-0111-7.
- 16 Doerk, K. Finite soluble groups / K. Doerk, T. Hawkes. – Berlin ; New York : Walter de Gruyter, 1992. – 898 p.

П. П. Вересович

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПЕРИОДИЧНОСТЬ РЕШЕНИЙ ОДНОГО РАЦИОНАЛЬНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

Рассмотрим уравнение

$$\dot{x} = \frac{a_4(t)x^4 + a_3(t)x^3 + a_2(t)x^2 + a_1(t)x + a_0(t)}{1 + b(t)x}, \quad (1)$$

в котором $a_j = a_j(t)$ ($j = 1, 2, 3, 4$), $b = b(t)$, $b(0) \neq 0$ есть непрерывные 2ω -периодические функции.

В дальнейшем для любой функции $f(t)$ будем считать $f = f(t)$, $\bar{f} = f(-t)$, $\dot{f} = \frac{df}{dt}$.

Выясним условия, при которых отражающая функция В. И. Мироненко уравнения (1) ([1, с. 11; 2, с. 62]) определяется соотношением

$$2F(t, x) + \bar{b}F^2(t, x) = 2x + bx^2. \quad (2)$$

Лемма. Для того, чтобы отражающая функция уравнения (1) определялась равенством (2)

для коэффициентов этого уравнения достаточно выполнения тождеств

$$\begin{aligned} a_0 + \bar{a}_0 &\equiv 0, a_3\bar{b} - 4\bar{a}_4 \equiv 0, a_3\bar{b}^2 + 4\bar{a}_4b \equiv 0, \bar{a}_3\bar{b} - 4\bar{a}_4 \equiv 0, a_4\bar{b}^2 + \bar{a}_4b^2 \equiv 0, \\ 4\bar{a}_3\bar{b} - 8\bar{a}_4 - 2\bar{a}_2\bar{b}^2 + \bar{a}_1\bar{b}^3 - \bar{b}^2\dot{\bar{b}} &\equiv 0, 8\bar{a}_4 - 4\bar{a}_3\bar{b} + 2\bar{a}_2\bar{b}^2 + \bar{a}_1\bar{b}^3 + \bar{b}^2\dot{\bar{b}} \equiv 0, \\ 8\bar{a}_4\bar{b} + 8\bar{a}_4b - 4\bar{a}_3\bar{b}b + 2\bar{a}_2\bar{b}^2b + 2\bar{a}_2\bar{b}^3 + \bar{b}^2b\dot{\bar{b}} + \bar{b}^3\dot{b} &\equiv 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Доказательство. Известно ([1, с. 11; 2, с. 63]), что функция $F := F(t, x)$ является отражающей функцией дифференциальной системы $\dot{x} = X(t, x)$ тогда и только тогда, когда она удовлетворяет системе уравнений в частных производных

$$F_t + F_x X(t, x) + X(-t, F) = 0 \quad (4)$$

и начальному условию $F(0, x) \equiv x$.

Дифференцируя равенство (2) по t и x находим соответственно $F_t(t, x) = \frac{\dot{b}x^2 + \dot{\bar{b}}F^2}{2(1 + \bar{b}F)}$, $F_x(t, x) = \frac{1 + bx}{1 + \bar{b}F}$ и, после подстановки в (4) с учетом правой части уравнения (1), получим

$$\frac{\dot{b}x^2 + \dot{\bar{b}}F^2}{2(1 + \bar{b}F)} + \frac{1 + bx}{1 + \bar{b}F} \frac{a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0}{1 + bx} + \frac{\bar{a}_4F^4 + \bar{a}_3F^3 + \bar{a}_2F^2 + \bar{a}_1F + \bar{a}_0}{1 + \bar{b}F} \equiv 0.$$

В полученном выражении F^2 заменим на $(2x + bx^2 - 2F) / \bar{b}$. После соответствующих преобразований в новом тождестве вместо F^2 снова подставим $(2x + bx^2 - 2F) / \bar{b}$. Приводя к общему знаменателю, получим равенство

$$P(t, x)F + Q(t, x) = 0, \quad (5)$$

где

$$P(t, x) := 2(4\bar{a}_3\bar{b} - 8\bar{a}_4 - 2\bar{a}_2\bar{b}^2 + \bar{a}_1\bar{b}^3 - \bar{b}^2\dot{\bar{b}}) + 4\bar{b}(\bar{a}_3\bar{b} - 4\bar{a}_4)x + 2\bar{b}\bar{b}(\bar{a}_3\bar{b} - 4\bar{a}_4)x^2$$

$$Q(t, x) := 2\bar{b}^3(a_0 + \bar{a}_0) + 2(8\bar{a}_4 - 4\bar{a}_3\bar{b} + 2\bar{a}_2\bar{b}^2 + \bar{a}_1\bar{b}^3 + \bar{b}^2\dot{\bar{b}})x +$$

$$+ (8\bar{a}_4\bar{b} + 8\bar{a}_4b - 4\bar{a}_3\bar{b}b + 2\bar{a}_2\bar{b}^2b + 2a_2\bar{b}^3 + \bar{b}^2b\dot{\bar{b}} + \bar{b}^3\dot{b})x^2 +$$

$$+ 2\bar{b}(a_3\bar{b}^2 + 4\bar{a}_4b)x^3 + 2\bar{b}(a_4\bar{b}^2 + \bar{a}_4b^2)x^4 = 0.$$

Очевидно, что для тождественного выполнения равенства (5) достаточно равенства нулю коэффициентов многочленов $P(t, x)$ и $Q(t, x)$.

Теорема. Для 2ω -периодичности всех решений уравнения (1), достаточно чтобы коэффициенты этого уравнения удовлетворяли условиям;

- а) функции a_0 и a_1 не четные; б) $a_3b \equiv 4a_4$; в) $\bar{a}_4b^2 + a_4\bar{b}^2 \equiv 0$ ($\bar{a}_3b + a_3\bar{b} \equiv 0$);
- г) $2\bar{a}_2\bar{b} + \bar{b}\dot{\bar{b}} - 2\bar{a}_3 + a_1\bar{b}^2 \equiv 0$.

Доказательство. Первое тождество из (3) дает первое из условий а) теоремы. Второе и четвертое тождества из (3) совпадают. Заменив t на $-t$, получим условие б). Третье тождество из (3) умножим на b и, учитывая условие б), приходим к условию в), совпадающему с пятым тождеством из (3). Сложив шестое и седьмое тождества, приходим к тождеству $\bar{b}^3(a_1 + \bar{a}_1) \equiv 0$, из которого следует нечетность a_1 . С учетом $\bar{a}_3\bar{b} \equiv 4\bar{a}_4$ седьмое тождество из (3) дает условие г). Восьмое тождество из (3) справедливо в силу выполнения условий а) – г), так как

$$(8\bar{a}_4\bar{b} + 8\bar{a}_4b - 4\bar{a}_3\bar{b}b + 2\bar{a}_2\bar{b}^2b + 2a_2\bar{b}^3 + \bar{b}^2b\dot{\bar{b}} + \bar{b}^3\dot{b})b \equiv$$

$$\equiv \bar{b}^3(2a_2b - 2a_3 + b\dot{b} - a_1b^2) + \bar{b}\bar{b}^2(2\bar{a}_2\bar{b} - 2\bar{a}_3 + \bar{b}\dot{\bar{b}} + a_1\bar{b}^2) \equiv 0.$$

Если отражающая функция $F(t, x)$ 2ω -периодической дифференциальной системы $\dot{x} = X(t, x)$ известна, то начальные данные 2ω -периодических решений этой системы (основная лемма [1, с.12; 2, с.65]) определяются недифференциальной системой $F(-\omega, x) = x$. Учитывая этот факт и определение равенством (2) отражающей функции уравнения (1) убеждаемся в справедливости утверждения теоремы.

В случае $P(t, x) \neq 0$ вопрос об условиях существования отражающей функции, определяемой равенством (2), остается открытым.

Список использованных источников

- 1 Мироненко, В. И. Отражающая функция и периодические решения дифференциальных уравнений / В. И. Мироненко. – Минск : Университетское, 1986. – 76 с.
- 2 Мироненко, В. И. Отражающая функция и исследование многомерных дифференциальных систем / В. И. Мироненко. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2004. – 196 с.

М. С. Долинский, М. А. Долинская
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ГОМЕЛЬСКАЯ ШКОЛА ОЛИМПИАДНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

С сентября 1996 года на базе СШ 27 г. Гомеля, а сентября 1999 года дополнительно и на базе сайта дистанционного обучения DL.GSU.BY (далее DL) [1], расположенного на серверах ГГУ им. Ф. Скорины, ведется работа по факультативному изучению информатики и программирования школьниками разных возрастов. Основные цели и задачи этой работы таковы:

- в каждом занимающемся ребенке развивать: усидчивость, трудолюбие, упорство, дисциплину, желание учиться, аналитические навыки, самостоятельность, креативность;
- каждому занимающемуся ребенку дать базовые навыки работы за компьютером;
- помочь каждому занимающемуся школьнику *понять*, что такое программирование, и хочет ли он связать свое профессиональное будущее с программированием;
- подготовить каждого, кто потратит соответствующее количество времени, к получению диплома Белорусской республиканской олимпиады по информатике и поступлению в вуз без экзаменов, завоеванию медали международной олимпиады по информатике.

Результаты этой работы в течение 1997–2014 годов выразились в следующих достижениях школьников г. Гомеля и Гомельской области:

- свыше сотни выбравших программирование своей профессией;
- десятки поступивших в вузы без экзаменов;
- 181 диплом и 32 похвальных отзыва с Белорусской республиканской олимпиады школьников по информатике;
- 35 дипломов международной командной олимпиады школьников по программированию (Санкт-Петербург, Россия);
- 8 золотых, 11 серебряных и 8 бронзовых медалей на международных олимпиадах школьников по информатике (IOI).

В таблице 1 ниже приведены результаты на международных олимпиадах по информатике (IOI) за период 1997–2014 годы областей Беларуси, а также города Минска и Лицея при Белорусском государственном университете, выступающих на Белорусской республиканской олимпиаде отдельными командами.

Таблица 1 – Результаты участия в олимпиадах

Область	Всего	Золото	Серебро	Бронза
Гомельская область	28	9	11	8
Минская область	10	1	4	5
Лицей БГУ	9	1	3	5
Минск	5	0	3	2
Витебская область	5	0	2	3
Гродненская область	3	0	2	1
Брестская область	1	0	0	1
Всего	58	11	24	23

Важной отличительной чертой гомельской школы олимпиадного программирования является начало занятий в более раннем возрасте, что приводит к более ранним успехам (10 класс и младше), в том числе и на уровне международных олимпиад по информатике:

- 1998: Данченко Алексей (9 кл) – участие, 1999 – серебро, 2000 – серебро;
- 2000: Сваричевский Михаил (10 кл) – серебро, 2001 – бронза;
- 2002: Дзвинковский Роман (9 кл) – бронза;
- 2005: Миняйлов Владимир (9 кл) – серебро, 2006 – золото, 2007 – серебро;
- 2006: Короткевич Геннадий (5 кл) – серебро, 2007–2012 – золото;
- 2011: Подтёлкин Владислав (9 кл) – серебро, 2012 – серебро, 2013 – бронза;
Кулик Сергей (9 кл, Мозырь) – серебро, 2012 – бронза, 2013 – золото;
- Бардашевич Адам (10 кл, Мозырь) – серебро, 2012 – золото;
- 2014: Коробейников Фёдор (8 кл, участие – первый, кому не дали бронзы).

Безусловно, в основе успехов каждого из ребят, прежде всего, лежит его огромный собственный труд, а также весомое участие родителей в воспитании, обучении и создании условий для быстрого роста. А в успехах мозырян невозможно также переоценить и роль их учителя и тренера Борунова Алексея Валентиновича. Однако авторам представляется, что среда обучения, которая и описывается далее в данной статье, существенно помогла каждому достичь полученных результатов.

Далее подробно описываются принципы, которыми авторы руководствуются при организации учебного процесса.

Постоянность. Занятия со школьниками проводятся на базе кабинета информатики СШ № 27 г. Гомеля по средам и воскресеньям *всегда*, несмотря на каникулы (в том числе и летние), праздники, выборы, и т. д. Сайт DL.GSU.BY круглосуточно поддерживает систему обучения, поэтому каждый школьник может работать в любое удобное для него время из любого удобного для него места.

Всеохватность. Не отказывается никому из школьников, которые приходят заниматься. «Пришел и хочешь учиться – учишься». В настоящий момент занятия организованы таким образом, что можно начинать учиться не только с первого класса, но и с дошкольного возраста.

Эффективность. Главный критерий эффективности занятий – коэффициент использования учебного времени. Авторы стремятся к тому, чтобы на каждом занятии каждую минуту работал каждый ученик, причем на пределе своих возможностей – то есть, закрепляя полученные навыки или обучаясь чему-то новому.

Индивидуальность. Для автора уже много лет, очевидно, что эффективности в вышеописанном понимании можно достичь только при индивидуальном и дифференцированном обучении. То есть, каждый двигается по учебному материалу с собственным темпом и соответственно в один момент времени все обучаемые могут находиться в совершенно различных точках учебного маршрута.

Самостоятельность. Понятно, что *индивидуальность* обучения может быть достигнута только при условии самостоятельности обучения каждого. Поскольку *один* учитель не может физически непосредственно обучать (объяснять, слушать и т. д.) всех учеников одновременно, тем более, если они работают с разным учебным материалом. Кроме того, самостоятельность обучения это одна из *важнейших* целей самого обучения. По большому счету научить самостоятельности в обучении (или другими словами научить учиться), с точки зрения авторов, намного важнее, чем научить каким-то конкретным знаниям. Особенно это важно в области компьютерных технологий, где специалисту практически всю жизнь (начиная буквально с первого года после завершения вуза) приходится учиться и переучиваться ...

Оптимальность (подбора материала). Авторы стараются подобрать наиболее востребованный (полезный) для изучения материал и выстроить его изучение в наиболее эффективную систему. Невозможно утверждать, что уже достигнуто совершенство, но абсолютно точно, авторы стараются сегодня учить лучше, чем вчера, а завтра – лучше, чем сегодня.

Требовательность к соблюдению правил. К сожалению, чем дальше, тем больше, расширяется список этих правил и усложняется процесс их *соблюдения* обучаемыми: тишина в аудитории, где проходят занятия; наличие тетрадки по предмету и ручки; приход на занятия перед началом, уход после завершения; делать самому, а не обманывать и т. д.

Использование сайта DL.GSU.BY С 1999 года проект развивается силами студентов, аспирантов и школьников и активно используется в учебном процессе. Такой подход обладает следующими достоинствами:

– *проверка решений в течение минуты/нескольких* и как следствие в разы (десятки раз?) интенсификация учебного процесса;

– *разнообразие видов заданий*, что позволяет по-разному и *интересно* обучать школьников с разными уровнями подготовки и мотивации;

– *автоматическая выдача заданий и дифференцированное обучение* – являются технической базой индивидуализации обучения. Понятно, что в процессе обучения школьников одной из первоочередных задач является также развитие «базы знаний», то есть дерева дифференцированного обучения, наполнения его новыми заданиями, перестраивания этого дерева, чтобы оно эффективней обучало и тех, кого учим сейчас, и тех, кого будем учить в будущем.

Обучение программированию базируется на использовании системы дистанционного обучения DL и включает в себя следующие учебно-тренировочные курсы: «Программирование-

профессионалы (лич)», «Программирование-профессионалы (ком)», «Программирование-начинающие», «Программирование-профессионалы (лич) (P/O)», «Программирование-профессионалы (ком) (P/O)», «Программирование-начинающие (P/O)», «Подготовка к IOI», «Методы алгоритмизации», «Базовое программирование», «Начинаем программировать», «Информатика», «Математика».

Курс «Программирование-профессионалы (лич)» открывается сразу после завершения финала ВКОШП (открытой Всероссийской Командной Олимпиады Школьников по Программированию) и закрывается после завершения очередной IOI (международной олимпиады по информатике), т. е. курс открыт примерно с начала декабря и до конца июля/августа. Он содержит еженедельные воскресные пятчасовые (9.00–14.00 по GMT+3) личные олимпиады – реальные олимпиады регионального уровня – до Гомельской областной олимпиады школьников по информатике, т. е. примерно до середины января, национального уровня – до финала Белорусской республиканской олимпиады по информатике т. е. – примерно до конца марта и международного уровня – до очередной IOI – т. е. до середины июля/августа.

Курс «Программирование-профессионалы (ком)» открывается сразу после отъезда участников на IOI и закрывается после ВКОШП (т. е. с середины июля/августа и до конца ноября). Он включает реальные командные олимпиады прошлых лет, которые также открыты в течение 5 часов.

Таким образом, круглый год (включая каникулярное время) каждое воскресенье проводится 5-часовая личная или командная тренировочная on-line олимпиада, в которой могут принимать и принимают участие не только гомельчане, но и все желающие. Сразу после завершения олимпиады, ее задачи становятся доступны для дорешивания в соответствующих курсах «Программирование-профессионалы (лич) (P/O)», «Программирование-профессионалы (ком) (P/O)», здесь P/O означает «Работа над ошибками». Кроме того, для участников олимпиады на базе класса информатики СШ № 27 г.Гомеля, сразу после её завершения проводится разбор. Задачи определяются по тематике и копируются в соответствующие разделы курса «Методы алгоритмизации». Таким образом, производится совершенствование курса «Методы алгоритмизации», позволяющее отслеживать тенденции развития олимпиад и обеспечивать последующую тематическую подготовку к олимпиадам. Дополнительно, задачи, которые не были решены никем, копируются в курс «Подготовка к IOI».

Для активизации самоподготовки участников и дорешивания задач в курсах «Методы алгоритмизации» и «Подготовка к IOI» проводятся перманентные Интернет-конкурсы: Сезонные Кубки (Осенний, Зимний, Весенний, Летний) и «Персона года». В Сезонных Кубках награждаются трое учеников, которые решили больше всех задач за соответствующий сезон (осень, зима, весна, лето). В Кубке «Персона года» награждается один человек, решивший больше всех задач за целый учебный год (осень, зима, весна, лето). В курсе «Подготовка к IOI» просто решить задачу недостаточно, необходимо еще описать идею решения в соответствующей теме форума DL.

Важно отметить также следующие положительные факторы в поддержку эффективности обучения. В учебных курсах (P/O), «Методы алгоритмизации», «Подготовка к IOI» функционирует «Уступка теста». То есть, ученик может забрать тест (входные данные, эталонный ответ и/или чекер) на котором его решение выдало неверный ответ. Для поддержки учеников в ситуации «у меня получается правильный ответ, а система проверки не принимает решение» имеется FAQ и его развитие в специальной теме форума с анализом реальных ситуаций. Для олимпиад, после их завершения, и для всех вышеупомянутых учебных курсов постоянно с таблицы результатов есть ссылки на исходные тексты программ (в виде рисунков, предотвращающих копирование) решений задач всеми участниками/командами. Форум DL содержит ссылки на систематизированные описания авторских решений и описания решений, выполненные гомельскими школьниками и студентами.

Авторы разработали множество учебных пособий, два из которых опубликованы в издательстве «Питер» (Санкт-Петербург): «Решение сложных и олимпиадных задач по программированию. Учебное пособие», «Алгоритмизация и программирование на TURBO PASCAL от простых до олимпиадных задач. Учебное пособие». Эти пособия активно используются школьниками при самостоятельной работе. Важным аспектом учебного процесса является также совместное участие в воскресных тренировочных олимпиадах и разборах школьников Гомеля и Гомельской области в рамках подготовки к олимпиадам по информатике и студентов ГГУ имени Ф.Скорины в рамках подготовки к командному чемпионату мира по программированию среди вузов (ACM ICPC).

Ю. Е. Дудовская, О. В. Якубович
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

СЕТИ С НЕСКОЛЬКИМИ ТИПАМИ ЗАЯВОК И ОГРАНИЧЕНИЕМ НА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ РЕЖИМОВ В ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛАХ

В работе рассматривается открытая сеть массового обслуживания с пуассоновским входящим потоком заявок, экспоненциальным обслуживанием и марковской маршрутизацией. Заявки, циркулирующие в сети, могут быть различных типов. Узлы функционируют в нескольких режимах, отвечающих различной степени их работоспособности. Время переключения с одного режима работы в другой имеет показательное распределение, переключение возможно только в соседние режимы, а в отдельных узлах при определенном количестве заявок в узле. Во время переключения режимов число заявок в узлах не меняется. Устанавливаются условия эргодичности, достаточные условия существования и аналитический вид стационарного распределения вероятностей состояний в мультипликативной форме.

1 Постановка задачи.

В сеть, состоящую из N узлов, поступает простейший поток заявок с параметром λ . Заявки могут быть M типов. Каждая заявка входящего потока независимо от других заявок направляется в i -ый узел и становится заявкой типа u с вероятностью $p_{0(i,u)}$, $\sum_{i=1}^N \sum_{u=1}^M p_{0(i,u)} = 1$. Предполагается, что i -ый узел может находиться в одном из l_i режимов работы ($l_i = \overline{0, r_i}, i = \overline{1, N}$). Состояние сети в момент времени t описывается вектором $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t))$, где $x_i(t) = (\bar{x}_i(t), l_i(t)) = (x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{in(i)}(t), l_i(t))$ – состояние i -го узла в момент времени t . Здесь $x_{i1}(t)$ – тип заявки, которая находится на обслуживании, $x_{ih}(t)$ – тип заявки, которая находится $(h-1)$ -ой ($h = \overline{2, n(i)}$) в очереди, $n(i)$ – число заявок в i -ом узле, $l_i(t)$ – режим функционирования i -го узла в момент времени t . Процесс $x_i(t)$ имеет пространство состояний

$$X_i = \left\{ (\bar{x}_i, l_i) = (0, l_i), (x_{i1}, l_i), (x_{i1}, x_{i2}, l_i), \dots : x_{ik} = \overline{1, M}, k \geq 1, l_i = \overline{0, r_i} \right\}$$

Пусть длительности обслуживания заявок в узлах не зависят от процесса поступления, независимы между собой. Длительность обслуживания заявки в i -ом узле, находящемся в состоянии $x_i \in X_i$, имеет показательное распределение с параметром $\mu_i(n(i), l_i)$.

Назовем нулевой режим основным режимом работы. Время работы узла, находящегося в состоянии $x_i = (\bar{x}_i, l_i)$, в режиме l_i ($l_i = \overline{0, r_i}, i = \overline{1, N}$) имеет показательное распределение, при этом с интенсивностью $\nu_i(\bar{x}_i, l_i)$ i -ый узел переходит в (l_i+1) -ый режим ($l_i = \overline{0, r_i-1}$), а с интенсивностью $\phi_i(\bar{x}_i, l_i)$ – в (l_i-1) -ый режим ($l_i = \overline{1, r_i}$). Переключение прибора с одного режима в другой сохраняет общее число заявок в узле.

Предположим, что переключение режимов в i -ом узле возможно только при определенном количестве заявок в узле ($i = \overline{1, K}, K \leq N$). Пусть для каждого такого узла i ($i = \overline{1, K}$) существует значение $M(i) \geq 0$ такое, что интенсивности $\nu_i(\bar{x}_i, l_i) > 0$, $\phi_i(\bar{x}_i, l_i) > 0$ для всех $n(i) \geq M(i)$ и $\nu_i(\bar{x}_i, l_i) = 0$, $\phi_i(\bar{x}_i, l_i) = 0$ для $n(i) < M(i)$.

Заявка типа u после завершения обслуживания в i -ом узле независимо от других заявок мгновенно направляется в j -ый узел и становится заявкой типа v с вероятностью $p_{(i,u)(j,v)}$, а с вероятностью $p_{(i,u)0}$ покидает сеть,

$$\sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^M p_{(i,u)(j,v)} + p_{(i,u)0} = 1, \quad i = \overline{1, N}, u = \overline{1, M}.$$

Предполагается, что матрица маршрутизации $(p_{(i,u)(j,v)} : i, j = \overline{1, N}; u, v = \overline{1, M})$, где $p_{(0,u)(0,v)} = 0$, неприводима. Система уравнений трафика принимает вид

$$\varepsilon_{iu} = p_{0(i,u)} + \sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^M \varepsilon_{jv} p_{(j,v)(i,u)}, \quad i = \overline{1, N}, u = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Полученная система уравнений имеет единственное положительное решение $(\varepsilon_{iu}, i = \overline{1, N}, u = \overline{1, M})$, что можно доказать, перенумеровав соответствующим образом элементы матрицы вероятностей переходов. В результате получаем систему уравнений трафика сети Джексона, для которой доказано существование единственного положительного решения [1].

Процесс $x(t)$ является однородным марковским процессом с непрерывным временем и пространством состояний $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_N$, где X_i – пространство состояний i -го узла.

2 Стационарное распределение сети

Рассмотрим изолированный i -ый узел в фиктивной окружающей среде (окружающая среда является фиктивной, т. к. в сети суммарные потоки заявок в узлы, вообще говоря, не являются простейшими), предполагая, что в него поступают M независимых простейших потоков заявок с интенсивностями $\lambda \varepsilon_{i1}, \lambda \varepsilon_{i2}, \dots, \lambda \varepsilon_{iM}$, где $(\varepsilon_{iu}, i = \overline{1, N}, u = \overline{1, M})$ – решение системы уравнений трафика (1). Обозначим через $\alpha_{iu} = \lambda \varepsilon_{iu}$ интенсивность поступления заявок типа u в i -ый узел,

$\alpha_i = \lambda \sum_{u=1}^M \varepsilon_{iu}$ – суммарная интенсивность поступления заявок в i -ый узел.

Пусть $\{p_i(x_i), x_i \in X_i\}$ – стационарное распределение вероятностей состояний процесса $x_i(t)$. Предположим, что i -ый узел обратим. Уравнения обратимости для изолированного i -го узла сети принимают вид

$$\begin{aligned} \alpha_{ix_{m(i)}} p_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)-1}}, l_i) &= \mu_i(n(i), l_i) p_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, l_i), \\ v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, l_i - 1) p_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, l_i - 1) &= \\ &= \phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, l_i) p_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, l_i), \\ n(i) \neq 0, l_i = \overline{1, r_i}, i = \overline{1, N}. \end{aligned}$$

Для узлов с номером $i = \overline{1, K}$ при $0 < n(i) < M(i)$, второе условие является тождеством $0 = 0$.

Лемма. Для обратимости изолированного узла необходимо и достаточно выполнения условий

$$\begin{aligned} v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, l_i - 1) \mu_i(n(i), l_i) \phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)-1}}, l_i) &= \\ = v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)-1}}, l_i - 1) \mu_i(n(i), l_i - 1) \phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, l_i), \\ l_i = \overline{1, r_i}, i = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для узлов с номером $i = \overline{1, K}$ условие (2) накладывается для $n(i) \geq M(i)$.

При выполнении (2) для эргодичности процесса $x_i(t)$ достаточно, чтобы для узлов $i = \overline{1, K}$ сходиллся ряд

$$\sum_{n(i)=M(i)}^{\infty} \sum_{l_i=0}^{r_i} q(x_i) \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, b-1)^{n(i)}}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, b)} \prod_{c=1}^{n(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)},$$

а для узлов $i = \overline{K+1, N}$ сходиллся ряд

$$\sum_{x_i \in X_i} q(x_i) \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, b-1)^{n(i)}}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i_{m(i)}}, b)} \prod_{c=1}^{n(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)},$$

где $q(x_i) = \alpha_i + \mu_i(n(i), l_i)I_{(n(i) \neq 0)} + v_i(x_i)I_{(l_i \neq r_i)} + \phi_i(x_i)I_{(l_i \neq 0)}$ – интенсивность выхода из состояния x_i . Стационарное распределение процесса $x_i(t)$ определяется соотношениями

$$p_i(x_i) = \prod_{a=n(i)+1}^{M(i)} \frac{\mu_i(a, l_i)}{\alpha_{ix_{ia}}} \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b-1)}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b)} \prod_{c=1}^{M(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)} p_i(0) \quad (3)$$

для $0 \leq n(i) < \overline{M(i)}, i = \overline{1, K}$;

$$p_i(x_i) = \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b-1)}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b)} \prod_{c=1}^{n(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)} p_i(0) \quad (4)$$

для $n(i) \geq \overline{M(i)}, i = \overline{1, K}$ или $i = \overline{K+1, N}$.

Здесь произведение, в котором нижний индекс больше верхнего, равно единице. Состояние 0 – это такое состояние узла, когда в нем отсутствуют заявки, и узел функционирует в нулевом режиме. Вероятность указанного состояния имеет вид

$$p_i(0) = \left[\sum_{n(i)=0}^{M(i)-1} \sum_{l_i=0}^{r_i} \prod_{a=n(i)+1}^{M(i)} \frac{\mu_i(a, l_i)}{\alpha_{ix_{ia}}} \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b-1)}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b)} \prod_{c=1}^{M(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)} + \sum_{n(i)=M(i)}^{\infty} \sum_{l_i=0}^{r_i} \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b-1)}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b)} \prod_{c=1}^{n(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)} \right]^{-1}, \quad i = \overline{1, K},$$

$$p_i(0) = \left[\sum_{x_i \in X_i} \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b-1)}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b)} \prod_{c=1}^{n(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)} \right]^{-1}, \quad i = \overline{K+1, N}.$$

Теорема. Если для всех $i = \overline{1, N}$ выполняются условия обратимости (2) и сходится ряд

$$\sum_{i=1}^K \sum_{n(i)=M(i)}^{\infty} \sum_{l_i=0}^{r_i} q(x_i) \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b-1)}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b)} \prod_{c=1}^{n(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)} + \sum_{i=K+1}^N \sum_{x_i \in X_i} q(x_i) \prod_{b=1}^{l_i} \frac{v_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b-1)}{\phi_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM(i)}, b)} \prod_{c=1}^{n(i)} \frac{\alpha_{ix_{ic}}}{\mu_i(c, 0)},$$

то марковский процесс $x(t)$ эргодичен, а его стационарное распределение имеет форму произведения

$$p(x) = p_1(x_1) p_2(x_2) \dots p_N(x_N), \quad x \in X,$$

где $p_i(x_i)$ определяется по формулам (3)–(4).

Доказательство проводится стандартным образом: подстановкой стационарных вероятностей в уравнения равновесия. Условие эргодичности находится из теоремы Фостера [2]. Исследованная сеть массового обслуживания является частным случаем сети с многорежимным обслуживанием, когда переключение режимов возможно при любом количестве заявок в узле [3].

Список использованных источников

- 1 Jackson, J. R. Jobshop-like Queueing Systems / J. R. Jackson // Manag. Sci. – 1963. – Vol. 10, № 1. – P. 131–142.
- 2 Бочаров, П. П. Теория массового обслуживания : учебник / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – М. : РУДН, 1995. – 529 с.
- 3 Летунович, Ю. Е. Стационарное распределение состояний открытой неоднородной сети с многорежимными стратегиями и немедленным обслуживанием / Ю. Е. Летунович // Современные информационные компьютерные технологии : сб. науч. статей междунар. науч. конф. – Гродно, 2008. – С. 97–99.

О. И. Еськова
г. Гомель, БТЭУ ПК
Е. И. Сукач
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ АНАЛИЗА РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Анализ рисков является важным этапом исследования целесообразности реализации инвестиционного проекта. Обычно под риском понимается снижение показателей эффективности проекта: чистой приведенной стоимости (NPV), внутренней нормы доходности (IRR) или срока окупаемости (PB) под влиянием неопределенностей параметров проекта или наступления неблагоприятных событий. Если проект задан с использованием сетевого графика (например, в приложении Microsoft Project), то чаще всего рассматриваются и оцениваются риски несоблюдения графика проекта и превышения его бюджета.

Поскольку потребности бизнеса в анализе рисков и неопределенностей весьма велики, на рынке сегодня появилось достаточно много программных продуктов, реализующих эти функции. Важным компонентом таких программ является реализация метода Монте-Карло как одного из самых эффективных и удобных способов анализа рисков. Суть метода Монте-Карло состоит в проведении ряда статистических экспериментов и обобщения их результатов методами математической статистики. В каждом таком эксперименте разыгрывается конкретное значение случайной величины, участвующей в формировании результирующего показателя. Например, для проекта, заданного вероятностным сетевым графиком, разыгрываются продолжительность и стоимость каждой работы, на основании значений которых определяется срок выполнения и бюджет проекта в целом. В результате будет получена выборка значений результирующего показателя, по которой могут быть рассчитаны соответствующие характеристики распределения. Обычно исследователя интересуют среднее значение, стандартное отклонение и вероятность того, что показатель попадает в определенный интервал значений. Собственно, вероятность отклонения показателя от среднего или некоторого нормативного значения и характеризует риск, связанный с неопределенностью параметров.

Целью данной статьи является обзор наиболее популярных программ анализа рисков и неопределенностей с точки зрения полноты и удобства использования для этой цели метода Монте-Карло.

Продукты компании Microsoft прочно завоевали позиции на отечественном рынке. Поэтому особым спросом пользуются те программы анализа рисков, которые могут быть интегрированы с приложениями MS Excel или MS Project. В таблице 1 приведен список таких приложений, которые реализуют метод Монте-Карло и могут быть использованы для анализа рисков инвестиционного проекта.

Таблица 1 – Программные продукты, реализующие метод Монте-Карло

Название	Производитель	Возможность интеграции с MS Project	Возможность интеграции с MS Excel	Стоимость, \$
Risky Project	Intaver	+	-	700–1000
@RISK	Palisade	+	+	1300–2350
Crystal Ball	Oracle	-	+	960
Business Project	Богданов и партнеры	+	-	60
EvA – Анализ рисков	ЭДС Плюс	-	+	720

Наиболее полно связь с другими программами реализована в приложении @RISK. @RISK расширяет возможности MS Excel, позволяя использовать все возможности этого популярного приложения, и добавляя новые (дополнительная панель инструментов). Кроме того, можно использовать модели проектов, созданные в MS Project. Для этого достаточно импортировать в Excel сетевой график, открыв файл с расширением .mpr и сохранив новую рабочую книгу в отдельном файле. В дальнейшем при открытии рабочей книги связанный файл .mpr автоматически открывается и связывается с рабочей книгой. Все изменения в MS Project отражаются в Excel, где можно выполнять анализ рисков. @RISK русифицирован.

Приложение Risky Project может быть использовано и как надстройка MS Project, и как отдельное приложение. Помимо возможностей создания сетевого проекта, назначения ресурсов на работы, визуализации проекта в виде диаграммы Ганта, Risky Project обладает рядом возможностей анализа влияния рисков методом Монте-Карло. А именно, это приложение позволяет: задать неопределенности по срокам выполнения и стоимости работ, неопределенности по стоимости ресурсов, а также риски, связанные с наступлением каких-либо событий; задавать широкий спектр результатов наступления рискованного события: увеличение/уменьшение продолжительности или стоимости работы, начала работы заново, досрочное прекращение или прерывание работы; определить критические параметры, работы и риски и оценить степень их важности для управления проектом.

Приложение Cristal Ball компании Oracle – это расширение Excel, позволяющее анализировать риски и неопределенности. Обладает широким спектром возможностей с ярко выраженной компонентой статистического анализа. К обычным для таких приложений функциям в нем добавлена фильтрация результатов моделирования, контроль точности (определение достаточного количества испытаний), построение диаграмм чувствительности, разброса, перекрытия и тренд-диаграмм.

Отечественная разработка Business Project позиционируется как приложение, совершенствующее возможности MS Project, но функция моделирования методом Монте-Карло выражена в нем слабо. В частности, нет возможности задания закона распределения параметра, а только варьируется нижняя и верхняя граница распределения. По результатам моделирования определяется только среднее значение, а дисперсия не оценивается, нет визуализации закона распределения показателя.

Продукт компании «ЭДС Плюс» Eva – Анализ рисков также расширяет возможности MS Excel и, кроме моделирования методом Монте-Карло, позволяет реализовать анализ чувствительности (ранжирование рисков, построение торнадо диаграмм), сценарный подход (экспертный анализ на основе сценариев, вычисление VaR – value at risk), подбор распределения. Однако возможности статистического моделирования в нем недостаточно полны: реализовано всего четыре вида распределений случайных величин (нормальное, равномерное, треугольное и показательное).

Сравнительный анализ возможностей реализации метода Монте-Карло в программах для анализа рисков. Можно выделить следующие основные требования к приложениям, реализующим метод Монте-Карло:

- Наличие широкого спектра встроенных законов распределения, которые можно задавать для каждого случайного параметра модели. Возможность задания собственных (кастомизированных) распределений пользователя. Пример задания вида и параметров закона распределения в приложении Risky Project показан на рисунке 1.

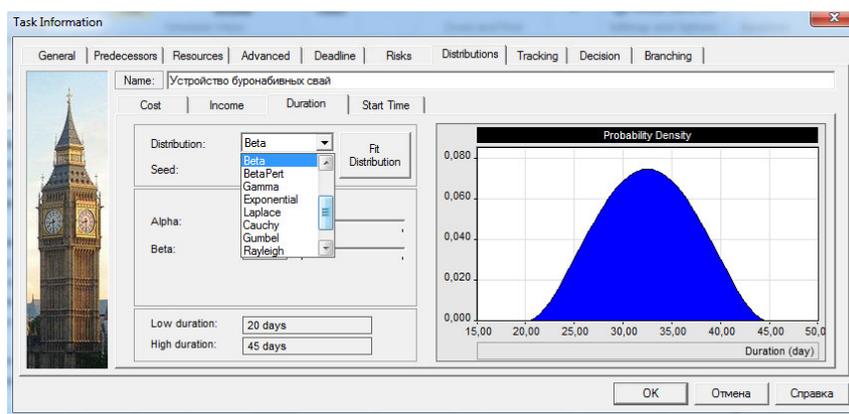


Рисунок 1 – Задание вида и параметров закона распределения случайной величины в Risky Project

- Визуализация результатов моделирования, которая обычно реализуется в виде интерактивной гистограммы распределения. Такая гистограмма позволяет оценить вид распределения, показывает среднее значение показателя и позволяет оценить вероятность попадания значения показателя в заданный интервал путем перетаскивания ползунков, соответствующих границам интервала. Пример гистограммы распределения в приложении Cristal Ball показан на рисунке 2.

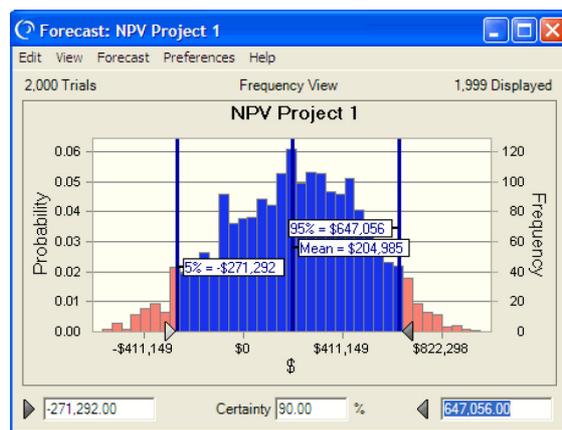


Рисунок 2 – Гистограмма распределения результирующего показателя в Cristal Ball

– Возможность получения широкого спектра выборочных характеристик результирующего распределения: среднее, дисперсия, стандартное отклонение, асимметрия, эксцесс, коэффициент вариации и т. д.

– Анализ чувствительности, который выполняется для ранжирования рисков и позволяет выбрать те факторы, неопределенность которых наиболее влияет на результирующий показатель.

– Возможность подбора типа распределения параметра на основе реальных данных.

– Представление результатов моделирования на диаграмме Ганта.

В таблице 2 представлены результаты сравнительного анализа приложений для анализа рисков по степени реализации вышеперечисленных требований.

Таблица 2 – Сравнительный анализ приложений для анализа рисков методом Монте-Карло

Характеристики	Risky Project	@RISK	Cristal Ball	Business Project	EvA – Анализ рисков
Количество встроенных типов распределений	13	50	22	1	4
Визуализация результатов в виде интерактивной гистограммы	+	+	+	–	+
Возможность получения расширенных статистических характеристик результирующего показателя	+	+	+	–	+
Анализ чувствительности по неопределенностям и рискам	+	+	+	–	+
Подбор типа распределения	–	+	+	–	+
Представление результатов моделирования на диаграмме Ганта	+	+	–	+	–

По результатам анализа можно сделать вывод, что наиболее полнофункциональным приложением, реализующим метод Монте-Карло, и ориентированным на MS Excel, является программа Cristal Ball компании Oracle. Если же необходимо при анализе рисков ориентироваться на модели проектов, созданные в MS Project, то наилучшим решением будет программа Risky Project компании Intaver. Приложение @RISK компании Palisade будет компромиссным вариантом при необходимости использования различных подходов к описанию инвестиционных проектов.

Программные продукты для анализа рисков инвестиционных проектов становятся все более востребованными по мере развития в стране среднего и крупного бизнеса. Одной из важных функций таких программ является реализация метода Монте-Карло для статистического моделирования рисков и неопределенностей. Программы анализа рисков обычно интегрируются с другими программными продуктами, которые уже успели завоевать популярность среди специалистов по управлению, такими как MS Excel и MS Project. Кроме того, такие программы обычно становятся частью более развитого пакета по управлению бизнесом. Например, программа Cristal Ball может быть расширена до опции Oracle Crystal Ball Decision Optimizer, которая добавляет расширенные возможности оптимизации и моделирования при принятии решений.

Выбор программного продукта такого рода должен учитывать как степень удобства работы с программой и соответствия ее поставленным целям, так и степень проработанности и корректности тех математических основ, которые положены в основу функциональности продукта.

М. И. Жадан
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

КИНЕТИКА БИФИЛЯРНО-КОНТРОЛИРУЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ

Анализ условий, методов и средств реализации процессов перемещения грузовых контейнеров, осторожно переносимых порталными кранами, в логистических коллекторах, акробатические виражи-полеты кайт-сёрферов, парашютные торможения приземляющихся самолетов и т. п. позволяет определить особый класс высокоманевренных движений свободных тел в поле сил земного тяготения. Это класс бифилярно-контролируемых движений тел, каждым элементом, которого является конкретный вариант исполнения функционально-полезного движения свободного тела S , совершаемого им в течение ограниченного интервала времени $t \in [0, T]$ по определенному пространственно-временному закону и осуществляемого под действием системы сил $\Sigma = \Sigma(t)$. В состав такой системы входят постоянная сила тяжести \vec{G} , распределенные массовые силы инерции тела S и две переменные, по модулю и по направлению, силы натяжения пары связанных с этим телом гибких, управляющих поводков $\vec{P} = \vec{P}(t)$ и $\vec{Q} = \vec{Q}(t)$, адекватные данным условиям и закону его искомого движения.

Эти определенные и непрерывные вектор-функции времени t , называем алгоритмом силового управления данного бифилярно-контролируемого движения свободного тела S его гибкими напряженными поводками. Механическую систему, обеспечивающую это движение тела S называем бифиляром S .

Предметом настоящей работы является формальное описание некоторого определенного бифилярно-контролируемого движения данного свободного твердого тела S и построение алгоритма его силового управления своими гибкими напряженными поводками на основании известных понятий и положений классической механики твердого тела и кинетики механических систем с гибкими связями.

В работе рассмотрено регулярное движение свободного твердого тела S , совершаемое по некоторому искомому пространственно-временному закону. Движение осуществляется под действием системы сил, включающей соответствующие распределенные массовые силы инерции этого тела, его постоянную силу тяжести и две переменные по модулю и по направлению силы натяжения пары связанных с телом S его гибких управляющих поводков. В сравнении с известными аналогичными моделями полученные результаты позволяют определить алгоритм силового управления свободного твердого тела S его гибкими напряженными поводками необходимый для осуществления заданного бифилярно-контролируемого движения этого тела.

С. П. Жогаль, С. И. Жогаль, И. В. Сафонов
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины
г. Гомель, БелГУТ
г. Минск, ЕРАМ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИБЛИЖЕННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛАБОНЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВНЕШНЕМУ БИГАРМОНИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Большинство реальных колебательных систем различной природы принципиально нелинейны и поэтому, как правило, они не интегрируются в квадратурах. В теории и приложениях нелинейной динамики применяются различные методы, позволяющие с той или иной степенью точности и при определенных допущениях находить приближенные решения таких систем: метод малого параметра, метод гармонического баланса, метод прямой линеаризации и ряд других. Наиболее широко при исследовании слабонелинейных колебательных систем применяются асимптотический метод Крылова-Боголюбова-Митропольского [1] и методы линеаризации, например метод линеаризации по функции распределения [3; 4].

Исследуем вопрос о точности приближенных решений, полученных методом линеаризации по функции распределения и методом Крылова-Боголюбова-Митропольского, для следующей нелинейной системы, подверженной влиянию внешнего бигармонического воздействия

$$\ddot{x} + \alpha\dot{x} + \beta x + \gamma x^3 = h_1 \cos \omega_1 t + h_2 \cos \omega_2 t, \quad (1)$$

где α, β, h_1, h_2 – положительные постоянные, γ – вещественная постоянная любого знака.

При компьютерном моделировании динамических систем в большинстве современных прикладных исследований используется такой достаточно точный численный метод, как метод Рунге-Кутты. Поэтому сравним приближенные результаты исследования системы (1) по методам Крылова-Боголюбова-Митропольского и линеаризации по функции распределения с результатами непосредственного численного интегрирования методом Рунге-Кутты, принимая последний в качестве эталонного [2, с. 104].

1.1 Метод Крылова-Боголюбова-Митропольского

Для применимости асимптотического метода Крылова-Боголюбова-Митропольского мы должны предположить, что в (1) $\alpha \ll \sqrt{\beta}$, $\gamma \ll \sqrt{\beta}$, $h_k \ll \beta$, $k = 1, 2$. При $\gamma > 0$ имеем систему с «жесткой» восстанавливающей силой, при $\gamma < 0$ – систему с «мягкой» восстанавливающей силой.

Решение уравнения (1) для установившегося режима колебаний в первом приближении метода ищем в виде

$$x(t) = a_1(t) \cos[\omega_1 + \varphi_1(t)] + a_2(t) \cos[\omega_2 + \varphi_2(t)],$$

где $a_1(t), a_2(t), \varphi_1(t), \varphi_2(t)$ – медленно изменяющиеся функции времени, которые определяются из системы уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{da_1}{dt} &= P_1(a_1, a_2, \varphi_1, \varphi_2), & \frac{da_2}{dt} &= P_2(a_1, a_2, \varphi_1, \varphi_2), \\ \frac{d\varphi_1}{dt} &= Q_1(a_1, a_2, \varphi_1, \varphi_2), & \frac{d\varphi_2}{dt} &= Q_2(a_1, a_2, \varphi_1, \varphi_2). \end{aligned}$$

На основании [1], определяя функции P_1, P_2, Q_1, Q_2 , для амплитуд и фаз получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{da_1}{dt} &= -\frac{1}{2\omega_1} \{ \alpha \omega_1 a_1 + h_1 \sin \varphi_1 \}, \\ \frac{da_2}{dt} &= -\frac{1}{2\omega_2} \{ \alpha \omega_2 a_2 + h_2 \sin \varphi_2 \}, \\ \frac{d\varphi_1}{dt} &= -\frac{1}{2\omega_1 a_1} \left\{ \frac{3\gamma}{4} a_1 (a_1^2 + 2a_2^2) + (\omega_0^2 - \omega_1^2) a_1 - h_1 \cos \varphi_1 \right\}, \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= -\frac{1}{2\omega_2 a_2} \left\{ \frac{3\gamma}{4} a_2 (a_2^2 + 2a_1^2) + (\omega_0^2 - \omega_2^2) a_2 - h_2 \cos \varphi_2 \right\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Начальные условия определяем из системы:

$$\begin{aligned} \alpha \omega_1 a_1^0 + h_1 \sin \varphi_1^0 &= 0; \\ \alpha \omega_2 a_2^0 + h_2 \sin \varphi_2^0 &= 0; \\ a_1^0 (\omega_0^2 - \omega_1^2) - h_1 \cos \varphi_1^0 &= 0; \\ a_2^0 (\omega_0^2 - \omega_2^2) - h_2 \cos \varphi_2^0 &= 0. \end{aligned}$$

После задания численных значений параметров $\alpha, \beta, \gamma, \omega, h_i, i=1,2$, систему (2) интегрируем одним из известных численных методов.

1.2 Метод линеаризации по функции распределения

Сущность метода линеаризации по функции распределения [3] заключается в замене нелинейности $f(x) = \beta x + \gamma x^3$ уравнения (1) на некоторую линейную функцию $f^*(x) = qx + f_0$. Для определения параметров колебательного процесса необходимо решить линеаризованное уравнение, полученное при такой замене.

Решение уравнения (1) ищем в виде

$$x = a_0 + a_1 \cos(\omega_1 t + \psi_1) + a_2 \cos(\omega_2 t + \psi_2). \quad (3)$$

Коэффициенты линеаризации q и f_0 являются функциями моментных характеристик решения (3), то есть среднего значения a_0 , центрального момента второго порядка

$$M_2^{(0)} = \frac{1}{2} (a_1^2 + a_2^2) \quad (4)$$

и центрального момента четвертого порядка

$$M_4^{(0)} = \frac{3}{2} [M_2^{(0)}]^2 + \frac{3}{4} a_1^2 a_2^2. \quad (5)$$

Зависимости коэффициентов линеаризации от моментов решения имеет вид

$$f_0 = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{1}{2} f(a_0 - \sqrt{\varepsilon}\sigma) + \frac{1}{2} f(a_0 + \sqrt{\varepsilon}\sigma) + (\varepsilon - 1)f(a_0) \right]; \quad (6)$$

$$q = \frac{1}{2\sigma\sqrt{\varepsilon}} [f(a_0 + \sqrt{\varepsilon}\sigma) - f(a_0 - \sqrt{\varepsilon}\sigma)], \quad (7)$$

где $\sigma = \sqrt{M_2^{(0)}}$, $\varepsilon = \frac{M_4^{(0)}}{[M_2^{(0)}]^2}$.

Решение линеаризованного уравнения для системы (1)

$$f_0 = 0, \quad a_k = \frac{h_k}{\sqrt{(q - \omega_k^2)^2 + \alpha^2 \omega_k^2}}, \quad k = 1, 2. \quad (8)$$

Из (4)–(8) получаем систему уравнений для определения неизвестных параметров a_0 , σ , ε :

$$\frac{1}{2} f(a_0 - \sqrt{\varepsilon}\sigma) + \frac{1}{2} f(a_0 + \sqrt{\varepsilon}\sigma) + (\varepsilon - 1)f(a_0) = 0; \quad (9)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{h_1^2}{(q - \omega_1^2)^2 + \alpha^2 \omega_1^2} + \frac{h_2^2}{(q - \omega_2^2)^2 + \alpha^2 \omega_2^2} \right]; \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{3}{2} + \frac{3}{4\sigma^2} \frac{h_1^2 h_2^2}{((q - \omega_1^2)^2 + \alpha^2 \omega_1^2)((q - \omega_2^2)^2 + \alpha^2 \omega_2^2)}. \quad (11)$$

1.3 Построение приближенного решения нелинейного дифференциального уравнения и сравнение полученных результатов

Приведем графики приближенных решений, полученных методом Крылова-Боголюбова-Митропольского и методом линеаризации по функции распределения для следующих значений параметров системы (1): $\alpha = 1$, $\beta = \omega_0^2 = 3600$, $\gamma = 3$, $h_1 = 5$, $h_2 = 1$, $\omega_1 = 55$, $\omega_2 = 65$. Тонкой линией на обоих графиках приведено решение нелинейного дифференциального уравнения (1) с заданными значениями параметров методом Рунге-Кутты.

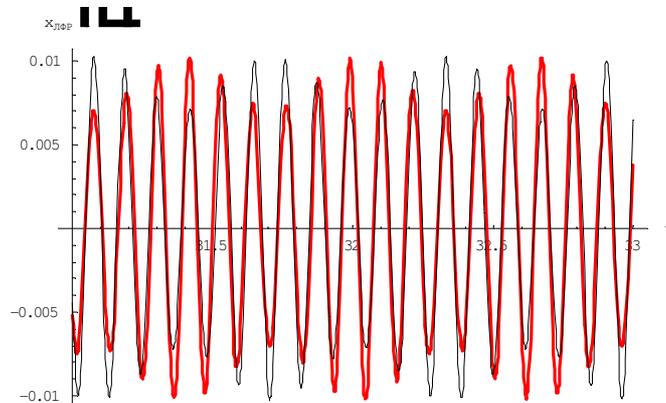


Рисунок 1 – Метод Рунге-Кутты и метод линеаризации по функции распределения

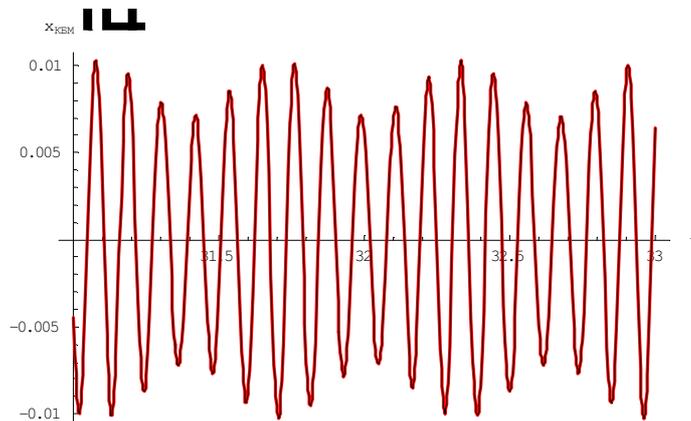


Рисунок 2 – Метод Рунге-Кутты и метод Крылова-Боголюбова-Митропольского

Для численной оценки точности методов введем в рассмотрение величины

$$\Delta_{MET} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{PK}^i(t) - x_{MET}^i(t))^2, \quad (12)$$

где $x_{PK}^i(t)$ – компонента решения по методу Рунге-Кутты, $x_{MET}^i(t)$ – компонента решения по методу *MET* (в нашем случае это либо метод Крылова-Боголюбова-Митропольского, либо метод линеаризации по функции распределения), N – количество точек, в которых вычисление проводилось.

Для $N=600$ получены следующие оценки:

$$\Delta_{КБМ} = 1.70835 \times 10^{-12}, \quad \Delta_{ЛФР} = 5.00253 \times 10^{-6}.$$

Дальнейший анализ показал, что вблизи резонансных областей вида $\omega_0 \approx \frac{p_i}{q_i} \omega_i$, где p_i, q_i – небольшие положительные целые числа, большей точностью обладает метод Крылова-Боголюбова-Митропольского ($\Delta_{КБМ} \in [10^{-17}; 10^{-11}]$, $\Delta_{ЛФР} \in [10^{-10}; 10^{-4}]$). В то же время, когда собственная частота колебаний системы и частоты внешних воздействий несоизмеримы, оба метода показывают практически одинаковые результаты (обе погрешности порядка 10^{-17}). Также следует отметить большую устойчивость точности метода Крылова-Боголюбова-Митропольского к изменениям параметров системы.

Таким образом, для слабонелинейной системы с внешним бигармоническим воздействием (1) методом компьютерного моделирования подтвердилось предположение о том, что асимптотический метод нелинейной механики, разработанный Н. М. Крыловым, Н. Н. Боголюбовым и Ю. А. Митропольским, представляет собой одно из наиболее мощных средств приближенного решения нелинейных дифференциальных уравнений. Кроме того, на основе системы (2) этот метод позволяет проводить качественный анализ процессов, протекающих в динамических системах колебательного типа.

Список использованных источников

- 1 Боголюбов, Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. – 4-е изд. – М. : Наука, 1974. – 504 с.
- 2 Анищенко, В. С. Сложные колебания в простых системах / В. С. Анищенко. – М. : Наука, 1990. – 312 с.
- 3 Коловский, М. З. Нелинейная теория виброзащитных систем / М. З. Козловский. – М. : Наука, 1966. – 317 с.
- 4 Колебания нелинейных механических систем : в 6 т. / под ред. И. И. Блехмана. – М. : Машиностроение, 1979. – Т. 2. Вибрации в технике : справочник. – 351 с.
- 5 Ланда, П. С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы / П. С. Ланда. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.

Г. Н. Казимиров

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ

В последнее время, к сожалению, школьная подготовка у студентов по математике оставляет желать лучшего. Математический анализ всегда был сложным для восприятия студентами, а тем более в современных условиях. Лабораторные работы по математическому анализу позволяют проводить индивидуальную работу с каждым студентом в отдельности.

Ставится следующая задача: Как проверить знания студента по выполненной лабораторной работе? Можно, например, спросить задачу из лабораторной работы на выбор преподавателя. Если она будет сложной, то студент ее может не воспроизвести даже при частичном понимании. Если она будет простой, то студент сможет воспроизвести её даже без понимания. И, наконец, если она будет средней, то в случае ее воспроизведения нельзя с уверенностью сказать, что он ее понимает, а в случае не воспроизведения остается открытым вопрос о понимании простой задачи.

Мною предлагается следующий вариант опроса. При сдаче лабораторной студенту предлагается простая задача, но не та, что была у него в лабораторной работе, а аналогичная. В случае положительного решения студенту можно ставить минимальную положительную оценку (зачет) по лабораторной работе, так как в простой задаче он разобрался независимо от того, сам он выполнял работу или нет. Это побуждает студента выполнять хотя бы частично лабораторную работу самостоятельно, так как таким образом он лучше всего сможет разобраться в ней. Если минимальная оценка уже получена, то можно предложить студенту ее улучшить, решив задачу средней сложности. В моей практике многие студенты так и поступали, в том числе и слабоуспевающие. Разобравшись в простой задаче, у них появлялось желание решить более сложную задачу. При такой практике проверки лабораторных работ любой студент понимает, что списав у кого-то лабораторную работу, защитить ее не удастся, поэтому придется делать ее самому. В этом случае у студентов возникает много вопросов, которые они пытаются решить как при разборе однотипного варианта, так и после домашнего решения своего варианта.

Результаты такой формы контроля сказываются и на результатах экзамена. На моем экзамене по математическому анализу для получения оценки 4 и 5 и соответствующем теоретическом ответе студенту достаточно научиться решать простые, но важные задачи, отражающие соответствующую тему. Именно эти простые задачи и предлагаются студентам при защите лабораторных работ. У них появляется двойная мотивация для самостоятельного решения лабораторных работ. Они одновременно готовятся к сдаче лабораторной работы и к экзамену.

А. Г. Капустин, Н. С. Карнаухов
г. Минск, БГАА

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ

В работе рассмотрена задача статической линеаризации и определение параметров системы с переменной структурой в установившемся режиме в предположении нормальности совместного закона распределения выходных координат [1, с. 23].

Линеаризация и определение параметров проведены в пакете моделирования MatLab на примере комбинированной следящей системы с переменной структурой, использующей дифференцирующее устройство [2, с. 660]. Структурная схема данной системы в пакете моделирования MatLab представлена на рисунке 1.

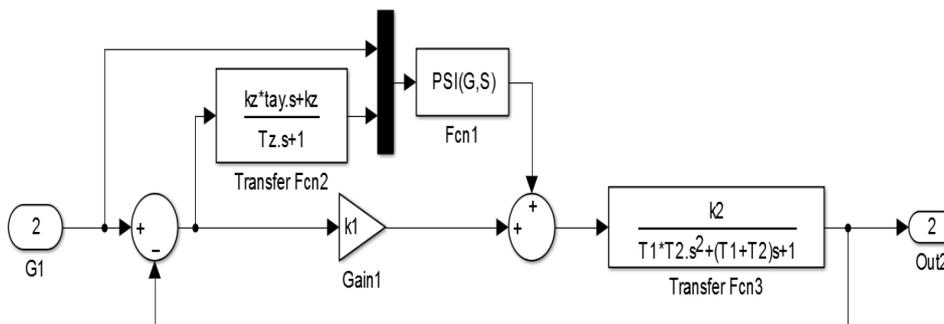


Рисунок 1 – Структурная схема комбинированной следящей системы с переменной структурой

На входе такой нелинейной автоколебательной системы действует сигнал $G1$, являющийся стационарной случайной функцией времени с известным математическим ожиданием m_g и спектральной плотностью $S_g(\omega)$, выход системы обозначен звеном Out2 [3, с. 74].

Исследуя собственное движение системы с переменной структурой в установившемся режиме как случайное, необходимо определить математическое ожидание, дисперсию и плотность ошибки m_x и $S_x(\omega)$.

Система дифференциальных уравнений, описывающих работу системы, имеет вид:

$$k_1 k_2 X + k_2 = (T_1 p + 1)(T_2 p + 1)[G - X], \quad (1)$$

$$U = \Psi(G, S) \cdot G.$$

где
$$\psi(G, S) = \begin{cases} +\lambda & \text{при } G \cdot S > 0 \\ -\lambda & \text{при } G \cdot S \leq 0 \end{cases}$$

$$S = \frac{k_3(\tau p + 1)}{(T_3 p + 1)} \cdot X,$$

$$p = \frac{d}{dt}.$$

Заменим нелинейное преобразование (1) статически линейной зависимостью [1, с. 23]:

$$U = U_0 + k_1^* G^0(t) + k_2^* S^0(t), \quad (2)$$

где $U_0 = U_0(m_g, m_s, D_{ss}, D_{gg}, D_{sg})$ – статическая характеристика нелинейного звена переменной структуры, $k_1^* = k_1^*(m_g, m_s, D_{ss}, D_{gg}, D_{sg})$, $k_2^* = k_2^*(m_g, m_s, D_{ss}, D_{gg}, D_{sg})$ – статические коэффициенты передачи нелинейного звена по случайным составляющим, $G^0(t)$, $S^0(t)$ – центрированные составляющие, $m_g, m_s, D_{ss}, D_{gg}, D_{sg}$ – соответственно математическое ожидание, дисперсии и взаимный корреляционный момент сигналов.

Для установившегося режима в соответствии с (2) справедливы зависимости:

$$\begin{cases} m_x = \frac{m_g - k_2 \cdot U_0}{k_1 \cdot k_2 + 1} \\ m_s = k_3 \cdot m_x \end{cases} \quad (3)$$

Выражения для определения центрированных составляющих имеют вид:

$$X^0 = W_1(p) \cdot G^0,$$

$$S^0 = W_1(p) \cdot k_3 \cdot \frac{\tau p + 1}{T_3 p + 1} \cdot G^0,$$

$$W(p) = \frac{[(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) - k_2 k_1^*](T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + k_1 k_2 (T_3 p + 1) + k_2 k_3 k_2^* (\tau p + 1)}. \quad (4)$$

В соответствии с [1, с. 23] в установившемся режиме дисперсия и спектральная плотность могут быть вычислены как:

$$D_{xx} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_1(j\omega)|^2 \cdot S_g(\omega) d\omega, \quad (5)$$

$$S_x(\omega) = |W_1(j\omega)|^2 \cdot S_g(\omega). \quad (6)$$

Как следует из (3), (4–6), для определения характеристик точности и спектральной плотности необходимо знать коэффициенты статической линеаризации U_0 , k_1^* , k_2^* .

Последовательно линеаризуем нелинейности элемента

$$U_3 = G \cdot S.$$

Представим каждую из составляющих входного сигнала в виде:

$$G = m_g + G^0,$$

$$S = m_s + S^0,$$

где m_g, m_s, G^0, S^0 – соответственно математические ожидания и центрированные составляющие сигналов.

Тогда:

$$U_3 = m_g m_s + m_g S^0 + m_s G^0 + S^0 G^0 \quad (7)$$

Заменим (7) приближенной линейной зависимостью вида:

$$\tilde{U}_3 = \varphi_{03} + k_1^* G^0 + k_2^* S^0. \quad (8)$$

где φ_{03} представляет собой неслучайную функцию, являющуюся статической характеристикой нелинейности (7); k_1^* , k_2^* – статические коэффициенты усиления.

Входящую в (8) функцию φ_{03} , определим из условия равенства математических ожиданий истинной и аппроксимирующих функций:

$$\varphi_{03} = M[\tilde{U}_3] = M[U_3] = m_g m_s + D_{sg}.$$

В отличие от используемых ранее способов статической линеаризации [1, с. 31] коэффициенты k_1^* и k_2^* будем искать в виде:

$$k_i^* = k_{1i} + \lambda_3, \quad (i = 1, 2),$$

где k_{1i} – коэффициенты статической линеаризации, выбранные из условия минимума среднего квадрата ошибки

$$k_{1i} = \frac{\partial \varphi_{02}}{\partial m_{sg}}, \quad (i = 1, 2);$$

λ_3 – коэффициент, общий для всех центрированных составляющих в линеаризованной зависимости, выбранный из условия равенства дисперсий истинной и аппроксимирующей функций.

Производя вычисления, получим:

$$\begin{aligned} k_1^* &= m_s + \lambda_3, & k_2^* &= m_g + \lambda_3, & (9) \\ \lambda_3 &= \frac{m_s D_{gg} + m_g D_{ss} + D_{sg}(m_g + m_s)}{D_{gg} + D_{ss} + 2D_{sg}} + \\ &+ \sqrt{\frac{[m_s D_{gg} + m_g D_{ss} + D_{sg}(m_g + m_s)]^2}{[D_{gg} + D_{ss} + 2D_{sg}]^2} + \frac{D_{gg} + D_{ss} + D_{sg}^2}{D_{gg} + D_{ss} + 2D_{sg}}}. \end{aligned}$$

Из анализа (9) и (10) следует, что при $m_g = m_s = 0$ коэффициенты k_1^* и k_2^* не равны нулю, а имеют вполне определенное значение.

Заметим, что знак перед корнем в (17) определяется знаком k_{1i} .

Линеаризуя зависимость

$$\psi \begin{cases} \lambda' \text{ при } G \cdot S > 0 \\ \lambda' \text{ при } G \cdot S \leq 0 \end{cases}$$

будем иметь на выходе релейного элемента [1, с. 23]:

$$\tilde{U}_2 = \varphi_{02} + \xi_{(1)} \cdot \tilde{U}_3^0, \quad (11)$$

где
$$\varphi_{02} = 2\lambda' \Phi \left(\frac{\varphi_{02}}{\sqrt{D_{33}}} \right),$$

$$\xi_{(1)} = \frac{\lambda'}{\sqrt{D_{33}}} \cdot \left[1 - 4\Phi \left(\frac{\varphi_{02}}{\sqrt{D_{33}}} \right) \right],$$

$$\tilde{U}_3^0 = k_1^* \cdot G^0 + k_2^* \cdot S^0, \quad (12)$$

$$D_{33} = m_s^2 D_{gg} + m_g^2 D_{ss} + 2m_s m_g D_{sg} + D_{gg} D_{ss} + D_{sg}^2.$$

Наконец, линеаризуя (1), получим:

$$U_i = \varphi_{01} + h_1 \tilde{U}_2^0 + h_2 G^0, \quad (13)$$

где
$$\varphi_{01} = \varphi_{02} \cdot m_g + \xi_{(1)} D_{g3},$$

$$D_{g2} = M[G^0 \tilde{U}_2^0] - k_1^* D_{gg} + k_2^* D_{sg},$$

$$h_1 = m_g + \lambda_1,$$

$$h_2 = \varphi_{02} + \lambda_1,$$

$$\lambda_1 = -\frac{m_g D_{22} + \varphi_{02} D_{gg} + (m_g + \varphi_{02}) D_{2g}}{D_{22} + D_{gg} + D_{2g}} +$$

$$+ \sqrt{\frac{[m_g D_{22} + \varphi_{02} D_{gg} + (m_g + \varphi_{02}) D_{2g}]^2}{[D_{22} + D_{gg} + 2D_{2g}]^2} + \frac{\xi_{(1)}^2 (D_{gg} D_{ss} + D_{sg}^2)}{D_{22} + D_{gg} + 2D_{2g}}},$$

$$D_{22} = \xi_{(1)}^2 \cdot D_{33},$$

$$\begin{aligned} D_{2g} &= \xi_{\omega} \cdot D_{3g}, \\ \tilde{U}_2^g &= \xi_{\omega} \cdot \tilde{U}_3^g. \end{aligned} \quad (14)$$

Окончательно, с учетом (11),(12), (14) получим:

$$U_1 = \varphi_{01} + h_1^* G^0 + h_2^* S^0, \quad (15)$$

где $h_1^* = h_2 + h_1 k_1^* \xi_{(1)}, \quad (16)$

$$h_2^* = h_1 \xi_{\omega} k_2^*. \quad (17)$$

Неизвестные дисперсии и взаимный корреляционный момент определяются как:

$$D_{SS} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| W_1(j\omega) \cdot \frac{k_2(Tj\omega + 1)}{T_2 j\omega + 1} \right|^2 \cdot S_g(\omega) d\omega, \quad (18)$$

$$D_{2g} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_1(j\omega) k_2 \frac{\tau j\omega + 1}{T_2 j\omega + 1} \cdot S_g(\omega) d\omega. \quad (19)$$

Решение (3), (4), (5), (13), (15), (16), (17), (18), (19) возможно только совместно.

Пусть спектральная плотность помехи на входе имеет вид:

$$S_g = \frac{2D_{gg} \cdot \omega}{\omega_0^2 + \omega^2}.$$

Соответственно $k_g(\tau) = D_{gg} \cdot e^{-\omega_0|\tau|}$.

Для получения конкретных значений числовых характеристик и спектральной плотности зададим параметрам системы значения: $k_1 = 5$; $k_2 = 2,5$; $k_3 = 0,5$; $T_1 = 0,4$; $T_2 = 0,1$; $T_3 = 0,02$; $\tau = 0,25$; $\lambda' = 0,5$; $\omega_0 = 12$.

Значения m_g и D_{gg} на входе системы варьируются.

Для указанных значений параметров задача решалась методом итераций [4, с. 184].

С применением пакета моделирования MatLab были получены графики изменений математических ожиданий дисперсий выходного сигнала в зависимости от математического ожидания и дисперсии входного сигнала; графики изменения спектральной плотности ошибки в зависимости от дисперсии на входе [4, с. 184]. Проведенные исследования и анализ результатов в пакете моделирования MatLab позволили сделать следующие выводы:

1. Наличие помехи на входе системы приводит к срыву «скользящего» режима и появлению ошибки слежения, величина которой зависит от соотношения «сигнал-шум» на входе системы.

2. При увеличении интенсивности помехи на входе системы (уменьшении соотношения «сигнал-шум») максимум спектральной плотности смещается в область более низких частот, а величина максимума увеличивается.

3. Для исследования поведения системы с переменной структурой в установившемся режиме можно использовать метод статической линеаризации. При статической линеаризации мультипликативных нелинейностей целесообразно несколько видоизменить способ выбора и определения коэффициентов статической линеаризации. Приведенная процедура расчета отличается сравнительной простотой и не требует громоздких вычислений.

Список использованных источников

- 1 Ким, Д. П. Теория автоматического управления / Д. П. Ким. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – Т. 1. Линейные системы. – 288 с.
- 2 Дьяконов, В. П. Simulink 5/6/7 : самоучитель / В. П. Дьяконов. – М. : ДМК–Пресс, 2008. – 784 с.
- 3 Карнаухов, Н. С. Применение инструментальных средств пакета Simulink&MatLab для упрощения исследований и визуализации процессов электрических машин / Н. С. Карнаухов // Инновационные технологии обучения физико-математическим дисциплинам : материалы 6-й междунар. науч.-практ. интернет-конф., Мозырь, 25–28 марта 2014 г. – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2014. – 198 с.
- 4 Капустин, А. Г. Исследование систем генерирования методом структурного моделирования / А. Г. Капустин, Н. С. Карнаухов // Совершенствование обеспечения полетов авиации : тезисы докладов 3-й военно-науч. конф. курсантов и молодых ученых / редкол. : А. А. Санько, С. А. Савостеев [и др.]. – Минск : МГВАК. 2013. – 273 с.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ТРЕХКООРДИНАТНЫМ ГИБРИДНЫМ ПРИВОДОМ

Системы перемещений на многокоординатных приводах и механизмах параллельной кинематики [1] находят всё большее применение в спецтехнологическом оборудовании микро- и нанoeлектроники, включая сборочное и оптико-механическое. Они представляют собой механо-аппаратно-программные комплексы, относящиеся к классу мехатронных систем перемещений [2]. Структурно их можно разделить на две функциональные составляющие: многокоординатный привод и исполнительный механизм параллельной кинематики. Многокоординатный привод может быть построен как на параллельном сочетании необходимого количества однокоординатных управляемых двигателей линейного или поворотного типов, либо на использовании одного гибридного многокоординатного двигателя, в котором управление всеми отдельными сегментами происходит через специальный контроллер от программы верхнего уровня управляющей ЭВМ. Для прецизионного оборудования микроэлектроники характерны технологические операции, связанные с перемещением объектов обработки или инструмента в трёхмерном пространстве с двумя и более степенями свободы. Реализация этого наиболее эффективно, по нашему мнению, может быть осуществлена именно на сочетании специального гибридного многокоординатного привода и соответствующего механизма параллельной кинематики.

В отличие от традиционных схем построения многокоординатного привода, когда каждая координата представляет собой отдельный механо-аппаратный модуль, в используемых нами гибридных приводах реализована конструктивная интеграция необходимых степеней свободы в одном многокоординатном приводе с общим аппаратным и программным интерфейсом для всех задействованных обобщённых координат [2].

В настоящей статье рассматривается система перемещений с тремя степенями свободы (рисунок 1), построенная на кольцевом гибридном приводе и механизме параллельной кинематики на основе пространственной группы Ассур 3-го класса [1,3]. Эта система перемещений может быть использована для реализации лазерных технологий в оборудовании производства изделий электронной техники. Представлена разработанная алгоритмизация математических моделей позиционирования выходного звена (рабочей платформы) в зависимости от положения трёх автономноуправляемых сегментных модулей движения на кольцевой направляющей гибридного трехкоординатного привода.

Структурно-кинематическая схема исполнительного механизма параллельной кинематики с трехкоординатным системным приводом представлена на рисунке 2.

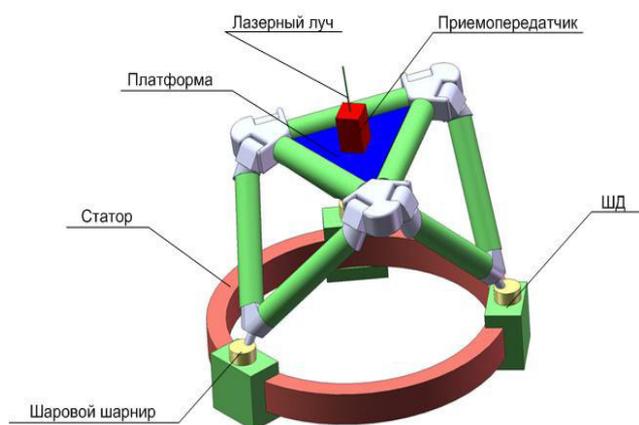


Рисунок 1

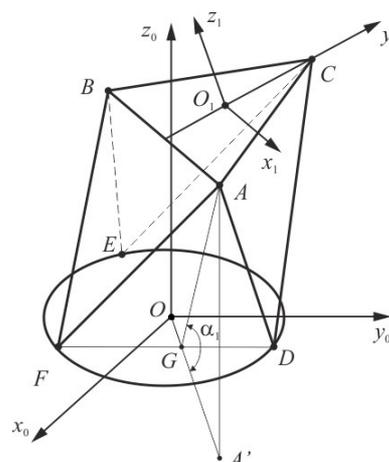


Рисунок 2

Базовыми конструктивными параметрами механизма являются параметры, определяющие его геометрическую конфигурацию: R – средний радиус кольцевого привода, длины сторон, подвижных треугольных звеньев AFB , ADC и CEB , принятые в статье равными между собой и равными a . Функции положения ведущих звеньев, определяющие положение во времени

каждого из трех подвижных сегментов, в работе задаются текущими значениями углов β_1 , β_2 и β_3 положения точек, соответственно D , E и F на кольцевой направляющей и углами γ_1 , γ_2 , γ_3 , вычисляемые через соответствующие угла β_i ($i=1, 2, 3$). Изменение этих углов в процессе работы системы перемещений в конечном итоге приводит к изменению пространственного положения точек A , C и B подвижного треугольного звена ACB (рабочей платформы), предназначенного для выполнения технологических перемещений в рабочем трёхмерном пространстве. При необходимости, по текущим координатам точек A , C и B могут быть получены функции положения платформы в виде трёх линейных и трёх угловых координат, определяющих текущее положение системы координат $S_1(x_1, y_1, z_1)$ в неподвижной системе координат $S_0(x_0, y_0, z_0)$.

В качестве линейных координат могут быть приняты координаты точки O_1 начало системы координат $S_1(x_1, y_1, z_1)$ в неподвижной системе координат $S_0(x_0, y_0, z_0)$, а в качестве угловых координат могут быть приняты углы Эйлера φ , θ , ψ [2], выражаемые через координаты точек A , C и B подвижной треугольной платформы.

Целью настоящей статьи является алгоритмизация задачи позиционирования для рассматриваемой пространственной системы перемещений (рисунок 1), заключающаяся в нахождении в системе координат S_0 текущих координат точек A , C и B в зависимости от положения ведущих точек D , E и F , задаваемых переменными углами β_1 , β_2 и β_3 , параметрическое представление которых во времени позволяет находить в общем случае функции положения всех точек и звеньев исполнительного механизма, координаты положения и ориентации рабочей платформы. Такая задача в аналитической механике мехатронных систем перемещений и робототехнике называется прямой задачей кинематики [3].

Рассмотрим формирование математической модели решения прямой задачи кинематики исполнительного манипуляционного механизма, представленного на рисунке 2. Так как этот механизм относится к классу механизмов параллельной кинематики, то при выводе математической модели он допускает фрагментацию по отдельным параллельным кинематическим цепям, в данном случае в виде трёх подвижных треугольников: DAF , DCE , EBF . Аналитическое описание любого из этих фрагментов может быть интерпретировано как рекуррентное аналитическое представление и для двух других, не нарушая общности, рассмотрим фрагмент механизма DAF (рисунок 2). Здесь DA и AF стороны соседних подвижных треугольных звеньев ADC и AFB . При изменении положения точек D и F подвижных сегментов привода на направляющей окружности статора меняется положение и ориентация треугольника DAF . В качестве обобщённой координаты, определяющей его положение в переносном движении, выберем угол α_1 наклона треугольника DAF к плоскости направляющей окружности. На основании такой расчётной геометро-кинематической модели окончательно получим аналитическое представление пересчёта координат x_A , y_A , z_A точки A в систему координат $S_0(x_0, y_0, z_0)$:

$$\begin{cases} x_A = \frac{R}{2}(\cos \beta_1 + \cos \beta_3) + \sqrt{a^2 + \frac{R^2}{2}(\sin \beta_1 \sin \beta_3 + \cos \beta_1 \cos \beta_3 - 1)} \cos \alpha_1 \cos \gamma_1; \\ y_A = \frac{R}{2}(\sin \beta_1 + \sin \beta_3) + \sqrt{a^2 + \frac{R^2}{2}(\sin \beta_1 \sin \beta_3 + \cos \beta_1 \cos \beta_3 - 1)} \cos \alpha_1 \sin \gamma_1; \\ z_A = \sqrt{a^2 + \frac{R^2}{2}(\sin \beta_1 \sin \beta_3 + \cos \beta_1 \cos \beta_3 - 1)} \sin \alpha_1. \end{cases} \quad (1)$$

Рассматривая уравнения, полученные в (1), как рекуррентные легко определить координаты двух других точек B и C подвижного в трёхмерном пространстве треугольника ABC . Для точки C координаты x_C , y_C , z_C будут определяться по выражениям (1) при замене обозначений α_1 на α_2 , β_3 на β_2 . Для точки B координаты x_B , y_B , z_B будут также определяться по выражению (1) при замене обозначений α_1 на α_3 , β_1 на β_2 .

Таким образом, формируется математическая модель расчёта координат точек A , C и B подвижного треугольника ACB в неподвижной системе S_0 в зависимости от обобщённых угловых координат α_1 , α_2 и α_3 , которые могут быть найдены из условия замыкания механизма параллельной кинематики (рисунок 2) на жесткое треугольное звено ACB , неизменное в процессе движения. Условие замыкания записывается в виде системы нелинейных уравнений выражающих каждую из сторон, равную длине a , треугольника ACB через координаты точек A , C и B :

$$\begin{cases} (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2 = a^2; \\ (x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 + (z_C - z_B)^2 = a^2; \\ (x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2 + (z_A - z_C)^2 = a^2. \end{cases} \quad (2)$$

Система (2) представляет собой нелинейную трансцендентную систему, решение которой возможно только численными методами. Особенность нахождения состоит в том, что в данном случае мы располагаем хорошим первым приближением, определяемым известной начальной конфигурацией механизма. Поэтому выбор метода оптимизации не является критическим. Для численного решения системы (2) нами был использован пакет оптимизации программной среды Matlab. В результате компьютерного численного решения были получены текущие значения углов α_1 , α_2 и α_3 однозначно соответствующие текущим положениям точек D , E и F , определяющих входные позиционные характеристики управляемых сегментов на кольцевом приводе. Используя найденные значения углов α_1 , α_2 , α_3 по уравнениям аналогичным уравнению (1) получим текущие координаты точек A , C и B подвижного выходного звена управляемой платформы, которые полностью характеризуют положение и ориентацию плоского звена ABC в трёхмерном пространстве.

Таким образом, в работе предложена алгоритмизация прямой задачи кинематики, как задачи позиционирования для системы перемещений на механизме параллельной кинематики с треугольными подвижными звеньями, приводимыми в движение трехкоординатным гибридным приводом кольцевого типа. Получены вычислительные алгоритмы, позволяющие находить параметрические функции положения точек A , C и B треугольной подвижной платформы в зависимости от задаваемых законов перемещений ведущих сегментов привода. Последующее компьютерное моделирование предложенной системы перемещений в среде Matlab по разработанным алгоритмам решения прямой задачи кинематики позволяет получать все необходимые для её разработки геометрокинематической характеристики, включая: функции положения всех подвижных звеньев, рабочую область перемещений конечного звена, интерактивную визуализацию системы перемещений.

Список использованных источников

- 1 Карпович, С. Е. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк, Е. А. Литвинов. – Минск : Беспринт, 2013. – 208 с.
- 2 Аналитическая механика и мехатронные системы перемещения / С. Е. Карпович [и др.] ; под ред. С. Е. Карповича. – Минск : Технопринт, 2004. – 187 с.
- 3 Heimann, W. Mechatronika. Komponenty, metody, przyklady / W. Heimann, W. Gerth, K. Popp. – Warszawa : PWN, 2001. – 351 s.

С. Е. Карпович, В. В. Кузнецов, В. В. Поляковский
г. Минск, БГУИР

ФОРМИРОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ОБОБЩЕННЫХ КООРДИНАТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

В прецизионном оборудовании микроэлектроники и нанозлектроники, включая оптико-механическое и сборочные, для реализации программируемых движений инструмента или объекта обработки находят все больше применения мехатронные системы координатных перемещений, построенные на основе механизмов параллельной кинематики, приводящихся в движение гибридными многокоординатными приводами прямого действия [1]. Управляющие позиционные и кинематические функции определяются структурой исполнительного механизма параллельной кинематики и конфигурацией соответствующего многокоординатного привода, для которого необходимо решать задачу по определению законов перемещений подвижных управляемых элементов привода в зависимости от требуемого закона перемещения в трёхмерном пространстве выходного звена (рабочей платформы). Такая задача в теории роботов и мехатронных систем перемещений называется обратной задачей кинематики [2]. Алгоритмы ее

решения в реальном оборудовании используются при программировании системы управления механизмов координатных перемещений позиционного и контурного типов по кинематическим критериям.

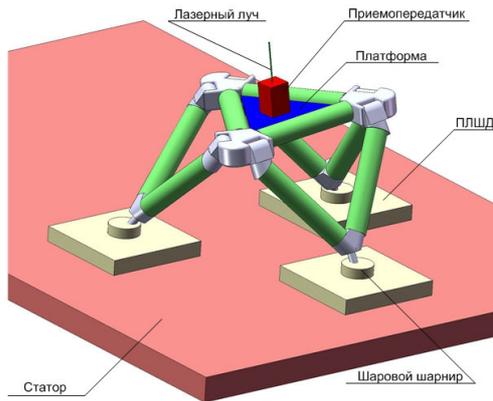


Рисунок 1 – Пространственная система перемещений

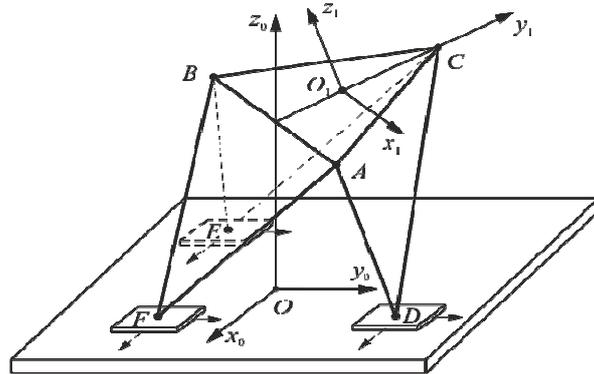


Рисунок 2 – Структурно-кинематическая расчетная схема

В настоящей статье рассматривается решение обратной задачи кинематики для системы перемещений, показанной на рисунке 1, состоящей из механизма параллельной кинематики с четырьмя кинематически связанными треугольными звеньями и многокоординатного привода, интегрированного на одном статоре в виде трех двухкоординатных планарных шаговых двигателей ПЛШД (рисунок 1). Подвижные треугольные звенья кинематически связаны через шаровой шарнир с соответствующими индукторами ПЛШД. Система перемещений, представленная на рисунке 1, предназначена для лазерной обработки планарных структур в производстве БИС и СБИС, а также для автоматического тестирования печатных плат больших форматов [1]. Структурно-кинематическая расчетная схема этой системы перемещений приведена на рисунке 2, из которой видно, что она топологически образована четырьмя шарнирно-связанными равносторонними треугольными звеньями ABC, ADC, CEB и AFB со сторонами равными a . Поворотные взаимные их движения происходят по линиям (осям) AC, CB и AB. Соответственно, замыкание этой параллельной кинематической цепи осуществляется в одной общей для всех сферических шарниров плоскости через три планарных шаговых двигателя в точках D, E и F.

С учетом вышесказанного, для рассматриваемой в статье системы перемещений, обратная задача кинематики состоит в нахождении текущих координат точек D, E и F трех ПЛШД в зависимости от положения и ориентации треугольной платформы ABC.

Для описания такой пространственной конфигурации выберем системы координат: $S_0(x_0, y_0, z_0)$ – неподвижную, связанную со статором привода ПЛШД и $S_1(x_1, y_1, z_1)$ – подвижную, жестко связанную с подвижным выходным звеном ABC, движение которого в пространстве определяется технологическими требованиями на программируемые перемещения.

Положение системы координат $S_1(x_1, y_1, z_1)$ в системе координат $S_0(x_0, y_0, z_0)$ принято в робототехнике [2; 3] представлять в матричном виде в однородных координатах и задавать матрицей четвертого порядка вида:

$$M_{01} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_1, x_0) & \cos(y_1, x_0) & \cos(z_1, x_0) & x_{01} \\ \cos(x_1, y_0) & \cos(y_1, y_0) & \cos(z_1, y_0) & y_{01} \\ \cos(x_1, z_0) & \cos(y_1, z_0) & \cos(z_1, z_0) & z_{01} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

В матрице (1) начало O_1 подвижной системы координат S_1 , представленное в системе координат S_0 , определяется элементами четвертого столбца $a_{14} = x_{01}$, $a_{24} = y_{01}$, $a_{34} = z_{01}$ а остальные элементы a_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) верхней квадратной матрицы размера 3×3 – в виде направляющих косинусов определяют ориентацию системы координат S_1 по отношению к системе координат S_0 .

Матрица M_{01} , позволяет преобразовывать и пересчитывать координаты любых точек T_i , заданных в системе координат $S_1(x_1, y_1, z_1)$ в систему координат $S_0(x_0, y_0, z_0)$ по матричному выражению:

$$R_0^{T_i} = M_{01} R_1^{T_i}, \text{ где } R_1^{T_i} = \begin{bmatrix} x_1^{T_i} \\ y_1^{T_i} \\ z_1^{T_i} \\ 1 \end{bmatrix}; \quad R_0^{T_i} = \begin{bmatrix} x_0^{T_i} \\ y_0^{T_i} \\ z_0^{T_i} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

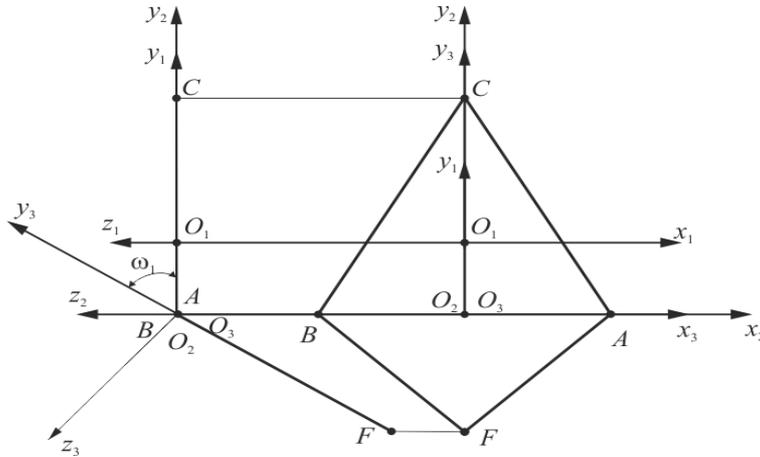


Рисунок 3 – Фрагмент расчетной схемы

Для рассматриваемого в статье механизма, как это следует из рис. 3, положения точек A , B , C в системе координат S_1 запишутся в матричном виде:

$$R_1^A = \begin{bmatrix} \frac{a}{2} \\ \frac{2}{\sqrt{3}} \\ -\frac{\sqrt{3}}{6}a \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad R_1^B = \begin{bmatrix} -\frac{a}{2} \\ \frac{2}{\sqrt{3}} \\ -\frac{\sqrt{3}}{6}a \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad R_1^C = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \frac{1}{\sqrt{3}}a \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где a – длина стороны равностороннего треугольника ABC .

Тем самым по выражениям (2) с учетом (3) могут быть пересчитаны текущие положения точек A , B , C в трехмерном пространстве в неподвижную систему координат S_0 .

Для нахождения положения точек D , E и F рассмотрим математическое описание топологии отдельной параллельной кинематической цепи, например, AFB , связанной с платформой ABC вращательным соединением AB . Для этого фрагмента, механизма на рис. 3 представлен выбор необходимых систем координат S_2 и S_3 и принятый угол ω_1 , определяющий относительный поворот звена AFD по отношению к звену ABC во вращательном соединении AB . В соответствии с принятым координатным описанием топологии этого фрагмента, (рис. 3) матрицы перехода между соответствующими системами координат S_2 и S_1 , S_3 и S_2 будут иметь вид:

$$M_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{1}{2\sqrt{3}}a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_1 & -\sin \omega_1 & 0 \\ 0 & \sin \omega_1 & \cos \omega_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) полная цепочка матричных преобразований координат положения точки F в систему координат S_0 будет иметь вид:

$$R_0^F = M_{01} M_{12} M_{23} R_3^F, \text{ где } R_3^F = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2}a \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Выполнив матричные умножения в соответствии с (5) окончательно получим:

$$R_0^F = \frac{\sqrt{3}}{2} a \begin{bmatrix} a_{12}(\cos \omega_1 + \frac{1}{3}) - a_{13}(\sin \omega_1 + \frac{1}{3}) + \frac{2}{\sqrt{3}} a_{14} \\ a_{22}(\cos \omega_1 + \frac{1}{3}) - a_{23}(\sin \omega_1 + \frac{1}{3}) + \frac{2}{\sqrt{3}} a_{24} \\ a_{32}(\cos \omega_1 + \frac{1}{3}) - a_{33}(\sin \omega_1 + \frac{1}{3}) + \frac{2}{\sqrt{3}} a_{34} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Так как положение точки F ограничено общей плоскостью перемещения точек D , E и F , то есть плоскостью x_0Oy_0 , по которой осуществляется кинематическое замыкание тремя планарными позиционными (рисунок 2), то аналитическое условие этого замыкания имеет вид: $z_0^F = 0$. Или из (6) получим:

$$z_0^F = \frac{\sqrt{3}}{2} a (a_{32}(\cos \omega_1 + \frac{1}{3}) - a_{33}(\sin \omega_1 + \frac{1}{3}) + \frac{2}{\sqrt{3}} a_{34}) = 0, \quad (7)$$

Выражение (7) легко приводится к квадратному уравнению относительно $\cos \omega_1$, решение которого имеет вид:

$$\cos \omega_1 = \frac{-M_1 P_1 \pm \sqrt{M_1^2 P_1^2 - (M_1^2 + N_1^2)(P_1^2 - N_1^2)}}{M_1^2 + N_1^2}, \quad (8)$$

где $M_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} a a_{32}$; $N_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} a a_{33}$; $P_1 = \frac{a a_{32}}{2\sqrt{3}} - a_{34}$.

Подставляя угол ω_1 , найденный из (8), в аналитические выражения первых двух элементов матрицы (6) получим искомые координаты соответственно x_0^F и y_0^F точки F .

Аналитические выражения для координат точек $D(x_D, y_D)$ и $E(x_E, y_E)$ в плоскости статора найдутся из выражений, аналогичных (6) и (7), так как звенья ADC и СЕВ являются звеньями параллельной кинематической связанности, аналогичной звену AFD. При этом углы ω_2 и ω_3 определяются из условий замкнутости в точках D и F кинематических цепей ADC и СЕВ.

Таким образом нами получено полное аналитическое решение обратной задачи кинематики рассматриваемой пространственной системы перемещений с шестью степенями свободы.

Дальнейшие параметрические представления полученных в настоящей работе алгоритмов позволяет использовать среду моделирования технических систем MATLAB для получения всех необходимых кинематических характеристик, включая: скорости и ускорения ПЛШД, решение различных траекторных задач, проведение калибровки полученных траекторий и автоматическое формирование динамической модели с выбором оптимальных алгоритмов регулирования.

Список использованных источников

- 1 Карпович, С. Е. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для позиционного технологического оборудования. / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк, Е. А. Литвинов. – Минск : Беспринт, 2013. – 208 с.
- 2 Виттенбург, И. Динамика систем твердых тел / И. Виттенбург. – М. : Мир, 1980. – 292 с.
- 3 Карпович, С. Е. Моделирование механизмов параллельной кинематики в среде MATLAB/Simulink / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк, Е. А. Литвинов. – Минск : Беспринт, 2013. – 152 с.

А. В. Клименко, А. А. Филиппов
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ФИКСИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ WEB-КАРТ

Стандартные достоинства создания географической информационной системы: быстрая изменяемость масштаба; преобразование картографических проекций; варьирование объектным

составом карты; возможность опрашивать через карту многочисленные базы данных в режиме реального времени; изменение способа отображения объектов (цвет, тип линии и т. п.), в том числе и легкость внесения любых изменений. В рамках данной задачи был разработан сервис фиксирования дорожных знаков, дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и разметки на веб-картах для г. Гомеля с возможностью их просмотра на карте в браузере. Данный сервис является актуальным, так как на данный момент для г. Гомеля не существует программ, обладающих полной информацией и доступным инструментарием редактирования различных слоев, интересующих как водителей, так и ГАИ, дорожные и городские службы в целях планирования и оценки качества проводимых мероприятий.

Для запуска приложения пользователю достаточно иметь современный браузер. На данный момент добавление информации в приложение защищено паролем для защиты от неточной информации. Основные функции приложения: интерфейс: ручное масштабирование карты во время навигации, смена ориентации карты, ручное вращение карты, панель быстрого доступа; поиск универсальный по координатам; карты: обновление карт, редактирование карт; онлайн-сервисы: фото на карте, динамические рои. Инструментарий позволяет ознакомиться с аварийностью в г. Гомель на основании карточек учета ДТП, полученных в соответствующих службах ГАИ. Редактор добавления дорожных нарушений реализован различными способами внесения, редактирования и удаления объектов на карте (рисунок 1).

Процедура добавления знака предполагает переход на страницу сервиса для добавления нового знака с помощью редактора. Данное окно содержит выбор положения знака на карте и списки знаков по категориям. Форма окна редактора позволяет вносить расположение знаков двумя способами: по известным широте и долготе либо с помощью указателя прямо на карте.

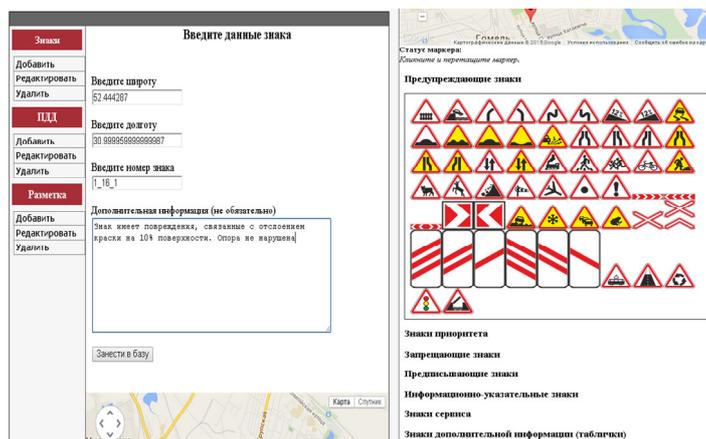


Рисунок 1 – Окно редактора сервиса фиксирования дорожных объектов

На карте реализовано три слоя: знаки, нарушения (рисунок 2), разметка. Изучение слоев возможно совместно или по отдельности. Рассмотрим подробнее содержательное описание каждого из них.

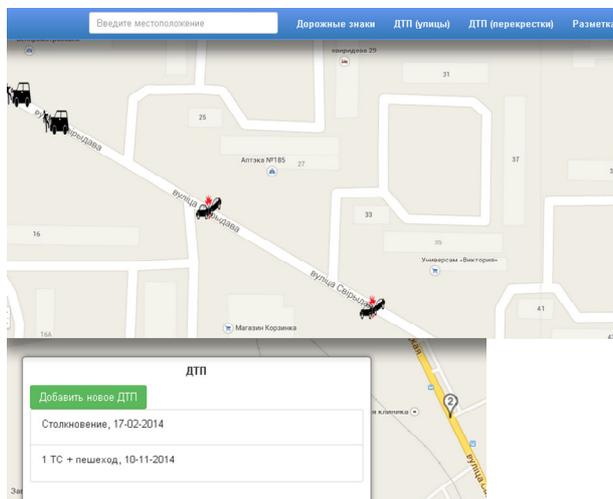


Рисунок 2 – Пример реализации части редактора дорожно-транспортных нарушений

Процедура добавления нарушений реализована заполнением соответствующих ячеек в окне редактора: дата, время, погодные условия, пострадавшие (раненые и погибшие), положение на карте ДТП. На перекрестках предусмотрено накопление информации в стандартной форме, чтобы на карте было минимальное количество обозначений. При нажатии на соответствующий символ пользователю предоставляется дополнительная информация, соответствующая некоторым данным карточки учета ДТП сотрудниками ГАИ, а также статистические данные об очаге аварийности.

Окно слоя разметки позволяет отмечать наиболее важную информацию по расположению «лежачих полицейских», стоп-линий и пр. Актуальным является опция текущего состояния разметки за счет прикрепления любым пользователем фотографий или сообщений. Для дорожных служб, наносящих разметку, предусмотрен информационный указатель обратного отсчета срока службы горизонтальной дорожной разметки и соответствующая цветовая палитра окна. Таким образом, использование предлагаемого сервиса для интеграции разносторонней информации по дорожной сети (виды/качество покрытия, транспортная нагрузка, даты ремонтов), позволит построить динамическую модель износа и автоматизировать планирование ремонтов.

С целью учета влияния различных факторов на долговечность горизонтальной дорожной разметки разработана аналитико-статистическая модель, представляющая собой два приложения: расчет параметров надежности; Web-приложение в виде карты с нанесенной разметкой с целью отображения и корректировки сроков замены и интерфейсом пользователей, позволяющим прикреплять фотографии и комментарии к карте.

В зависимости от информационной составляющей исследуемого объекта и возможности проведения статистических испытаний предложены различные модели определения параметров надежности для технического обслуживания объекта (рисунок 3). Разработанный математический инструментариум универсален и может быть использован для расчетов по другим объектам, так как в него входят наиболее распространенные законы распределения.

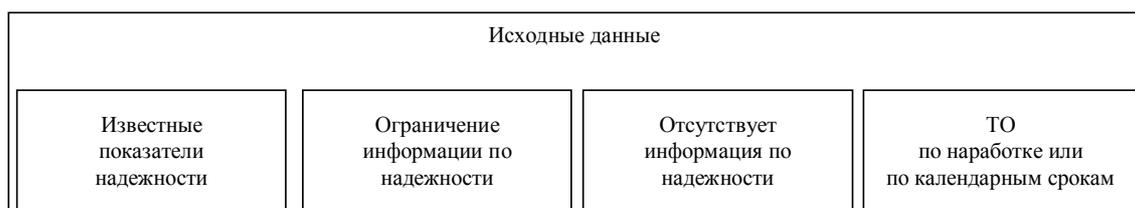


Рисунок 3 – Модели технического обслуживания объекта

Практическое применение разработанных моделей заключается в прогнозировании показателей надежности горизонтальной дорожной разметки в зависимости от условий эксплуатации. Каждый интересующий объект может быть дополнен информационным сообщением, которое появляется при наведении курсора.

Инструментарий не имеет завершенной формы, так как может использоваться для других целей. Например, разрабатывается инструментариум для отображения на карте пробок, оптимизатора маршрутов и состояния парковочных мест в городе в любой момент времени. Экспорт собранных данных в приложение анализа данных обеспечит прогнозирование аварийности и анализ состояния модели улично-дорожной сети и транспортной инфраструктуры.

Просмотр слоев знаков, нарушений или разметки реализован картографическим сервисом Google Maps API. Для реализации приложения в качестве базы данных использовалась свободная реляционная система управления базами данных MySQL компании Oracle версии 5.6, а так же скриптовый язык программирования PHP. При отображении карты и знаков в окне браузера использовались язык гипертекстовой разметки HTML, прототипно-ориентированный сценарный язык JavaScript и библиотека jQuery, а так же формальный язык описания внешнего вида документа CSS.

Практическая значимость применения данного программного продукта состоит в повышении оперативности и обоснованности принимаемых решений, направленных на повышение безопасности дорожного движения на основе использования современных информационных технологий. Применительно к деятельности дорожных служб разработанное приложение применяется в прогнозировании показателей надежности горизонтальной дорожной разметки в зависимости от условий эксплуатации. Применительно к деятельности подразделений Госавтоинспекции система решает следующие задачи: формируется единое информационно-аналитическое пространство

показателей ситуации в сфере обеспечения безопасности дорожного движения; осуществляется мониторинг показателей аварийности, анализ причин, фактов, времени и мест совершения ДТП, а также характеристик участников происшествий; анализ мест концентрации ДТП на дорогах; моделирование и прогнозирование показателей БДД. Предлагаемая геоинформационная система позволит не только наблюдать состояние аварийности на электронной карте, но и принимать решения по увеличению безопасности на наиболее опасных участках города.

Список использованных источников

1 Документация по MySQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mysql.com/>. – Дата доступа : 20.02.2015.

2 Документация по PHP [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://php.net/>. – Дата доступа : 15.02.2015.

В. Н. Княгина, В. С. Монахов
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

КОНЕЧНЫЕ ГРУППЫ С НОРМАЛЬНО ВЛОЖЕННЫМИ ПОДГРУППАМИ

Рассматриваются только конечные группы. Запись $H \leq G$ означает, что H – подгруппа группы G , $|H|$ – порядок подгруппы H , а H^G – наименьшая нормальная в G подгруппа, содержащая H . Нильпотентным корадикалом группы G называется наименьшая нормальная подгруппа в G , фактор-группа по которой нильпотентна. $\pi(G)$ – множество всех простых делителей $|G|$. Подгруппа H группы G называется холлово нормально вложенной в G , если H – холлова подгруппа в H^G , [1, определение 1].

Shirong Li и Jianjun Liu предложили следующую задачу [2, проблема 1]: Изучить группу G , в которой существует холлово нормально вложенная подгруппа H порядка $|B|$ для каждой $B \leq G$. В частности, G разрешима?

Adolfo Ballester-Bolinches и ShouHong Qiao [3] решили эту проблему. Они ввели класс X , состоящий из всех групп G , в которых существует холлово нормально вложенная подгруппа H порядка $|B|$ для каждой $B \leq G$.

Теорема 1. [3] *Группа G принадлежит классу X тогда и только тогда, когда G разрешима и ее нильпотентный корадикал является циклической подгруппой порядка, свободного от квадратов.*

Подгруппа H называется S -перестановочной в G , если $HP = PH$ для каждой силовской подгруппы P группы G . Пусть класс X_1 состоит из всех групп G со следующим свойством: для любого $p \in \pi(G)$ и любой подгруппы B из G с силовской p -подгруппой порядка p существует S -перестановочная подгруппа с холловой подгруппой U порядка $|B|$. Ясно, что $X \subseteq X_1$. Оказалось, что $X = X_1$.

Теорема 2. *Группа G принадлежит классу X_1 тогда и только тогда, когда G разрешима и ее нильпотентный корадикал является циклической подгруппой порядка, свободного от квадратов.*

Список использованных источников

1 Li Shirong. On Hall normally embedded subgroups of finite groups / Li Shirong, He Jun, Nong Guoping, Zhou Longqiao // Comm. Algebra. – 2009. – Vol. 37. – P. 3360–3367.

2 Li Shirong. On Hall subnormally embedded and generalized nilpotent groups / Li Shirong, Liu Jianjun // J. Algebra. – 2013. – Vol. 388. – P. 1–9.

3 Ballester-Bolinches, A. On a problem posed by S. Li and J. Liu / A. Ballester-Bolinches, Qiao ShouHong // Arch. Math. – 2014. – Vol. 102. – P. 109–111.

В. А. Ковалева, А. Н. Скиба
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

КОНЕЧНЫЕ ГРУППЫ С ЗАДААННЫМИ МАКСИМАЛЬНЫМИ ЦЕПЯМИ ПОДГРУПП

Все рассматриваемые в работе группы являются конечными.

Напомним, что собственная подгруппа M группы G называется *максимальной подгруппой* G , если M не содержится ни в какой другой собственной подгруппе из G .

Результаты, связанные с изучением максимальных подгрупп, составили одно из самых содержательных направлений в теории конечных групп. Прежде всего, это связано с тем, что многие известные классы групп допускают описание на основе свойств максимальных подгрупп. В частности, Б. Хупперт в работе [1] доказал, что группа является нильпотентной тогда и только тогда, когда все ее максимальные подгруппы нормальны. В этой же работе Хупперт установил, что группа сверхразрешима в том и только в том случае, когда индексы всех ее максимальных подгрупп являются простыми числами. В. Е. Дескинсом [2; 3] было доказано, что группа G является разрешимой тогда и только тогда, когда индекс любой максимальной подгруппы из G совпадает с ее нормальным индексом. Отметим также, что максимальные подгруппы лежат в основе многих важных признаков принадлежности группы выделенному классу групп. Наиболее известными среди них являются теорема Дескинса-Янко-Томпсона [4] о разрешимости группы, обладающей нильпотентной максимальной подгруппой, класс нильпотентности 2-силовских подгрупп которой не превосходит двух, а также теоремы О. Ю. Шмидта [5] и Б. Хупперта [1] о разрешимости групп, все максимальные подгруппы которых являются нильпотентными и сверхразрешимыми соответственно.

По мере развития теории максимальных подгрупп авторами стали предприниматься попытки изучения и применения их обобщений – максимальных цепей и n -максимальных подгрупп. Напомним, что *максимальной цепью* длины n группы G называется всякая цепь вида

$$H_n < H_{n-1} < \dots < H_1 < H_0 = G,$$

где H_i – максимальная подгруппа в H_{i-1} для всякого $i = 1, \dots, n$. Подгруппа H группы G называется *n -максимальной подгруппой* в G , если H является последним членом некоторой максимальной цепи длины n .

Работы, посвященные изучению максимальных цепей и, в частности, n -максимальных подгрупп ($n > 1$), составили обширное направление теории конечных групп, обогащенное большим числом глубоких теорем и содержательных примеров. Наиболее ранние результаты в этом направлении были получены Л. Редеем [6], описавшим неразрешимые группы с абелевыми вторыми максимальными подгруппами, и Б. Хуппертом [1], установившим сверхразрешимость группы, в которой все вторые максимальные подгруппы нормальны. Кроме того, в работе [1] Хупперт доказал, что в случае, когда все 3-максимальные подгруппы группы G нормальны, коммутант G' является нильпотентной группой и главный ранг группы G не превосходит двух. Позже, результаты Редее и Хупперта получили развитие в работах многих других авторов (З. Янко, М. Судзуки, Т. М. Гаген, В. Е. Дескинс, А. Е. Спенсер, Р. Шмидт, В. А. Ведерников, Э. М. Пальчик, Н. П. Конторович, Я. Г. Беркович, Р. К. Агравал, П. Флавелл и др.).

В последние годы круг математиков, вовлеченных в изучение максимальных цепей и n -максимальных подгрупп, значительно расширился (А. Баллестер-Болинше, Л. М. Эскуэрро, В. Го, Ш. Го, К. П. Шам, Б. Ли, Ш. Ли, В. А. Белоногов, А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева, В. С. Моныхов, В. Н. Семенчук, А. Н. Скиба, В. Н. Тютянов, В. Н. Княгина, В. И. Мурашко, Д. П. Андреева, Ю. В. Луценко, Е. В. Легчекова, и др.), что свидетельствует о несомненной актуальности данного направления.

Тем не менее, несмотря на большое количество результатов, полученных в рассматриваемом направлении, до сих пор не потеряла свое фундаментальное значение работа А. Манна [7], в которой отмеченные выше результаты Хупперта были перенесены не только на субнормальные подгруппы, но и на произвольное n , зависящее только от числа простых делителей порядка группы. В частности, Манном было доказано, что если все n -максимальные подгруппы разрешимой группы G субнормальны и $|\pi(G)| \geq n+1$, то G нильпотентна; если же $|\pi(G)| \geq n-1$, то G является ϕ -дисперсивной для некоторого упорядочения ϕ множества $\pi(G)$. И наконец, в случае, когда $|\pi(G)|=n$, Манн привел полное описание группы G .

Естественным обобщением субнормальности является понятие U -субнормальной в смысле Кегеля подгруппы. Напомним, что подгруппа H группы G называется U -субнормальной в смысле Кегеля [8] или K - U -субнормальной [9] в G , если найдется такая цепь подгрупп

$$H=H_0 \leq H_1 \leq \dots \leq H_n=G,$$

что либо H_{i-1} нормальна в H_i , либо $H_{i-1}/(H_{i-1})_{H_i}$ сверхразрешима для всякого $i = 1, \dots, n$.

В 2005 году на Гомельском алгебраическом семинаре Л. А. Шеметковым была поставлена задача расширения отмеченных выше результатов А. Манна до K - U -субнормальных подгрупп. Такая задача была решена в работах [10; 11]. Отметим, в процессе решения задачи Л. А. Шеметкова удалось не только построить общую теорию групп с K - U -субнормальными p -максимальными подгруппами, но и получить развитие соответствующих результатов Х. Виландта, К. Дёрка, О.-Ю. Крамера и других известных математиков.

Результаты работ [10; 11] нашли приложение в работах [12; 13], где было получено полное описание групп, все третьи максимальные подгруппы которых являются K - U -субнормальными. Важную роль при исследовании таких групп сыграли минимальные несверхразрешимые группы, у которых сверхразрешимый корадикал является минимальной нормальной подгруппой. В связи с тем, что общее описание минимальных несверхразрешимых групп было получено в работах Б. Хупперта [1] и К. Дёрка [14], естественным является следующее понятие.

Определение [12; 13]. Группа G называется *специальной группой Дёрка-Хупперта* или *SDH-группой*, если G является минимальной несверхразрешимой группой, причем сверхразрешимый корадикал G^U группы G является минимальной нормальной подгруппой в G .

Заметим, что в случае, когда $\text{rk}(G) > 4$ и каждая 3-максимальная подгруппа группы G является K - U -субнормальной в G , группа G сверхразрешима ввиду [10, теорема А] или [11, теорема А]. Поэтому для описания групп, все 3-максимальные подгруппы которых являются K - U -субнормальными, нам нужно было рассмотреть лишь группы с числом простых делителей, равным 2, 3 и 4. Отметим также, что при исследовании таких групп оказалось, что наиболее сложным является случай, когда группа является бипримарной, т. е. имеет в точности два простых делителя, поскольку такая группа может не содержать нормальную силовскую подгруппу. Если же в такой группе и имеется нормальная силовская подгруппа, строение группы значительно усложняется.

Нами доказана следующая

Теорема ([12, теорема В], [13, теорема 1.2]). Пусть G – группа и $\text{rk}(G)=2$. Пусть p и q – различные простые делители $|G|$, P и Q – силовские p -подгруппа и q -подгруппа из G соответственно. В том и только в том случае каждая 3-максимальная подгруппа из G является K - U -субнормальной в G , когда либо G сверхразрешима, либо выполнены следующие условия:

(I) Если G не имеет нормальных силовских подгрупп и $O^p(G) \neq G$, то $G^U \leq P$, Q – такая циклическая группа, что $[Q^q, G^U]=1$ и p делит $q-1$. Более того, в этом случае $G^U Q$ является максимальной подгруппой в G и Q индуцирует на G^U неприводимую группу автоморфизмов.

(II) Если P является нормальной подгруппой в G , то справедливы следующие утверждения:

(i) каждая 2-максимальная подгруппа из Q индуцирует на P абелеву группу автоморфизмов экспоненты, делящей $p-1$. Каждая максимальная подгруппа из Q индуцирует на P группу автоморфизмов, которая является либо неприводимой, либо абелевой экспоненты, делящей $p-1$;

(ii) если P является минимальной нормальной подгруппой в G и q не делит $p-1$, то Q является циклической группой и $Z(G)$ является подгруппой в Q , причем индекс $|Q:Z(G)|$ равен либо q , либо q^2 . Более того, если G не является минимальной несверхразрешимой группой, то q^2 делит $p^{q-1}-1$;

(iii) если $\Phi(P) \neq 1$, то $G^U=P$ и $P/\Phi(P)$ – нециклический главный фактор в G . Более того, если G является минимальной несверхразрешимой группой, то $|\Phi(P)| = p$. Если G не является минимальной несверхразрешимой группой, то $\Phi(P)Q$ – SDH-группа и, следовательно, $\Phi(P)$ является минимальной нормальной подгруппой в G ;

(iv) если P не является минимальной нормальной подгруппой в G и $\Phi(P)=1$, то $P=P_1 \times P_2$, где P_1 и P_2 – минимальные нормальные подгруппы в G и по крайней мере одна из этих подгрупп не является циклической.

Отметим, наконец, что в случае, когда каждая третья максимальная подгруппа группы G является K - U -субнормальной в G и $\text{rk}(G)=3$, оказалось, что группа G является ϕ -дисперсивной для некоторого упорядочения ϕ множества $\pi(G)$ [12, теорема С]; в случае же, когда каждая третья максимальная подгруппа группы G является K - U -субнормальной в G и $\text{rk}(G)=4$, такая группа G дисперсивна по Оре [12, теорема D].

Список использованных источников

- 1 Huppert, B. Normalteiler und maximal Untergruppenendlichergruppen / B. Huppert // Math. Z. – 1954. – Vol. 60. – P. 409–434.
- 2 Deskins, W. E. A note on the index complex of maximal subgroups / W. E. Deskins // Arch. Math. – 1990. – Vol. 54. – P. 236–240.
- 3 Deskins, W. E. On maximal subgroups / W. E. Deskins // Proc. Sympos. Pure Math.– 1959. – Vol. 1. – P. 100–104.
- 4 Janko, Z. Finite groups with a nilpotent maximal subgroup / Z. Janko // J. of Austl. Math. Soc. – 1964. – Vol. 4. – P. 449–451.
- 5 Шмидт, О. Ю. Группы, все подгруппы которых специальные / О. Ю. Шмидт // Матем. сборник. – 1924. – Т. 31. – С. 366–372.
- 6 Redei, L. Ein Satz uber die endlichen einfachen Gruppen / L. Redei // Acta Math. – 1950. – Vol. 84. – P. 129–153.
- 7 Mann, A. Finite groups whose n -maximal subgroups are subnormal / A. Mann // Trans. Amer. Math. Soc. – 1968. – Vol. 132. – P. 395–409.
- 8 Kegel, O. H. Zur Struktur mehrfach faktorialisierbarer endlicher Gruppen / O. H. Kegel // Math. Z. – 1965. – Vol. 87. – P. 409–434.
- 9 Ballester-Bolinches, A. Classes of Finite Groups / A. Ballester-Bolinches, L. M. Ezquerro. – Dordrecht : Springer-Verlag, 2006. – 391 p.
- 10 Ковалева, В. А. Конечные разрешимые группы, у которых все n -максимальными подгруппы U -субнормальны / В. А. Ковалева, А. Н. Скиба // Сибирский математический журнал. – 2013. – Т. 54, № 1. – С. 86–97.
- 11 Kovaleva, V. A. Finite soluble groups with all n -maximal subgroups F -subnormal / V. A. Kovaleva, A. N. Skiba // J. Group Theory. – 2014. – Vol. 17. – P. 273–290.
- 12 Ковалева, В. А. Finite groups with all n -maximal ($n = 2, 3$) subgroups K - U -subnormal / В. А. Ковалева, С. Йи // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – Т. 2, № 19. – С. 59–64.
- 13 Kovaleva, V. A. Finite biprimary groups with all 3-maximal subgroups U -subnormal / V. A. Kovaleva, X. Yi // Acta Mat. Hung. – 2015. – DOI: 10.1007/s10474-015-0498-5.
- 14 Doerk, K. Minimal nicht uberauflösbare, endliche Gruppen / K. Doerk // Math. Z. – 1966. – Vol. 91. – P. 198–205.

Н. М. Курносенко, И. В. Парукевич, В. В. Подгорная
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПРЕПОДАВАНИЕ ОСНОВ МАТРИЧНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В настоящее время особую актуальность приобретает проблема повышения эффективности обучения и воспитания. Каждый предмет вузовской учебной программы вносит свой вклад в формирование и становление будущего специалиста. При этом особое место принадлежит математическим дисциплинам, которые дают студентам ИТ-специальностей инструмент для познания задач профессиональной сферы, являясь основой методологических знаний и средством развития личности.

Любой учебный процесс должен иметь четкую логическую структуру, конкретно сформулированные учебные цели и набор методических средств их достижения. Только при этих условиях обучение студентов будет эффективным. Особенно важна при этом роль преподавателя: приоритетной должна стать координирующая и контролирующая функции, а не роль «транслятора» знаний. В связи с этим возникает необходимость нового подхода к содержанию и структуре занятий. Наиболее удобным способом реализации данного подхода, на наш взгляд, является использование блочно-модульного метода обучения. Для этого целесообразно каждый модуль представить с помощью отдельной методической разработки, в которую следует включить всю необходимую информацию для успешного усвоения учебного материала, возможного даже и при самостоятельной работе студентов. Такой подход уже давно используется преподавателями математического факультета Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины, так как он оказался удобен не только в работе преподавателя, но и имеет положительные отзывы со стороны студентов.

В качестве примера можно рассмотреть использование практического руководства «Матричный анализ: общая теория матриц» для студентов специальностей «Прикладная математика»

и «Экономическая кибернетика», в котором авторами данной заметки осуществлена попытка реализовать выше изложенные требования к организации учебного процесса. Актуальность и необходимость данного методического пособия объясняется отсутствием доступных учебных материалов по матричному анализу, с подробным решением типовых задач, с набором заданий для самостоятельной работы студентов. С другой стороны, данная дисциплина зачастую вызывает затруднения у студентов при получении практических навыков по выполнению ряда упражнений. Целью данного практического руководства являлась попытка оказания помощи студентам в овладении теоретическими знаниями и практическими навыками по матричному анализу, в частности, по общей теории матриц.

Методическое пособие охватывает основные понятия, которые должны быть усвоены студентами в результате изучения данного раздела высшей математики, и соответствует уровню сложности базового курса. Весь материал разбит на несколько разделов согласно учебной программы. Каждый раздел содержит справочный материал по теме, примеры различных алгоритмов решений типовых задач, а также задания для аудиторной и домашней работы. Такая структура удобна при организации учебного процесса, так как значительно облегчает ежедневную подготовку преподавателя, способствует взаимозаменяемости преподавателями друг друга в случае «форс-мажора», предоставляет студентам образец базового уровня владения учебным материалом. В конце практического руководства предлагаются индивидуальные (по количеству студентов в группе) задания к лабораторным работам.

Например:

Лабораторная работа 2 Псевдообратная матрица

(Во всех заданиях k – номер варианта)

1 Найти псевдообратную матрицу для матрицы A .

$$A = \begin{pmatrix} k & 1 & k+1 & -1 \\ 2k & 2 & 2k+2 & -2 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

2 Найти нормальное псевдорешение системы линейных уравнений и длину его невязки:

$$\begin{cases} x_1 - kx_2 + (k+1)x_3 = 2 \\ kx_2 - x_3 = 1 \\ -2x_1 + 2kx_2 - (k+1)x_3 = 4 \end{cases}.$$

3 Найти скелетное разложение матрицы A :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 2 \\ k & 1 & k+1 & -1 \\ 2k & 2 & 2k+2 & -2 \end{pmatrix}.$$

Выполнение такой лабораторной работы студентами самостоятельно без предварительных методических указаний со стороны преподавателя весьма затруднительно. Вместе с тем, только такой вид учебной работы помогает максимально эффективно сформировать у обучающихся навыки аналитического мышления и самостоятельного решения задач. Таким образом, осуществляется личностно-ориентированный подход в обучении.

Заметим, что особенностью задач по матричному анализу является громоздкость вычислений при их решении. В связи с этим очень удобна рейтинговая система оценки знаний, которая позволяет преподавателю поставить экзаменационную оценку по правилу: 40 % от рейтинга студента за работу в семестре плюс 60 % от ответа на теоретические вопросы экзамена.

Указанное выше практическое руководство может использоваться как преподавателем для проведения практических и лабораторных занятий, так и студентами при выполнении домашних и лабораторных заданий, позволяя успешно подготовиться к экзамену по матричному анализу. Отметим, что создание подобных учебных пособий требует от авторов не только глубокого владения теоретическим материалом по дисциплине, но и совершенное владение методами и технологиями обучения студентов данному виду учебной и профессиональной деятельности. Ведь при подготовке практического руководства требуется достаточно полно и без излишеств в доступной форме изложить теоретические вопросы, необходимые для практической работы. Далее требуется отобрать наиболее яркие примеры, проиллюстрировав их не только подробным и доступным решением, но иногда следует для одного задания привести несколько подходов в его решении для более полного понимания методологии решения подобных заданий. Именно такого принципа мы и придерживались при работе над данным практическим руководством.

Кроме всего, набор заданий для аудиторной и самостоятельной работы формируется с учетом эвристического подхода при решении задач. Нельзя сказать, что все задания выполняются по одному образцу и не нуждаются в дополнительном анализе методов и подходов во время их решения. Такую методическую работу способны проводить только преподаватели, не один год преподающие фундаментальные математические дисциплины и имеющие полное представление обо всех трудностях, возникающих у студентов при изучении данных разделов высшей математики. Все выше сказанное, а также знакомство со сложностями технической верстки учебных пособий, которую выполняют обычно сами авторы, говорит о той огромной работе, которую проделывают преподаватели математического факультета при разработке своих авторских методических пособий для студентов не только математических специальностей.

Подготовке IT-специалистов в данный момент уделяется особое внимание, так как данные прикладные специальности в республике относятся к числу приоритетных. Об этом, в частности, свидетельствует открытие ряда новых специальностей данного профиля на математическом и физическом факультетах университета. Поэтому внедрение новых технологий обучения студентов прикладных специальностей фундаментальным математическим дисциплинам, в частности, матричному анализу, представляет особый интерес.

Ю. В. Малинковский
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ЭРГОДИЧЕСКАЯ ТЕОРЕМА ДЛЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ГРУППОВЫМ ПОСТУПЛЕНИЕМ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЗАЯВОК

В систему массового обслуживания с единственным экспоненциальным прибором с интенсивностью обслуживания μ поступает $T+1$ независимых пуассоновских потоков заявок: поток обычных, требующих обслуживания положительных заявок с интенсивностью λ^+ , и T потоков отрицательных заявок с интенсивностями $\lambda_1^-, \dots, \lambda_T^-$. Поступающая отрицательная заявка l -го потока мгновенно вычеркивает, уничтожает ровно l положительных заявок, если такое количество положительных заявок в системе имеется, и уничтожает все заявки в системе, если их число меньше $l, l = \overline{1, T}$. После этого она мгновенно пропадает вместе с вычеркнутыми положительными заявками, не оказывая в дальнейшем на функционирование системы никакого влияния. Состоянием системы в момент t назовем количество положительных заявок $n(t)$ в этот момент времени. Очевидно, $n(t)$ – цепь Маркова с непрерывным временем и пространством состояний Z_+ . Ее стационарное распределение $\{p(n), n = 0, 1, \dots\}$, если оно существует, удовлетворяет системе уравнений равновесия для так называемых вертикальных сечений графа переходов цепи

$$\lambda^+ p(n) = (\mu + \lambda_1^- + \dots + \lambda_T^-) p(n+1) + (\lambda_2^- + \dots + \lambda_T^-) p(n+2) + (\lambda_3^- + \dots + \lambda_T^-) p(n+3) + \dots + \lambda_T^- p(n+T), \quad n = 0, 1, \dots \quad (1)$$

Это однородное линейное разностное уравнение порядка T . Частное решение (1) ищем в виде $p(n) = z^n$. Подставляя его в (1), получим характеристическое уравнение

$$g(z) = \sum_{l=1}^T z^l \sum_{s=1}^T \lambda_s^- + \mu z - \lambda^+ = \sum_{s=1}^T \lambda_s^- \sum_{l=1}^s z^l + \mu z - \lambda^+ = 0 \quad (2)$$

Докажем достаточность условия

$$\rho = \frac{\lambda^+}{\mu + \sum_{i=1}^T i \lambda_i^-} < 1 \quad (3)$$

для эргодичности процесса $n(t)$. Сначала используем теорему Декарта [1, с. 255]. В (2) ровно одна переменная знака при переходе от μ к λ^+ . Значит, (2) имеет ровно один положительный корень. При этом $g(0) = -\lambda^+ < 0$ и, в силу (3), $g(1) = \sum_{i=1}^T i \lambda_i^- + \mu - \lambda^+ > 0$. Поэтому этот корень

$z_0 \in (0,1)$. Поэтому уравнение равновесия (1) имеет решение $p(n) = z_0^n$, причем из условия нормировки $C = 1 - z_0$, т. е. совпадает с геометрическим распределением:

$$p(n) = (1 - z_0)z_0^n, \quad n = 0, 1, \dots \quad (4)$$

Применим эргодическую теорему Фостера [2, с. 48]. Для того, чтобы неприводимая консервативная регулярная цепь Маркова с непрерывным временем была эргодична, необходимо и достаточно, чтобы система уравнений равновесия имела ненулевое решение такое, что $\sum_{n=0}^{\infty} |p(n)| < \infty$. При выполнении условия (3) уравнение (2), как мы видели, имеет корень $z_0 \in (0,1)$,

причем (4) – частное решение системы уравнений равновесия (1). А ряд $\sum_{n=0}^{\infty} |p(n)|$ сходится как сумма членов геометрической прогрессии со знаменателем, меньшим единицы. Неприводимость и консервативность цепи $n(t)$ очевидны, а регулярность следует из того, что интенсивность выхода $q(n)$ процесса $n(t)$ из состояния n ограничена [3, с. 405]. Значит, условие (3) достаточно для эргодичности $n(t)$, а при его выполнении эргодическое распределение имеет форму (4).

Покажем теперь, что (3) необходимо для эргодичности процесса $n(t)$. Требуется показать, что если $\rho \geq 1$, то цепь $n(t)$ не является эргодической. Сначала покажем, что при выполнении последнего неравенства все корни характеристического уравнения (2) не попадают в круг $|z| < 1$.

Лемма 1. 1. Если $\rho > 1$, то все корни характеристического уравнения (2) по модулю строго больше единицы.

2. Если $\rho = 1$, то на окружности $|z| = 1$ характеристическое уравнение (2) имеет единственный корень $|z| = 1$, причем простой, а остальные корни (2) по модулю строго больше единицы.

К р а т к о е д о к а з а т е л ь с т в о. Введем функции комплексной переменной

$$\phi(z) = \sum_{s=1}^T \lambda_s^- \sum_{l=1}^s z^l + \mu z, \quad f(z) = \lambda^+;$$

тогда характеристическое уравнение (2) запишется как $g(z) = \phi(z) + f(z) = 0$.

1. В случае $\rho > 1$ введенные функции $\phi(z)$ и $f(z)$ аналитичны в замкнутом круге $|z| \leq 1$, причем на его границе $|z| = 1$ выполняется неравенство $|\phi(z)| < |f(z)|$. По теореме Руше $\phi(z) + f(z)$ и $f(z)$ имеют одинаковое число нулей в открытом круге $|z| < 1$, значит, $g(z) = \phi(z) + f(z)$ не имеет нулей в круге $|z| < 1$. Легко проверяется, что все корни (3) по модулю строго больше единицы.

2. Остается рассмотреть случай $\rho = 1$, для которого можно воспользоваться модификацией теоремы Руше, предложенной В.И. Клименок [4, р. 434, corollary 2] и весьма полезной для исследования условий эргодичности процессов теории массового обслуживания. В рассматриваемом случае $z = 1$ – корень характеристического уравнения (2). Очевидно, этот корень простой. Можно показать, что других корней, равных по модулю единице, нет. Так как $g(-1) \leq -\mu - \lambda^+ < 0$, то $z = -1$ не является корнем (2). Пусть $z = e^{i\varphi}$ – корень (2). Тогда

$$\operatorname{Re} g(z) = \sum_{s=1}^T \lambda_s^- \sum_{l=1}^s \cos l\varphi + \mu \cos \varphi - \lambda^+ = 0 \quad (5)$$

Так как на полном обороте $0 \leq \varphi < 2\pi$ для $\varphi \neq 0, \varphi \neq \pi$

$$\left| \sum_{s=1}^T \lambda_s^- \sum_{l=1}^s \cos l\varphi + \mu \cos \varphi \right| \leq \sum_{s=1}^T \lambda_s^- \sum_{l=1}^s \cos l\varphi + \mu \cos \varphi < \sum_{s=1}^T s\lambda_s^- + \mu = \lambda^+,$$

то (5) нарушается. Итак, $z = 1$ является единственным, притом простым корнем характеристического уравнения (2) на окружности $|z| = 1$.

Легко проверяется, что выполнены все условия модифицированной В. И. Клименок теоремы Руше. Поэтому характеристическое уравнение (2) имеет единственный притом простой

корень $z = 1$ на границе $|z| = 1$, остальные корни (2) по модулю строго больше единицы. Лемма 1 доказана.

Лемма 2. Если $Q_j(n)$ – некоторые многочлены от переменной n , $0 \leq \varphi_j < 2\pi$, причем $\varphi_j \neq \varphi_m$ при $j \neq m$, $j, m = 1, \dots, k$, и $\sum_{j=1}^k Q_j(n) e^{in\varphi_j} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$, то $Q_j(n) \equiv 0$ ($j = 1, \dots, k$).

Доказательство. Обозначим $A = \max(\deg Q_1(n), \dots, \deg Q_k(n))$, тогда $n^A \sum_{j=1}^k \frac{Q_j(n)}{n^A} e^{in\varphi_j} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$. Для $j = 1, \dots, k$ найдется постоянная C_j такая, что $\frac{Q_j(n)}{n^A} \rightarrow C_j$.

Тогда $n^A (\sum_j C_j e^{in\varphi_j} + o(1)) \rightarrow 0$, а так как $A \geq 0$, то тем более $\sum_j C_j e^{in\varphi_j} + o(1) \rightarrow 0$, откуда

$\varepsilon_n = \sum_{j=1}^k C_j e^{in\varphi_j} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$. Следовательно, для любого $\varepsilon > 0$ найдется номер $N = N_\varepsilon$ такой, что для всех $n \geq N$ будет $|\varepsilon_n| < \varepsilon$. По введенному выше обозначению для ε_n имеем

$$\begin{aligned} \varepsilon_N &= \sum_{j=1}^k C_j e^{iN\varphi_j}, \\ \varepsilon_{N+1} &= \sum_{j=1}^k C_j e^{i(N+1)\varphi_j}, \\ &\dots\dots\dots \\ \varepsilon_{N+k-1} &= \sum_{j=1}^k C_j e^{i(N+k-1)\varphi_j}. \end{aligned}$$

Модуль определителя Δ этой системы линейных относительно C_1, C_2, \dots, C_k уравнений совпадает с модулем определителя Вандермонда, т.е. $|\Delta| = \prod_{j>k} |e^{i\varphi_j} - e^{i\varphi_k}| \neq 0$. Раскладывая определитель Δ_m , отличающийся от Δ заменой его m -го столбца столбцом свободных членов системы, по этому столбцу, получим $|\Delta_m| < C\varepsilon$, где C – некоторая константа, не зависящая от ε . По правилу Крамера

$$|C_m| = \frac{|\Delta_m|}{|\Delta|} < \frac{C}{|\Delta|} \varepsilon,$$

откуда, в силу произвольности $\varepsilon > 0$, следует, что $C_m = 0, m = 1, \dots, k$. Следовательно, $Q_j(n) \rightarrow 0$, а так как $Q_j(n)$ – многочлен, то $Q_j(n) \equiv 0, j = 1, \dots, k$.

Теорема. Цепь Маркова $n(t)$ регулярна. Для ее эргодичности необходимо и достаточно, чтобы выполнялось неравенство (3).

Доказательство. 1. Пусть $\rho > 1$. По лемме 1 все корни характеристического уравнения по модулю строго больше единицы. Покажем, что в этом случае не существует стационарного распределения, следовательно, цепь Маркова $n(t)$ не является эргодической. Общее решение разностного уравнения (1) имеет вид

$$p(n) = \sum_{j=1}^l Q_j(n) z_j^n, \tag{6}$$

где z_1, \dots, z_l – все различные корни характеристического уравнения (2), $Q_1(n), \dots, Q_l(n)$ – многочлены от n степеней, на единицу меньших кратностей корней z_1, \dots, z_l соответственно. Не ограничивая общности, можно считать $1 < |z_1| \leq |z_2| \leq \dots \leq |z_l|$. Разобьем все корни на группы корней с равными модулями: $|z_1| = \dots = |z_{l_1}| = r_1 < |z_{l_1+1}| = \dots = |z_{l_2}| = r_2 < \dots < |z_{l_{p+1}}| = \dots = |z_l| = r_{p+1}$. С учетом показательной формы корней характеристического уравнения $z_k = |z_k| e^{i\varphi_k}$ (6) можно представить в форме

$$p(n) = r_{p+1}^n \left[\left(\frac{r_1}{r_{p+1}}\right)^n \sum_{j=1}^{l_1} Q_j(n) e^{in\varphi_j} + \left(\frac{r_2}{r_{p+1}}\right)^n \sum_{j=l_1+1}^{l_2} + \dots + \left(\frac{r_p}{r_{p+1}}\right)^n \sum_{j=l_{p-1}+1}^{l_p} Q_j(n) e^{in\varphi_j} + \sum_{j=l_p+1}^l Q_j(n) e^{in\varphi_j} \right]$$

Если предположить, что стационарное распределение существует, то $p(n)$ должно стремиться к нулю. Так как $r_{p+1} > 1$, то выражение в квадратных скобках тем более будет стремиться к нулю. Но все члены этого выражения, кроме, быть может, последнего, стремятся к 0. Следовательно, последний член в квадратных скобках также стремится к нулю. По лемме 2 отсюда следует, что $Q_j(n) \equiv 0$ при $l_{p+1} + 1 \leq j \leq l$. По индукции отсюда следует, что все $Q_j(n) \equiv 0$. Значит, цепь Маркова $n(t)$ не является эргодической.

2. Случай $\rho = 1$ доказывается аналогичным образом.

Список использованных источников

- 1 Курош, А. Г. Курс высшей алгебры / А. Г. Курош. – М. : Наука, 1971. – 432 с.
- 2 Бочаров, П. П. Теория массового обслуживания / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – М. : РУДН, 1995. – 529 с.
- 3 Гихман, И. И. Введение в теорию случайных процессов / И. И. Гихман, А. В. Скороход. – М. : Наука, 1977. – 568 с.
- 4 Klimenok, V. On the Modification of Rouche's Theorem for the Queueing Theory Problems / V. Klimenok // Queueing Systems. – 2001. – Vol. 38. – P. 431–434.

Л. Н. Марченко, А. Г. Мельченко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

АНАЛИЗ МОНЕТАРНОГО ФАКТОРА ИНФЛЯЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Достижение стабильно низкого уровня инфляции, обеспечивающего устойчивое развитие экономики страны является актуальной задачей центральных банков многих государств, в том числе и в Республике Беларусь. При этом особое значение вопрос анализа инфляционных процессов приобрел на фоне объявленных Национальным Банком Республики Беларусь планов по реализации стратегии перехода к инфляционному таргетированию как новому режиму денежно-кредитной политики в ближайшие годы. Эффективное проведение денежно-кредитной политики центральным банком в области контроля динамики инфляционных процессов предполагает комплексный анализ всех фундаментальных факторов инфляции, а также ее адекватное прогнозирование на кратко- и среднесрочную перспективу. Решение указанных задач представляется невозможным без проведения всесторонних статистических исследований динамики уровня цен во взаимосвязи с другими макроэкономическими индикаторами, среди которых важное место занимают показатели монетарной сферы, поскольку с динамикой монетарного фактора тесно связаны меры денежно-кредитной политики, направленные на стабилизацию инфляционных процессов.

Для исследования влияния на индекс потребительских расходов (ИПЦ, %), характеризующего инфляцию в стране, монетарного фактора рассматривались такие показатели, как денежный агрегат М2 (М2, %), включающего в себя наличные деньги в обращении (вне банков) и остатки средств в национальной валюте на счетах нефинансовых организаций, финансовых (кроме кредитных) организаций и физических лиц, являющихся резидентами Республики Беларусь, и внутренний валовой продукт (ВВП, %), за период 2000–2013 годы [3].

Динамика рассматриваемых показателей позволила выявить некоторую зависимость между показателями ИПЦ и М2. Относительно влияния ВВП на ИПЦ, то четкой закономерности не прослеживалось. Для определения взаимного влияния процессов при условии сдвига временных рядов $\{p_t\}$, $\{m2_t\}$ и $\{y_t\}$ (p_t – ИПЦ, $m2_t$ – М2, y_t – ВВП) друг относительно друга на некоторый временной промежуток вычислялась кросс-корреляционная функция (ККФ). В общем случае коэффициент кросс-корреляции есть коэффициент корреляции между x_t и y_{t+k} в зависимости от лага k :

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} x_t y_{t+k} + \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} y_t \sum_{t=1}^{n-k} x_{t+k}}{\sqrt{\left[\sum_{t=k}^{n-k} y_t^2 - \frac{1}{(n-k)} \sum_{t=k}^{n-k} y_t^2 \right] \left[\sum_{t=k+1}^n x_t^2 - \frac{1}{(n-k)} \sum_{t=k+1}^n x_t^2 \right]}}$$

Рассматриваемые ряды проверены на стационарность с помощью теста Дики-Фуллера на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Коэффициенты кросс-корреляции показывают запаздывание либо опережение М2 и ВВП относительно ИПЦ. Наибольшим значимым коэффициентом оказался $r_0 = 0,514$, что говорит о том, что ИПЦ в текущий момент времени определяется текущим значением М2. Статистически значимая кросс-корреляция между ИПЦ и ВВП также оказалась на лаге $k = 0$.

В рамках количественной теории денег строится зависимость между фактором денежного предложения и общего уровня цен в экономике вида:

$$p_t = \beta_0 + \beta_1 m2_t + \beta_2 y_t + \zeta_t$$

где ζ – случайная ошибка, $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ – неизвестные параметры.

Оценка уравнения регрессии, полученная методом наименьших квадратов, имеет вид:

$$p_t = 10,374 + 0,748m2_t - 2,815y_t$$

(1,058) (9,197) (-2,356)

$$R^2 = 0,891, \hat{S} = 15,341, F = 45,114$$

Расчетные значения статистик свидетельствуют о значимости коэффициентов уравнения и всего уравнения в целом.

Таким образом, к увеличению уровня цен ведет рост денежного предложения, а к снижению уровня цен при прочих равных условиях ведет рост реального ВВП в экономике. На основании уравнения регрессии оценены частные коэффициенты эластичности ИПЦ от М2 и ВВП: $E_{p/m2} = 1,202$, $E_{p/y} = -0,486$. ИПЦ увеличится на 1,202 % при изменении М2 на 1 % и уменьшится на 0,486 % при изменении ВВП на 1 %. Построенная модель инфляции подтвердила гипотезы о сильном влиянии денежной массы М2 на уровень инфляции в стране. При проведении кросс-корреляционного анализа не было обнаружено запаздывания показателей М2 и ВВП относительно ИПЦ.

Оцененная модель «спроса» имеет следующий вид:

$$\Delta \hat{M}_t = 0,0254 + 0,0212M_{t-1} - 0,25Y_{t-1} - 0,0595E_{t-1}$$

(0,926) (2,544) (-3,305) (-1,237)

$$\hat{S} = 0,027; F = 6,687,$$

где M – логарифм реальной денежной массы (по денежному агрегату М2); ΔM – темпы роста реальной денежной массы (по денежному агрегату М2); Y – логарифм индекса промышленного производства; E – темпы укрепления номинального курса доллара США к белорусскому рублю.

На основании оценок полученного уравнения можно вычислить показатель величины монетарного разрыва в экономике Республики Беларусь, представляющий собой основной фундаментальный фактор «инфляции спроса» (рисунок 1):

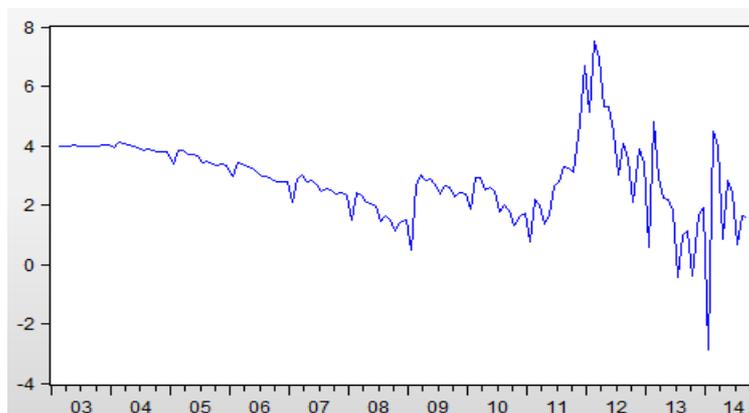


Рисунок 1 – Статистическая оценка монетарного разрыва по функции спроса на деньги для белорусской экономики (%)

Под монетарным разрывом понимают превышение фактического объема денежной массы в экономике над соответствующим естественным уровнем.

Анализируя динамику денежной массы с республике, видно (рисунок 1), что в период с 2003 по 2013 годы фактический выпуск превысил потенциальный, поскольку на протяжении этого периода монетарный разрыв находился в положительной области. Данный факт говорит о давлении на экономику со стороны спроса, возможно, приводя к инфляции. В 2014 году наблюдался отрицательный разрыв выпуска, возникающий в результате того, что фактический выпуск оказывается ниже потенциального, что привело к дефляции, то есть повышению покупательной способности местной валюты, что проявилось в снижении индекса цен.

«Фактор спроса» инфляции при этом может быть представлен как отклонение фактической инфляции от «фактора предложения» в виде долгосрочного коинтеграционного соотношения следующего вида:

$$\hat{\pi}^* = \pi + 0,929x_1 + 0,2104x_2 - 0,248x_3,$$

$$R^2 = 0,856; \hat{S} = 9,39,$$

где x_1 – номинальная начисленная среднемесячная заработная плата за последний месяц периода в процентах к соответствующему месяцу предыдущего года, x_2 – темпы роста объема платных услуг населению в сопоставимых ценах к соответствующему периоду предыдущего года, в процентах, x_3 – индекс средних долларовых цен импорта товаров, в процентах к соответствующему периоду предыдущего года. Показатели x_1, x_2, x_3 в целом отражают динамику «фактора предложения» как компоненты предельных издержек производителей.

В результате оцененная с помощью метода наименьших квадратов по месячным данным на временном интервале январь 2003 – декабрь 2012 гг. модель потребительской инфляции для белорусской экономики приобрела следующий вид:

$$\Delta\hat{\pi}_t = 98,87 + 0,642\hat{\pi}^*_{t-1} - 0,0353\Delta\pi_{t-1} - 27,363x_{4t},$$

$$\hat{S} = 2,12; F = 4,28,$$

где π^* – долгосрочное коинтеграционное соотношение («фактор спроса»), $\Delta\pi$ – месячный прирост уровня потребительской инфляции, x_4 – величина монетарного разрыва в Республике Беларусь. Следует отметить, что прирост уровня потребительской инфляции с месячным лагом $\Delta\pi_{t-1}$ рассматривается как показатель инфляционных ожиданий в экономике, которые в предлагаемой модели имеют инерционный характер и формируются адаптивным образом.

Значения t -статистики, приведенные в скобках, свидетельствуют о значимости коэффициентов уравнения, кроме двух последних факторов. Это значит, что на рост уровня потребительской инфляции оказывает существенное влияние предельные издержки производителей.

Предположительно факторы спроса и предложения дополняют друг друга при возникновении инфляционных процессов в Беларуси.

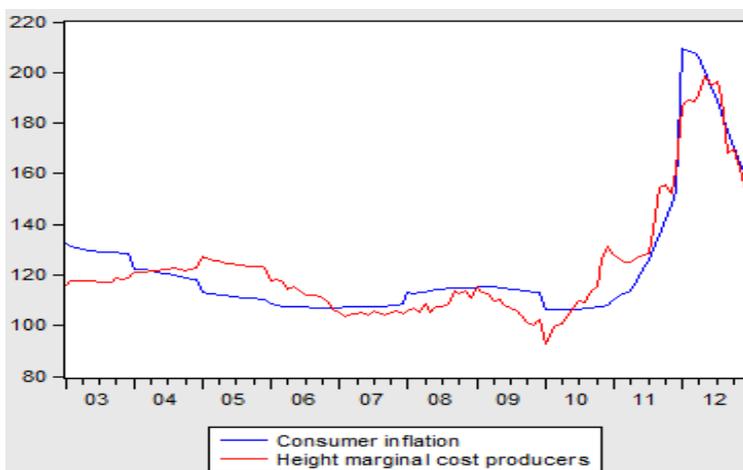


Рисунок 2 – Статистическая оценка предельных издержек производителей и потребительская инфляция в Беларуси (в % к соответствующему месяцу предыдущего года)

Так, динамика рядов потребительской инфляции и предельных издержек производителей (рисунок 2), определенных как линейная комбинация показателей средств на оплату труда, регулируемых цен и «импортируемой инфляции», определяется сонаправленностью, что в целом позволяет говорить о пригодности оценки «инфляции предложения».

Полученные результаты могут быть использованы при проведении мониторинга инфляции и ее монетарной составляющей в белорусской экономике.

Список использованных источников

- 1 Национальный банк Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://nbrb.by/publications/bulletin/>. – Дата доступа : 25.02.2015.
- 2 Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://belstat.gov.by/ssrd-mvf/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/indeks-potrebitelskih-tsen/indeksy-potrebitelskih-tsen-1990-100/. – Дата доступа : 04.03.2015.
- 3 Всемирный банк [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.worldbank.org/>. – Дата доступа : 16.02.2015.
- 4 Бородич, С. А. Вводный курс эконометрики / С. А. Бородич. – Минск : БГУ, 2000. – 254 с.
- 5 Боровников, В. Statistica: искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов : учебник / В. Боровников. – СПб. : Питер, 2003. – 530 с.

С. Ф. Маслович, А. В. Смирнов
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ОБ ОДНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИБЛИОТЕКИ NUSOAP ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕБ-ПОРТАЛА С CRM-СИСТЕМОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛНОТЕКСТОВОГО ПОИСКА SPHINX

В данном докладе пойдет речь о применении библиотеки NuSOAP а также системы полнотекстового поиска Sphinx, в разрабатываемом веб-портале на платформе CodeIgniter для взаимодействия клиентов с CRM-системой [1]. Веб-портал обеспечивает пользователя информацией продаваемых деталей, поэтому важным является высокая скорость предоставления информации, а также поддержка актуальности этой информации. Самостоятельно разрабатываемые системы поиска становятся менее эффективными решениями в виду большого количества данных и роста запросов пользователей. Поэтому актуальным является применение уже готовых систем полнотекстового поиска. Перечисленные проблемы в полной мере позволяют решить выше указанные технологии.

NuSOAP – это набор php-классов, позволяющий создавать веб-сервисы на SOAP [2]. Одним из преимуществ NuSOAP является поддержка для автоматической генерации WSDL описания, когда стандартное расширение требует ручного создания WSDL описания. Sphinx – система полнотекстового поиска [3]. Общую схему работы веб-портала, касательно обновляемой информации о деталях, выполнение и предоставление результата поискового запроса для пользователя, можно увидеть на рисунке 1.

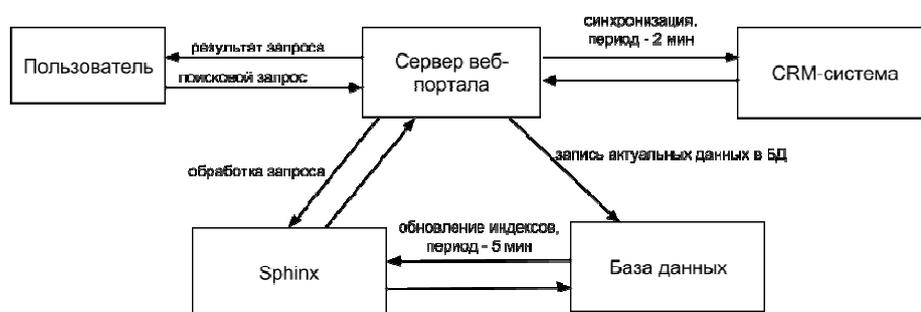


Рисунок 1 – Схема работы синхронизации и поиска

Синхронизация работает независимо от того выполняется поисковой запрос или нет. На портале стоит таймер (стандартно 120 секунд), который определяет выполнять связь с CRM для обновления данных или нет. Проверка происходит при загрузке страницы. Если время последнего

обновления, превышает заданный таймер, то соответственно происходит синхронизация и в базу данных записываются обновленные данные или изменяются, удаляются прошлые записи.

Подробнее о том, как происходит синхронизация. Все связи веб-портала и CRM-системы выполняются через внешнюю библиотеку NuSOAP. В CRM-системе зарегистрированы функции, описывающие выполнение некоторых возможностей системы, для использования их на портале. Сообщения между сервером и CRM отправляются в формате XML, это стандарт для протокола SOAP. Но в переменных передаваемых в XML-сообщениях, описан массив передаваемых данных, который в последствии используется на сервере портала в формате JSON. Автоматически генерируется WSDL для доступа к этим функциям, в частности synchronization. Данная функция просматривает список продуктов, по определенному критерию: если находятся продукты с modifiedtime большим чем время синхронизации, произведенное ранее, то эти продукты добавляются в массив, который возвращается как ответ на сервер. После все этих действий, в базе данных веб-портала обновляются или добавляются записи о деталях, указанных в полученном массиве.

После того, как данные начали поддерживаться в актуальном состоянии, появилась необходимость быстрого предоставления информации о деталях для пользователя, а именно разработать быструю систему поиска с минимальными нагрузками на систему. Для решения этого вопроса была использована система полнотекстового поиска Sphinx. Для использования библиотеки Sphinx на платформе CodeIgniter необходимо переместить файл с api для php в папку с библиотеками, и подключать как обычную библиотеку в необходимых модулях.

Для запуска сервера Sphinx, необходим конфигурационный файл, в котором описаны индексы для веб-портала, которые будут индексировать данные из базы данных для хранения информации о деталях, используемой при поиске. В проекте используется MySQL база, поэтому в конфигурационном файле текст запросов к ней написан на языке SQL. Файл конфигурации разделен на 3 индекса: pages – индексируется таблица pages_content, содержащая контент страниц; parts – индексируется таблица products, в которой хранятся номера и информация о предоставляемых продуктах; parts_delta – дельта-индекс, также, как и parts работает с таблицей products, но индексирует лишь те данные, которые были изменены с момента последней индексации, это сделано для снятия нагрузки с главного индекса и уменьшения ресурсоемкости.

Работа с проиндексированными файлами Sphinx и обработка результатов происходит на сервере портала. В одном из модулей описана функциональность, обеспечивающая соединение с сервером Sphinx и обработку полученной информации, после чего формируется ответ пользователю в виде списка партийных номеров деталей, наиболее релевантных к набранному поисковому запросу.

Таким образом, на веб-портале построена система поиска, полная индексация которой занимает 1.4 секунды, при выполнении поискового запроса – результат приходит менее чем через 0,5 секунды, что в три раза быстрее скорости работы на чистом SQL. Стоит учесть, что на данный момент на портале находится информация около 180 000 деталей, и полученные результаты говорят о том, что Sphinx является быстрой системой полнотекстового поиска, которую можно применять на проектах с большой нагрузкой.

С помощью использования библиотеки NuSOAP был создан веб-сервис для взаимодействия с CRM-системой. Данный веб-сервис не только упрощает работу клиентов с системой, но и позволяет разграничить права доступа, определяя какой пользователь, обращается к CRM-системе, также это решает вопрос безопасности передачи данных по протоколу HTTP, что также позволяет избежать шифрования транспортируемых данных, что значительно бы увеличило объем передаваемой информации и как следствие время передачи. Однако объем передаваемых сообщений все равно остается большим, так как передача идет в формате XML, а как известно этот формат сам по себе избыточный, чем больше тэгов, тем больше бесполезной информации. Пожалуй, это главный минус данной технологии.

Список использованных источников

- 1 Гринберг, П. CRM со скоростью света / П. Гринберг. – СПб. : Символ Плюс, 2007 – 528 с.
- 2 Ньюкомер, Э. Веб-сервисы: XML, WSDL, SOAP и UDDI / Э. Ньюкомер. – СПб. : Питер, 2003 – 256 с.
- 3 Документация по Sphinx Search [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sphinx-search.com/>. – Дата доступа : 28.04.2015.

В. И. Мироненко, В. В. Мироненко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

О НОВОМ МЕТОДЕ ПОИСКА ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

В работе дается новый метод поиска периодических решений периодических дифференциальных систем. Суть метода состоит в том, что для изучаемой системы строится новая дифференциальная система с известным периодическим решением, имеющая такую же отражающую функцию как и исходная система. В силу общности отражающих функций начальные данные периодических решений этих двух систем совпадают. Это дает возможность найти начальные данные периодических решений исходной системы.

Некоторые сведения из теории отражающей функции. В этом разделе мы изложим необходимые для понимания основного результата сведения из теории отражающей функции (ОФ). Более полное изложение этой теории см. в [1, 2, 3], а беглый обзор результатов этой теории и ее приложений см. на сайте <http://reflecting-function.narod.ru>

Для дифференциальной системы

$$\dot{x} = X(t, x), \quad t \in \mathbb{R}, \quad x \in D \subset \mathbb{R}^n, \quad (1)$$

с непрерывно дифференцируемой правой частью и общим решением в форме Коши $x = \varphi(t; t_0, x_0)$ ОФ $F(t, x)$ можно определить формулой $F(t, x) := \varphi(-t; t, x)$.

Справедливы следующие свойства ОФ.

Если $F(t, x)$ есть ОФ системы (1), то для любого решения $x(t)$ этой системы, определенного на симметричном интервале $(-\tau; \tau)$ верно тождество $F(t, x(t)) \equiv x(-t)$.

Если система (1) 2ω -периодична по t , то $F(-\omega, x) = \varphi(\omega; -\omega, x)$ есть отображение Пуанкаре для этой системы на периоде $[-\omega; \omega]$ (отображение за период $[-\omega; \omega]$). Поэтому продолжимое на $[-\omega; \omega]$ решение $\varphi(t; -\omega, x_0)$ системы (1) будет 2ω -периодичным тогда и только тогда, когда $F(-\omega, x_0) = x_0$. При этом характер устойчивости этого периодического решения будет совпадать с характером устойчивости неподвижной точки x_0 отображения $x \mapsto F(-\omega, x)$.

Дифференцируемая функция $F(t, x)$ будет ОФ системы (1) тогда и только тогда, когда эта функция является решением задачи Коши

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} X(t, x) + X(-t, F) = 0, \quad F(0, x) \equiv x. \quad (2)$$

Если $X(t, x) + X(-t, x) \equiv 0$, т.е. если $X(t, x)$ нечетна по t , то ОФ системы (1) задается формулой $F(t, x) \equiv x$ или ее сужением. Поэтому в этом случае все продолжимые на $[-\omega; \omega]$ решения системы (1) будут четными, а если система (1) 2ω -периодична по t , то и 2ω -периодичными.

Этот пример показывает, что различные системы вида (1) могут иметь одну и ту же ОФ. Две системы вида (1) с отражающими функциями $F_1: D \rightarrow \mathbb{R}^n$ и $F_2: D \rightarrow \mathbb{R}^n$ названы эквивалентными, если $F_1(t, x) = F_2(t, x)$ при $(t, x) \in D \cap G$.

Все системы одного класса эквивалентности, характеризуемого ОФ $F(t, x)$ можно записать в виде

$$\dot{x} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^{-1} F_t + \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^{-1} R(t, x) - R(-t, F),$$

где R есть произвольная дифференцируемая функция.

Все системы, эквивалентные системе (1) можно записать в виде

$$\dot{x} = X(t, x) + \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^{-1} R(t, x) - R(-t, F).$$

Для нас важным также будет следующее утверждение [4].

Утверждение [4]. Пусть $\Delta_i(t, x)$ есть решения следующей системы

$$\frac{\partial \Delta}{\partial t} + \frac{\partial \Delta}{\partial x} X(t, x) - \frac{\partial X}{\partial x}(t, x) \Delta = 0. \quad (3)$$

Тогда все системы вида $\dot{x} = X(t, x) + \sum_i \alpha_i(t) \Delta_i(t, x)$, где $\alpha_i(t)$ – нечетные непрерывные

скалярные функции, эквивалентные между собой и эквивалентны системе (1).

Системы, эквивалентные системам с постоянными решениями.

Пусть теперь нам известно, что система

$$\dot{y} = Y(t, y), \quad t \in R, \quad y \in D, \quad (4)$$

эквивалентна системе (1). Пусть эта система имеет постоянное решение $y(t) \equiv y_0 = const$. Тогда

$$Y(t, y_0) \equiv 0. \text{ Так как } X(t, y) = Y(t, x) + \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^{-1} R(t, x) - R(-t, F) \text{ и } F(0, x) = x, \quad \frac{\partial F}{\partial x}(0, x) \equiv E -$$

единичная матрица, то $X(0, y_0) = Y(0, y_0) + E \cdot R(0, y_0) = 0$.

Таким образом, мы приходим к выводу, что если система (1) эквивалентна некоторой системе (4) с постоянным решением $y(t) \equiv y_0$, то это значит, что соответствующее y_0 , являющееся начальным данным периодического решения $x(t)$, $x(-\omega) = y_0$, системы (1), мы можем найти из недифференциальной системы $X(0, y_0) = 0$.

Найдя одно из таких решений y_0 , мы можем представить $X(t, x)$ в виде $X(t, x) = m(t)\alpha(t) + Z(t, x)$, где $Z(t, y_0) \equiv 0$, $\alpha(t)$ – нечетная скалярная функция, $m(t)$ – некоторая дифференцируемая вектор-функция.

В дальнейшем мы будем считать $y_0 = 0$. Если это не так, то заменой x на $x + y_0$ мы придем к рассмотрению системы $\dot{x} = X(t, x + y_0)$ нужного нам вида. Таким образом, мы приходим к следующей теореме.

Теорема 1. Пусть для непрерывно дифференцируемой вектор-функции $X(t, x)$ выполнены условия:

1) $X(t, 0) = \alpha(t)m_0(t)$, где $\alpha(t)$ – непрерывная скалярная нечетная функция, а $m_0(t)$ – дифференцируемая вектор-функция;

2) существует решение $\Delta(t, x)$ задачи

$$\frac{\partial \Delta}{\partial t} + \frac{\partial \Delta}{\partial x} X(t, x) - \frac{\partial X}{\partial x}(t, x) \Delta = 0, \quad \Delta(t, 0) = m_0(t).$$

Тогда при любом ω решение $x(t)$, $x(-\omega) = 0$, системы (1) обладает свойством $x(\omega) = x(-\omega) = 0$. Это решение будет 2ω -периодическим, если система (1) 2ω -периодична по t .

Доказательство. Система (1), как уже сказано, эквивалентна системе (4), в которой $Y(t, x) = X(t, x) - \alpha(t)\Delta(t, x)$. Эта система (4) имеет нулевое решение так как $Y(t, 0) \equiv 0$. Откуда согласно теории ОФ и следует утверждение теоремы.

В качестве примера приложения этой теоремы докажем следующую теорему.

Теорема 2. Пусть для системы

$$\dot{x} = P(t)x + \alpha(t)q(t), \quad t \in R,$$

с непрерывной скалярной нечетной функцией $\alpha(t)$, дифференцируемой вектор-функцией $q(t)$ и непрерывной матрицей $P(t)$ выполняется условие

$$\dot{q}(t) + \alpha(t)q(t) = P(t)q(t). \quad (5)$$

Тогда для любого $\omega \in \mathbb{R}$ существует решение $x(t)$ системы (5) со свойством $x(\omega) = x(-\omega) = 0$. Это решение 2ω -периодично, если система (5) 2ω -периодична.

Для доказательства достаточно проверить, что $\Delta(t, x) = x + q(t)$ является решение соответствующей системы (3).

Список использованных источников

- 1 Мироненко, В. И. Отражающая функция и классификация периодических дифференциальных систем / В. И. Мироненко // Дифференциальные уравнения. – 1984. – Т. XX, № 9. – С. 1635–1638.
- 2 Мироненко, В. И. Отражающая функция и периодические решения дифференциальных уравнений / В. И. Мироненко. – Минск : Университетское, 1986. – 76 с.
- 3 Мироненко, В. И. Отражающая функция и исследование многомерных дифференциальных систем / В. И. Мироненко. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2004. – 196 с.
- 4 Мироненко, В. В. Возмущения нелинейных дифференциальных систем, не меняющие временных симметрий / В. В. Мироненко // Дифференциальные уравнения. – 2004. – Т. 40, № 10. – С. 1325–1332.

А. Р. Миротин

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ОБ ОБРАЩЕНИИ ЛИНЕЙНОЙ КОМБИНАЦИИ ЗНАЧЕНИЙ РЕЗОЛЬВЕНТЫ

В заметке решается задача обращения некоторой рациональной функции с комплексными полюсами от замкнутого оператора в банаховом пространстве. Ранее эта задача была решена в случае вещественных полюсов.

Рассмотрим рациональную функцию

$$f(z) = \sum_{j=0}^n \frac{a_j}{\lambda_j - z},$$

где $a_j > 0$, $a\lambda_j$ – произвольные попарно различные комплексные числа. Если A – замкнутый плотно определенный оператор в комплексном банаховом пространстве X , спектр $\sigma(A)$ которого не пересекается с множеством $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$, то мы положим

$$f(A) = \sum_{j=0}^n a_j R(\lambda_j, A),$$

где $R(\lambda_j, A) = (\lambda_j - A)^{-1}$ – значения резольвенты оператора A . Это определение согласуется с голоморфным функциональным исчислением замкнутых операторов в пространстве X [1], поскольку f принадлежит пространству $F(A)$ функций, голоморфных в некоторой (своей для каждой функции) окрестности множества $\sigma(A)$ и в бесконечности. Целью данной заметки является получение условий левой обратимости оператора $f(A)$ и вычисление соответствующего левого обратного.

В работе [2] с помощью функционального исчисления, построенного в [3; 4], были даны достаточные условия существования левого обратного к $f(A)$ и получена формула для его вычисления в случае, когда λ_j – действительные числа. Там же была поставлена задача обобщения этого результата на случай комплексных значений λ_j , решаемая ниже.

Для формулировки основного результата заметим, что рациональная функция $g = 1/f$ имеет в бесконечности полюс первого порядка. Следовательно, выделяя целую часть и разлагая дробную часть на простейшие дроби, мы можем ее представить в виде

$$g(z) = \alpha + \beta z + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} \frac{c_{jk}}{(t_j - z)^k}, \quad (1)$$

где t_j – все нули функции f , m_j – кратность нуля t_j .

Замечание 1. В отличие от случая, когда λ_j – действительные числа, рассмотренного в [2], нули функции f могут быть кратными. Например, так будет в случае

$$f(z) = \frac{1}{z - \lambda} + \frac{1}{z - 1} + \frac{1}{z},$$

если λ удовлетворяет условию $\lambda^2 - \lambda + 1 = 0$.

Теорема. Пусть A – замкнутый плотно определенный оператор в комплексном банаховом пространстве X , спектр $\sigma(A)$ которого не пересекается с выпуклой оболочкой $\text{conv} \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ множества $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$. Тогда левый обратный к оператору $f(A)$ существует и имеет вид

$$f(A)^{-1} = \alpha + \beta A + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} c_{jk} R(t_j, A)^k,$$

где t_j ($j = 1, \dots, m$) – все нули функции f , m_j – кратность нуля t_j и

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^n a_j \lambda_j}{(\sum_{j=1}^n a_j)^2}, \quad \beta = -\frac{1}{\sum_{j=1}^n a_j}.$$

Доказательство. С учетом формулы (1) имеем

$$\begin{aligned} \beta &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{g(x)}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{xf(x)} = -\frac{1}{\sum_{j=1}^n a_j}; \\ \alpha &= \lim_{x \rightarrow \infty} (g(x) - \beta x) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_j} \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^n a_j \left(1 + \frac{x}{\lambda_j - x}\right)}{\sum_{j=1}^n \frac{a_j}{\lambda_j - x}} \\ &= \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_j} \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^n \frac{a_j \lambda_j}{\lambda_j - x}}{\sum_{j=1}^n \frac{a_j}{\lambda_j - x}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_j} \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^n \frac{a_j \lambda_j}{\lambda_j - x} - 1}{\sum_{j=1}^n \frac{a_j}{\lambda_j - x} - 1} = \frac{\sum_{j=1}^n a_j \lambda_j}{(\sum_{j=1}^n a_j)^2}. \end{aligned}$$

Теперь покажем, что все корни уравнения $f(z) = 0$ принадлежат $\text{conv} \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$. Если допустить противное, то найдется прямая на комплексной плоскости, разделяющая $\text{conv} \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ и некоторый корень z_0 этого уравнения. Следовательно, найдется прямая, разделяющая $\text{conv} \{\lambda_1 - z_0, \lambda_2 - z_0, \dots, \lambda_n - z_0\}$ и 0. Совершая поворот $w \mapsto e^{i\varphi} z$ на подходящий угол,

получаем, что прямая $\text{Re} w = a, a > 0$ разделяет $\text{conv} \{e^{i\varphi}(\lambda_1 - z_0), e^{i\varphi}(\lambda_2 - z_0), \dots, e^{i\varphi}(\lambda_n - z_0)\}$ и 0. Ясно, что $\sum_{j=0}^n a_j/w_j = 0$ где $w_j = e^{i\varphi}(\lambda_j - z_0)$. Дробно-линейное преобразование $\zeta = 1/w$ переводит прямую $\text{Re} w = a$ в окружность, проходящую через 0 и содержащую внутри все точки $\zeta_j = 1/w_j$.

Следовательно, $\sum_{j=0}^n a_j/w_j = \sum_{j=0}^n a_j \zeta_j \neq 0$, и мы получили противоречие.

Из доказанного выше следует, что функция $g(z) = 1/f(z) = \alpha + \beta z + h(z)$, где

$$h(z) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} \frac{c_{jk}}{(t_j - z)^k}$$

(см. формулу (1)) голоморфна в окрестности спектра оператора A , а потому функция h принадлежит пространству $F(A)$. Положим по определению

$$g(A) = \alpha + \beta A + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} c_{jk} R(t_j, A)^k.$$

Заметим, что оба слагаемых в правой части очевидного равенства

$$1 = g(z)f(z) = (\alpha + \beta z)f(z) + h(z)f(z)$$

принадлежат $F(A)$. Следовательно, применяя функцию $(\alpha + \beta z)f(z) + h(z)f(z)$ к оператору A и воспользовавшись свойствами голоморфного функционального исчисления [1], будем иметь

$$(\alpha + \beta A)f(A) + h(A)f(A) = I,$$

где I – единичный оператор в пространстве X . Таким образом, $f(A)^{-1} = g(A)$, что и требовалось доказать.

Замечание 2. Легко проверяемая формула

$$a_1 R(\lambda_1, A) + a_2 R(\lambda_2, A) = (a_1 + a_2) R(\lambda_1, A) \left(\frac{a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2}{a_1 + a_2} - A \right) R(\lambda_2, A)$$

показывает, что (при условии $a_1 + a_2 \neq 0$) линейная комбинация двух значений резольвенты

$$\frac{a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2}{a_1 + a_2}$$

обратима слева тогда и только тогда, когда число $\frac{a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2}{a_1 + a_2}$ не принадлежит $\sigma(A)$. Отсюда следует, что всевозможные линейные комбинации с положительными коэффициентами двух значений резольвенты оператора A обратимы слева тогда и только тогда, когда спектр оператора не пересекается с выпуклой оболочкой $\text{conv} \{\lambda_1, \lambda_2\}$ множества $\{\lambda_1, \lambda_2\}$ (то есть с отрезком с концами в точках λ_1, λ_2). Таким образом, условие $\text{conv} \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\} \cap \sigma(A) = \emptyset$ в предыдущей теореме существенно. Но уже в случае $n = 3$ это условие, продолжая оставаться достаточным для левой обратимости оператора $f(A)$, перестает быть необходимым (например, если мы положим $a_1 = a_2 = a_3 = 1$, $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = 1$, $\lambda_3 = 3$, $A = 2I$, то $\text{conv} \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\} \cap \sigma(A) = \emptyset$, но $f(A) = \frac{1}{2}I$).

Список использованных источников

- 1 Данфорд, Н. Линейные операторы : в 2 т. / Н. Данфорд, Дж. Шварц. – М. : ИЛ, 1962. – Т. 1. Общая теория. – 895 с.
- 2 Миротин, А. Р. Обращение линейной комбинации значений резольвенты замкнутого оператора / А. Р. Миротин, А. А. Атвиновский // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – № 3. – С. 77–79.
- 3 Атвиновский, А. А. Об одном функциональном исчислении замкнутых операторов в банаховом пространстве / А. А. Атвиновский, А. Р. Миротин // Известия вузов. Математика. – 2013. – № 10. – С. 3–15.
- 4 Атвиновский, А. А. Об одном функциональном исчислении замкнутых операторов в банаховом пространстве. II / А. А. Атвиновский, А. Р. Миротин // Известия вузов. Математика. – 2015. – № 5. – С. 3–16.

В. В. Можаровский, Д. С. Кузьменков

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛОИСТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрим многослойную трубу из композитных материалов (рисунок 1). На трубу действует внутреннее давление p_0 . Необходимо определить напряжения и перемещения, возникающие в многослойной трубе. При расчете напряженно-деформированного состояния трубопроводов и систем трубопроводов из-за сложной геометрии и особенностей конструкционного строения стенок труб, а также в связи с необходимостью моделирования различных слоистых тел, наряду с аналитическими расчетами эффективно применяется и метод конечных элементов.

Напряжения и перемещения определяются аналогично [1] при условии, что $E_y = E_z$, $G_{yy} = G_{zz}$, $\nu_{zx} = \nu_{yx}$. Был разработан алгоритм и создана программа, реализующая расчет напряжений и перемещений многослойных труб из композиционных материалов. Программа реализована в среде Delphi в виде многооконного приложения, обработаны все возможные случаи ввода некорректных данных. Реализована возможность записи и чтения из файла всех вводимых характеристик. Предусмотрена возможность выбора интервала по r и количества разбиений по r . Было просчитано множество различных примеров (различные материалы, давление и т. д.). Рассмотрим один из них. $r_0 = 0.05\text{мм}$, $r_1 = 0.052\text{мм}$, $r_2 = 0.072\text{мм}$, $r_a = 0.074\text{мм}$, $\Delta T = 100\text{К}$, $p_0 = 0.1\text{ГПа}$. Названия и характеристики материалов труб приведены в таблице 1.

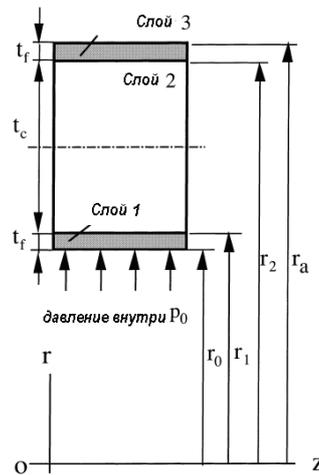


Рисунок 1 – Схема расчета многослойной трубы, где t – толщина слоя

Таблица 1 – Характеристики материалов для примера [1]

Свойства	Т 300/934	Резина	Е-стекло/эпокс.
E_x (GPa)	141,6	1,2	43,4
E_y (GPa)	10,7	1,2	15,2
G_{zz} (GPa)	3,88	0,46	6,14
ν_{yx}	0,268	0,30	0,29
ν_{zy}	0,495	0,30	0,38
α_x ($10^{-6} K^{-1}$)	0,006	110	2,32
α_y ($10^{-6} K^{-1}$)	30,04	110	35,19
ϕ	60	0	60

Ниже на рисунках 2 и 3 приведены полученные результаты для рассматриваемого примера (радиус r приведен в мм., а $\sigma_r^{(k)}$, $\sigma_\theta^{(k)}$ в МПа, аналогичные графики были построены и для $\sigma_z^{(k)}$). На основании полученных результатов можно сделать вывод, что увеличение давления пропорционально ведет к увеличению $\sigma_r^{(k)}$, $\sigma_\theta^{(k)}$, $\sigma_z^{(k)}$.



Рисунок 2 – График зависимости $\sigma_r^{(k)}$ от r

Разбиение расчетной области, производится нерегулярной сеткой, треугольными конечными элементами. Увеличение количества конечных элементов (процедура дробления) в местах концентрации напряжений позволяет достичь наибольшей точности при расчетах.

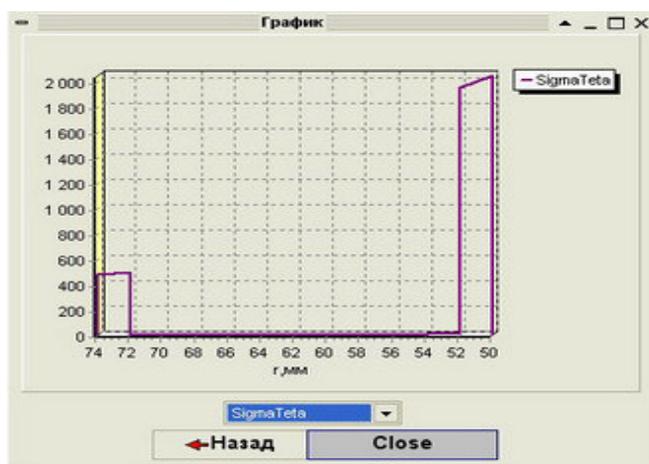


Рисунок 3 – График зависимости $\sigma_{\theta}^{(k)}$ от r

Разработанный программный комплекс позволяет свободно варьировать материалами покрытия труб и их характеристиками и показывает правдоподобные результаты. Программа не только определяет напряжения и перемещения слоистых труб, но и проверяет использованные в трубах материалы слоев (E_x , E_y , G_{zz} , ν_{yx} , ν_{yz} , α_x , α_y) на допустимость (см. формулы (1)–(2)).

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (1)$$

$$\sigma_{np} \leq \sigma_{доп}, \quad (2)$$

где $\sigma_{доп}$ – допустимое напряжение.

После расчета всех напряжений и перемещений перед выводом результатов в табличном виде выводится текстовое сообщение с информацией о том, подходит ли данный материал, исходя из допускаемого напряжения.

Разработанная программа была включена в состав разработанного ранее программного комплекса выбора труб с покрытиями для их испытания и расчета [2]. Главное окно программного комплекса приведено на рисунке 4. Данная программа позволяет производить расчет и хранение различных характеристик стальных труб ППУ (наружный диаметр изолированной трубы, отклонение осевой линии от оси оболочки, водопоглощение, прочность на сдвиг в осевом и тангенциальном направлении и т. д.) и ПИ-труб (плотность, показатель текучести расплава, термоусадка и т. д.).

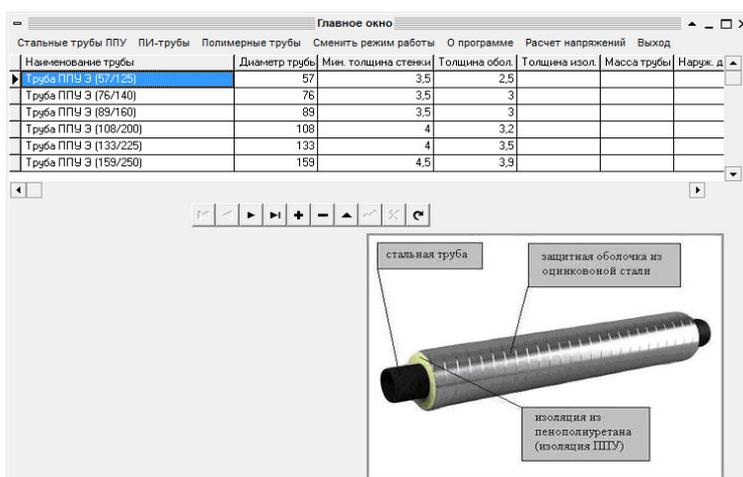


Рисунок 4 – Главное окно программного комплекса

На рисунке 5 приведена схема экспериментального исследования и результаты вычисления прочности на сдвиг для выбранной стальной трубы ППУ.

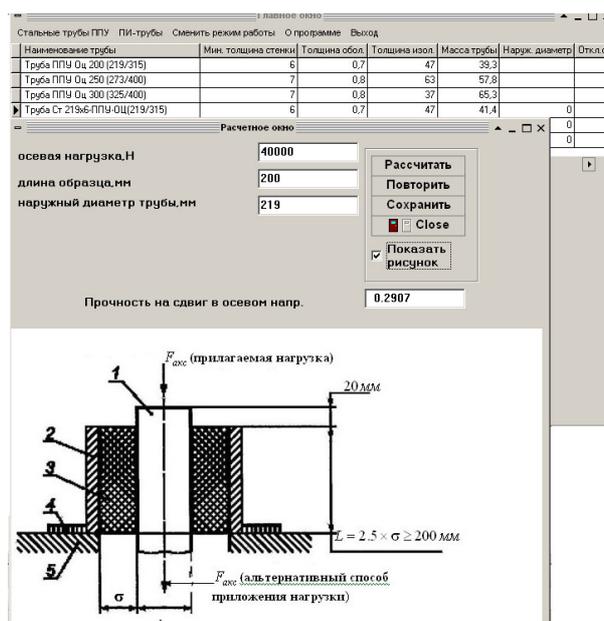


Рисунок 5 – Схема экспериментального исследования прочности на сдвиг

В программе предусмотрена возможность построения отчетов по рассчитанным характеристикам. База данных построена по технологии ADO. Приложение запускается из любого места (флешка, дискета, жесткий диск) без предварительной настройки и не требует наличие на компьютере специальных программ (Borland Delphi7, BDE Administrotor и т. д.). Также программа имеет возможность сравнения рассчитанных характеристик с ГОСТ и сделать вывод о соответствии или несоответствии трубы ГОСТ (рисунок 6).

Сравнение характеристик с ГОСТом			
Показатель	Требования	Расчет. значения	Результат
Плотность тепловой изоляции, кг/куб.м	не менее 60	61.0000	Соответствует
Прочность ППУ при сжатии, МПа	не менее 0.15	0.1600	Соответствует
Водопоглощение ППУ, %	не более 10	10.0000	Соответствует
Объемная доля закрытых пор ППУ, %	не менее 88	90.0000	Соответствует
Прочность на сдвиг в оевом напр., МПа	не менее 0.12	0.1400	Соответствует

Вывод: Соответствует ГОСТу!

Рисунок 6 – Сравнение с ГОСТ

Описанную методику и разработанный программный комплекс можно легко применить на другие трубопроводные системы, использующие новые материалы (в том числе и композиционные).

Список использованных источников

- Xia, M. Analysis of filament-wound fiber-reinforced sandwich pipe under combined internal pressure and thermomechanical loading / M. Xia, K. Kemmochi, H. Takayanagi // Comp. Structures. – 2001. – № 51. – P. 273–283.
- Можаровский, В. В. Автоматизированная методика определения характеристик материалов для труб с ППУ-ОЦМ изоляцией / В. В. Можаровский, Д. С. Кузьменков, С. В. Шилько // Вестник Черниговского государственного технологического университета. Серия технических наук. – 2012. – № 3. – С. 42–47.

В. С. Монахов
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

О НОРМАЛЬНО ВЛОЖЕННЫХ ПОДГРУППАХ КОНЕЧНЫХ ГРУПП

Adolfo Ballester-Bolinches и ShouHong Qiao [1] отвечая на вопрос из [2] описали класс X , состоящий из всех конечных групп G , в которых существует нормальная подгруппа с холловой подгруппой порядка $|B|$ для каждой $B \leq G$. Запись $H \leq G$ означает, что H – подгруппа группы G .

Теорема. [1] *Конечная группа G принадлежит X тогда и только тогда, когда G разрешима и ее нильпотентный корадикал является циклической группой свободного от квадратов порядка.*

Мы дадим короткое доказательство этой теоремы.

Лемма. *Пусть G — конечная группа, $|G| = p^a m$, p не делит m . Если $G \in X$, то существует нормальная подгруппа порядка pm .*

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Так как $G \in X$, то существует нормальная подгруппа U с силовской подгруппой порядка p . Выберем U максимального порядка. Пусть $q \in \pi(G) \setminus \{p\}$ и Q – силовская q -подгруппа из G . Тогда UQ – подгруппа с силовской подгруппой порядка p . Так как $G \in X$, то существует нормальная подгруппа V с холловой подгруппой порядка $|UQ|$. Силовская p -подгруппа в V имеет порядок p . Кроме того, $|U| \leq |UQ| \leq |V|$. По выбору подгруппы U получаем, что $|U| = |V|$. Поэтому $Q \subseteq U$. Так как q – любое, $q \neq p$, то m делит $|U|$ и $|U| = pm$.

Доказательство теоремы. Пусть $G \in X$, $|G| = p_1^{a_1} p_2^{a_2} \dots p_k^{a_k}$. По лемме группа G содержит нормальную подгруппу N_i порядка $p_i m_i$, где $m_i = |G| / p_i^{a_i}$. Фактор-группа G/N_i является p_i -группой, поэтому $G^N \subseteq \bigcap_{i=1}^k N_i = N$. Здесь G^N – нильпотентный корадикал. Подгруппа N имеет порядок свободный от квадратов. Поэтому группа G сверхразрешима. Теперь N нильпотентна, значит, N циклическая.

Обратное утверждение очевидно.

Список использованных источников

1 Ballester-Bolinches, A. On a problem posed by S. Li and J. Liu / A. Ballester-Bolinches, Qiao ShouHong // Arch. Math. – 2014. – Vol. 102. – P. 109–111.

2 Li Shirong. On Hall subnormally embedded and generalized nilpotent groups / Li Shirong, Liu Jianjun // J. Algebra. – 2013. – Vol. 388. – P. 1–9.

А. Н. Осипенко, Н. Б. Осипенко
г. Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого,
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

МЕТОД ГЕНЕРАЦИИ ГИПОТЕЗ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ РАННЕЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

В работе [1] авторы построили регрессионную модель для оценки влияния факторов генетического потенциала человека на продолжительность его жизни. В качестве исходных признаков были взяты значения психоматрицы, рассчитанные по известному алгоритму квадрата Пифагора (КП) [2]. Несмотря на имеющийся в научных кругах скепсис по поводу связи даты рождения с предрасположенностью к определенным видам деятельности, было решено проверить прогностические и интерпретационные возможности этой гипотезы на конкретном статистическом материале. Отметим, что многие практикующие психологи с успехом используют алгоритм квадрата Пифагора для экспресс-диагностики характера человека, не слишком переживая по поводу его «псевдонаучности», в частности, из-за расплывчатости терминологии и

неоднозначности интерпретации. В целом этот эвристический метод позволяет психологу настроиться на индивидуальные особенности человека и сфокусироваться (при попытке трансформации проблемных ситуаций) на их наиболее сильных и слабых сторонах.

Надо сказать, что в последние десятилетия в сфере социальных наук (психология, педагогика, социология, экономика, медицина) наметилось устойчивое расхождение во взглядах между классическими теоретиками и практиками, использующими те или иные «некорректные» эвристические методы или приемы работы. В чем видится суть проблемы? Прежде всего, в абсолютизации принципа Оккама (не порождает лишних априорных сущностей, конструируйте сложные модели из простых). Эта физикалистская парадигма науки применительно к активным (живым) системам явно не оправдывает своих ожиданий. В качестве примеров можно привести теорию эволюции Дарвина, различного рода теории социально-экономического развития, модели симптомо-ориентированного реагирования в психологии и медицине. В работе [3] по этому поводу отмечалось, что одним из перспективных направлений представляется концепция построения теории системного функционирования с существенно более богатой априорной схемой-ядром, способной развиваться в полноценное содержательное описание всей системы в результате поэтапных конкретизаций-интерпретаций и модельных экспериментов. Один из важнейших вопросов состоит в том, какова должна быть математико-лингвистическая форма для представления априорных метафизических знаний. Традиционные теоретико-множественные и динамические конструкции уже по своему построению ориентированы на описание внешних проявлений системы. Внутренние же причинно-смысловые механизмы, как правило, остаются скрытыми и судят о них только по внешним интегральным характеристикам или закономерностям.

В настоящей работе авторы опираются на постепенно вызревающую в последние полтора десятилетия парадигму мировосприятия, суть которой сводится к тому, что мир создан на структурах Сознания. У истоков этой парадигмы лежит известная работа Владимира Соловьева «Философские начала цельного знания». В ней он выстроил базовый каркас взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга фундаментальных понятий и категорий, который наряду с самой логикой вызревания этих понятий (каждое из других) вполне может послужить прототипом будущей теории единого Сознания. Таким образом, имея в своем распоряжении язык описания внутреннего мира живой системы, можно генерировать гипотезы о связи внутренней структуры с внешним проявлением.

Применительно к задаче данной статьи в роли априорных знаний использовался фрагмент разрабатываемого авторами варианта теории единого Сознания в виде двух таблиц систематизации тем деятельности человека: в таблице 1 приведены сферы деятельности, а в таблице 2 размерности 7*5 (7 уровней и 5 ипостасей) описаны сами темы по 35-ти видам рабочих деятельностей и одной управляющей (36-я тема).

Таблица 1 – Сферы деятельности и соответствующие темы

№	Наименование сферы деятельности	Соответствующая пара тем	
1	Аграрно-экологическая	1.1	4.4
2	Проектирование полезных форм	3.2	2.1
3	Гуманитарная: психолого-терапевтическая	3.5	3.3
4	Гуманитарная: духовно-религиозная	7.2	7.4
5	Гуманитарная: СМИ	6.4	2.5
6	Естественнонаучная и математическая	5.1	3.4
7	Культуры и искусств	6.5	7.5
8	Медицинская	4.3	1.2
9	Общественно-научная	4.1	5.5
10	Педагогическая	3.1	5.2
11	Социальная (досуг, игровая, развивающая) сфера услуг	1.4	4.5
12	Социально-бытовая сфера услуг	2.3	2.2
13	Техническое творчество	4.2	5.3
14	Экономическая	7.1	1.5
15	Государственно-правовая	6.1	2.4
16	Материальное производство	6.3	1.3
17	Идеологическая	5.4	6.2
18	Философская	36	7.3

В качестве исходного статистического материала для исследования послужила выборка из 1376 жителей города Гомеля, умерших с ноября 2006 г. по октябрь 2007 г. По каждому человеку брались данные в виде строки: имя, день, месяц, год рождения, день, месяц и год смерти. Для обработки данных использовался пакет «Statistica». Согласно [2], цифры в квадрате Пифагора характеризуют способности: 1 – волевой потенциал, желание управлять ситуацией; 2 – энергетический потенциал, заряженность на самореализацию; 3 – нацеленность на порядок и аккуратность, рациональность, склонность к научному объяснению событий; 4 – потенциал здоровья, выносливость и терпеливость; 5 – практическая интуиция, способность предвидеть последствия решений; 6 – заземленность, тяга к физическому труду и сотрудничеству, 7 – талант, тяга к творчеству и новизне; 8 – желание быть полезным, готовность слышать других и помогать им, обязательность и ответственность перед близкими и социумом; 9 – способность к запоминанию информации и к сложным умственным операциям.

Таблица 2 – Систематизация тем деятельности и их кодировка парой цифр КП

	1	2	3	4	5
7	1,3 Проясняющее, осознающее, восстанавливающее <i>охранение</i>	2,5 Одухотворяющее, жизнеутверждающее, оживляющее <i>рождение и развитие</i>	1,6 Целеустремленная, деятельная, воплощающая <i>намеченное воля</i>	3,4 Покровительствующая, сопровождающая, подерживающая <i>надежность</i>	8,9 Облагораживающее, совершенствующее, исправляющее <i>богатство красоты</i>
6	6,7 Ценностно-ориентированная, добропорядочная, полезная <i>мотивация</i>	5,8 Развивающее, обновляющее, генерирующее <i>новации творение</i>	4,6 Созидательный, нужный людям, производящий <i>труд</i>	1,9 Притягательная, прощающая, очищающая <i>благодать</i>	2,6 Акцентирующее, сосредоточивающее, контактирующее, <i>объединение усилий</i>
5	3,9 Стратегическое, тактическое, оперативное, <i>обдумывание</i>	2,8 Доступное, доходчивое, поясняющее на примерах <i>обучение</i>	4,8 Желающие, воображающие, действующие <i>намерения самоактуализации</i>	1,4 Направляющий, поясняющий, переваривающий <i>совет</i>	5,7 Сверхчувственный, охватывающий, опознающий <i>разум сверхсознания</i>
4	6,9 Ориентирующее, успокаивающее, мобилизующее <i>информирование по новой ситуации</i>	1,7 Изобретающее, адаптирующее, усваивающее <i>освоение перспектив внешней деятельности</i>	3,6 Благотворительная, доброжелательная, помогающая <i>поддержка</i>	4,5 Обоготворяющая, принимающая, связывающая <i>признательность</i>	4,9 Свободное от предрассудков, радующее, приятное <i>впечатление от общения</i>
3	3,8 Понятное, контекстное, улавливающее в мыслях <i>самоосознание</i>	2,3 Связующее, осмысленное, оформляющее, <i>порождение речи</i>	3,5 Понимающая, внимающая, реализующая <i>заинтересованность жизнью</i>	2,7 Дедуктивное, индуктивное, продуктивное <i>логичное мышление</i>	5,9 Осредняющая, уточняющая, воспроизводящая <i>события память жизни</i>
2	4,7 Истинный, правдивый, завещанный <i>предками родной язык</i>	6,8 Спокойное, уравновешенное, сбалансированное, <i>настроение гармоничного развития</i>	1,2 Раскрывающая душу, располагающая к взаимности, симпатизирующая <i>привлекательность</i>	2,4 Благодарное, общительное, открытое <i>принятие себя и близких</i>	7,9 Воспринимающая, реагирующая, ощущающая <i>действительность непосредственность в общении</i>
1	1,5 Сигнализирующая о близости, подающая знаки внимания, сближающая <i>просветляющая кротость</i>	5,6 Креативное, регулирующее, продвигающее, <i>эволюционное изменение жизни</i>	2,9 Пробуждающее, собранное, решительное <i>состояние бодрости</i>	3,7 Обменивающаяся по возможности, соединительная, переносящая <i>циркуляция взаимодействий</i>	7,8 Отрагательный, интегрирующий, компонирующий <i>синтез</i>

Итогом регрессионного моделирования в [1] стали уравнения анализа факторов уменьшения продолжительности жизни (*ПродЖ*): 1) для женщин в выборке с $ПродЖ \leq 55$, $N=81$, $R=0,63$:

$$ПродЖ = 52,8 - 2,0 \cdot КП1(\geq 3) - 2,7 \cdot КП2(1) - 4,2 \cdot КП3(2) - 12,0 \cdot КП5(0) - 5,0 \cdot КП6(\geq 2) - 2,0 \cdot КП7(\geq 1) - 2,1 \cdot КП8(\geq 1) - 2,0 \cdot КП9(1), \quad (1)$$

и 2) для мужчин с $ПродЖ \leq 50$, $N=170$, $R=0,41$:

$$ПродЖ = 52 - 3,3 \cdot КП1(2-3) - 1,5 \cdot КП2(0-1) - 1,3 \cdot КП3(1) - 4,4 \cdot КП5(0) - 4,5 \cdot КП6(0-1) - 2,4 \cdot КП7(\geq 2) - 5,2 \cdot КП8(\geq 1) - 2,8 \cdot КП9(\geq 1) \quad (2)$$

Заметим, что коэффициенты этих уравнений отражают условный вклад признаков (в годах) в уменьшение продолжительности жизни (*ПродЖ*). На рисунке 1 проинтерпретированы направление связи (прямая и обратная) и сила (слабая, умеренная, сильная) вклада признаков $КП0, КП1, КП2, \dots, КП9$ на целевой показатель продолжительности жизни для пяти выделенных случаев, приведенных в вертикальной шапке таблицы рисунка.

Анализируя модель для женщин с ранними смертями (1) видим, что признаки $\{ (КП1(\geq 3)) - \text{высокий волевой потенциал}, (КП5(0)) - \text{отсутствие практической интуиции и предвидения}, (КП8(\geq 1)) - \text{внушаемость и зависимость от других людей} \}$ вносят весомый вклад в раннюю смертность. Ранним смертям женщин способствуют также: слабый энергетический потенциал ($КП2(1)$), рациональность и педантичность ($КП3(2)$), существенная тяга к сотрудничеству ($КП6(\geq 2)$), творческие задатки ($КП7(\geq 1)$) и плохая память ($КП9(1)$).

Признаки: Модели:	$КП1$ Воля	$КП2$ Энергия	$КП3$ Рациональность	$КП4$ Здоровье	$КП5$ Интуиция	$КП6$ Физ. труд	$КП7$ Творчество	$КП8$ Помощь другим	$КП9$ Память	$КП0$ Доп. потенциал
женщины $ПродЖ \leq 55$	(≥ 3) ↓	(1) ↓	(2) ↓		(0) ↓	(≥ 2) ↓	(≥ 1) ↓	(≥ 1) ↓	(1) ↓	
мужчины $ПродЖ \leq 50$	$(2-3)$ ↓	$(0-1)$ ↓	(1) ↓		(0) ↓	$(0-1)$ ↓	(≥ 2) ↓	(≥ 1) ↓	(≥ 1) ↓	

Обозначения связей в ячейках таблицы рисунка

слабая: прямая \uparrow , обратная \downarrow ; умеренная (значимая): прямая $\hat{\uparrow}$, обратная $\hat{\downarrow}$; сильная (уверенная): прямая \Uparrow , обратная \Downarrow .

Рисунок 1– Направление и сила вклада признаков в изменение продолжительности жизни для двух случаев, приведенных в вертикальной шапке рисунка таблицы

У мужчин с ранними смертями картина факторов уменьшения продолжительности жизни (2) аналогична соответствующей модели у женщин (1), но при этом выраженность ролей $КП1, КП7, КП8$ повышается. Единственное отличие – это хорошая память ($КП9$).

Отметим, что опираясь на эвристические знания о смысле цифр в квадрате Пифагора, регрессионная модель позволяет сделать ряд практических выводов. Прежде всего, речь может идти о создании лучших условий для самореализации людей с творческими способностями. Без такой самореализации они (особенно люди со средним и высоким волевым потенциалом, плохим предвидением, прагматичные и с высокой внушаемостью со стороны) склонны отходить от своих основных жизненных задач, попадать в «опасные» компании и в итоге «формировать» событие смерти.

Интерпретация уравнений (1) и (2) с помощью таблиц систематизации деятельности и сфер деятельности позволяет выдвинуть более конкретные гипотезы. Опираясь на тот факт, что пары цифр с большими величинами КП (таблица 2) определяют темы деятельности с повышенной значимостью для человека, а пары цифр с малыми или нулевыми величинами – темы с заниженной значимостью, обнаруживаем следующую закономерность. Основной непосредственный вклад в формирование события смерти, как у женщин, так и мужчин, вносят сферы духовно-религиозная (темы 7.4 и 7.2) и социальная (досуг, игровая, развивающая) сфера услуг (темы 1.4 и 4.5). У мужчин к ним еще добавляются идеологическая, государственно-правовая,

общественно-научная и медицинская сферы. Причем, в каждой из них одна из взаимозависимых тем деятельности сверхзначима (темы 7.4, 1.4, 5.4, 6.1, 4.1 и 4.3), а другая (темы 7.2, 4.5, 6.2, 2.4, 5.5 и 1.2) – существенно незначима. Это главный источник внутреннего конфликта. Его «подогревают», со сверхзначимой стороны у мужчин такие сферы, как техническое творчество, философская и экономическая, а у женщин – философская и экономическая (как правило, это темы миссии человека, их сверхзначимость «тянет одеяло на себя», провоцирует негативное к себе отношение и приводит к односторонности проявления и дисбалансу всей системы качеств). Со стороны существенно незначимых сфер деятельности у мужчин сказываются: прежде всего, психолого-терапевтическая, а также естественно-научная, СМИ, культура и искусство и аграрно-экологическая сферы, а у женщин – это, прежде всего, аграрно-экологическая, а также культура и искусство и психолого-терапевтическая сферы (нереализованность этих сфер хотя бы в минимально необходимом объеме не позволяет остановить разрушительные процессы).

Таким образом, опираясь на знание внутренней структуры системы человеческой деятельности, был получен ряд нетривиальных правдоподобных гипотез, требующих для своего подтверждения отдельных социально-психологических исследований.

Список использованных источников

1 Осипенко, Н. Б. Пример «выращивания» регрессионной модели социального явления на базе критерия правдоподобности ее интерпретации / Н. Б. Осипенко, А. Н. Осипенко, К. А. Осипенко // Проблемы физики, математики и техники. – 2013. – № 4. – С. 85–88.

2 Александров, А. Ф. Даты и судьбы: Большая книга нумерологии / А. Ф. Александров. – М. : Рипол Классик, 2006. – 1088 с.

3 Осипенко, Н. Б. О человеко-машинном моделировании активных систем / Н. Б. Осипенко, А. Н. Осипенко // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2013. – № 6. – С. 62–67.

А. Б. Прусак

Ораним, Тивон, Израиль, Академический образовательный колледж

Шаанан, Хайфа, Израиль, Академический религиозный педагогический колледж

ЗАДАЧА – ОДНА, СПОСОБОВ РЕШЕНИЯ – МНОЖЕСТВО (ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ В ШКОЛЕ И ВУЗЕ)

В педагогической литературе подчеркивается, что в процессе обучения математике очень важно, чтобы учащиеся воспринимали математику как *целостную науку*, в которой все темы (разделы) взаимосвязаны, и для глубокого понимания и решения задачи учащийся должен соединить разные области математики [1]. Поиск учащимися различных способов решения одной задачи – один из путей осуществления этой цели, развивающий математическое творчество учащихся (посредством генерации идей, гибкости, новизны) [5], а также поднимающий их математическое мышление на более высокий уровень [4]. Однако обычно в учебниках математики задачи классифицированы по темам в соответствии с учебными программами, поэтому многие ученики «точно знают», к какой теме принадлежит задача, и думают, что для каждой задачи можно найти одно единственное решение.

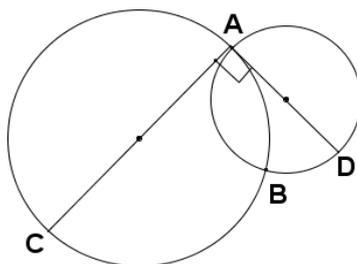
В Израиле, в соответствии с новой реформой школьного образования, это направление провозглашено в качестве центрального в школьном курсе математики. Сегодня на экзаменах на аттестат зрелости в израильских школах нет ограничений на использование математических тем при решении задач (например, задачу по теме «Стереометрия» ученик может решить с помощью векторов и т. п.). Причем, требование Министерства просвещения относится не только к старшим классам (10–12 классы), но и к средней школе (7–9 классы) (Якель и Кобб рекомендуют использовать этот подход, начиная с начальной школы [2]).

Ориентация на интегративные связи между разделами школьного курса математики призвана внести *изменения в подготовку студентов*, получающих педагогическое образование. На математических курсах, которые преподаю, отдельная завершающая тема – «Решение одной задачи разными способами». На экзаменах на математических курсах в качестве обязательного задания студент должен решить одну из предложенных задач двумя способами.

Решение математических задач разными способами развивают у ученика много важных способностей, в том числе умение предвидеть результат и искать правильный путь в запутанных условиях задачи. Учитель должен стремиться к тому, чтобы ученик, прочтя задачу и еще не производя никаких действий, научился видеть какой способ не пригоден, а какой может быть использован.

Разные способы решения одной задачи, использующие материал темы, на языке которой сформулирована задача. Идея этого подхода в том, что одна и та же задача переходит из темы в тему и «сопровождает» учащихся при изучении разных тем школьного курса математики. В каждой теме она решается с помощью математического материала (понятий, теорем, формул), относящегося к этой теме. Ниже пример такой задачи (взята из школьного учебника по геометрии для 10 класса).

Задача. Две окружности пересекаются в точках А и В так, что их диаметры АС и АD перпендикулярны (см. чертеж). Доказать: $AB^2 = CB \cdot BD$.

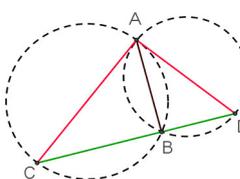


Перед учениками ставилась цель найти максимально возможное количество способов ее решения. Этот организованный поиск новых способов решения позволил повторить, применить и закрепить тему, способствовал взаимному обучению учеников, обмену и накоплению новых идей. У каждого способа есть автор, имя которого обязательно записывается на классной доске. На уроке происходит взаимное обучение учеников, обмен идеями и накопление новых идей, почерпнутых из найденных способов. Ниже в таблице 1 приведены краткие пояснения к некоторым из них с указанием темы урока, на котором этот способ может быть рассмотрен.

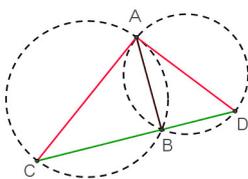
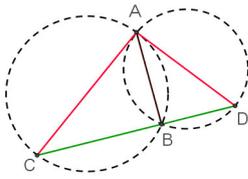
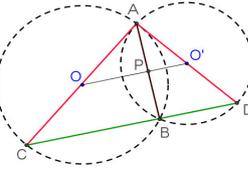
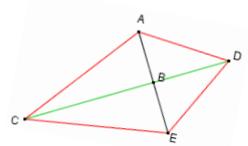
В процессе изучения геометрии учащиеся нашли более десяти различных способов решения этой задачи. (Несомненно, что кроме представленных в таблице решений, имеются и другие, не менее интересные). Студентам на курсе Евклидовой геометрии в теме «Разные способы решения одной задачи» предлагалось найти как можно больше способов решения, проанализировать и сравнить методику и специфику их преподавания. Опыт показывает, что когда ученики или студенты решают одну и ту же задачу различными способами, они глубже понимают специфику того или иного способа, его преимущества и недостатки в зависимости от содержания задачи. На уроке разные способы решения сравниваются, иногда проводим соревнование: какой способ самый красивый, новый, оригинальный, элегантный, короткий и т. п.

Решение задачи. Сначала доказывается, что три точки С, В, D лежат на одной прямой (используется теорема о вписанном угле, опирающимся на диаметр), и отсюда следует, что CD гипотенуза прямоугольного $\triangle CAD$.

Таблица 1 – Способы решения с помощью разных тем геометрии

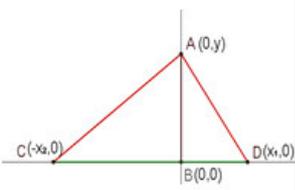
Номер способа	Тема урока	Чертеж и дополнительное построение	Идея способа и указания к решению
1	2	3	4
1	Подобные треугольники	Общая хорда АВ, отрезки СВ и BD 	1. Доказать подобие прямоугольных треугольников $\triangle ABD$ и $\triangle САВ$. 2. Записать пропорцию для соответствующих сторон, и по свойству пропорции (произведение крайних членов равно произведению средних членов пропорции) получить требуемое.

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
2	Теорема о касательной и секущей к одной окружности, выходящих из одной точки вне ее	Общая хорда AB, отрезки CB и BD 	1. Теорема о касательной и секущей к большой окружности $AD^2 = CD \cdot BD$ 2. Теорема Пифагора в $\triangle ABD$ $AB^2 + BD^2 = AD^2$ 3. Подставить 1 в 2, перенести BD^2 в правую часть равенства и вынести общий множитель BD . Заменить $CD - BD$ на CB .
3	Теорема Пифагора	Общая хорда AB, отрезки CB и BD. 	1. Записать теорему Пифагора для $\triangle ABD$ и $\triangle CBA$ и сложить почленно эти равенства. 2. В полученном равенстве заменить по теореме Пифагора для $\triangle ACD$. $AD^2 + AC^2 = CD^2$ 3. Осталось использовать алгебру: заменить $DC = CB + BD$ и раскрыть формулу квадрата суммы для $(CB + BD)^2$, а затем упростить.
4	Теорема о средней линии треугольника Теорема о высоте, проведенной к гипотенузе в прямоугольном треугольнике	Отрезок, соединяющий центры данных окружностей. Общая хорда AB, отрезки CB и BD. 	1. По теореме о высоте к гипотенузе в прямоугольном треугольнике $\triangle OAO'$ $AP^2 = OP \cdot O'P$ 2. По теореме о средней линии треугольника $OP = \frac{1}{2}CB$; $O'P = \frac{1}{2}BD$ 3. Доказать, что $AP = \frac{1}{2}AB$ 4. Подставить 2 и 3 в 1.
5	Теорема о пропорциональных отрезках, образующихся при пересечении двух хорд в круге	Построить $\triangle CED$, симметричный $\triangle CAD$ относительно отрезка CD . 	1. По теореме о пропорциональных отрезках, образующихся при пересечении двух хорд в круге, получаем $CB \cdot BD = AB \cdot BE$ 2. Поскольку $BE = AB$, остается подставить это равенство в 1 и получить требуемое.

Разные способы решения одной задачи, использующие материал из других разделов математики. Учащиеся возвращались к рассмотренной выше задаче при изучении разных тем математики, и в каждой теме способ ее решения они связывали с материалом этой конкретной темы. Ниже в таблице 2 приводятся способы решения той же задачи, в которых используются такие математические инструменты как аналитическая геометрия, тригонометрия и векторы.

Таблица 2 – Способы решения с помощью разных разделов математики

Способ	Чертеж	Указания к решению
1	2	3
аналитическая геометрия		1. Поместим $\triangle ACD$ в систему координат так, что точка B совпадет с началом координат, а ось Y пройдет через высоту AB. Обозначим координаты вершин: A (0, y), C (-x ₁ , 0), D (x ₁ , 0), B (0, 0). 2. $\triangle CAD$ прямоугольный, поэтому произведение угловых коэффициентов отрезков AC и AD равно -1, т. е. $m_{AD} \cdot m_{AC} = -1$ $m_{AD} = \frac{y}{-x_1}$; $m_{AC} = \frac{y}{x_2}$ 3. Перемножив почленно эти равенства, получим $y^2 = x_1 \cdot x_2$ Поскольку $y = AB $, $x_1 = BD $, $x_2 = BC $, получили требуемое.

Окончание таблицы 2

1	2	3
тригонометрия		<ol style="list-style-type: none"> Докажем, что $\angle ACB = \angle BAD$ В прямоугольном $\triangle ABC$ выразим $AB = CB \cdot \tan \alpha$ В прямоугольном $\triangle ABD$ выразим $AB = BD \cdot \cot \alpha$ Умножим почленно оба равенства, учтем, что $\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1$, и получим требуемое.
векторы		<ol style="list-style-type: none"> Поскольку \vec{AC} и \vec{AB} перпендикулярны, выполняется $\vec{AC} \cdot \vec{AD} = 0$ (1). В прямоугольных треугольниках $\triangle ABC$ и $\triangle ABD$ выполняется $\vec{AC} = \vec{AB} + \vec{BC}$; $\vec{AD} = \vec{AB} + \vec{BD}$ Подставив эти равенства в формулу (1), раскрыв скобки, и учитывая, что: $\vec{AB} \cdot \vec{BC} = 0$ и $\vec{AB} \cdot \vec{BD} = 0$ получим $\vec{AB} \cdot \vec{AB} + \vec{BC} \cdot \vec{BD} = 0$ Применяя определение скалярного произведения, и учитывая, что угол между равен 180°, получим требуемое.

В процессе поиска нового способа решения учащиеся определяют тему-помощник (в таблице 2 тема «Векторы») и тему-источник (в таблице 2 – «Геометрия»).

Вместо задач, «сопровождающих» учеников в разных темах, можно использовать и теоремы (например, теорему Пифагора учащиеся могут доказывать в разных классах разными способами – в соответствии с темой урока).

Роль подхода: задача – одна, способов решения – множество. Подход развивает:

– творческое математическое мышление. Учащиеся находят способы, отличные от тех, которые изучали раньше, представляют и объясняют их решения в классе, убеждают других учеников в правильности решения;

– гибкость математического мышления. Развивая это качество у учеников, *учителя сами-должны быть гибкими* [3];

– математические знания и педагогическое мастерство самого учителя: учителя сами учатся и развивают математическое творчество [4];

– методический прием, при котором решаемая многократно разными способами задача превращается и в инструмент учителя и в математический объект;

– видение *математики как единой целостной картины* – «пазеля», в котором каждая составляющая – это какой-то раздел в математике. Понимание, что каждая изучаемая тема не существует «сама для себя», а тесно переплетается с другими темами, они «используют» друг друга и помогают одна другой;

– чувства красоты в математике путем анализа способа решения и сравнения различных способов между собой по критериям;

– важные качества человека: сообразительность, настойчивость, аккуратность, умение аргументировать и убеждать в его правильности, критичность по отношению к способу, придуманному самим учеником, другими учениками или учителем, а также воображение – качество, важное для планирования работы и поиска рациональных и оптимальных решений в жизни;

– видение и понимание *значения и применения каждой изучаемой темы* как инструмента, помогающего решать задачи из других тем, и как результат – изменение представления о математике.

Это отражено в отзыве ученицы: «Я начала думать по-другому... Чему научилась? Открытости мышления и способности рассматривать, анализировать и исследовать математический объект с разных сторон. Научилась позволять мыслям течь. Я поняла, что математика – это не сборник задач, которые только ждут, чтобы я их решила. А это целый мир, мир живой и многогранный, интересный, увлекательный и открытый, где не все известно заранее. В этом мире есть место для индивидуальной мысли каждого, место для личного самовыражения и для творчества».

В заключение отметим: даже в одной задаче содержится богатый методический потенциал для развития математического мышления и творчества учащихся, и поэтому решение одной задачи разными способами должно стать неотделимой составляющей школьной программы по математике.

Список использованных источников

- 1 Borasi, R. Learning mathematics through inquiry / R. Borasi. – Portsmouth, NH : Heinemann, 1994.
- 2 Jackel, E. Socio-mathematical norms, argumentation, and autonomy in mathematics / E. Jackel, P. Cobb // Journal for Research in Mathematics Education. – 1996. – Vol. 27. – P. 458–477.
- 3 Leikin, R. Teacher flexibility in mathematical discussion / R. Leikin, S. Dinur // The Journal of Mathematical Behavior. – 2007. – Vol. 26. – P. 328–347.
- 4 Leikin, R. About four types of mathematical connections and solving problems in different ways / R. Leikin // Aleh – The (Israeli) Senior School Mathematics Journal. – 2006. – Vol. 36. – P. 8–14.
- 5 Silver, E. A. Fostering creativity through instruction rich in mathematical problem solving and problem posing / E. A. Silver // ZDM. – 1997. – Vol. 29. – P. 75–80.

Е. А. Ружицкая, Д. Н. Голубев
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

КОМПЬЮТЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПО КУРСУ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ЯЗЫКЕ ASSEMBLER»

Современный период развития общества характеризуется влиянием компьютерных технологий, которые проникают во все сферы человеческой деятельности, обеспечивают распространение информационных потоков в обществе, образуя глобальное информационное пространство. Неотъемлемой и важной частью этих процессов является компьютеризация образования. В настоящее время идет становление новой системы образования, ориентированного на вхождение в мировое информационно-образовательное пространство. Компьютерные технологии призваны стать не дополнительным «довеском» в обучении, а неотъемлемой частью целостного образовательного процесса, значительно повышающей его эффективность.

В результате научно-технического прогресса непрерывно увеличивается объем и меняется содержание знаний, умений и навыков, которыми должны владеть современные специалисты, повышаются требования к качеству их подготовки. Сложившийся к настоящему времени уровень оснащения учебных заведений компьютерной техникой позволяет достаточно широко использовать в учебном процессе достижения информационных технологий в области обучения и контроля знаний. Проведение компьютерного контроля знаний студентов является основой получения объективной независимой оценки уровня учебных достижений (знаний, интеллектуальных умений и практических навыков) студентов.

Системы компьютерного контроля знаний – это системы тестирования, позволяющие проводить анализ знаний учащихся при помощи современных информационных технологий. Полученные данные позволяют ранжировать обучаемых по уровню знаний и умений, эффективно совершенствовать задания и методы обучения. Компьютерный контроль основывается на следующих принципах: научной обоснованности используемых материалов для компьютерного контроля; объективности средств измерения и процедуры проведения контроля; секретности содержания тестов. Компьютерный контроль рекомендуется использовать в качестве: организационно-методической поддержки самостоятельной работы студентов; промежуточного контроля знаний студентов; итогового контроля.

В рамках дисциплины «Языки программирования» для студентов 1 курса специальности «Программное обеспечение информационных технологий» разработано приложение, представляющее собой систему тестирования по языку программирования Assembler. Приложение предназначено для проверки знаний студентов по основным темам курса: программная модель микропроцессора; арифметические команды; команды передачи управления, обработка векторов и матриц; логические команды; цепочечные команды; макросредства и макродирективы; прерывания; архитектура и программирование сопроцессора. При разработке программы контроля знаний ставились задачи обеспечить: оперативное внесение изменений в программное обеспечение; самоконтроль студентов без занесения информации в базу данных; проведение

контроля знаний с занесением информации в базу данных; доступ преподавателя к итогам работы одного студента или всей группы.

Каждой теме соответствует свой тест, который генерируется случайным образом, что позволяет различным пользователям работать с заранее неизвестным набором заданий. Студенту предлагается ответить на 10 вопросов (в среднем, каждая тема содержит 50 вопросов) по каждой теме. Тест считается пройденным, если студент правильно ответил на 8 из 10 предложенных вопросов. Кроме контроля знаний по темам, приложение позволяет провести итоговую проверку знаний по всему курсу для получения зачета. Для итоговой проверки отобрано 300 вопросов, из которых студенту предлагается ответить на 30 вопросов. Студент успешно освоил курс, если он смог правильно ответить на 25 вопросов из 30.

Приложение реализовано на языке C++ в среде Borland Builder. Выбор данной технологии обусловлен тем, что C++ Builder поддерживает связь с различными базами данных, в том числе и с Microsoft Office Access. Даная связь реализуется благодаря ADO (ActiveX Data Objects) – интерфейсу программирования приложений для доступа к данным. Использование Microsoft Office Access дает возможность простого редактирования, добавления и удаления данных. База данных содержит вопросы трех типов:

- первый тип – в вопросе предлагается несколько вариантов ответа, и только один из них является правильным;
- второй – вопрос содержит несколько вариантов ответов, правильными могут быть тоже несколько вариантов;
- третий тип – вопрос без вариантов ответов, пользователь должен ввести правильный ответ.

База данных разработана с возможностью хранения изображений, загружаемых и редактируемых через приложение. В приложении реализованы возможности различного уровня доступа, базового режима, доступного для тестируемых (обладает ограниченными возможностями приложения) и режима редактирования (включает большее количество возможностей, включая возможность просмотра и редактирования базы данных, просмотра нумерации вопросов и т. д.). Переход в режим редактирования реализован с помощью ввода заранее определённого пароля. Для пользователей, работающих с приложением, предусмотрена система подсказок. В приложении предусмотрена система контроля и статистики, которая включает в себя возможность сохранения имени пользователя, времени выполнения и результатов тестирования в файле.

По окончании теста производится проверка выполнения теста, выводится результат тестирования и правильные ответы, что позволяет пользователю проанализировать свои ошибки.

На рисунке 1 и 2 показана работа приложения в режиме пользователя и редактирования.

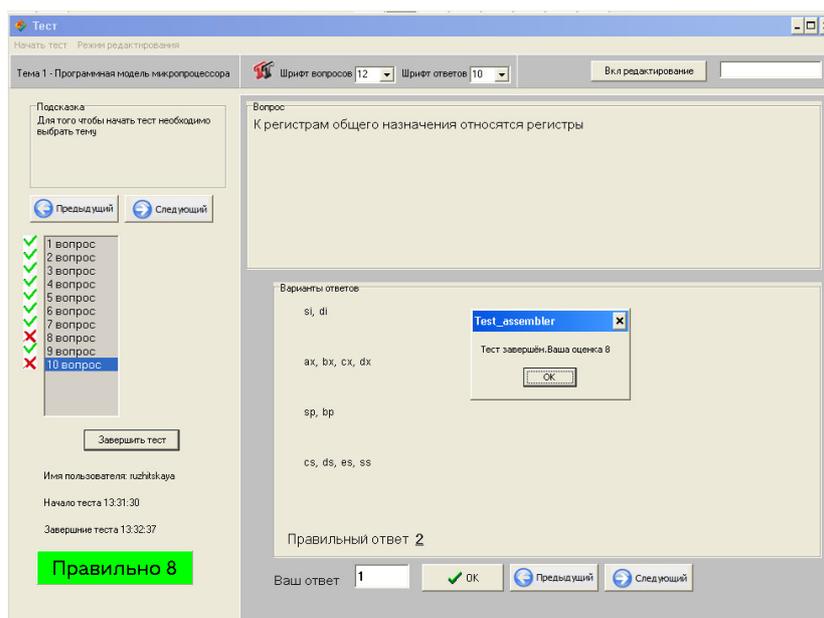


Рисунок 1 – Работа приложения в режиме пользователя

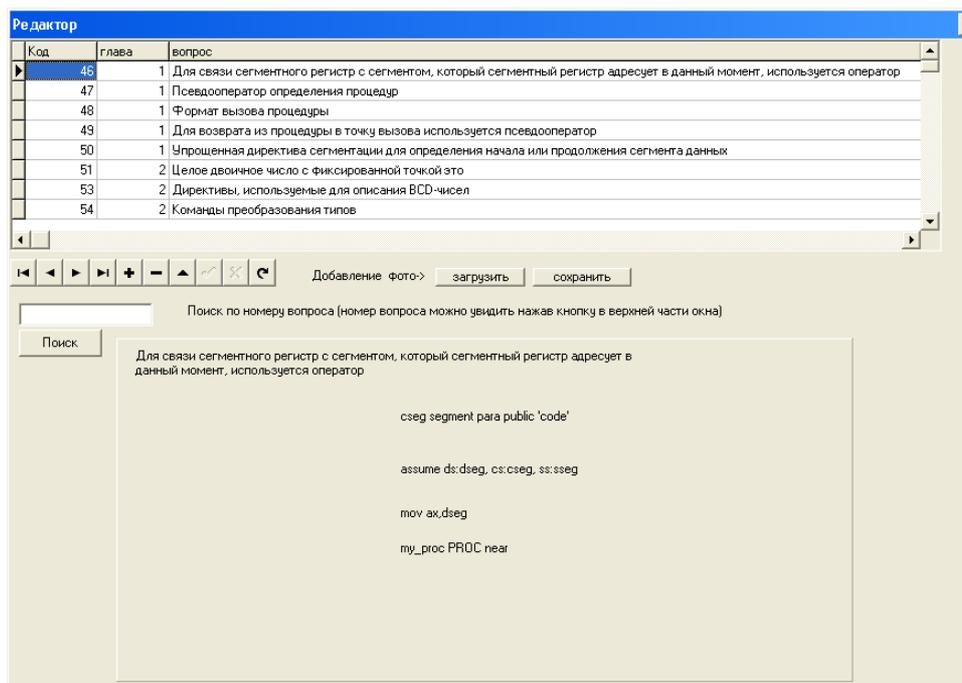


Рисунок 2 – Работа приложения в режиме редактирования

Применение новых информационных технологий в образовании, совершенствование методов подачи и контроля знаний, обеспечивает наиболее эффективное использование учебного времени, стимулируют студентов к самостоятельной работе, обеспечивают высокое качество изучаемого материала. Разработанное приложение обеспечивает весь перечень поставленных задач и имеет возможности для дальнейшей модернизации. Данная система контроля знаний прошла успешную апробацию в рамках самостоятельной управляемой работы студентов 1 курса и показала соответствие результатов поставленным задачам.

Решение проблемы качественной оценки знаний, умений и навыков студентов при компьютерном обучении и тестировании связано с правильным выбором метода организации и проведения контроля знаний в зависимости от особенности изучаемой дисциплины и уровня подготовки студентов, позволяющих получить достоверную оценку знаний, учитывая их индивидуальные способности.

М. В. Селькин
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ШКОЛА ПРОФЕССОРА Л. А. ШЕМЕТКОВА

В истории Гомельщины есть три имени ученых-математиков, получивших широкую международную известность. Первый из них – это В. П. Ермаков, родившийся в 1845 году в деревне Терюха и ставший профессором Киевского университета и членом-корреспондентом Петербургской академии наук. Второй – Л. Г. Шнирельман, родившийся в 1905 году в Гомеле и ставший заведующим кафедрой теории чисел Московского университета и членом-корреспондентом АН СССР. Третий – Л. А. Шеметков. В отличие от предшественников вся его жизнь, учеба и 50-летняя деятельность (научная, преподавательская и общественная) неразрывно связана с Гомелем.

Л. А. Шеметков родился 3 июля 1937 года в Гомеле. Член-корреспондент с 1980 г., доктор физико-математических наук (1970), профессор (1973), Заслуженный деятель науки Республики Беларусь (1995), Почетный гражданин города Гомеля (2002). Окончил с отличием Гомельский пединститут (1959). С 1962 года научный сотрудник лаборатории теории конечных групп Института математики АН БССР (Гомель), параллельно читает лекции в университете. С 1977 года постоянно работает в Гомельском государственном университете имени Ф. Скорины (в 1977–1989 проректор по учебной работе, в 1989–2000 ректор, в 2000–2013 профессор,

заведующий кафедрой алгебры и геометрии). В 1980 году избран членом-корреспондентом АН БССР, в 1994 году – действительным членом Белорусской академии образования, в 1993 году – академиком Международной академии наук высшей школы (Россия). В течение многих лет был депутатом Гомельского городского Совета народных депутатов, членом областного Комитета народного контроля, председателем Гомельского областного совета ректоров и членом президиума республиканского совета ректоров.

Как руководитель Л. А. Шеметков много сделал для развития Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. Только за десять лет, когда он был ректором, в университете было защищено 25 докторских и 125 кандидатских диссертаций, были открыты советы по защите диссертаций по пяти специальностям, открыты новые специальности и специализации, значительно укреплена учебно-материальная база. Отметим, в частности, уникальный для нашей республики «Франко-Белорусский институт управления», созданный в 1995 году совместно с университетом Клермон-Феррана (Франция). Суть этого института, в разработке и осуществлении проекта которого принимал личное участие Л. А. Шеметков, состоит в том, что лучшие студенты выполняют два учебных плана: учебный план ГГУ и учебный план университета Клермон-Феррана. Эти студенты ежегодно проходят стажировку во Франции, слушают лекции французских профессоров (на французском языке) как в Гомеле, так и в Клермон-Ферране и по окончании получают два диплома – белорусский и французский.

Л. А. Шеметков создал в Гомеле всемирно известную научную алгебраическую школу. Начиная с 1995 года, в Гомеле регулярно проводятся международные алгебраические конференции с участием математиков из ближнего и дальнего зарубежья. Прославленный немецкий математик профессор В. Гашюц из г. Килья после выхода на пенсию подарил свою научную математическую библиотеку Гомельскому университету. Это было сделано в знак признания заслуг Гомельской алгебраической школы, руководимой Л. А. Шеметковым. В Гомельской научной школе, возглавляемой Л. А. Шеметковым, подготовлено свыше 70 кандидатов и докторов наук. Благодаря этому математические кафедры многих вузов Гомеля и других городов республики укомплектованы преподавателями-математиками высшей квалификации.

Воспитанники научной школы Л. А. Шеметкова работают также в Иордании, Турции, Китае и в России. К примеру, в Брянском университете среди питомцев Гомельской научной школы – профессора В. В. Шлык и В. И. Горбачев, многие доценты. Вот почему заслуги Л. А. Шеметкова высоко оцениваются в России. В поступившей в университет правительственной телеграмме, подписанной заместителем Председателя правительства Российской Федерации, говорилось следующее: «Глубокоуважаемый Леонид Александрович! Вы, являясь крупным специалистом в области математики, внесли и вносите большой вклад в развитие образования и науки союзного государства, в укрепление и развитие дружбы и культурных связей белорусского и российского народов».

Л. А. Шеметков создал в математике новое научное направление – теорию формаций алгебраических систем. Им развиты функциональные и решеточные методы исследования формаций алгебраических систем. Он автор многих научных трудов, в том числе 3 монографий, принесших ему международную известность. Регулярно выступал с докладами в университетах и на международных конференциях в разных странах. Университетами Великобритании, Испании, Германии, Китая, Италии он не раз привлекался в качестве приглашенного профессора.

Л. А. Шеметков активно занимался подготовкой научных кадров. Среди его учеников 34 кандидата и 12 докторов физико-математических наук. С момента открытия в 1995 году Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций при Гомельском университете им. Ф. Скорины он являлся его председателем. В этом совете за время его существования защищено 10 докторских и 68 кандидатских диссертаций. В 2002 году Го Вэньбинь, китайский ученик Л. А. Шеметкова, защитил в Гомеле докторскую диссертацию и сейчас возглавляет собственную научную школу в университете науки и технологии в городе Хэфэй (Китай).

Недавно Российская академия наук выпустило книгу «Отто Юльевич Шмидт в истории России XX века и развитие его научных идей». В этой книге на 18 страницах помещен рассказ о достижениях Гомельской научной школы. Это еще одно свидетельство широкого признания и авторитета школы Л. А. Шеметкова.

Достижения Л. А. Шеметкова отмечены наградами, среди которых Орден Трудового Красного Знамени, Орден Франциска Скорины, почетные грамоты Верховного Совета БССР и Национального собрания Республики Беларусь, Орден Святого равноапостольного Великого

князя Владимира (орден русской православной церкви), медаль М.В. Остроградского (присуждена Международным математическим конгрессом в Украине).

К глубокому сожалению в 2013 году перестало биться сердце этого замечательного Человека и Учителя, но его дело продолжает жить.

В. С. Смородин

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

МЕТОД АНАЛИЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ

Объектом исследования являются технические системы из различных предметных областей, имеющие сложную природу, математические модели которых построены на основе различных способов формализации. Такие объекты исследования характеризуются тем, что содержат большое число компонентов, динамика взаимодействия которых описывается с помощью сложных алгоритмов. При этом характер поведения компонентов системы и результат их взаимодействий трудно описать с помощью аналитических моделей. В подобных случаях обычно используются так называемые имитационные модели. Это обстоятельство обусловлено тем, что размерность решаемых задач, а также невозможность формализации сложных систем в рамках аналитических методов исследований не позволяют использовать классические методы исследования операций, классические и конструктивные методы оптимизации.

Необходимо отметить, что хотя в настоящее время разработано и используется более семисот специализированных языков моделирования, обладающими удобством и быстротой программирования (GPSS, Q-GERT, GASP IV, SIMULA 67 и др.), они требуют от пользователя основательных знаний языков программирования и обеспечивают меньше возможностей по сравнению с универсальными языками программирования. С другой стороны, использование при разработке имитационных моделей проблемно-ориентированных систем и средств моделирования, которых насчитывается всего несколько десятков (DOSIMIS-3, Process Charter 1.0.2, Powersim 2.01, Extend+BRM, Arena и др.), не требует от пользователя знаний языков программирования, однако позволяют моделировать лишь относительно узкие классы сложных технических систем (СТС). Кроме того, существующие средства моделирования *обладают ограниченными возможностями моделирования систем управления*, которые являются неотъемлемой частью СТС, а также слабо ориентированы на учет «человеческого фактора» при принятии экспертных решений.

Эти и некоторые другие проблемы обусловили дальнейшее развитие нового этапа имитационного моделирования, связанного с построением гибких и универсальных систем, позволяющих имитировать результаты человеческой деятельности при принятии решений, поскольку в существующих средствах моделирования логика систем управления закладывалась либо в алгоритм имитационной модели (GPSS, SLAM II и др.), либо ограничивалась достаточно скромными средствами ее формализации (например, GPSS, DOSIMIS-3 и др.).

Анализ систем управления технологическими процессами при наличии элементов потенциальной опасности. Метод анализа систем управления (СУ) технологическими процессами производства (ТПП) с элементами потенциальной опасности состоит в поэтапном применении агрегатного способа имитации, построении имитационной модели системы управления и испытании имитационных моделей динамики управления оборудованием вероятностного технологического процесса производства, в разработке и эксплуатации типовых имитационных моделей (ИМ) систем управления.

Во-первых, предлагается правило декомпозиции СУ по уровням иерархии технологических операций ($MTXO_{ij}$) в сочетании с детальным представлением алгоритма имитации компонентов СУ после их декомпозиции на составные элементы. При этом каждому компоненту СУ соответствует свой тип агрегата, имитирующего его функции при квазипараллельном выполнении процессов в модельном времени имитации. Компоненты СУ могут быть связаны между собой по фактическим параметрам и переменным управления $\{U_k\}$.

Во-вторых, предлагается библиотека компонентов имитационной модели СУ, в состав которой входят агрегаты-имитаторы ее элементов. Для каждого компонента библиотеки задаются характеристики их конкретной структуры. При этом алгоритмы функционирования агрегатов реализуются на основе агрегатного способа имитации сложных систем.

В-третьих, предлагается способ оперативного использования компонентов ИМ с коррекцией структуры по результатам имитационных экспериментов на других ИМ. Часть параметров ИМ отображает влияние внешней среды и поведение оборудования ТПП, а другая часть отображает поведение соответствующей ветви системы управления. Каждому параметру одной ИМ могут соответствовать несколько откликов других подмоделей СУ. Поэтому после нескольких итераций имитационного эксперимента удастся добиться соответствия имитационной модели реальной системе управления.

В-четвертых, предлагается параметризовать структуру СУ, что позволяет разработчику изменять количество элементов модели в различных вариантах ее организации. Параметры имитационной модели разделены на две категории: *параметры настройки* ИМ на конкретную конфигурацию СУ и *параметры управления*, которые исследователь может менять в ходе изучения динамики функционирования оборудования ТПП.

Задавая значения первой группы параметров, конструктор СУ определяет варианты организации структуры ТПП. Варьируя параметры второй группы, исследователь ставит серию натурных экспериментов (НЭ) на готовой конфигурации СУ, что дает возможность проектирования ее рациональной структуры в условиях потенциальной опасности. Поэтому очевидна необходимость постоянного пополнения соответствующей библиотеки новыми моделями.

В-пятых, предлагается параметризовать структуру СУ, что позволяет разработчику изменять количество элементов модели в различных вариантах ее организации.

Параметры имитационной модели разделены на две категории: *параметры настройки* ИМ на конкретную конфигурацию СУ и *параметры управления*, которые исследователь может менять в ходе изучения динамики функционирования оборудования ТПП. Задавая значения первой группы параметров, конструктор СУ определяет варианты организации структуры ТПП. Варьируя параметры второй группы, исследователь ставит серию натурных экспериментов (НЭ) на готовой конфигурации СУ, что дает возможность проектирования рациональной структуры СУ в условиях потенциальной опасности. Поэтому очевидна необходимость постоянного пополнения соответствующей библиотеки ИМ новыми или модифицированными имитационными моделями СУ.

В-шестых, предлагается использовать процедуру Монте-Карло при постановке имитационных экспериментов (ИЭ) для учета того факта, что запросы элементов СУ на использование ресурсов являются комбинацией случайных и детерминированных величин. Для достижения требуемой достоверности имитации β определяется число реализаций N_M процедуры Монте-Карло. Причем, каждая l -я реализация представляет собой один ИЭ с помощью ИМ СУ ($l = 1, N_M$).

Метод реализуется в 3 стадии: проектирование технологом структуры СУ и отладка сопряжения СУ с оборудованием ТПП (стадия 1); построение ИМ СУ, которая входит в качестве составного компонента функционирования человеко-машинного комплекса управления ТПП (стадия 2); проектное моделирование рациональной структуры СУ при наличии условий потенциальной опасности (*оперативное принятие решений* системой SPRESH на этапах эксплуатации) (стадия 3).

На этапе 1 осуществляется формализация СУ технологом предприятия на основе агрегатного способа имитации для представления функций ветвей СУ и отображения связи компонентов СУ с реальным ТПП. При этом составляется матрица коммутации связей элементов СУ с аппаратурой ТПП и определяется состав устройств оборудования СУ, с помощью которого модифицируются значения компонентов множеств $\{X_l\}$ и $\{U_j\}$. Определяются также статистики и отклики ИМ СУ.

На этапе 2 разрабатываются алгоритмы компонентов ИМ СУ. При этом определяются алгоритмы синхронизаторов и исполнительных элементов ИМ. Выделяются элементы СУ, формирующие сигнальную информацию в виде векторов θ_1 и θ_2 . На этапе 3 эти алгоритмы реализуются в виде программ агрегатов и в параметризованном виде записываются в соответствующую библиотеку ИМ СУ. На этапе 4 эти программы реализуются для ЭВМ, управляющей

функционированием ТПП, и затем отлаживается динамика их взаимодействия с сопряженной аппаратурой СУ. На этапе 5 ставится серия натуральных экспериментов при взаимодействии аппаратных компонентов СУ с программами ИМ СУ. На этом шаге стадия 1 завершается. Технолог составляет технологическую схему ТПП и отображает места индикации значений управляющих переменных $\{U_j\}$ и запросов ресурсов СУ для выполнения операций управления.

На этапе 6 начинается стадия 2. Разрабатываются алгоритмы ИМ СУ. Элементы СУ заменяются агрегатами исполнительных функций $MTXO_{ij}$ или агрегатами синхронизации. Каждый тип агрегатов представляет собой сложным образом организованные схемы с универсальным алгоритмом формирования сигналов управления на основе инициализации их работы соответствующими входными сигналами. Агрегаты, имитирующие элементы синхронизации СУ, являются многополюсными, остальные типы агрегатов являются двухполюсными (с одним входным и одним выходным сигналами).

Программирование и отладка алгоритмов агрегатов осуществляется на этапе 7. Программы агрегатов-имитаторов основных элементов СУ после завершения отладки помещаются в библиотеку элементов имитационных моделей. Программы агрегатов-имитаторов являются параметризованными процедурами, что существенно сокращает объем имитационных моделей, хранящихся в библиотеке элементов моделей, и экономит объем оперативной памяти при их выполнении.

На этапе 8 осуществляется «запитка» ИМ СУ информацией, которая была получена на этапе постановки ИЭ при совместном функционировании СУ и ТПП на этапе 5.

На этапе 9 осуществляется верификация ИМ СУ. Верификация является неформальной процедурой и каждый раз должна учитывать состав и структуру системы управления. Универсальный характер типов агрегатов существенно облегчает отладку алгоритмов функционирования элементов ИМ СУ. Однако верификация имитационной модели является процедурой уникальной. Поэтому объем работ на этом этапе зависит от сложности структуры и состава СУ.

На этапе 10 осуществляется испытание вариантов ИМ СУ. Реализуется серия исследований технологических свойств ИМ и испытание вариантов имитационных моделей СУ. Этап реализуется следующей последовательностью шагов: оценка точности \mathcal{E} , оценка длины переходного периода T_{pp} , проверка «устойчивости имитации», оценка «чувствительности» откликов η_n к модификациям параметров модели, проверка адекватности ИМ реальной СУ. Если в имитационной модели на этапе 10 выявляются ошибки, то предусмотрен возврат на этап ее верификации. При повторной верификации, в случае выявления характера ошибок, возможен возврат на любой из этапов 6-8. Версия ИМ СУ, которая прошла этап испытания, помещается в библиотеку имитационных моделей. Она готова для дальнейшего использования.

На этапе 11 осуществляется l -я реализация ИМ СУ согласно процедуре Монте-Карло. Каждый ИЭ представляет собой одну реализацию процедуры Монте-Карло, в ходе которой осуществляется запись статистики имитации. На этапе 12 проверяется окончание цикла имитации N_M серий ИЭ с ИМ СУ и, по окончании этого цикла, на этапе 13 статистика обрабатывается, где и формируются усредненные значения откликов имитации.

На этапе 14 проводится комплексный анализ статистики имитации динамики управления оборудованием ТПП и изменений во времени множества переменных управления $\{U_j\}$ и, наконец, принятие решения о составе и структуре СУ. На этапе 15 проверяется, удовлетворяют ли результаты проектного моделирования СУ технолога. Если исследователь не удовлетворен результатами проектного моделирования СУ, он может вернуться на начало этапа 8 и сделать соответствующие поправки в алгоритмах компонентов СУ, повторить исследования от этапа 8 до этапа 15. На этом завершается стадия 2.

Стадия 3 начинается с этапа 16 и означает разработку человеко-машинного комплекса управления ТПП. Определяется состав переменных $\theta_1 - \theta_4$ связи комплекса управления с экспертом-технологом. Определяется состав статистик имитации, на основе которых осуществляется оперативное регулирование выполнением ТПП, означающее слежение за множеством значений переменных управления $\{U_j\}$ и своевременное переключение на резерв устройств оборудования ТПП. На этапе 17 разрабатывается структура управления с помощью программ компонентов человеко-машинного комплекса управления ТПП (*SPRESH*). На основе формализации,

выполненной на этапе 10, разрабатываются алгоритмы системы принятия решений (*SPRESH*) для этапа 18. Далее, на этапе 19, эти алгоритмы реализуются в соответствующей среде программного обеспечения на ЭВМ, для которой реализуется человеко-машинный комплекс управления ТПП.

На этапе 20 проводится комплексная отладка компонентов человеко-машинного комплекса управления ТПП в динамике их взаимодействия с аппаратурой сопряжения. На этапе 21 ставится серия натуральных экспериментов при взаимодействии реального ТПП с человеко-машинным комплексом управления ТПП. Результат этой серии экспериментов позволяет на этапе 22 осуществить проверку адекватности комплекса и принять его в эксплуатацию. На этапе 23 осуществляется принятие проектных решений по определению рациональной структуры СУ при наличии условий потенциальной опасности в динамике взаимодействия ТПП с реальной системой управления.

В работе рассмотрены проблемы дальнейшего развития нового этапа имитационного моделирования, связанного с построением гибких и универсальных систем, позволяющих имитировать результаты человеческой деятельности при принятии решений в условиях неопределенности и риска, на основе интеллектуализации проектного моделирования систем управления сложными технологическими объектами как класса сложных систем. Изложены основы метода проектного моделирования систем управления при исследовании технологических процессов производства с элементами потенциальной опасности. Предложенный подход позволяет повысить надежность и безопасность производства для существующих технологических систем за счет резервирования цепочек технологических операций при возникновении аварийных ситуаций; снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций на производстве на основе построения рациональной структуры систем управления технологическим циклом на стадии проектирования и повысить производительность технологических линий; снизить себестоимость проектного моделирования высоконадежных производственных систем.

И. Л. Сохор

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВЛИЯНИЕ КОФАКТОРОВ СУБНОРМАЛЬНЫХ ПОДГРУПП НА ИНВАРИАНТЫ КОНЕЧНОЙ РАЗРЕШИМОЙ ГРУППЫ

Рассматриваются только конечные группы. Запись $H \triangleleft\triangleleft G$ означает, что H – субнормальная подгруппа группы G , $|G : H|$ – индекс подгруппы H в группе G , $|G|$ – порядок группы G , $\pi(G)$ – множество всех простых делителей $|G|$. Кроме того, $\Phi(G)$ – подгруппа Фраттини, $r_p(G)$ – p -ранг, $r(G)$ – ранг, $l_p(G)$ – p -длина, $n(G)$ – нильпотентная длина, $d(G)$ – производная длина разрешимой группы G , а $\rho(G)$ – максимум производных длин вполне приводимых разрешимых подгрупп полной линейной группы $GL(n, p)$.

С каждой подгруппой H группы G связаны две нормальные в G подгруппы – нормальная оболочка H^G и ядро H_G . Нормальная оболочка H^G является наименьшей нормальной в G подгруппой, содержащей H , а ядро H_G – наибольшей нормальной в G подгруппой, содержащейся в H . Фактор-группа H / H_G называется кофактором подгруппы H .

В работе [1] исследовались инварианты (нильпотентная и производная длина, p -длина и ранг) разрешимой группы G в зависимости от значений числовой функции $t(G)$, которая определялась следующим образом:

$$t_p(G) = \max_{H \triangleleft\triangleleft G} \{j \mid p^j \parallel |H^G : H|\}, \quad t(G) = \max_{p \in \pi(G)} t_p(G).$$

Запись $p^m \parallel |H^G : H|$ означает, что p^m делит $|H^G : H|$, а p^{m+1} не делит $|H^G : H|$.

Естественно возникает задача изучения инвариантов конечных разрешимых групп в зависимости от канонических разложений $|H : H_G|$.

Введем следующие функции на множестве всех разрешимых групп:

$$u_p(G) = \max_{H \triangleleft G} \{j \mid p^j \parallel |H : H_G|\}, \quad u(G) = \max_{p \in \pi(G)} u_p(G).$$

Доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть G – разрешимая группа. Тогда справедливы следующие утверждения:

- 1) $r_p(G) \leq 1 + u_p(G)$ и $r(G) \leq 1 + u(G)$;
- 2) $l_p(G) \leq 1 + u_p(G)$;
- 3) $n(G) \leq d(G/\Phi(G)) \leq 1 + \rho(1 + u(G)) \leq 4 + u(G)$.

Список использованных источников

- 1 Guo, W. On indices of subnormal subgroups / W. Guo, B. Hu, V.S. Monakhov // Comm. Algebra. – 2004. – Vol. 33. – P. 855–863.

Л. В. Станишевская, Л. С. Барковская
г. Минск, БГЭУ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ПОДГОТОВКЕ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В настоящее время спектр образовательных услуг развивается и расширяет свои границы. В Республике Беларусь, как и в других государствах, растет численность иностранных студентов. Высшее образование в нашей стране стало практически интернациональным. Так, в БГЭУ в настоящее время обучается более 700 иностранных студентов из 29 стран. Доминирующими являются такие страны, как Китай и Таджикистан. И немаловажной является задача увеличения численности иностранных студентов, решением которой может быть высокий уровень подготовки специалистов в условиях инновационной образовательной среды. В век всеобщей компьютеризации, стремительного развития и внедрения информационных технологий эта задача не может быть решена без качественной математической подготовки.

С какими трудностями приходится сталкиваться преподавателям кафедры высшей математики БГЭУ при работе с иностранными студентами? Во-первых, это разный и, очень часто, очень низкий уровень подготовки иностранных студентов по математике. Во-вторых, это слабая подготовка по русскому языку. В-третьих, недостаточное количество часов для усвоения предлагаемого материала.

Несмотря на перечисленные выше проблемы, преподаватели кафедры высшей математики стараются организовать учебный процесс так, чтобы каждый студент мог реализовать свои возможности. Для этого готовятся индивидуальные задания для решения как на практических занятиях, так и на контрольных работах, учитывающие уровень подготовки иностранных студентов и имеющие экономическое приложение. Также для иностранных студентов проводятся дополнительные занятия (как практические, так и лекционные), позволяющие усвоить предлагаемый материал.

Перед преподавателями, работающими с иностранными студентами, стоят следующие задачи:

- по возможности максимально использовать экономико-математические методы при решении сложных экономических задач (определение направления экономического развития на будущее, выбор оптимального распределения ресурсов, приводящий к решению задач оптимизации и т. д.), связанных с обработкой большого объема информации;
- менять методику преподавания, если она не дает желаемого результата;
- организовывать учебный процесс так, чтобы между студентами разных национальностей была атмосфера сотрудничества, взаимопонимания и дружелюбия;
- проявлять заинтересованность в учебном процессе, создавать благоприятный психологический климат в группе.

Все это позволяет развить творческое начало у иностранных студентов и сделать из них высококвалифицированных специалистов, востребованных не только в нашей стране, но и за рубежом.

А. П. Старовойтов, А. В. Герман, Е. П. Кечко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

О НУЛЯХ АППРОКСИМАЦИЙ ЭРМИТА – ПАДЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Диагональными аппроксимациями Эрмита – Паде I типа для системы экспонент $\{e^{\lambda_p z}\}_{p=0}^k$ с произвольными различными действительными показателями $\{\lambda_p\}_{p=0}^k$ называют набор многочленов $\{A_n^p(z)\}_{p=0}^k$, степени не выше $n-1$, удовлетворяющих условиям

$$\sum_{p=0}^k A_n^p(z) e^{\lambda_p z} = O(z^{kn+n-1}), \quad z \rightarrow 0 \quad (1)$$

Такие аппроксимации введены в рассмотрение Эрмитом в связи с задачами описания алгебраической природы математических констант, в частности, для доказательства трансцендентности числа e .

В одномерном случае общая постановка задачи о нахождении многочленов, удовлетворяющих равенству (1), принадлежит Паде [1]. В многомерном случае, когда $k \geq 2$, начало интенсивного и систематического изучения аппроксимаций Эрмита – Паде I типа для произвольных систем аналитических функций связано с появлением работ К. Малера [2], [3], [4].

При $k=1$ приходим к классическим аппроксимациям Паде экспоненты. В этом случае многочлены Паде $A_n^0(z) = -p_{n-1}^1(z)$, $A_n^1(z) = q_{n-1}(z)$ находятся из условий

$$q_{n-1}(z)e^z - p_{n-1}^1(z) = O(z^{2n-1})$$

с точностью до однородной константы. Однородная константа задается условиями нормировки, которые однозначно определяют эти многочлены.

Поведение нулей многочленов Тейлора функций, связанных с экспоненциальной функцией, исследовал Г. Сеге [5]. Э. Сафф и Р. Варга [6] изучили расположение нулей аппроксимаций Паде экспоненты и нашли границы кольца, в котором находятся нули ее многочленов Паде. В частности, в диагональном случае ими доказано следующее утверждение, известное как «теорема о кольце».

Нас интересует поведение нулей многочленов $\{A_n^p(z)\}_{p=0}^k$.

Сформулируем основной результат.

Теорема. Пусть $\{\lambda_p\}_{p=0}^k$ – произвольные различные действительные числа. Тогда при $n \geq 2$, $k \geq 1$ нули многочленов $A_n^p(z)$, $0 \leq p \leq k$, лежат в круге $\{z : |z| < R_n^p\}$, где

$$R_n^p = 2(n-1/3) \left[\sum_{j=1}^p 1/|\lambda_p - \lambda_{p-j}| + \sum_{j=1}^{k-p} 1/|\lambda_{p+j} - \lambda_p| \right] \quad (2)$$

В случаях, когда $p=0$ или $p=k$, соответственно первая и вторая суммы в скобках равны нулю.

При $\lambda_p = p$, $p=0, 1, \dots, k$ и $k=1$ аппроксимации Эрмита – Паде I типа совпадают с классическими многочленами Паде $q_{n-1}(z)$, $p_{n-1}(z)$. Из теоремы следует, что все нули многочленов Паде $q_{n-1}(z)$, $p_{n-1}(z)$ лежат в круге $\{z : |z| < 2(n-1/3)\}$, что согласуется с «теоремой о кольце» Э. Саффа и Р. Варги.

Если $\lambda_p = p$, $p=0, 1, \dots, k$, и $k \geq 2$, то в качестве следствия теоремы вытекает теорема 2.2 из работы [7]: все нули многочленов $A_n^p(z)$, лежат в круге $\{z : |z| < R_p\}$, где

$$R_p = 2(n-1/3) \left[\sum_{j=1}^p 1/j + \sum_{j=1}^{k-p} 1/j \right]$$

Теорема утверждает, что нули многочленов $A_n^p(z)$ лежат в круге с центром в нуле, радиус которого R_p зависит как и от степени многочлена, так и от взаимного расположения показателей

системы экспонент $\{e^{\lambda_p z}\}_{p=0}^k$. В связи с этим представляет интерес вопрос о точности полученной в теореме верхней оценки для модуля нулей $A_n^p(z)$ в случае, когда n – фиксировано, а расстояние между соседними членами последовательности $\{\lambda_p\}_{p=0}^k$ является сколь угодно малой величиной.

Представление многочленов $A_n^p(z)$ с помощью интегралов позволяет при $n = 2, 3, 4$ найти точные значения всех нулей $A_n^p(z)$. Рассмотрим более подробно случай, когда $n = 3$.

Две бесконечно большие при $\varepsilon \rightarrow a$ неотрицательные функции $\varphi(\varepsilon)$, $\psi(\varepsilon)$ имеют одинаковый порядок ($\varphi(\varepsilon) \sim \psi(\varepsilon)$), если $\lim_{\varepsilon \rightarrow a} \varphi(\varepsilon)/\psi(\varepsilon) = A$, где $0 < A < +\infty$.

Рассмотрим систему экспонент $\{e^{\lambda_p z}\}_{p=0}^3$, где $\lambda_0 = 0$, $\lambda_1 = 1 - \varepsilon$, $\lambda_2 = 1$, $\lambda_3 = 1 + \varepsilon$, а $0 < \varepsilon < 1$. Пусть $r_j^p(\varepsilon)$ – нули многочлена $A_n^p(z)$, $r_n^p(\varepsilon) := \max\{r_j^p(\varepsilon) : j = 1, 2, \dots, n-1\}$, а $R_n^p(\varepsilon)$ – радиус соответствующего круга, который определяется равенством (2). С помощью элементарных вычислений при $\varepsilon \rightarrow 0$ получаем, что

$$r_3^p(\varepsilon) \sim R_3^p(\varepsilon) \sim \frac{1}{\varepsilon}, \text{ для } p = 1, 2, 3,$$

$$\sqrt{90} \leftarrow r_3^0(\varepsilon) < R_3^0(\varepsilon) = (16/3)(1 + 2/(1 - \varepsilon^2)).$$

При $\varepsilon \rightarrow 1$

$$r_3^p(\varepsilon) \sim R_3^p(\varepsilon) \sim \frac{1}{1 - \varepsilon}, \text{ для } p = 0, 1,$$

$$\sqrt{13} \leftarrow r_3^2(\varepsilon) < R_3^2(\varepsilon) = (16/3)(1 + 2/\varepsilon),$$

$$\sqrt{582}/4 \leftarrow r_3^3(\varepsilon) < R_3^3(\varepsilon) = (16/3)(1/(1 + \varepsilon) + 2/(2\varepsilon)).$$

Данный пример показывают, что для рассматриваемой в нём систем экспонент при $n = 1$ полученные в теореме неравенства для модулей нулей соответствующих многочленов Эрмита являются точными в смысле порядка при $\varepsilon \rightarrow 0$ ($\varepsilon \rightarrow 1$).

Список использованных источников

- 1 Pade, H. Memoire sur les developpements en fractions continues de la fonctial exponential / H. Pade // Ann. École Norm. Sup. Paris. – 1899. – Vol. 16, № 3. – P. 394–426.
- 2 Mahler, K. Zur Approximation der Exponentialfunktion und des Logarithmus, I, II / K. Mahler // J. Reine Angew. Math. – 1931. – Vol. 166. – P. 118–150.
- 3 Mahler, K. Perfect systems / K. Mahler // Comp. Math. – 1968. – Vol. 19. – P. 95–166.
- 4 Mahler, K. Applications of some formulas by Hermite to the approximation of exponentials and logarithms / K. Mahler // Math. Ann. – 1967. – Vol. 168. – P. 200–227.
- 5 Szegő, G. Über eienige Eigenschaften der Exponentialreihe / G. Szegő // Sitzungsberichte Berliner Math. Ges. – 1924. – № 23. – P. 50–64.
- 6 Saff, E. On the zeros and poles of Pade approximations to e^z , II, in «Pade and Rational Approximations: Theory and Applications» / E. Saff, R. Varga. – New York : Academic Press, 1977.
- 7 Wielonsky, F. Asymptotics of Diagonal Hermite – Padé Approximants to e^z / F. Wielonsky // J. Approx. Theory. – 1997. – Vol. 90, № 2. – P. 283–298.

Н. А. Старовойтова
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПО МАТЕМАТИКЕ КАК ИНСТРУМЕНТ АДАПТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СЛУШАТЕЛЕЙ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Опыт преподавания математики иностранным слушателям подготовительного отделения позволяет выделить ряд трудностей, с которыми они сталкиваются, обучаясь на факультете довузовской подготовки. Главные из них – слабое знание русского языка, интернациональный

состав групп, различный возрастной ценз, отсутствие языка-посредника, недостаточность адаптированных учебно-методических материалов, различная и чаще слабая школьная подготовка, новая организация учебного процесса, непривычная для иностранных учащихся.

Язык математики, по сравнению с другими науками, наиболее формализован, использует большое количество символов, знаков, формул, обозначений, являющихся стандартными или похожими для большинства языков мира. Речевые обороты, используемые в математических текстах также не очень разнообразны. Конструкции, применяемые для формулировок теорем и математических определений, в целом доступны иностранным слушателям, только начинающим обучаться на русском языке. Но, тем не менее, сложность восприятия математических текстов заключается в том, что предмет математика вводится в учебный процесс всего после двух-трёх месяцев изучения русского языка, когда словарный запас ещё скуден, нужно запоминать много новых слов и научиться слышать научный стиль речи преподавателя.

Одна из сложностей преподавания состоит в том, что за короткие сроки (менее чем за шесть месяцев) необходимо научить иностранных граждан не только восприятию и пониманию учебного материала на русском языке, но и умению конспектировать его. Очень важно при этом ликвидировать пробелы в знаниях, связанные с различием в образовательных программах разных стран и базовых школьных знаний учащихся.

Основными задачами изучения дисциплины «Математика» на подготовительном отделении для иностранных граждан являются: усвоение слушателями основных математических символов, терминов, понятий и определений; умение записывать математический текст с помощью математических символов; ликвидация пробелов в школьных знаниях слушателей; овладение навыками и приемами решения задач; свободное ориентирование в научной устной и письменной речи. Весь курс обучения математике на довузовском этапе обучения можно разделить на два этапа обучения: начальный этап, который характеризуется овладением математической лексикой на русском языке, актуализацией имеющихся знаний и их «переводом» на русский язык; продвинутый этап, который характеризуется достижением уровня владения математической лексикой на русском языке достаточным для дальнейшего повторения, углубления и систематизации знаний по математике, полученных на родине, а также приведением имеющихся знаний в соответствие требованиям, предъявляемым к знаниям абитуриентов конкретного белорусского вуза.

В сложившихся на сегодняшний день условиях, когда на подготовительное отделение иностранные граждане поступают в течение нескольких месяцев, вплоть до декабря, назрела необходимость организации оптимального краткосрочного обучения слушателей математике. За относительно небольшое количество учебных часов обучить иностранных граждан математике на русском языке, актуализировать уже имеющиеся знания и восполнить пробелы трудно без привлечения средств наглядности в виде компьютерных технологий. Одной из наиболее удачных форм использования компьютерных технологий является презентация, позволяющая добиться максимального учебного эффекта. Ее применение удобно на всех этапах занятия: актуализация знаний, сопровождение объяснения нового материала, первичное закрепление знаний, обеспечение наглядности излагаемого материала.

Трудности формирования необходимых компетенций иностранных слушателей при изучении математики связаны с плохим слуховым восприятием специальной информации. Насколько бы доступно ни был изложен материал преподавателем, эффективность усвоения резко падает, если возникают трудности с пониманием русского языка. Понимая, что зрительное восприятие информации бывает развито лучше, чем слуховое, можно использовать авторские презентации занятий, позволяющие как увеличить скорость подачи материала, так и улучшить понимание иностранными слушателями самой учебной дисциплины. Для усвоения нового материала слушателям раздаются предварительно составленные и адаптированные преподавателем тексты, отражающие содержание занятий, которые обучаемые сначала прорабатывают на занятиях, а затем получают в качестве задания на дом. Работа над текстом в аудитории может осуществляться с использованием презентаций, которые являются своего рода мини-конспектами занятий. С одной стороны, они позволяют повысить скорость прочтения и осмысливания материала за счёт яркого визуального ряда, использования различных видов шрифта, выделения впервые встречающихся терминов, определения в нем смысловых единиц, понятий и отношений, ключевых слов. С другой стороны, направлены на формирование у слушателей умения выделять главное, записывать краткий конспект с помощью математической символики, демонстрируют правильность составления конспекта учебного материала. Структурирование

текста на известные и неизвестные для обучающихся понятия, установление взаимосвязей между ними, использование таблиц, схем, алгоритмических блоков, снимают напряжение и страх перед объемом новой специальной информации на русском языке. Примером может служить элемент слайда, представленный в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Элемент слайда

Действие (операция)	Знак	Что делать?	Результат
Сложение	+ плюс	сложить	сумма
Вычитание	– минус	вычесть	разность
Умножение	· (×) умножить	умножить	произведение
Деление	: (/) разделить	разделить	частное

Одной из особенностей обучения иностранных слушателей математике является необходимость правильного формирования математического языка, то есть овладение математической терминологией. Поэтому на каждом занятии математики учащиеся обучаются всем видам речевой деятельности: аудированию, чтению, письму и говорению. При работе над математическим текстом у слушателей часто возникают трудности в понимании при использовании многозначных слов (например: разделить, делится), значения которых отличаются от бытового языка («делиться радостью»). Отдельно обращается внимание на возможность использования нескольких терминов в русском языке для обозначения одного и того же математического понятия. Например: действие = операция, интервал = промежуток; функция = зависимость; переменная = аргумент; кривая = график функции = линия; модуль = абсолютная величина. Словарную работу над текстом облегчает использование презентации, которая позволяет оперативно и неоднократно обращаться к нужному математическому термину или многозначному слову. Такая работа помогает иностранным слушателям лучше понять все тонкости языка и подготовиться к восприятию не только шаблонных выражений, но и не адаптированной речи, с которой им придется столкнуться на лекциях после поступления на первый курс высшего учебного заведения.

Недостаточно хорошее усвоение фактического материала иностранными слушателями обусловлено постоянно уменьшающимся количеством аудиторных часов, отводимых на дисциплину, и высоким и интенсивным темпом обучения (требования рабочей программы дисциплины), а также отсутствием у некоторых слушателей необходимых базовых знаний по дисциплине, которые позволили бы им успешно овладевать новой информацией на неродном языке. Грамотное использование информационных технологий позволяет не только сократить время на освоение материала, но и повысить глубину и прочность знаний, а также мотивацию приобретения новых знаний и умений на русском языке. При изучении математики иностранными гражданами важным являются умение трансформировать текстовую информацию в модельную форму, то есть в графики и формулы, и наоборот – переводить в текстовую форму информацию, заданную в модельном виде. Приобретению данных умений способствуют устные упражнения, использование которых затруднительно и малоэффективно без презентаций, дающих возможность оперативно предъявлять задания и корректировать результаты их выполнения.

В заключение отметим, что использование презентаций в учебном процессе делает сотрудничество преподавателя с иностранными слушателями более плодотворным, но на первоначальном этапе работы требует от преподавателя значительных затрат времени и усилий при подготовке к занятиям. Презентация гарантирует непрерывную связь в отношениях «учитель – ученик» и позволяет ускорить процесс адаптации иностранных граждан к условиям иной языковой среды и улучшить их подготовку к учебе на русском языке в избранном вузе.

Е. И. Сукач
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ

Исследования показывают, что определение стратегии надежной работы СУ ТПП, функционирующей в условиях влияния большого числа разнообразных факторов, влияющих как на

работу самой СУ, так и на реализацию ТПП, – сложный и трудоемкий процесс, требующий рассмотрения множества возможных интерпретаций, сравнений и сопоставлений, конечные результаты которого могут иметь достаточно приблизительный характер. С одной стороны необходимо обеспечить устойчивое безотказное функционирование СУ, с другой стороны, работа СУ должна обеспечивать генерацию и исполнение команд, позволяющих регулировать и упреждать возникновение опасных ситуаций в ходе реализации ТПП, включающего элементы потенциальной опасности. Такая стратегия может быть сформирована только в результате гармоничного объединения процесса планирования работы СУ и процесса прогнозирования изменений надежности ТПП в ходе многократного его повторения.

В статье предлагается один из подходов к решению поставленной задачи в виде методики анализа надежности СУ ТПП с элементами потенциальной опасности и средств ее автоматизации, представляющих собой систему вероятностно-алгебраического моделирования PALS [1], предметно-ориентированную на выявление вероятностных предельных значений надежности/безопасности структурных элементов СУ ТПП, исключающих аварии и обеспечивающих их надежное/безопасное функционирование как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации.

Методика проектного моделирования СУ ТПП. В ходе проектирования СУ ТПП с элементами потенциальной опасности оценивается надежность/безопасность их функционирования как объектов, которые включают в качестве элементов оборудование, надежность работы которого может иметь изменяющиеся во времени вероятностные характеристики надежности. СУ ТПП представляется как многоуровневая конструкция из взаимодействующих элементов (потенциально опасных элементов), объединяемых в подсистемы различных уровней иерархии. При формализации все элементы СУ описываются однотипным образом: выделяются состояния объектов (элементов/системы); задаются векторы вероятностей этих состояний:

$$P^{it} = (p_0^{it}, p_1^{it}, \dots, p_n^{it}), \sum_{j=0}^n p_j^{it} = 1, i = \overline{1, m}, t = \overline{1, T} \quad (1)$$

Связи между устройствами оборудования, обеспечивающие передачу актуальной управляющей информации, определяют структурную организацию СУ ТПП. Итогом процесса формализации СУ ТПП является графовая структура, описывающая h -ый вариант организации объекта исследования с выделением потенциально опасных элементов и их взаимосвязей на выбранном уровне детализации. Результат моделирования h -го варианта вероятностно-алгебраической модели представляется в виде изменяющегося во времени вектора вероятностей надежности СУ ТПП:

$$P^{st} = (p_0^{st}, p_1^{st}, \dots, p_n^{st}), \sum_{j=0}^n p_j^{st} = 1, t = \overline{1, T} \quad (2)$$

Методика заключается в поэтапном использовании одной из схем формализации [2] и последующей автоматизации создания и эксплуатации вероятностно-алгебраических моделей СУ ТПП. Первый этап направлен на формализацию СУ ТПП и проверку ее структурной сложности, позволяющей определить метод ее исследования. Для этого используются встроенные средства анализа в составе системы вероятностно-алгебраического моделирования PALS. Второй этап заключается в использовании одной из параметризованных моделей для создания моделей проектируемых СУ ТПП. Для СУ ТПП простой структурной организации выбирается модель, не имеющая ограничений на число элементов и их состояний. Для СУ ТПП с элементами структурно-сложной организации используется модель, реализующая методику сведения к совокупности бинарных моделей. Для СУ ТПП большой размерности реализуется расчетный метод вероятностно-алгебраического моделирования, базирующийся на представлении исследуемого объекта в виде структуры n -полюсника и последующего вероятностно-алгебраического умножения его подструктур. Следующий этап методики предполагает эксплуатацию готовой вероятностно-алгебраической модели СУ ТПП, результативность проведения которой гарантируется наличием встроенных средств расчета сопутствующих статистических характеристик, визуализации результатов моделирования и применения процедур выбора решений.

Методика реализации адаптивного вероятностно-алгебраического моделирования ТПП с элементами потенциальной опасности. Конечной целью работы СУ является фиксирование и анализ происходящих изменений в процессе реализации ТПП и своевременная реализация управляющих воздействий, позволяющих исключить возможность возникновения опасных ситуаций в ходе реализации технологического цикла, обеспечивающая надежность выполнения

последовательности технологических операций (ТХО) в приемлемых границах изменения их рабочих параметров. В этом случае параметризованные вероятностно-алгебраические модели ТПП служат основным звеном, позволяющим выбрать направление и состав корректирующих воздействий, определяющих ход технологического процесса производства. Модели позволяют рассмотреть объект на разных уровнях детализации, определив состав элементов и указав семантику состояний этих элементов.

Методика реализации вероятностно-алгебраического моделирования ТПП, как основного элемента СУ, генерирующей управляющие воздействия на основе предварительного расчета вероятностных характеристик надежности/безопасности реализации ТПП реализуется последовательностью следующих этапов.

Этап 1. Формирование статистической информации об отказах выполнения ТХО на очередном временном интервале. В ходе многократной реализации цикла ТПП на очередном временном интервале из множества $\{\Delta t_i, i = \overline{1, n}\}$, в совокупности покрывающих временной интервал T , учитываются изменения, происходящие с элементами технологического процесса (ТХО). Информация об отказах при выполнении ТХО, поступающая с приборов индикации, с использованием устройств сопряжения СУ фиксируется в информационной базе данных (БД) системы моделирования и представляет собой исходные данные для расчёта начальных параметров моделирования.

Этап 2. Классификация отказов выполнения ТХО. В процессе анализа статистической информации, поступившей в БД, выделяются опасные отказы, приводящие к авариям и чрезвычайным ситуациям на уровне всей системы, и отказы, когда возможно проведение профилактических ремонтных работ по восстановлению надежности выполнения ТХО путем ремонта технологического оборудования, использования резервного оборудования, восполнения запасов материалов и комплектующих, необходимых для выполнения ТХО. Согласно выделенным типам отказов множество всех состояний ТХО разбивается на следующие группы: состояния надежного выполнения ТХО $\{S_n\}$; состояния выполнения ТХО, обусловленные простыми отказами $\{S_o\}$; аварийные состояния выполнения ТХО $\{S_a\}$.

Этап 3. Расчет текущих параметров моделирования ТПП. По имеющимся статистическим данным рассчитываются вероятности состояний надежности реализации ТХО в виде векторов (1) для текущего временного интервала Δt_i , а именно: состояний надежного выполнения ТХО; состояний, характеризующихся отказами в ходе выполнения ТХО; состояний, отражающих возникновение опасных отказов в процессе выполнения ТХО.

Этап 4. Реализация i -ой итерации вероятностно-алгебраического моделирования. Параметры моделирования в виде векторов вида (1) поступают на вход параметризованной модели ТПП, структурно отражающей последовательность выполнения ТХО. Для заданных параметров моделирования реализуется i -ый цикл моделирования, результатом которого являются вектора вида (2), которые вместе с исходными параметрами i -ой итерации моделирования поступают в БД системы моделирования и анализируются блоком управления динамикой моделирования.

Этап 5. Анализ результатов i -ой итерации вероятностно-алгебраического моделирования ТПП. В результате анализа наиболее вероятных состояний надежности выполнения ТХО и реализации технологического цикла в целом устанавливаются значения признаков аварийности для всех ТХО $\alpha_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ и ТПП в целом α_s . Значение признака $\alpha_{ij} = 0$ определяет надежное выполнение ТХО _{j} на временном интервале Δt_i . При $\alpha_{ij} = 1$ выполнение ТХО _{j} сопровождается простыми отказами и возможно восстановление надежности выполнения ТХО _{j} путем реализации операций замены или упреждающего перехода на одну из схем одиночного или группового резервирования, обновления состава оборудования, изменения параметров выполнения ТХО _{j} . При $\alpha_{ij} = 2$ считается, что велика вероятность возникновения опасной аварии при выполнении ТХО _{j} , имеющей разрушительные последствия на уровне всей системы.

На основе полученных значений признаков α_{ij} аварийности выполнения последовательности ТХО _{j} для очередного временного интервала Δt_i определяется признак аварийности всего ТПП α_s , на основе которого делаются выводы о возможности реализации ТПП на следующем интервале Δt_{i+1} в установленном режиме либо о необходимости генерации управляющих воздействий.

С учетом эвристических правил, установленных экспертом-технологом для исследуемого ТПП в блоке управления динамикой моделирования, в процессе анализа результатов моделирования для Δt_i интервала моделирования ТПП формируется набор корректирующих мер, определяющих те управляющие воздействия, которые обеспечат последующее надежное функционирование ТПП и позволят предупредить возникновение аварий в процессе выполнения циклов производственного процесса на следующем временном интервале Δt_{i+1} . Корректирующие меры включают три вида воздействий: обновление/изменение параметров выполнения ТХО; переход к одному из вариантов резервирования ТХО (частичное изменение структурной организации ТСП); изменение структурной организации ТПП.

В том случае, если значение признака аварийности $\alpha_{ij} \neq 0$ в соответствии с правилами моделирования принимаются решения по модификации структурной организации ТПП и корректировке нагрузки. При аварийном выполнении ТХО ($\alpha_{ij} = 2$) по функции распределения разыгрывается время (t_v), необходимое для проведения работ по ликвидации последствий отказов и аварий, возникших в ходе выполнения ТХО_j и направленных на восстановление надежности/безопасности выполнения ТХО_j, определяющее число итераций моделирования, на которых соответствующий элемент модели исключается из ее структурного состава, таким образом приводя в соответствие организацию ТПП с полученными оценками надежности выполнения ТХО и ТПП в целом. В случае признака аварийности $\alpha_{ij} = 1$, корректируются параметры элемента модели, описывающей выполнение ТХО_j. Если удастся описать процесс изменения надежности реализации ТХО_j Марковской моделью, корректирующее воздействие может означать, например, переход к описанию процесса изменения надёжности выполнения ТХО_j моделью с восстановлением. При $\alpha_s = 2$ генерируются возможные варианты модификации всего ТПП, среди которых выбирается лучший с учетом установленного критерия сопоставления.

Этап 6. Реализация адаптивного вероятностно-алгебраического моделирования вариантов модификации ТПП. Оценки вероятностно-алгебраического моделирования ТПП на очередной i -ой итерации представляют собой исходную информацию для генерации блоком управления системы моделирования вариантов модификации ТПП, включающих изменение параметров выполнения отдельных ТХО и модификацию структурной организации всего ТПП с учетом установленного типа отказа. Для каждого из вариантов модификации ТПП реализуются модельные эксперименты, исходные параметры (1) и результаты (2) которых поступают в БД моделирования и анализируются в соответствии с заданным критерием надежности/безопасности. По результатам анализа выбирается оптимальный вариант модификации ТПП.

Этап 7. Реализация оптимального варианта модификации ТПП. С использованием устройств синхронизации СУ реализуются изменения параметров и структурной организации в самом объекте моделирования. Выполнение ТПП на временном интервале Δt_{i+1} реализуется с учетом внесенных изменений (обновления технологического оборудования, использования схем резервирования, выполнения ТХО в режиме профилактического ремонта оборудования, изменения структуры ТПП и др.) которые обеспечат надежность выполнения отдельных ТХО и безопасность реализации ТПП. Для обновленного варианта организации ТПП реализуется переход на этап 1.

Предложенная методика обеспечивает объективный подход при анализе надежности СУ ТПП и оценке вероятности наступления опасного состояния в ходе ее работы в перспективном периоде с учетом ее адаптации и возможности моделирования прогнозных вариантов модификации ТПП с элементами потенциальной опасности.

Список использованных источников

- 1 Сукач, Е. И. Компьютерная система вероятностно-алгебраического моделирования сложных систем со многими состояниями / Е. И. Сукач, А. Б. Демуськов, Д. В. Ратобильская // Математические машины и системы. – 2011. – № 3. – С. 32–39.
- 2 Сукач, Е. И. Способ формализации объектов графовой структуры с вероятностными параметрами функционирования / Е. И. Сукач, Д. В. Ратобильская, Ю. В. Жердецкий, Г. А. Мальцева // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2012. – № 5. – С. 195–202.

А. А. Трофимук
г. Брест, БрГУ им. А. С. Пушкина

КОНЕЧНЫЕ РАЗРЕШИМЫЕ ГРУППЫ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА СИЛОВСКИЕ ПОДГРУППЫ ИЗ ПОДГРУППЫ ФИТТИНГА

Рассматриваются только конечные группы. Все обозначения и используемые определения соответствуют [1; 2].

На строение разрешимой группы существенное влияние оказывает ее подгруппа Фиттинга. Хорошо известен результат Бэра [2, с. 720]:

если в разрешимой группе G существует цепочка подгрупп

$$\Phi(G) = G_0 \subset G_1 \subset \dots \subset G_{m-1} \subset G_m = F(G) \quad (1)$$

такая, что G_i нормальна в G и $|G_{i+1}/G_i|$ является простым числом для всех i , то G сверхразрешима.

Напомним, что *бициклической* называют группу, являющуюся произведением двух циклических подгрупп.

Развитию результата Бэра посвящена работа [3], в которой исследованы разрешимые группы G , у которых силовские подгруппы в факторах цепочки вида (1) являются бициклическими. В частности, производная длина фактор-группы $G/\Phi(G)$ не превышает 5, нильпотентная длина группы G не превышает 4.

В работе [4] замечено, что для оценки производной длины разрешимой группы достаточно рассматривать порядки силовских подгрупп только ее подгруппы Фиттинга. Доказано следующее утверждение:

пусть G – разрешимая непримарная группа и $F(G)$ – ее подгруппа Фиттинга. Если силовские подгруппы в $F(G)$ бициклические, то производная длина группы G не превышает 6.

В. С. Монахов [5] ввел понятие нормального ранга p -группы P следующим образом:

$$r_n(P) = \max_{X \triangleleft P} \log_p |X/\Phi(X)|.$$

Здесь $\Phi(X)$ – подгруппа Фраттини группы X . Из теоремы Бернсайда о базисе [2, теорема III.3.15] следует, что нормальный ранг $r_n(P)$ есть наименьшее натуральное число k такое, что любая нормальная подгруппа p -группы P порождается не более, чем k элементами.

Очевидно, что p -группа P имеет нормальный ранг равный 1 тогда и только тогда, когда P циклическая. Из теоремы III.11.5 [2] следует, что нормальный ранг примарной бициклической группы нечетного порядка ≤ 2 . Однако, обратное неверно. Так экстраспециальная группа S порядка 27 имеет $r_n(S) = 2$, но S не является бициклической. Кроме того из [2, теорема III.7.6, теорема III.12.4, теорема III.12.5.] следует, что всякая 2-группа нормального ранга ≤ 2 является бициклической. Однако, существуют бициклические 2-группы, которые имеют нормальный ранг ≤ 3 . Так в статье Хупперта [6] построена бициклическая группа порядка 2^5

$$G = \langle a, b, c \mid a^2 = b^8 = c^2 = 1, [a, b] = c, [b, c] = b^4, [a, c] = 1 \rangle,$$

у которой $r_n(G) = 3$.

В. С. Монаховым в [5] были исследованы разрешимые группы с силовскими подгруппами P нормального ранга $r_n(P) \leq 2$. В частности, доказано следующее утверждение:

если G – разрешимая группа с силовскими подгруппами нормального ранга ≤ 2 , то нильпотентная длина группы G не превышает 4.

Для формулировки основного результата введем следующее обозначение:

$$r_n(F) = \max_{p \in \pi(F)} r_n(F_p).$$

Здесь F – подгруппа Фиттинга группы G , F_p – силовская p -подгруппа группы F для $p \in \pi(F)$.

Поэтому возникает вполне естественная задача: получить оценки производной и нильпотентной длины разрешимой группы, у которой $r_n(F)$ не превышает 2. Доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть G – разрешимая группа и $r_n(F) \leq 2$. Тогда нильпотентная длина группы G не превышает 4, а производная длина группы G не превышает 6. В частности, если:

1) группа G A_4 -свободна, то нильпотентная длина группы G не превышает 3, а производная длина группы G не превышает 4;

2) группа G имеет нечетный порядок, то G метанильпотентна, а производная длина группы G не превышает 3.

Напомним, что группа G называется A_4 -свободной, если она не содержит секций изоморфных знакопеременной группе A_4 .

Пример 1. Пусть S – экстраспециальная группа порядка 27. Вычисления в системе GAP [7] показали, что ее группой автоморфизмов является группа $[E_{3^2}]GL(2,3)$. Полупрямое произведение $G = [S]GL(2,3)$ является группой порядка $1296 = 2^4 3^4$ с подгруппой Фиттинга $F = S$ порядка 27 и $r_n(F) = 2$. Производная длина G равна 6, а нильпотентная длина равна 4. Данный пример показывает, что оценки производной и нильпотентной длины, полученные в теореме в общем случае, являются точными.

Пример 2. Пусть A – экстраспециальная группа порядка 125. В системе GAP построено полупрямое произведение $G = [A]S_3$ порядка $750 = 5^3 \cdot 3 \cdot 2$ с подгруппой Фиттинга F совпадающей с A и $r_n(F) = 2$. Здесь S_3 – симметрическая группа степени 3. Производная длина G равна 4, а нильпотентная длина равна 3. Данный пример показывает, что оценки производной и нильпотентной длины, полученные в теореме в случае A_4 -свободности группы, являются точными.

Пример 3. Зафиксируем простые числа $p = 5$ и $q = 3$. Тогда показатель числа 5 по модулю 3 равен 2, и существует группа Шмидта $G = [P]Q$ такая, что P неабелева порядка 5^3 , а Q – циклическая подгруппа порядка 3. Причем подгруппа Фиттинга F совпадает с P и $r_n(F) = 2$. Так как P неабелева, то $Z(P) = P' = \Phi(P)$. Из свойств групп Шмидта следует, что $G' = P$. Таким образом, $((G'))' = (P')' = Z(P)' = 1$ и $d(G) = 3$. Очевидно, что $n(G) = 2$. Данный пример показывает, что оценки производной и нильпотентной длины, полученные в теореме для групп нечетного порядка, являются точными.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Ф15PM-025).

Список использованных источников

- 1 Монахов, В. С. Введение в теорию конечных групп и их классов / В. С. Монахов. – Минск : Высшая школа, 2006.
- 2 Huppert, B. Endliche Gruppen I / B. Huppert. – Berlin : Heidelberg, 1967.
- 3 Трофимук, А. А. Конечные группы с бициклическими силовскими подгруппами в фиттинговых факторах / А. А. Трофимук // Труды Института математики и механики УрО РАН. – 2013. – № 3. – С. 304–307.
- 4 Трофимук, А. А. Производная длина конечных групп с ограничениями на силовские подгруппы / А. А. Трофимук // Математические заметки. – 2010. – Т. 87, № 2. – С. 287–293.
- 5 Монахов, В. С. О разрешимых конечных группах с силовскими подгруппами малого ранга / В. С. Монахов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 2. – С. 25–28.
- 6 Huppert, B. Über das Produkt von paarweise vertauschbaren zyklischen Gruppen / B. Huppert // Math. Z. – 1953. – Vol. 58. – P. 243–264.
- 7 GAP (2014) Groups, Algorithms, and Programming, Version 4.7.6. www.gap-system.org.

Д. А. Ходанович
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВЛИЯНИЕ ИНДЕКСОВ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОДГРУПП НА p -РАЗРЕШИМОСТЬ КОНЕЧНОЙ ГРУППЫ

Рассматриваются только конечные группы.

Пусть p – простое число. Группа называется p -замкнутой, если ее силовская p -подгруппа нормальна, и p -нильпотентной, если в группе имеется нормальное дополнение к силовской p -подгруппе. Через $O_p(G)$ обозначается наибольшая нормальная p -подгруппа группы G . Группой Шмидта называют нильпотентную группу, у которой все собственные подгруппы нильпотентны. Из теоремы Фробениуса о нормальных дополнениях к силовским подгруппам вытекает, что группа, в которой все собственные подгруппы p -нильпотентны либо сама p -нильпотентна, либо является p -замкнутой группой Шмидта [1, теорема IV.5.4].

В 1954 году Б. Хупперт установил сверхразрешимость группы, у которой индексы максимальных подгрупп простые числа [2]. В этой же работе он поставил вопрос о разрешимости группы, у которой индексы максимальных подгрупп являются простыми числами или квадратами простых чисел. Положительный ответ на этот вопрос получил Ф. Холл [1, теорема VI.9.4]. Детальное изучение конечных групп с такими индексами максимальных подгрупп осуществлено в работах [3; 4; 5]. Вполне естественно возникает задача изучения строения конечной группы, у которой максимальные подгруппы либо p -нильпотентны (в частности, нильпотентны), либо имеют своим индексом простое число или квадрат простого числа.

В этом направлении доказана

Теорема. Пусть p – наибольший простой делитель порядка конечной группы G и $p > 3$. Если в группе G индекс каждой не p -нильпотентной максимальной подгруппы есть простое число или квадрат простого числа, то фактор-группа $G/O_p(G)$ p -нильпотентна.

Следствие 1. Пусть p – наибольший простой делитель порядка конечной группы G . Если в группе G индекс каждой не p -нильпотентной максимальной подгруппы есть простое число или квадрат простого числа, то группа G p -разрешима и $l_p(G) \leq 2$.

Здесь $l_p(G)$ – p -длина группы G .

Следствие 2 [6, теорема 4.1]. Если в группе G индекс каждой не p -нильпотентной максимальной подгруппы есть простое число либо квадрат простого числа, то группа G разрешима и $G \in \mathbf{NN}_2\mathbf{U}$.

Здесь \mathbf{N} и \mathbf{U} – классы всех нильпотентных и сверхразрешимых групп, \mathbf{N}_2 – класс всех 2-групп, а $\mathbf{NN}_2\mathbf{U}$ – их формационное произведение.

Следствие 3 [7, теорема 1.2]. Если в группе G индекс каждой не p -нильпотентной максимальной подгруппы есть простое число, то группа G разрешима и либо группа G метаболева, либо G p -нильпотентна и q -замкнута для некоторых простых p и q .

Пример. В теореме при $p=3$ фактор-группа $G/O_p(G)$ может быть не 3-нильпотентной. Примером служит симметрическая группа S_4 степени 4.

Список использованных источников

- 1 Huppert, B. Endliche Gruppen I / B. Huppert. – Berlin : Springer, 1967.
- 2 Huppert, B. Normalteiler und maximale Untergruppen endlicher Gruppen / B. Huppert // Math. Zeitschr. – 1954. – Vol. 60. – P. 409–434.
- 3 Каморников, С. Ф. К теореме Ф. Холла / С. Ф. Каморников // Вопросы алгебры. – 1990. – Вып. 5. – С. 45–52.
- 4 Монахов, В. С. О максимальных и силовских подгруппах конечных разрешимых групп / В. С. Монахов, Е. Е. Грибовская // Математические заметки. – 2001. – Т. 70, № 4. – С. 603–612.
- 5 Монахов, В. С. О разрешимых нормальных подгруппах конечных групп / В. С. Монахов, М. В. Селькин, Е. Е. Грибовская // Украинский математический журнал. – 2002. – Т. 54, № 7. – С. 940–950.
- 6 Ходанович, Д. А. О p -разрешимости конечной группы с ограниченными индексами нильпотентных максимальных подгрупп / Д. А. Ходанович // Вестник ПГУ. Серия С – «Фундаментальные науки». – 2005. – № 4. – С. 18–22.
- 7 Lu, J. Finite groups with non-nilpotent maximal subgroups / J. Lu, L. Pang, X. Zhong // Monatsh. math. – 2013. – Vol. 171. – P. 425–431.

И. К. Чирик

г. Гомель, Гомельский инженерный институт МЧС РБ

О РАЗРЕШИМОСТИ КОНЕЧНОЙ ФАКТОРИЗУЕМОЙ ГРУППЫ С KP^2 -СУБНОРМАЛЬНЫМИ СОМНОЖИТЕЛЯМИ

В. С. Монахов [1, теорема 2] без использования классификации конечных простых групп доказал разрешимость конечной группы $G = AB$, при условии, что подгруппы A и B разрешимы и $|G:A| = p$ или p^2 , $|G:B| = q$ или q^2 , где p и q – простые числа. Эта теорема получила развитие в работах А. Ф. Васильева, Т. И. Васильевой, В. Н. Тютянова, В. Н. Княгиной и В. С. Монахова [2; 3; 4].

Пусть \mathbb{N} и \mathbb{P} – множества всех натуральных и простых чисел соответственно. Зафиксируем $t \in \mathbb{N}$ и обозначим

$$\mathbb{P}^t = \{p^k \mid p \in \mathbb{P}, k \leq t, k \in \{0\} \cup \mathbb{N}\}$$

Подгруппа H группы G называется KP^t -субнормальной подгруппой, если $H = G$ или существует цепочка подгрупп

$$H = H_0 \subseteq H_1 \subseteq \dots \subseteq H_n = G$$

такая, что для каждого i подгруппа H_{i-1} нормальна в H_i или $|H_i : H_{i-1}| \in \mathbb{P}^t$. Если в этой цепочке $|H_i : H_{i-1}| \in \mathbb{P}^t$ для всех i , то подгруппа H называется \mathbb{P}^t -субнормальной в группе G . При $t = 1$ эти определения предложены в [2; 4].

Без использования классификации конечных простых групп доказана следующая теорема, поглощающая [2, теорема 4.2; 3, теорема 1 (1); 4, теорема 5.2].

Теорема. Пусть A и B – KP^2 -субнормальные подгруппы группы G и $G = AB$. Если A и B разрешимы, то G разрешима.

Пример. Простая неабелева группа $PSL_2(7)$ является произведением KP^3 -субнормальной разрешимой подгруппы индекса 2^3 и KP -субнормальной разрешимой подгруппы S_4 индекса 7. Поэтому условие KP^2 -субнормальности нельзя заменить KP^3 -субнормальностью.

Список использованных источников

1 Монахов, В. С. Факторизуемые группы с разрешимыми факторами нечетных индексов / В. С. Монахов // Исследование нормального и подгруппового строения конечных групп. – Минск : Наука и техника, 1984. – С. 105–111.

2 Васильев, А. Ф. О произведениях \mathbb{P} -субнормальных подгрупп в конечных группах / А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева, В. Н. Тютянов // Сибирский математический журнал. – 2012. – Т. 53, № 1. – С. 59–67.

3 Княгина, В. Н. Конечные факторизуемые группы с разрешимыми \mathbb{P}^2 -субнормальными подгруппами / В. Н. Княгина, В. С. Монахов // Сибирский математический журнал. – 2013. – Т. 54, № 1. – С. 77–85.

4 Васильев, А. Ф. О KP -субнормальных подгруппах конечных группах / А. Ф. Васильев, Т. И. Васильева, В. Н. Тютянов // Математические заметки. – 2014. – Т. 95, № 4. – С. 517–528.

Д. П. Ющенко, В. Е. Евдокимович

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

г. Гомель, БелГУТ

О МНОГОЗНАЧНЫХ ПОТЕНЦИАЛАХ ДЛЯ ОБОБЩЕННОЙ СИСТЕМЫ НАВЬЕ-СТОКСА

Микрополярная (асимметрическая) гидромеханика изучает жидкие среды, в которых тензор напряжений является несимметричным. Необходимость их исследования стимулируется, с одной стороны, желанием уточнить пределы применимости классической гидродинамики,

а с другой стороны, потребностью объяснить известные экспериментальные данные и разработать соответствующую теорию. Достаточно полную информацию по гидромеханике микрополярных жидких сред можно почерпнуть в обзоре Э. Л. Аэро и А. Н. Булыгина [1]. Некоторым общим математическим вопросам таких сред посвящены работы М. Д. Мартыненко, Диммиан Мурада Фадл Алла [2; 3; 4] (построение матрицы фундаментальных решений линейной стационарной системы, вывод первой формулы Грина и исследование единственности решений основных граничных задач, вывод второй формулы Грина и интегральное представление гладких решений этой системы). Продолжением этой темы является настоящая работа.

Обобщенная однородная система Навье-Стокса, описывающая стационарное движение вязких, микрополярных, несжимающихся жидкостей, имеет вид

$$\begin{cases} (\mu + \alpha)\Delta v + 2\alpha \operatorname{rot} \omega - \operatorname{grad} p = 0, \\ (v + \beta)\Delta \omega + (\varepsilon + \nu - \beta) \operatorname{grad} \operatorname{div} \omega + 2\alpha \operatorname{rot} v - 4\alpha \omega = 0, \\ \operatorname{div} v = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $v = (v_1, v_2, v_3)$ – линейная скорость течения жидкости, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ – угловая скорость, p – давление, $\alpha, \beta, \mu, \nu, \varepsilon$ – постоянные, характеризующие жидкую среду, удовлетворяющие условиям $\mu > 0, 3\lambda + 2\mu > 0, \alpha > 0, \varepsilon > 0, 3\varepsilon + 2\nu > 0, \beta > 0$.

При решении краевых задач уравнений (1) в областях, ограниченных достаточно гладкими незамкнутыми поверхностями с гладким замкнутым краем удобно применять многозначные решения этих уравнений.

Возьмем m экземпляров обычных пространств \mathbf{R}^3 , в которых задана поверхность σ с простым замкнутым краем γ . Обозначим через σ_j^+ и σ_j^- стороны поверхности σ в j -ом экземпляре. Затем склеиваем все экземпляры так, как это делается в теории римановых поверхностей. Эта склейка осуществляется отождествлением σ_j^+ с σ_{j+1}^- и σ_m^+ с σ_1^- . Полученное риманово пространство обозначим через \mathfrak{R} .

Матрицей фундаментальных решений системы (1) в римановом пространстве \mathfrak{R} с линией ветвления γ называется матрица $\Phi(x, y)$ [7], удовлетворяющей условиям:

1. Элементы матрицы $\Phi(x, y)$ определены во всем пространстве \mathfrak{R} , за исключением точки $x = y$, причем в окрестности этой точки $\Phi(x, y)$ представима в виде

$$\Phi(x, y) = V(x, y) + \Psi(x - y),$$

где $\Psi(x - y)$ – классическая матрица фундаментальных решений [2] системы (1), $V(x, y)$ – матрица регулярных решений.

2. Столбцы матрицы $\Phi(x, y)$ удовлетворяют уравнениям (1) в пространстве \mathfrak{R} , за исключением точки $x = y$ и линии ветвления γ , причем в окрестности γ они ограничены, а первые производные при приближении x к γ растут не быстрее, чем $\rho^{-\alpha}$ ($0 < \alpha < 1$), где ρ – расстояние от точки x до линии γ .

3. Каждый столбец матрицы $\Phi(x, y)$ на бесконечности в листе \mathfrak{R}_j ведет себя как соответствующий столбец матрицы $\Psi(x - y)$.

Доказательство существования матрицы фундаментальных решений $\Phi(x, y)$ сводится к построению решений с заданными особенностями как в фиксированной, так и в бесконечно удаленной точках, а также к построению решения с заданным поведением на линии ветвления γ . Отмеченные задачи решаются с помощью метода Шварца и схемы А. С. Диксона.

Доказываются следующие свойства матрицы $\Phi(x, y)$:

Свойство 1. Условия 1–3 определяют матрицу $\Phi(x, y)$ единственным образом.

Свойство 2. Матрица $\Phi(x, y)$ в пространстве \mathfrak{R} удовлетворяет равенству $\Phi(x, y) = \Phi'(y, x)$, здесь и ниже штрих обозначает транспонирование матрицы.

Свойство 3. Имеет место равенство $\sum_{j=1}^m \Phi(x^{(j)}, y) = \Psi(x - y)$, где $x^{(j)}$ – точка, которая находится в том же месте, что и точка x , только на листе $\mathfrak{R}_j, j = 1, 2, \dots, m$.

Свойство 4. В окрестности линии ветвления матрица фундаментальных решений в m – листном римановом пространстве может вести себя как $\rho^{\frac{1}{m}}$ или как степень этой величины, где ρ – расстояние от точки до линии ветвления γ .

Рассмотрим многозначные потенциалы $K^+(\varphi), K^-(\varphi)$ задаваемые формулами

$$K^{\pm}(\varphi)(x) = \int_{\sigma} [B_y(\partial, n) \Phi(y_{\pm}, x)]' \varphi^{\pm}(y) d_y \sigma, \quad (2)$$

где $B_y(\partial, n)$ – матричный дифференциальный оператор размера 6×6 , полученный путем отбрасывания седьмой строки и седьмого столбца в соответствующем операторе напряжений микрополярной гидродинамики [4], $\Phi(x, y)$ – матрица размера 6×6 , полученная из матрицы фундаментальных решений $\Phi(x, y)$ системы (1) в двулистном римановом пространстве \mathfrak{R} путем отбрасывания седьмой строки и седьмого столбца; $\sigma = \sigma^+ \cup \sigma^-$, $\varphi^{\pm}(y) = (\varphi_1^{\pm}(y) \cdots, \varphi_6^{\pm}(y))$.

Теорема 1. Если σ – поверхность с краем класса $L_1(\alpha), 0 < \alpha < 1$ и $\varphi \in L_p(\sigma, \rho^{\alpha}), p > 1$, весовая функция $\rho(y)$ – расстояние от точки до края γ , тогда интегралы (2) существуют почти для всех $x \in \sigma$, операторы $K^{\pm} : L_p(\sigma, \rho^{\alpha}) \rightarrow L_p(\sigma, \rho^{\alpha})$ являются ограниченными.

Теорема 2. Если σ – поверхность с краем класса $L_1(\alpha)$ и $\varphi \in L_2(\sigma, \rho^{\alpha}) \cap C^{0, \beta}(\sigma_0), 0 < \beta < \alpha$, где σ_0 – часть σ , ограниченная гладкой кривой и не имеющая общих точек с γ , то потенциалы непрерывно продолжимы в каждой внутренней точке поверхности и граничные значения по направлению и против нормали вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} [K^+(\varphi)(z)]_{\mathfrak{R}_1(\mathfrak{R}_2)}^{+(-)} &= -(+)\varphi^+(z) + \int_{\sigma} [B_y(\partial, n) \Phi(y_+, z_+)]' \varphi^+(y) d_y \sigma, \\ [K^+(\varphi)(z)]_{\mathfrak{R}_1}^- &= [K^+(\varphi)(z)]_{\mathfrak{R}_2}^+ = \int_{\sigma} [B_y(\partial, n) \Phi(y_+, z_-)]' \varphi^+(y) d_y \sigma, \\ [K^-(\varphi)(z)]_{\mathfrak{R}_1(\mathfrak{R}_2)}^{+(-)} &= +(-)\varphi^-(z) + \int_{\sigma} [B_y(\partial, n) \Phi(y_-, z_-)]' \varphi^-(y) d_y \sigma, \\ [K^-(\varphi)(z)]_{\mathfrak{R}_1}^+ &= [K^-(\varphi)(z)]_{\mathfrak{R}_2}^- = \int_{\sigma} [B_y(\partial, n) \Phi(y_-, z_+)]' \varphi^-(y) d_y \sigma. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь, например, $[K^+(\varphi)(z)]_{\mathfrak{R}_1}^-$ обозначает предельное значение $K^+(\varphi)(z)$ при подходе точки x к поверхности σ из листа \mathfrak{R}_1 по направлению отрицательной нормали. Запись со скобками означает, что надо рассматривать выражения отдельно для знаков стоящих без скобок и для знаков стоящих в скобках. Аналогично понимаются и другие знаки.

Доказательство теоремы 1 основывается на результатах работы [5] и вида матрицы $B_y(\partial, n) \Phi(y_{\pm}, x)$ в окрестности $x = y$. Вторая и четвертая формулы из (3) вытекают из того факта, что в этих случаях ядра интегральных операторов $K^{\pm}(\varphi)$ непрерывны, первая и третья формулы выводятся непосредственно, учитывая вид сингулярности ядра $B_y(\partial, n) \Phi(y_{\pm}, x)$ и применяя рассуждения вывода аналогичных формул для подобного потенциала механики сплошной среды [6].

Список использованных источников

- 1 Аэро, Э. Л. Гидромеханика жидких кристаллов / Э. Л. Аэро, А. Н. Булыгин // Итоги науки и техники. – М. : ВИНТИ АН СССР, 1973. – Т. 7. Гидромеханика. – С. 106–213.
- 2 Мартыненко, М. Д. Сингулярные решения стационарной линеаризованной задачи Навье-Стокса для микрополярных вязких жидких сред / М. Д. Мартыненко, Д. Мурад // Инженерно-физический журнал. – 1994. – Т. 66, № 3. – С. 286–290.
- 3 Мартыненко, М. Д. Пространственные линеаризованные стационарные задачи для микрополярных вязких жидких сред / М. Д. Мартыненко, Д. Мурад // Инженерно-физический журнал. – 1994. – Т. 67, № 4. – С. 234–238.
- 4 Мартыненко, М. Д. Гидродинамические потенциалы для микрополярной задачи Навье-Стокса / М. Д. Мартыненко, Д. Мурад // Инженерно-физический журнал. – 1995. – Т. 68, № 2. – С. 283–284.
- 5 Гегелия, Т. Г. О свойствах многомерных сингулярных интегралов в пространстве $L_\rho(S, \rho)$ / Т. Г. Гегелия // Доклады АН СССР. – 1962. – Т. 139, № 2. – С. 279–282.
- 6 Купрадзе, В. Д. Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости / В. Д. Купрадзе, Т. Г. Гегелия, М. О. Башелейшвили, Т. В. Бурчуладзе. – М. : Наука, 1976. – 664 с.
- 7 Ющенко, Д. П. О фундаментальных решениях обобщенной системы Навье-Стокса / Д. П. Ющенко // Юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 40-летию Гомельского государственного ун-та им. Ф. Скорины, Гомель, 11 июня 2009 г. : материалы : в 4 ч. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – Ч. 4. – С. 196–197.



Н. П. Асташева

г. Королев, Технологический университет

ДЕЙСТВИЕ МАЛЫХ ДОЗ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Действие радиации в малых дозах на биохимические показатели крупного рогатого скота оценивали по состоянию клеточных мембран, которые в основном повреждаются при облучении активными свободными радикалами. Оценивали также защитные факторы – специализированные ферментные и антиоксидантные системы.

Свободно-радикальные реакции, инициированные ионизирующим облучением, вызывают повышенное образование реактивных продуктов перекисного окисления липидов в мембранах клеток, что может стать условием для развития различных форм функциональной и структурной патологии в организме. Длительная генерация свободных радикалов ионизирующими излучениями провоцирует неблагоприятные сдвиги в организме животных, заставляя беспрекословно функционировать с повышенной нагрузкой все репарационные и компенсаторные системы, приводя к их истощению и необратимым изменениям [1].

Недостаточная изученность этих вопросов дает основание для дополнительного экспериментального изучения механизмов действия и последствий хронического облучения в малых дозах на организм сельскохозяйственных животных.

Опыты проводили на поголовье крупного рогатого скота, содержащегося на радиоактивно загрязненной территории. Для экспериментальных исследований сформировали две группы коров по 15 голов в группе, получивших разные дозы облучения после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Первая группа животных получила 0,6 Гр общего облучения и около 39 Гр на щитовидную железу от поступления радиоактивного йода (группа I), вторая группа 0,3 Гр общего облучения и около 20 Гр на щитовидную железу (группа II). В качестве контроля использовали животных, содержащихся на незагрязненной радиоактивными веществами территории (группа III). Были также изучены биохимические показатели телок 12–14 месячного возраста, потомство от коров (группы I).

Биохимические исследования крови проводили в начале и в конце зимне-стойлового периода. Пробы крови отбирали у пяти животных каждой группы. В качестве антикоагулянта крови использовали гепарин. В плазме крови определяли: активность глутатионпероксидазы (мкМоль), концентрацию гидроперекисей липидов, малонового диальдегида и коэффициент антиокислительной активности в относительных единицах, концентрацию церулоплазмينا и холестерина (мг %), амилазы (мг/л), активность аспартатаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы (мкМоль ПВК/мл.час). А также определяли концентрацию белка и иммуноглобулинов (г/л).

Сравнительный анализ данных биохимических исследований крови крупного рогатого скота, находившегося на территории с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения, и животных из «чистого» хозяйства показал определенные различия. В начале зимне-стойлового периода установлено увеличение активности глутатионпероксидазы у опытных животных по сравнению с контролем ($P \leq 0,05$). Являясь важным компонентом системы защиты мембран от токсичного действия свободных радикалов, глутатионпероксидаза принимает непосредственное участие в инактивации перекисных соединений, поэтому увеличение активности этого фермента можно рассматривать как ответную адаптогенную реакцию организма на увеличение продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) (таблица 1). Отсутствие при этом повышенного накопления гидроперекисей липидов в плазме крови у опытных животных может свидетельствовать о достаточной эффективности антиокислительных процессов в их организмах по сравнению с контролем.

Таблица 1 – Биохимические показатели крови коров в начале зимне-стойлового периода

Показатели	I	II	III
Концентрация белка (г/л)	76,6±3,6	75,2±3,3	74,5±3,68
Концентрация церулоплазмينا (мг%)	15,9±2,6	14,4±1,6	18,1±2,24
Концентрация амилазы (мг/л)	36,1±5,85	60,9±8,5	83,2±19,6
Концентрация гидроперекисей липидов	0,14±0,08	0,15±0,05	0,16±0,03
Активность глутатионпероксидазы (мкМоль)	3,9±0,35	3,95±0,07	2,0±0,24
Концентрация холестерина (мг%)	151±22,2	168±19,4	216±28,0
Активность аспаратаминотрансферазы (мкМоль)	1,29±0,08	1,56±0,05	1,32±0,02
Активность аланинаминотрансферазы (мкМоль ПВК/мл.час)	1,89±0,06	2,43±0,11	1,90±0,1

Результаты исследований по оценке содержания церулоплазмينا – антиокислительного глобулина, который является своеобразным «чистильщиком» свободных радикалов в крови, не выявили достоверных различий между опытными и контрольными группами животных (таблица 1, 2). Колебательный характер изменений биохимических параметров биологических объектов, подвергнутых действию малых доз радиации, является примером многоуровневых синергетических механизмов регуляции [2].

Таблица 2 – Биохимические показатели крови телок 12–14 месяцев в начале зимне-стойлового периода

Показатели	Опыт	Контроль
Концентрация белка (г/л)	64,2±2,7	64,5±1,3
Концентрация церулоплазмينا (мг %)	16,8±2,1	22,2±2,6
Концентрация амилазы (мг/л)	43,1±8,9	44,1±3,1
Концентрация гидроперекисей липидов	0,22±0,05	0,18±0,05
Активность глутатионпероксидазы (мкМоль)	3,5±0,07	2,8±0,1
Концентрация холестерина (мг %)	102±7,1	82±7,4
Активность аспаратаминотрансферазы (мкМоль)	1,49±0,06	1,46±0,05
Активность аланинаминотрансферазы (мкМоль)	1,89±0,06	1,87±0,07

Результаты исследований выполненных в конце зимне-стойлового периода выявили пониженную активность АСТ в плазме опытных групп по сравнению с контролем (таблица 3). Сравнение двух периодов содержания животных показало, что хроническое воздействие малых доз излучения не оказало отрицательного влияния на резистентность крупного рогатого скота в зимне-стойловый период их содержания.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови коров в конце зимне-стойлового периода

Показатели	I	II	III
Концентрация белка (г/л)	81,3±1,8	82,9±1,86	81,0±1,85
Концентрация церулоплазмينا (мг %)	8,8±2,14	10,4±1,12	7,98±0,76
Концентрация гидроперекисей липидов	1,54±0,78	1,6±0,1	1,14±0,09
Концентрация малонового диальдегида (мг %)	6,5±1,2	16,2±1,6	13,0±1,4
Концентрация иммуноглобулинов (г/л)	16,2±0,4	15,9±0,3	16,1±0,6
Концентрация холестерина (мг %)	161±16,9	229±15,0	176±22,1
Активность аспаратаминотрансферазы (мкМоль)	3,08±0,20	3,25±0,17	3,60±0,13
Коэффициент антиокислительной активности (K _{аоа})	0,96±0,03	0,79±0,02	0,88±0,06

Анализ крови, проведенный в конце зимне-стойлового периода выявил пониженную активность аспаратаминотрансферазы у телят опытной группы по сравнению с контролем (P≤0,05). В этот же период отмечена более низкая концентрация вторичного продукта деградации при перекисном окислении липидов – малонового диальдегида на 39 % (P≤0,05) при одновременном увеличении концентрации церулоплазмينا в 2,3 раза (P≤0,05) в плазме крови опытных животных по сравнению с контролем. Что может свидетельствовать об активизации антиокислительных процессов в организме потомства от облученных коров.

Таблица 4 – Биохимические показатели крови телок 12-14 месяцев в конце зимне-стойлового периода

Показатели	Опыт	Контроль
Концентрация белка (г/л)	81,7±1,8	72,5±2,3
Концентрация церулоплазмينا (мг %)	13,0±2,1	5,7±0,8
Концентрация гидроперекисей липидов	1,0±0,4	0,8±0,1
Концентрация малонового диальдегида (мг %)	10,3±0,3	16,8±0,5
Концентрация иммуноглобулинов (г/л)	14,1±0,5	14,6±0,4
Концентрация холестерина (мг %)	135±9,3	157±2,9
Активность аспаратаминотрансферазы (мкМоль)	2,6±0,1	3,9±0,3
Коэффициент антиокислительной активности (K_{aoa})	1,07±0,04	1,08±0,03

Учитывая, что оценка отдельных показателей про- и антиокислительных систем затрудняет анализ направленности изучаемых процессов в ту или иную сторону на втором этапе исследований использовали интегральный показатель – коэффициент антиокислительной активности (K_{aoa}). Этот коэффициент характеризует соотношение интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной активности. Определение коэффициента (K_{aoa}) позволила провести оценку комплексного итога воздействия этих двух систем антагонистов. Результаты исследования показали, что значение (K_{aoa}) установленные при исследовании крови животных опытных групп близки к показателям контрольных групп. Что свидетельствует о примерно равном соотношении интенсивности процессов свободно-радикального окисления и ингибирующей эти процессы антиокислительной системы.

Таким образом, хроническое воздействие относительно малых доз облучения не оказало существенного влияния на стимуляцию процессов свободно-радикального окисления и на перевод их в разряд процессов свободно-радикальной патологии в организме крупного рогатого скота. Влияние радиационного фактора выразилось в некотором повышении интенсивности протекания процессов свободно-радикального окисления и антиокислительных процессов. Однако соотношение интенсивности этих процессов, определяемое коэффициентом K_{aoa} , у животных подвергшихся воздействию малых доз радиации и их потомства не отличалось от контроля, что свидетельствует о наличии развитой адаптационной системы у крупного рогатого скота, содержащегося длительное время на территории с повышенным радиационным фоном.

Список использованных источников

- 1 Асташева, Н. П. Влияние радиационного фактора аварийного выброса Чернобыльской АЭС на клинико-физиологическое состояние сельскохозяйственных животных / Н. П. Асташева, Н. М. Лазарев, В. П. Дрозденко, М. А. Чмырев // Проблемы сельскохозяйственной радиологии : сб. науч. трудов. – Киев : УкрНИ ИНТИ, 1991. – Вып. 1. – С. 176–181.
- 2 Жученко, Ю. М. Проблемы радиационной реабилитации загрязненных территорий / Ю. М. Жученко [и др.]. – Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2001. – 250 с.

В. Ф. Багинский, М. С. Лазарева
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

СОЮЗ ВЫСШЕГО ЛЕСНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ЛЕСНОЙ НАУКИ В ГОРОДЕ ГОМЕЛЕ – КАФЕДРА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДИСЦИПЛИН

Учреждения высшего образования (Гомельский пединститут, Гомельский лесотехнический институт) и БелНИИ лесного хозяйства в 30-е гг. прошлого столетия открылись в Гомеле практически одновременно. До начала войны лесное высшее образование и лесная наука выполнялись практически одними и теми же учёными, среди которых были будущие известные академики и профессора: И. Д. Юркевич, П. П. Роговой, В. И. Переход, Ф. Т. Костюкович, Н. И. Костюкевич, К. Ф. Мирон и др. Это было удачное сочетание науки и образования, предвосхитившее такие же формы, внедряемые в наши дни Нобелевским лауреатом академиком Ж. Алфоровым.

Сотрудничество лесной науки с Гомельским пединститутом (ГПИ) началось тоже перед войной. Формула Дракина и Вуевского, выведенная профессором ГПИ В. Н. Дракиным и молодым

ученым БелНИИЛХа Д. И. Вуевским, использовалась несколько десятилетий лесоведами СССР и зарубежных стран для описания динамики древостоев. К сожалению, этот творческий союз просуществовал недолго, так как Д. И. Вуевский погиб на фронте.

После войны лесотехнический институт перевели в Минск, и тесная связь науки и образования ослабела. В то же время укрепились связи БелНИИЛХа с Гомельским пединститутом, а затем и с его преемником – Гомельским государственным университетом им. Ф. Скорины (ГГУ). В силу многих причин в НИИ имеется большой научный потенциал по аналогичным дисциплинам против учебных заведений. Поэтому проходило естественное пополнение кадров ГГУ работниками БелНИИЛХа (Института леса). Вспомним, что в 60–70-е гг. деканом биологического факультета работал бывший директор БелНИИЛХа, известный советский ученый, профессор Ф. Н. Харитонович. В 70-е гг. экономический факультет возглавлял профессор В. Д. Арещенко, перешедший из лесного института.

Становление преподавания программирования в ГГУ связано с именем кандидата сельскохозяйственных наук, доцента Н. Т. Воинова. Он выпускник математического факультета Гомельского пединститута. Работал в Гомельском отделении Института математики АН БССР. Для развития и внедрения математических методов в лесную науку в 1967 году его пригласил в аспирантуру БелНИИЛХа выдающийся белорусский ученый, Заслуженный деятель науки БССР, профессор Ф. П. Моисеенко. Н. Т. Воинов разработал ряд новых методов составления лесотаксационных таблиц с использованием математических методов и защитил диссертацию. Затем он несколько лет работал руководителем вычислительного центра БелНИИЛХа, составил программы, позволившие проводить автоматизированную оценку лесосек для БССР, Брянской, Смоленской и Калининградской областей. В 1974 году Н. Т. Воинов перешел в ГГУ на должность доцента для преподавания программирования. Он умер в 1990 году.

В ГГУ работало много других ученых, перешедших из лесного института: будущий профессор А. В. Неверов, доценты В. И. Саутин, П. Н. Райко, Н. К. Бобков, Т. А. Мальгина, Н. В. Шелухин и др. Новый этап сотрудничества начался после прихода в 1989 году директором БелНИИЛХа академика В. А. Ипатьева. Он остро чувствовал необходимость единения науки и образования. К этому времени в Гомельской и Могилевской областях после Чернобыльской катастрофы стало не хватать кадров лесоводов. Выпускники минских вузов избегали ехать на работу в загрязненные районы. Чувствовался недостаток молодых специалистов и в Институте леса. В. А. Ипатьев понимал, что улучшение положения возможно только путем организации подготовки местных кадров в Гомеле на базе ГГУ. Его поддержал генеральный директор Гомельского государственного производственного лесохозяйственного объединения (ГПЛХО) М. П. Супрун. Он предоставил данные о кадровой проблеме в области, предложил помощь в формировании материальной базы. Большую поддержку в этом вопросе оказывал председатель Гомельского облисполкома А. С. Якобсон.

В самом начале идею организации подготовки лесоводов в Гомеле решительно отвергли в Минске. Против этого выступил ректор БГТУ И. М. Жарский, министр лесного хозяйства В. П. Зорин. Их поддержали в Министерстве образования, считая дополнительную подготовку кадров в Гомеле излишней. Уклончивую позицию занял и ректор ГГУ им. Ф. Скорины Л. А. Шеметков. В то же время кадровая проблема в загрязненных районах ухудшалась и требовала своего решения. Обещания руководства БГТУ решить эту проблему не выполнялись. Так продолжалось несколько лет. К этому времени необходимость открытия подготовки специалистов-лесоводов поддержал и новый ректор ГГУ профессор М. В. Селькин. Проблема стала настолько острой, что губернатор области А. С. Якобсон вынужден был озвучить ее перед Президентом Республики Беларусь А. Г. Лукашенко во время его приезда в Гомель. Президент, внимательно изучив проблему, поддержал идею об открытии в ГГУ им. Ф. Скорины специальности «Лесное хозяйство».

Специальность «Лесное хозяйство» (специализация «Лесоведение и лесоводство») была открыта на биологическом факультете ГГУ им. Ф. Скорины в 2003 году и осуществлен первый набор студентов. На первом и частично втором курсах лесоводы изучают в основном общеобразовательные дисциплины, с чем в ГГУ проблем не было. Основными же преподавателями специальных дисциплин должны были стать ученые из Института леса. К этому времени институт располагал большим резервом таких кадров: более 10 докторов и около 35 кандидатов наук. Ученые Института леса были крупнейшими специалистами в своих областях науки, но опыта преподавательской работы не имели. Поэтому В. А. Ипатьев, который много лет работал в БГТУ, организовал соответствующее обучение. Он лично проверил конспекты будущих лекций

и организовал заслушивание изложения их текста перед аудиторией. В 2004 году была открыта кафедра лесохозяйственных дисциплин, название которой предложил В. А. Ипатьев. В 2004–2005 учебном году преподавательский состав кафедры был представлен преподавателями-совместителями: д.с.-х.н. В. Ф. Багинским, к.б.н. Е. А. Усс, к.с.-х.н. П. В. Колодием и к.с.-х.н. Л. П. Малым. Заведующим кафедрой на условиях совместительства назначен зам. директора по научной работе Института леса д.с.-х.н. В. Ф. Багинский.

Были трудности с развитием материальной базы. В этом, помимо поддержки Министерства образования, оказало неоценимую помощь Гомельское ПЛХО и его генеральный директор М. П. Супрун. Большую методическую помощь в организации учебного процесса оказал ряд лесохозяйственных вузов России, а также БГТУ.

Для работы потребовались постоянные кадры. В сентябре 2005 года в должности доцентов кафедры на штатной основе приступили к работе М. С. Лазарева и В. М. Ефименко, лаборантом и секретарем кафедры – Н. В. Мальцева. В то время кафедра располагала лишь одним помещением в корпусе 1 для преподавателей, а чтение лекций и проведение лабораторно-практических занятий по специальным дисциплинам проводили в оборудованных по распоряжению академика В. А. Ипатьева аудиториях в Институте леса.

В 2006 году на должность заведующей кафедрой избрана по конкурсу к.с.-х.н. М. С. Лазарева, кафедра пополняется штатными преподавателями – доцентом А. Е. Падутовым, ассистентами Л. К. Климович, Т. А. Колодий и А. Е. Николаевым (позже ушел по болезни), лаборантом О. В. Щеголихиной. В 2007 году на кафедру из института леса перешли профессор В. Ф. Багинский, доценты Н. В. Митин, П. В. Колодий, Т. Л. Барсукова, в 2010 году – доценты В. В. Трухоновец, Т. В. Переволоцкая. В 2011 году на должность вначале преподавателя-стажера, затем ассистента принят после 2-летней работы инженером-таксатором на предприятии «Гомельлеспроект» уже наш выпускник А. В. Климов.

Преподаватели кафедры осваивают новые помещения, вводятся в строй специализированные лаборатории, изготавливаются экспонаты, коллекции, гербарии, макеты и плакаты, применяемые в учебном процессе. Энтузиазм преподавателей распространяется и на студентов, которые вовлекаются в творческий процесс оформления лабораторий.

Подготовка инженеров лесного хозяйства требует мощной материально-технической базы. В 2006 году открывается филиал кафедры на базе Республиканского дочернего лесохозяйственного унитарного предприятия «Гомельлеспроект», руководителем которого был назначен директор предприятия Ф. Ф. Бурак. Преподавание таких дисциплин как лесохозяйство, дистанционные методы зондирования лесов, ГИС-технологии в лесном хозяйстве и другие осуществляют ведущие специалисты предприятия. В учебном процессе используются помещения предприятия, компьютерный ресурс, справочно-нормативная литература, картографический материал и тренировочные площадки, на которых проводятся учебные практики. Студентам предоставляется возможность по желанию работать на предприятии в период каникул. Как показал опыт, в дальнейшем у имеющих стаж полевых работ выпускников, период адаптации на производстве значительно сокращается.

В 2008 году открывается еще один филиал кафедры на базе Государственного научного учреждения «Институт леса НАН Беларуси», руководство которым осуществляет директор Института леса А. И. Ковалевич.

При подготовке специалистов лесохозяйственной отрасли большое значение имеет закрепление теоретических знаний на практике и получение практических навыков. Учебные практики по лесохозяйственным дисциплинам проводятся в лесном фонде Государственного лесохозяйственного учреждения «Корневская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси». Студенты знакомятся со стационарными объектами института, заложенными как корифеями лесной науки, так и созданными в рамках современных научных разработок. По ряду дисциплин проводятся выездные лабораторно-практические занятия на базе Института леса.

Молодое поколение будущих лесоводов имеет уникальную возможность со студенческой скамьи приобщиться к большой науке. В настоящее время выпускники разных лет являются аспирантами Института леса (Верас С., Фомин Е., Серенкова В.).

2008 год был ответственным, решающим для кафедры, так как, во-первых, специальность «Лесное хозяйство» должна была пройти аккредитацию, во-вторых, предстояло сделать первый выпуск инженеров лесного хозяйства. Оценить качество подготовки специалистов лесного хозяйства в ГГУ им. Ф. Скорины приехали Первый заместитель Министра лесного хозяйства Республики Беларусь Н. К. Крук (председатель Государственной экзаменационной комиссии) и

заместитель директора РУЦ «Лес» Л. Л. Навойчик. В марте 2008 года специальность «Лесное хозяйство» была аккредитована, а результаты сдачи Государственного экзамена по лесохозяйственным дисциплинам и защиты дипломных проектов и работ показали хорошую подготовку специалистов.

В 2013 году на кафедре открыта магистратура по трем специальностям и сделан первый набор магистрантов на заочную форму обучения. В 2014 году все три специальности магистратуры были аккредитованы, а в 2015 году состоялся первый выпуск. По результатам защиты магистерских диссертаций все выпускники были рекомендованы к поступлению в аспирантуру.

В настоящее время на кафедре работают 13 штатных преподавателей, в том числе: зав. кафедрой, к.с.-х.н., доцент М. С. Лазарева, профессор, д.с.-х.н., член-корреспондент НАН Беларуси В. Ф. Багинский, доценты, кандидаты сельскохозяйственных наук В. М. Ефименко, П. В. Колодий, В. В. Трухоновец, кандидаты биологических наук А. Е. Падутов, В. В. Митин и Т. Н. Переволоцкая, старшие преподаватели Л. К. Климович, Т. А. Колодий, ассистенты Н. В. Мальцева, А. В. Климов и О. В. Щеголихина. На филиалах кафедры по совместительству работают 5 преподавателей: доценты, к. с.-х.н. А. И. Ковалевич, к.с.-х.н. А. И. Сидор, к.э.н. О. В. Лапицкая, ассистенты О. М. Луферов и С. В. Орлов.

В учебном процессе задействовано 8 специализированных лабораторий кафедры, в которых проводятся учебные занятия по лесохозяйственным дисциплинам.

Большое внимание уделяется студенческой науке. На кафедре работают следующие студенческие объединения: научный кружок «Лесовод» с 2006 года, научный кружок «Экспериментальная микология» с 2011 года, научно-практический кружок «Трофейное дело» с 2012 года и СНИЛ «Леса Беларуси» с 2011 года. За последние 5 лет на Республиканском конкурсе получили дипломы I степени – 2 студенческие научные работы, II – 5, III – 1 работа. В Международном конкурсе дипломных проектов и работ в области лесного хозяйства дипломы 2 категории получили 3 работы.

Профессорско-преподавательский состав кафедры активно участвует в проведении фундаментальных исследований в рамках выполнения Гранта БРФФИ (2007–2009) – руководитель профессор В. Ф. Багинский, заданий БРФФИ–Украина (2011–2013) и БРФФИ (2011–2013) – руководитель доцент В. В. Трухоновец, ГПОФИ (2011–2015) – руководитель профессор В. Ф. Багинский. Кафедра выполняет и прикладную тематику в рамках ГНТП «Управление лесами и рациональное лесопользование» (2008–2010) и ГНТП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование» (2011–2015) – руководитель зав. кафедрой М. С. Лазарева. В соответствии с Планом Минлесхоза Республики Беларусь освоения научно-технической продукции в производство в период 2011–2013 гг. проведено внедрение в лесхозах Беларуси на площади более 1300 га.

Хоздоговорной тематикой, направленной на решение научно-практических проблем Коммунального сельскохозяйственного унитарного предприятия «Комбинат «Восток» (2011–2012), ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз», ГОЛХУ «Речицкий опытный лесхоз» и ГЛХУ «Милашевичский лесхоз» (2014–2015) руководит доцент В. В. Трухоновец.

К настоящему времени, в ГГУ им. Ф. Скорины подготовлено более 650 инженеров лесного хозяйства, которые трудятся в лесохозяйственных учреждениях и предприятиях Беларуси, в Институте леса, в БООРе, в Инспекции по охране животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь, в учреждениях Управления особо охраняемыми природными территориями при Управлении делами Президента Республики Беларусь и других организациях. Среди наших выпускников уже есть директора лесхозов, главные лесничие и заместители директоров лесхозов.

Мы радуемся успехам своих выпускников и гордимся ими!

А. В. Гулаков

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС НА ОТДЕЛЬНЫЕ ПОПУЛЯЦИИ ДИКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Проблема влияния ионизирующих излучений на живые организмы и окружающую среду их обитания стала особенно актуальной после многочисленных испытаний ядерного оружия,

особенно в атмосфере и гидросфере. В результате этого обширные пространства земного шара были загрязнены искусственными радионуклидами. Кроме испытания ядерного оружия, поступление техногенных радионуклидов в биосферу происходило так же в результате крупномасштабных радиационных аварий на атомных реакторах, как в энергетике, так и в промышленности. Образующиеся при этом радиоактивные вещества загрязняют естественные экосистемы, что может приводить к дополнительному облучению населения, проживающему на данной территории [1; 2; 3].

Оценка радиозоологических последствий аварии на животный мир в зоне радиоактивного загрязнения является довольно сложной задачей, так как до настоящего времени остаются практически не изученными вопросы жизнедеятельности животных в условиях воздействия малых доз ионизирующей радиации. Дикие копытные являются существенным компонентом лесных биоценозов и как фитофаги могут служить достоверными индикаторами степени загрязнения среды. На территории республики лось, дикий кабан, косуля европейская широко распространены и имеют высокую численность [4].

Радиозоологический мониторинг отдельных популяций диких промысловых животных проводился на территории Белорусского Полесья. Белорусское Полесье занимает площадь около 6,1 млн. гектаров, или 30 % общей площади землепользования Республики Беларусь, и включает 28 административных районов: 12 – Гомельской, 12 – Брестской, 3 – Минской и 1 – Могилевской [5]. Основным объектом исследований являлись дикие промысловые копытные животные: лось (*Alces alces* L.), косуля европейская (*Capreolus capreolus* L.) и дикий кабан (*Sus scrofa* L.), а также некоторые другие виды диких млекопитающих, обитающие на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения, а также различные виды растений, входящие в состав рациона животных. Изучаемые виды животных различаются такими экологическими и биологическими особенностями, как местообитание, трофические связи, масса и размер тела, они широко распространены по всей территории республики и составляют основу ее охотничьего хозяйства.

Всего за время исследования были получены пробы от 463 диких копытных животных, обитающих на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения. От диких животных производили взятие проб мышечной и костной ткани (ребро), сердца, легких, печени, почек, селезенки, половых органов, шкуры. Образцы отбирались массой 0,1–0,5 кг.

Определение содержания ^{137}Cs в пробах растительности, органах и тканях животных проводили на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 (минимальная измеряемая активность не менее 2 Бк/кг в геометрии 1,0 л (Маринелли), эффективность регистрации на энергии 661 кэВ – $2,46 \cdot 10^{-2}$ имп./квант, энергетический диапазон регистрируемого γ -излучения от 50 до 3000 кэВ) и гамма-радиометре АТ1320А (минимальная измеряемая активность – 5,7 Бк/кг, эффективность регистрации – $2,2 \cdot 10^{-2}$ имп./квант). Погрешность измерений не превышала 15 % по стандартным методикам [6] на поверенной и аттестованной аппаратуре.

Из обследованных диких копытных наиболее высокое содержание ^{137}Cs в мышечной ткани наблюдается у дикого кабана. Так, средняя активность накопления ^{137}Cs в организме животных, добытых в зоне отчуждения, составила $45,97 \pm 10,16$ кБк/кг. Данный показатель для животных, добытых в зоне отселения, в 3,6 раза ниже ($P < 0,05$) и составлял $12,76 \pm 13,05$ кБк/кг. Средний уровень содержания ^{137}Cs в мышечной ткани дикого кабана контрольного района составлял $0,56 \pm 0,10$ кБк/кг, что в 82,0 раза ниже ($P < 0,05$), чем у диких кабанов зоны отчуждения, и в 22,8 раза ($P < 0,001$) – по сравнению с животными зоны отселения.

Содержание ^{137}Cs в мышечной ткани косули европейской характеризуется более низкими значениями. Средний уровень содержания ^{137}Cs в организме косули европейской зоны отчуждения составил $20,00 \pm 3,99$ кБк/кг, а зоны отселения – $6,81 \pm 0,95$ кБк/кг, что в 2,9 раза ниже ($P < 0,05$). Средний уровень содержания ^{137}Cs в мышечной ткани косули европейской, добытой в контрольном районе, составлял $0,76 \pm 0,16$ кБк/кг, что в 26,0 раза ниже ($P < 0,001$), чем для животных зоны отчуждения и в 10,9 раз ($P < 0,001$) – чем для животных, добытых в зоне отселения.

Наименьшее содержание данного радионуклида отмечается у лосей. Средний уровень содержания ^{137}Cs в мышечной ткани животных, добытых в зоне отчуждения, составил $9,21 \pm 1,85$ кБк/кг, а для зоны отселения – $3,26 \pm 0,66$ кБк/кг, что почти в 3,0 раза ниже ($P < 0,05$). Средний уровень содержания этого радионуклида у лосей, добытых в контрольном районе, достигал $0,43 \pm 0,05$ кБк/кг, что в 21,4 раза ниже ($P < 0,001$), чем у животных из зоны отчуждения и в 7,6 раз ($P < 0,01$) меньше активности мышечной ткани лосей зоны отселения.

В данный период нами также была прослежена динамика накопления ^{137}Cs в мышечной ткани зайца русака (*Lepus vulgaris*). Наиболее высокое содержание ^{137}Cs отмечается в мышечной ткани зайца русака, обитающего на территории зоны отчуждения. Средний уровень содержания ^{137}Cs в организме зайца русака, добытого в зоне отчуждения, составил $4,29 \pm 1,40$ кБк/кг, причем коэффициент вариации данного признака изменялся в широких пределах. Наибольшее содержание данного радионуклида в организме животного составило $8,14$ кБк/кг, а наименьшее $0,42$ кБк/кг (различия в накоплении составили более 19 раз).

Среднее значение накопления ^{137}Cs в мышечной ткани зайца русака, добытого на территории зоны отселения, составило $0,17 \pm 0,04$ кБк/кг, что более чем в 25 раз ниже ($P < 0,001$), по сравнению с животными зоны отчуждения. Животные, обитающие на территории контрольного района, имели среднее значение содержания данного радионуклида $0,07 \pm 0,04$ кБк/кг, что в 61 раз меньше ($P < 0,001$), чем у животных в зоне отчуждения и в почти в 2,5 раза ($P < 0,05$), чем у зайца русака, обитающего на территории зоны отселения. Удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани зайца русака, добытого на территории контрольного района, находилось в пределах $0,02$ – $0,06$ кБк/кг, что значительно ниже контрольных нормативов [9].

Средний уровень содержания радионуклида в мышечной ткани лисицы обыкновенной (*Vulpes vulpes*), добытой в зоне отчуждения, составил $20,81 \pm 4,20$ кБк/кг, примерно в 5 раз больше, чем у зайца русака, обитающего на территории данной зоны. Наибольшее содержание ^{137}Cs в организме животного составило $40,70$ кБк/кг, а наименьшее $4,68$ кБк/кг (различия в накоплении составили почти 9 раз). Среднее значение накопления ^{137}Cs в мышечной ткани лисицы обыкновенной, добытой на территории зоны отселения, составило $4,88 \pm 0,97$ кБк/кг, что в 4,3 раза ниже ($P < 0,001$), по сравнению с животными зоны отчуждения.

Животные, обитающие на территории контрольного района, имели среднее значение содержания данного радионуклида $0,09 \pm 0,01$ кБк/кг, что в 231,2 раз меньше ($P < 0,001$), чем у животных в зоне отчуждения и в 54,2 раза ($P < 0,001$), чем у лисицы обыкновенной, обитающей на территории зоны отселения. Удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани лисицы обыкновенной, добытой на территории контрольного района, находилось в пределах $0,07$ – $0,17$ кБк/кг [10].

Более высокое содержание ^{137}Cs отмечалось в мышечной ткани волка (*Canis lupus*). К сожалению, мы располагаем только фрагментарными данными по накоплению данного радионуклида в организме волка, обитающего на территории зоны отчуждения и отселения.

Среднее значение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани волка, обитающего на территории зоны отчуждения, изменяется в широких пределах. Наибольшее содержание радионуклида в организме животного данной территории составило $148,00$ кБк/кг, а наименьшее $9,62$ кБк/кг (различия в накоплении составили более чем 15 раз).

На территории зоны отселения среднее значение накопления составило $29,65 \pm 11,4$ кБк/кг, что в 2 раза меньше, чем у животных, обитающих на территории зоны отчуждения (хотя выборка очень небольшая). Удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани животных зоны отселения находилась в пределах от $18,24$ кБк/кг до $41,07$ кБк/кг [11].

Таким образом, из обследованных диких копытных наиболее высокий уровень содержания ^{137}Cs в мышечной ткани характерен для дикого кабана, далее следует косуля европейская и наименьшее содержание радионуклида отмечено в организме лося. У животных, добытых в зоне отчуждения, установлены более высокие колебания уровня ^{137}Cs в их организме, чем в зоне отселения и контрольном районе. Например, у дикого кабана, добытого на территории зоны отчуждения содержание исследуемого радионуклида в мышечной ткани различались почти в 575,0 раз, а косули европейской – почти в 385,0 раз, что в первую очередь связано со значительной неоднородностью уровня радиоактивного загрязнения территории и кормовой базы, особенно в зоне отчуждения, а также высокой миграционной способностью животных.

Результаты наших исследований согласуются с данными других авторов [12], которые выявили аналогичные тенденции в загрязнении мышечной ткани ^{137}Cs диких промысловых копытных, обитающих на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения.

Следует отметить, что и в контрольном районе с относительно низким уровнем загрязнения территории и кормовой базы за период исследований добывались животные с уровнем загрязнения мышечной ткани ^{137}Cs выше установленных допустимых значений. Поэтому для недопущения поступления в пищу мяса диких копытных с превышением установленных уровней по содержанию ^{137}Cs необходим обязательный радиометрический контроль добываемых животных, независимо от уровня радиоактивного загрязнения территории обитания.

Высокое содержание ^{137}Cs отмечается также в мышечной ткани хищных животных. Так, например, средний уровень содержания радионуклида в мышечной ткани лисицы обыкновенной, добытой в зоне отчуждения, составил $20,81 \pm 4,20$ кБк/кг, примерно в 5 раз больше, чем у зайца русака, обитающего на территории данной зоны. Более высокое содержание ^{137}Cs отмечалось в мышечной ткани волка. Наибольшее содержание радионуклида в организме животного зоны отчуждения составило 148,00 кБк/кг, а наименьшее 9,62 кБк/кг (различия в накоплении составили более чем 15 раз).

Основными факторами, которые определяют уровень содержания ^{137}Cs в мышечной ткани диких промысловых животных, является плотность загрязнения и распределение радионуклида на территории местообитания. Наиболее высокое содержание ^{137}Cs отмечается у животных, добытых на территории зоны отчуждения. Накопление радионуклидов различными видами животных зависит от их положения в пищевой цепи, миграционной способности и степени контакта с загрязненным биогеоценозом.

Список использованных источников

- 1 Корнеев, Н. А. Основы радиэкологии сельскохозяйственных животных / Н. А. Корнеев, А. Н. Сироткин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 208 с.
- 2 Алексахин, Р. М. Ядерная энергия и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
- 3 Russel, R. S. Deposition of strontium-90 and its content in vegetation and in human diet in the United Kingdom / R. S. Russel // Nature – 1958. – Vol. 182. – P. 834–839.
- 4 Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий, С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко. – Минск : Издательский центр БГУ, 2005. – 319 с.
- 5 Ильина, З. М. Использование мелиорированных земель Полесья / З. М. Ильина, П. Г. Чухольский, О. М. Трифонова. – Минск : Ураджай, 1998. – 77 с.
- 6 Сборник нормативных, методических, организационно-распорядительных документов Республики Беларусь в области радиационного контроля и безопасности / под ред. В. Е. Шевчука. – Минск, 1998. – 230 с.
- 7 СТБ 1059-98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения стронция-90 радиохимическими методами. – Введ. 01.07.98. – Минск : Госстандарт, 1998. – 22 с.
- 8 Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях / под ред. Л. М. Державина. – М. : ЦИНАО, 1985. – 64 с.
- 9 Гулаков, А. В. Распределение ^{137}Cs в организме зайца-русака, обитающего на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения / А. В. Гулаков // Қазақстанның Биологиялық ғылымдары. – 2014. – № 3. – С. 70–75.
- 10 Гулаков, А. В. Накопление и распределение ^{137}Cs в организме хищных животных / А. В. Гулаков // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2008. – Вип. 16, № 7. – Т. 1. – С. 68–73.
- 11 Гулаков, А. В. Распределение основных дозообразующих радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr по органам и тканям волка *Canis Lupus* / А. В. Гулаков // Экологической науке – творчество молодых : материалы II региональной науч.-практ. конф. ведущих специалистов, аспирантов и студентов, Гомель, апрель 2002 г. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2002. – С. 27–28.
- 12 Сущеня, Л. М. Животный мир и радиация / Л. М. Сущеня, М. М. Пикулик, А. Е. Пленин. – Минск : БелНИИНТИ, 1991. – 60 с.

Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, С. В. Жадько
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ВБЛИЗИ МОЗЫРСКОГО НПЗ

Для оценки состояния рудеральной растительности нами в летний период 2014 года проводились исследования по накоплению тяжелых металлов этой растительностью в ряде объектов, расположенных вблизи Мозырского нефтеперерабатывающего завода Гомельской области. Отобранные виды растений на двух объектах указаны в таблице 2.

Объект № 1. Находится на окраине населенного пункта д. Митьки Мозырского района.

Объект № 2. Находится на окраине населенного пункта д. Пеньки Мозырского района.

Как показал анализ проб почвы изучаемых объектов (таблица 1), содержание тяжелых металлов отвечало требованиям ПДК этих металлов.

Таблица 1 – Анализ проб почвы изучаемых объектов рудеральных экосистем Мозырского района (2014 год)

№ объекта	Определяемый показатель, мг/кг								
	Fe	Mn	Cu	Zn	Co	Pb	Cd	Cr	Ni
1	528,9	1134,8	1,0	3,4	0,50	2,6	0,17	0,27	1,53
2	565,3	156,5	2,2	6,3	0,57	12,2	0,17	0,28	1,96
ПДК	–	1500,0	3,0	37,0	20,0	25,0	0,4	6,0	4,0

Анализ накопления тяжелых металлов рудеральной растительностью 1-го объекта (таблица 2) показал, что наибольшее содержание железа отмечено у синяка обыкновенного, ослинника двулетнего, дремы белой, меньшим содержанием отличались вейник наземный, гулявник лекарственный, морковь дикая. Более всего марганца накапливали ослинник двулетний, дрема белая, минимальное – гулявник лекарственный. Максимальное содержание меди отмечено для лопуха паутинистого, подмаренника мягкого, костреца безостого, синяка обыкновенного. Незначительное содержание меди было у икотника серо-зеленого. Максимальным содержанием цинка характеризовались клевер пашенный, синяк обыкновенный, дрема белая, кострец безостый. Минимальное содержание наблюдалось у моркови дикой, лопуха паутинистого, полевички волосистой, икотника серо-зеленого, гулявника лекарственного, полыни горькой. Содержание кобальта у всех растительных образцов в 1-ом объекте практически было одинаковым, такая же ситуация и с накоплением свинца, за исключением дремы белой, у которой свинец накапливался в 2,7 раза больше, чем у остальных видов. Содержание кадмия во всех растительных образцах колебалось от 0,10 мг/кг, до 0,19 у костреца безостого и полыни горькой. Среди растений больше всего накапливал никель вейник наземный, дрема белая, душистый колосок. Среди 19 растительных образцов наибольшее содержание хрома отмечено у душистого колоска, полевички волосистой, гулявника лекарственного, горошка заборного, а наименьшее – у клевера пашенного, молочая прутьевидного, ослинника двулетнего.

Анализ коэффициента накопления (Кн) тяжелых металлов среди 19 растительных образцов выявил, что наибольший Кн железа отмечен у синяка обыкновенного, Кн марганца – у ослинника двулетнего, меди – лопуха паутинистого, цинка – у клевера пашенного, свинца – у дремы белой, кадмия – полыни горькой, никеля – у вейника наземного, хрома – у душистого колоска обыкновенного.

Анализ содержания тяжелых металлов во 2-ом объекте показал, что железа больше всего содержалось у бодяка полевого, крапивы жгучей, синюхи голубой. Среди 15 растительных образцов наибольшее накопление марганца отмечено у бодяка полевого, ослинника двулетнего, бухарника шерстистого, а менее всего у костреца безостого и икотника серо-зеленого. Содержание меди колебалось от 3,28 у икотника серо-зеленого до 13,5 у крапивы жгучей, и у изучаемых видов не отмечалось превышения содержания предельно допустимой концентрации. Минимальное содержание цинка колебалось от 13,6 мг/кг у икотника серо-зеленого до 46,2 мг/кг у бодяка полевого, что гораздо ниже ПДК.

Во всех изучаемых образцах количество кобальта и свинца было одинаковым. Содержание кадмия колебалось от 10 мг/кг у бодяка полевого до 21 мг/кг у ромашки непахучей и щавеля пирамидального. Содержание никеля находилось в пределах от 0,64 мг/кг у икотника серо-зеленого до 4,71 мг/кг у бодяка полевого, что гораздо ниже ПДК. Наибольшее накопление хрома отмечено у цикория обыкновенного 7,52 мг/кг, а наименьшее у бухарника шерстистого 0,45 мг/кг, что отвечало требованиям ПДК.

Анализируя коэффициент накопления тяжелых металлов во втором объекте видно, что бодяк полевой характеризовался наибольшим коэффициентом накопления железа, марганца, цинка, кобальта, никеля и хрома. Крапива жгучая имела высокий Кн меди; щавель пирамидальный, ромашка непахучая – Кн кадмия; цикорий обыкновенный – Кн хрома.

Таким образом, среди изученных видов рудеральной растительности выявлен бодяк полевой, который характеризовался высоким Кн одновременно нескольких элементов: железа, кобальта, марганца, цинка, никеля, хрома.

Таблица 2 – Анализ рудеральной растительности изучаемых объектов Мозырского района

Наименование растений	Определяемые показатели, абс. сух. сост., мг/кг								
	Железо	Марганец	Медь	Цинк	Кобальт	Свинец	Кадмий	Никель	Хром
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
объект 1									
Кострец безостый	<u>104,5</u> 0,2	<u>65,7</u> 0,6	<u>10,17</u> 10,17	<u>34,4</u> 10,12	<u><0,27</u> 0,54	<u><0,36</u> 0,14	<u>0,19</u> 1,11	<u>0,68</u> 0,44	<u>1,15</u> 4,26
Колосок душистый обыкновенный	<u>212,3</u> 0,4	<u>115,1</u> 0,1	<u>5,02</u> 5,02	<u>22,3</u> 6,6	<u><0,26</u> 0,52	<u><0,34</u> 0,13	<u>0,16</u> 0,94	<u>1,4</u> 0,92	<u>6,23</u> 23,17
Молочай прутьевидный	<u>129</u> 0,24	<u>44,8</u> 0,04	<u>7,33</u> 7,33	<u>23,7</u> 6,97	<u><0,27</u> 0,54	<u><0,36</u> 0,14	<u>0,14</u> 0,82	<u>0,47</u> 0,31	<u>0,76</u> 2,82
Синяк обыкновенный	<u>588,1</u> 1,11	<u>155,7</u> 0,14	<u>9,13</u> 9,13	<u>43,2</u> 12,7	<u><0,27</u> 0,54	<u><0,35</u> 0,13	<u>0,16</u> 0,94	<u>0,77</u> 0,5	<u>1,03</u> 3,82
Подмаренник мягкий	<u>75,9</u> 0,14	<u>49</u> 0,04	<u>9,71</u> 9,71	<u>24</u> 7,06	<u><0,27</u> 0,54	<u><0,35</u> 0,14	<u>0,18</u> 1,06	<u>0,52</u> 0,34	<u>1,85</u> 6,85
Полевичка волосистая	<u>90,7</u> <u>0,17</u>	<u>102,3</u> <u>0,09</u>	<u>4,89</u> <u>4,89</u>	<u>14,6</u> <u>4,29</u>	<u><0,26</u> <u>0,52</u>	<u><0,34</u> <u>0,13</u>	<u>0,14</u> <u>0,82</u>	<u>1,29</u> <u>0,84</u>	<u>5,66</u> <u>20,56</u>
Дрема белая	<u>284,1</u> <u>0,54</u>	<u>177,4</u> <u>0,16</u>	<u>8,17</u> <u>8,17</u>	<u>35,6</u> <u>10,47</u>	<u><0,26</u> <u>0,52</u>	<u>0,96</u> <u>0,37</u>	<u>0,17</u> <u>1</u>	<u>1,44</u> <u>0,94</u>	<u>2,21</u> <u>8,19</u>
Клевер пашенный	<u>137,5</u> <u>0,26</u>	<u>45,2</u> <u>0,04</u>	<u>6,65</u> <u>6,65</u>	<u>44,3</u> <u>13,03</u>	<u>0,27</u> <u>0,54</u>	<u><0,35</u> <u>0,14</u>	<u>0,11</u> <u>0,65</u>	<u>1,07</u> <u>0,7</u>	<u>0,74</u> <u>2,74</u>
Клоповник сорный	<u>136,6</u> <u>0,26</u>	<u>39,8</u> <u>0,04</u>	<u>4,47</u> <u>4,47</u>	<u>25,4</u> <u>7,47</u>	<u><0,26</u> <u>0,52</u>	<u><0,34</u> <u>0,13</u>	<u>0,14</u> <u>0,82</u>	<u>0,75</u> <u>0,49</u>	<u>1,71</u> <u>6,33</u>
Ослинник двулетний	<u>420,3</u> <u>0,8</u>	<u>230,1</u> <u>0,2</u>	<u>8,48</u> <u>8,48</u>	<u>35,8</u> <u>10,53</u>	<u><0,26</u> <u>0,52</u>	<u><0,34</u> <u>0,13</u>	<u>0,15</u> <u>0,88</u>	<u>0,98</u> <u>0,64</u>	<u>0,9</u> <u>3,23</u>
Гулявник лекарственный	<u>83,2</u> <u>0,16</u>	<u>19</u> <u>0,02</u>	<u>4,81</u> <u>4,81</u>	<u>18,2</u> <u>5,35</u>	<u><0,27</u> <u>0,54</u>	<u><0,36</u> <u>0,14</u>	<u>0,13</u> <u>0,77</u>	<u>0,82</u> <u>0,54</u>	<u>3,69</u> <u>13,67</u>
Польнь горькая	<u>147,7</u> <u>0,28</u>	<u>90,6</u> <u>0,08</u>	<u>6,71</u> <u>6,71</u>	<u>32,4</u> <u>9,53</u>	<u><0,26</u> <u>0,52</u>	<u><0,34</u> <u>0,13</u>	<u>0,19</u> <u>1,12</u>	<u>0,92</u> <u>0,6</u>	<u>2,12</u> <u>7,85</u>
Польнь обыкновенная	<u>132,8</u> <u>0,25</u>	<u>51,3</u> <u>0,04</u>	<u>7,52</u> <u>7,52</u>	<u>16,3</u> <u>4,79</u>	<u><0,26</u> <u>0,52</u>	<u><0,34</u> <u>0,13</u>	<u>0,14</u> <u>0,82</u>	<u>1,22</u> <u>0,8</u>	<u>1,13</u> <u>4,19</u>
Икотник серо-зеленый	<u>83</u> 0,16	<u>34,6</u> 0,03	<u>2,16</u> 2,16	<u>17,3</u> 5,09	<u><0,27</u> 0,54	<u><0,35</u> 0,14	<u>0,18</u> 1,06	<u>0,54</u> 0,35	<u>1,49</u> 5,52
Горошек заборный	<u>173,9</u> 0,34	<u>54,2</u> 0,05	<u>5,36</u> 5,36	<u>21,1</u> 6,21	<u><0,27</u> 0,54	<u><0,36</u> 0,14	<u>0,12</u> 0,71	<u>0,9</u> 0,59	<u>3,66</u> 13,56
Лопух паутинистый	<u>181,7</u> 0,34	<u>40,7</u> 0,04	<u>12,88</u> 12,88	<u>14,3</u> 4,21	<u><0,27</u> 0,54	<u><0,35</u> 0,14	<u>0,13</u> 0,77	<u>0,89</u> 0,58	<u>1,39</u> 5,15
Морковь дикая	<u>87,6</u> 0,17	<u>60,9</u> 0,05	<u>4,68</u> 4,68	<u>13,6</u> 4	<u><0,26</u> 0,52	<u><0,34</u> 0,13	<u>0,1</u> 0,59	<u>1,04</u> 0,68	<u>1,33</u> 4,92
Пустырник пятилопастной	<u>127,4</u> 0,24	<u>94</u> 0,08	<u>8,87</u> 8,87	<u>29,5</u> 8,68	<u><0,26</u> 0,52	<u><0,34</u> 0,13	<u>0,13</u> 0,77	<u>0,82</u> 0,54	<u>1,43</u> 5,29
Вейник наземный	<u>46,4</u> 0,09	<u>50,6</u> 0,05	<u>4,22</u> 4,22	<u>26,7</u> 7,85	<u><0,26</u> 0,52	<u><0,34</u> 0,13	<u>0,15</u> 0,88	<u>1,49</u> 0,97	<u>1,72</u> 6,37
объект 2									
Кострец безостый	<u>57,4</u> 0,1	<u>22,3</u> 0,14	<u>5,26</u> 2,39	<u>19</u> 3,02	<u><0,26</u> 0,46	<u><0,34</u> 0,03	<u>0,13</u> 0,76	<u>0,29</u> 0,15	<u>0,75</u> 2,68
Ромашка непахучая	<u>89,3</u> 0,16	<u>167,4</u> 1,07	<u>6,74</u> 3,06	<u>26</u> 4,13	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,21</u> 1,23	<u>1,76</u> 0,89	<u>0,44</u> 1,58
Бухарник шерстистый	<u>103,7</u> 0,18	<u>148,6</u> 0,95	<u>3,42</u> 1,55	<u>19,1</u> 3,03	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,35</u> 0,03	<u>0,14</u> 0,82	<u>0,98</u> 0,5	<u>0,45</u> 1,61
Морковь дикая	<u>86,6</u> 0,15	<u>114,7</u> 0,73	<u>5,19</u> 2,36	<u>16,6</u> 2,63	<u><0,28</u> 0,49	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,2</u> 1,18	<u>0,87</u> 0,44	<u>2,02</u> 7,21
Икотник серо-зеленый	<u>124,5</u> 0,22	<u>31,4</u> 0,2	<u>3,28</u> 1,49	<u>13,6</u> 2,16	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,35</u> 0,03	<u>0,13</u> 0,76	<u>0,64</u> 0,33	<u>1,87</u> 6,68
Ослинник двулетний	<u>169,7</u> 0,3	<u>220</u> 1,4	<u>5,64</u> 2,56	<u>28</u> 4,44	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,35</u> 0,03	<u>0,14</u> 0,82	<u>0,98</u> 0,5	<u>0,71</u> 2,54

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Клевер луговой	<u>96,1</u> 0,17	<u>114,3</u> 0,73	<u>8,78</u> 3,99	<u>25,8</u> 4,09	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,16</u> 0,94	<u>2,92</u> 1,49	<u>0,63</u> 2,26
Крапива жгучая	<u>287,9</u> 0,51	<u>84,1</u> 0,54	<u>13,51</u> 6,14	<u>20,7</u> 3,29	<u><0,28</u> 0,49	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,16</u> 0,94	<u>0,94</u> 0,48	<u>1,8</u> 6,43
Молочай прутьевидный	<u>105,7</u> 0,19	<u>69,4</u> 0,44	<u>10,14</u> 4,61	<u>21,6</u> 3,43	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,16</u> 0,94	<u>1,65</u> 0,84	<u>1,17</u> 4,18
Клевер луговой	<u>66,6</u> 0,12	<u>69,1</u> 0,44	<u>4,06</u> 1,84	<u>15,8</u> 2,51	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,17</u> 1	<u>0,76</u> 0,39	<u>1,74</u> 6,24
Бодяк полевой	<u>872,1</u> 1,54	<u>397,3</u> 2,53	<u>7,91</u> 3,59	<u>46,2</u> 7,33	<u><0,53</u> 0,93	<u><0,35</u> 0,03	<u>0,1</u> 0,59	<u>4,71</u> 2,4	<u>2,1</u> 7,5
Синюха голубая	<u>276,4</u> 0,48	<u>71,5</u> 0,46	<u>10,38</u> 4,72	<u>29,8</u> 4,73	<u><0,26</u> 0,45	<u><0,34</u> 0,03	<u>0,15</u> 0,88	<u>1,37</u> 0,7	<u>1,83</u> 6,54
Тонколучник северный	<u>86,5</u> 0,15	<u>69,9</u> 0,45	<u>6,28</u> 2,85	<u>15</u> 2,38	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,15</u> 0,88	<u>0,49</u> 0,25	<u>1,06</u> 3,79
Щавель пирамидальный	<u>107,4</u> 0,19	<u>162</u> 1,03	<u>6,06</u> 2,75	<u>24,5</u> 3,89	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,35</u> 0,03	<u>0,21</u> 1,23	<u>2,33</u> 1,19	<u>0,79</u> 2,82
Цикорий обыкновенный	<u>107,4</u> 0,19	<u>42,3</u> 0,27	<u>5,46</u> 2,48	<u>16,5</u> 2,62	<u><0,27</u> 0,47	<u><0,36</u> 0,03	<u>0,19</u> 1,12	<u>1,62</u> 0,83	<u>7,52</u> 26,86

Д. Н. Дроздов, А. Л. Чеховский
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины
Л. А. Чунихин
г. Гомель, ГГМУ

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ И РАДОНОМ

В отдаленном периоде чернобыльской аварии меняются подходы к радиационной защите населения. Противорадиационные меры для снижения предела дозы становятся неэффективными, и принцип оптимизации вмешательства приобретает возрастающее значение. Адресное применение контрмер становится главным инструментом принятия оптимальных решений в радиационной защите, включающие анализ «затраты-выгода».

В публикации № 103 МКРЗ предложено при нормировании радиационного воздействия использовать понятие «существующее облучение»: «ситуации существующего облучения включают в себя облучение природными источниками, облучение, обусловленное работой с источниками излучения и радиационными авариями в прошлом, а также облучение от радиационных практик, которые ранее не регулировались Рекомендациями Комиссии» [1]. Это принципиальное дополнение к ситуациям планируемого и аварийного облучения обусловлено, в основном, существенно пролонгированной ситуацией аварийного облучения на значительных территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, где проживают и действуют люди, а также полученными в последнее десятилетие новыми данными о воздействии радона в жилых и производственных помещениях.

Исследования показали неравномерность распределения концентрации радона-222 в жилых помещениях по территории областей, зависимость концентрации от таких характеристик почв и грунтов, как концентрация урана в почвах и грунтах, значение дочерне-чернобыльского гаммафона и проницаемость грунтов для радона [2; 3]. На территории Гомельской и Брестской областей не следует ожидать наличие больших количеств жилых помещений с высокими концентрациями радона. По анализу геологических свойств грунтов критические зоны по радону могут находиться на северо-востоке Могилевской области, на всей территории Витебской области, на части территории Гродненской и Минской областей и г. Минска. По экспертным оценкам, на основании геологических характеристик территории республики и с учетом результатов исследований дозы облучения от радона и его ДПР, оцененные по методу условного дозового перехода, могут составить величины от менее 1 до 1,5 мЗв/год (Брестская и Гомельская области), до 2,5 мЗв/год (Могилевская, Гродненская, Минская обл.) и до 3,5 мЗв/год (Витебская область). В то же время, основные территории, загрязненные радионуклидами чернобыльского происхождения,

находятся в Гомельской, в юго-западных и центральных районах Могилевской области, в восточных районах Брестской области и в южных районах Минской области. Фактически, в настоящее время наблюдается выравнивание дозы облучения от всех источников, находящихся в окружающей среде на территории Республики Беларусь.

Радиационная обстановка после аварии на ЧАЭС в настоящее время находится под контролем и она наиболее благоприятна со времени аварии. Доза внешнего облучения закономерно снижается с периодом полувыведения 17–19 лет, снижение дозы внутреннего облучения подчиняется двухэкспоненциальной закономерности со значением периода полувыведения у «длинной» экспоненты 12–30 лет.

Основой для принятия управленческих решений при ликвидации последствий чернобыльской аварии является значение дозы облучения населения, по периодически разрабатываемым Каталогам доз. Были выпущены Каталоги доз в 1992, 1994, 1998, 2004, 2009, 2014 гг., из которых Каталоги 1992 и 2004 г. являлись официальными, а материалы Каталогов 1994 и 1998 г. использовались в научных целях.

По данным Каталога-2009, число населенных пунктов (НП) в которых средняя годовая эффективная доза облучения населения равна или превышает 1 мЗв/год, составляет 193 из 2613 всех НП, находящихся на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях [4], по данным Каталога-2014, это количество снизилось до 72 из 2396 [5]. Следует учесть, что эта оценка имеет запас консерватизма 2–3,5. Анализ сельскохозяйственных продуктов и продуктов питания, проведенный в Гомельском областном центре гигиены и эпидемиологии в 2010 г. показал, что из почти 6000 проб из госсектора только 6 были с превышением нормативов, из 15000 проб из личных подсобных хозяйств и даров леса около 1000 были с превышением нормативов (из них 900 – дары леса: ягоды, грибы, дичь).

Доза (суммарная)	1992 г	2004 г	2009 г	2014 г
Среднее, (мЗв/г)	0,99	0,83	0,46	0,34

Общий анализ радиационной обстановки указывает на возможность перейти в Республике Беларусь к ситуации существующего облучения с установлением референтного значения дозы облучения на уровне, лежащим внутри рекомендованного в публикации № 103 диапазона 1–20 мЗв/год [1]. По нашим оценкам 5–10 мЗв/г. В это значение будут входить как дозы от природных источников, главным образом, радона, так и остаточные дозы от радионуклидов чернобыльского происхождения. Для установления этого уровня в Республике Беларусь необходимо провести работы по картированию радонового риска или радонового потенциала.

При этом население должно обеспечиваться информацией относительно ситуации облучения и противорадиационных мероприятий по снижению дозы облучения. При установлении референтного уровня в ситуации существующего облучения следует исходить из доступности контроля ситуации и весь прошлый опыт по ликвидации и минимизации последствий чернобыльской и других радиационных аварий. Переход от аварийного к ситуации существующего облучения потребует коренного изменения системы радиационной защиты, принципиальной перестройки законодательно-нормативной базы, новой стратегии контроля, повышения профессионального уровня административного аппарата и психологической подготовки населения.

По нашему мнению, в Республике Беларусь сложились наиболее оптимальные условия для введения новых принципов нормирования. В странах ЕврАзЭС – в Казахстане существует аналогичная радиационная ситуация, связанная с последствиями ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. Но более сложная ситуация сложилась в РФ, в связи с наличием значительных территорий с разнообразной и неопределенной радиационной и радоновой обстановкой. В Украине имеются территории с чернобыльским загрязнением и более обширные территории с повышенным содержанием урана в почвах, как следствие наличия урановых месторождений на юге Украины.

Список использованных источников

- 1 Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / под общ. ред. М. Ф. Киселева, Н. К. Шандалы. – М. : ООО ПКФ «Алана», 2009. – 343 с.
- 2 Чунихин, Л. А. Комплексный радоновый показатель для картирования радонового риска на территории Гомельской и Могилевской области / Л. А. Чунихин, А. К. Карабанов, А. В. Беляшов // Экологический вестник. – 2010. – № 1. – С. 33–38.

3 Чеховский, А. Л. Обоснование применения компонентов радонового показателя для картирования радонового потенциала / А. Л. Чеховский // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2014. – № 6. – С. 100–106.

4 Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь : утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 7.07.2009 / Н. Г. Власова [и др.]. – Гомель : РНПЦ РМиЭЧ, 2009. – 86 с.

5 Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь : утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 17.09.2014 / Н. Г. Власова [и др.]. – Гомель : РНПЦРМиЭЧ, 2014. – 32 с.

В. А. Игнатенко, Б. К. Кузнецов
г. Гомель, ГГМУ

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ГЕМОГЛОБИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ КАТИОНА ЖЕЛЕЗА

В гемоглобине, кроме собственного белкового поглощения в области 280 нм, имеются характерные полосы поглощения, обусловленные гемовой группой Нв и отличающие спектры гемоглобина от спектров поглощения других белков. Общим свойством всех спектров поглощения гемоглобина является наличие интенсивной полосы Sore в области 400–420 нм с коэффициентом экстинкции от 120000 до 140000 М⁻¹·см⁻¹.

Кроме полосы во всех спектрах ферропроизводных в красной области от полосы Sore, в области 525–580 нм, имеются две полосы с приблизительно равными коэффициентами экстинкции. Эти длинноволновые полосы часто обозначаются как α (с большей длиной волны) и β- полосы (с меньшей длиной волны). Положение этих полос, их интенсивность зависит от суммарного спинового состояния иона железа, и включенного в комплекс лиганда.

На рисунке 1 представлены спектры поглощения гемоглобина при различной степени окисления железа в комплексе с лигандами.

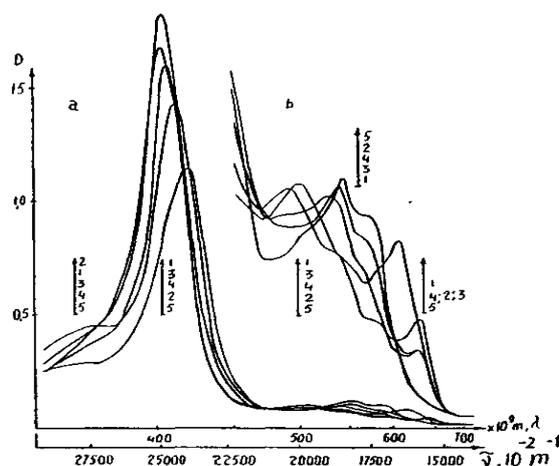


Рисунок 1 – Спектры поглощения высокоспиновых и низкоспиновых форм гемоглобинов:
1. метНв; 2. метНв+NaNO₂; 3. метНв+F; 4. метНв + имидазол; 5. метНв+H₂O₂; рН – растворов 7,0.
Спектры (а) прописаны в 0.1 см кювете, спектры (в) прописаны в 1 см кювете

Представленные формы гемоглобина с лигандами получены добавлением к метНв концентрации 3·10⁻⁵м; 2·10⁻²м NaNO₂; 3·10⁻²м NaF; 0,3·10⁻²м имидазола и 3·10⁻²м H₂O₂. Для этих смесей представлены максимумы поглощения и экстинкции в таблице 1.

Гемихром получали различными способами, в том числе так, как в работе [1], а также при взаимодействии метНв с пропиловым спиртом. На рисунке 2 представлена зависимость образования гемихрома при взаимодействии метНв с изопропиловым спиртом. Изопропиловый спирт, связываясь с макромолекулой белка, индуцирует конформационные изменения в молекуле метНв, что сопровождается уменьшением спинового состояния. После отделения изопропилового спирта на колонке с сефадексом G-25 наблюдали обратимые превращения гемихрома

в высокоспиновый метНв. Однако при этом наблюдали частичную денатурацию белка с образованием необратимого гемихрома.

Таблица 1 – Длины волн, соответствующие максимуму поглощения различных форм гемоглобина

	Спиновое состояние	λ нм	ε LM ⁻¹ см ⁻¹	λ нм	ε LM ⁻¹ см ⁻¹	λ нм	ε LM ⁻¹ см ⁻¹
метНв	5/2	406	162000	500	9040	630	3700
метНв+NaNO ₂	1/2	411	124260	533	8868		
метНв+NaF	5/2	404	149100	491	8781	606	6871
метНв +имидазол	1/2	407	141000	526	8437		
метНв+H ₂ O ₂	5/2	417	88300	545	10331		

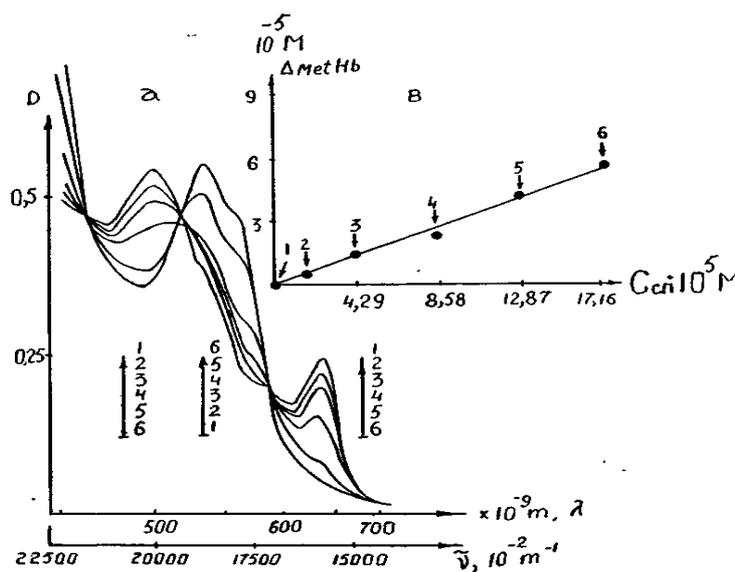


Рисунок 2 – Спектры поглощения раствора метНв(а) при добавлении различной концентрации изопропилового спирта (1, 2, 3, 4, 5, 6) и зависимость образования гемихрома от концентрации изопропилового спирта рН 6,8 (в)

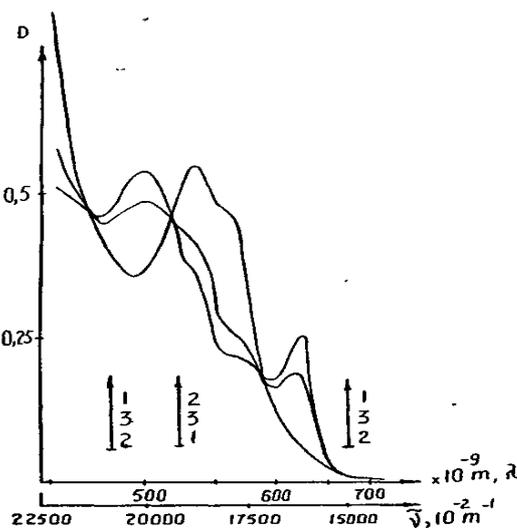


Рисунок 3 – Спектры поглощения метНв (1), метНв в смеси с изопропиловым спиртом (2) после прохождения через колонку G-25 (3). $C_{\text{метНв}} = 3 \cdot 10^{-5}$ м. $C_{\text{спирт}} = 3 \cdot 10^{-5}$ м. $C_{\text{спирт}} = 2 \cdot 10^{-1}$ м

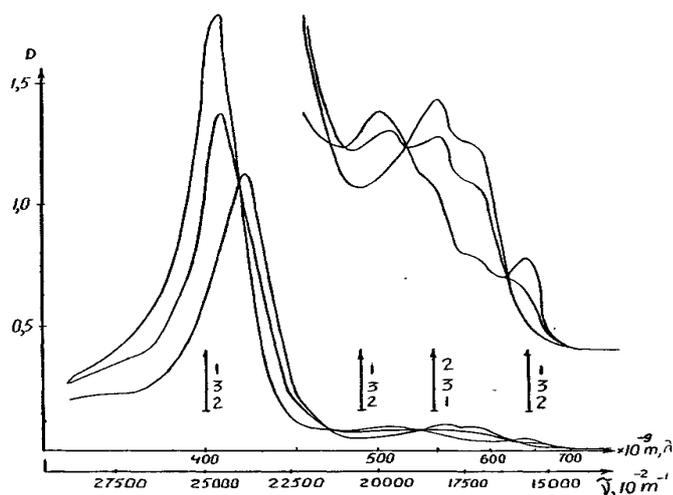


Рисунок 4 – Спектры поглощения различных форм гемоглобина: 1 – метНв; 2 – метНв с H_2O_2 сразу после добавления перекиси водорода (феррипероксидная форма); 3 – феррипероксидная форма через 3 часа после ее получения рН 6,8; фосфатный буфер. С метНв – $3 \cdot 10^{-5}$ м. С H_2O_2 – $3 \cdot 10^{-2}$ м

Спектр поглощения феррипероксидной формы отличается от спектров поглощения оксиНв и метНв. Пероксидная форма Нв нестабильна и с течением времени превращается в метНв. При понижении давления воздуха в растворе оксиНв, по спектрам поглощения, регистрировали образование дезоксиНв (рисунок 5).

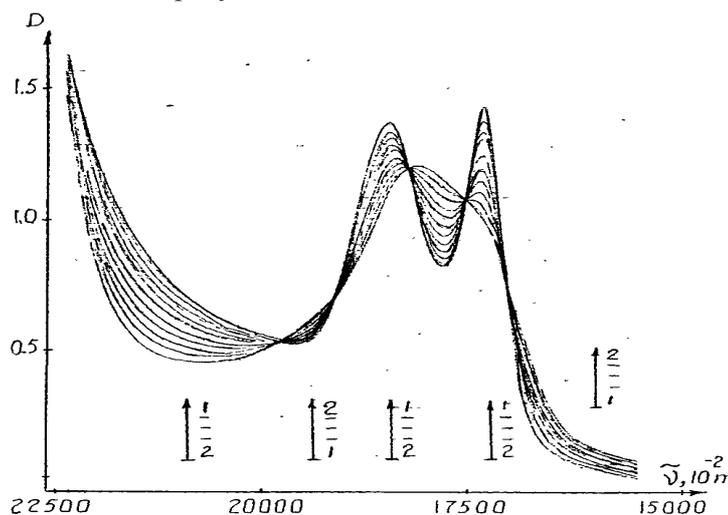


Рисунок 5 – Спектры поглощения характеризующие образование дезоксигемоглобина из оксигемоглобина при продувании через раствор азота

Аналогичные спектры получают при добавлении дитионита или вакуумировании раствора оксигемоглобина. 1 – исходный НвО₂; 2 – дезоксиНв.

Обработку результатов исследования по спектрам поглощения проводили на основании того, что между различными формами гемоглобина существует равновесное состояние, что подтверждается наличием изобестических точек в спектрах поглощения (рисунки 1–5).

Использование метода изобестических точек или длин волн позволяет значительно упростить определение компонентов в равновесной смеси. Изобестическая длина волны или изобестическая точка – такая длина волны, при которой коэффициенты экстинкции имеют одинаковое численное значение для двух или нескольких веществ, способных обратимо превращаться друг в друга. Способ расчета основан на использовании закона Бугера-Бера и составлении системы уравнений для двух длин волн, произвольно выбранных. По спектрам определяли поглощение (оптическую плотность) D_1 и D_2 для длин волн λ_1 и λ_2 соответственно и учитывая, что поглощение D смеси различных форм гемоглобина равна $D = D_1 + D_2$, где D_1, D_2 – поглощение каждой формы гемоглобина. Зная коэффициент молярной экстинкции ϵ_1 одной формы гемоглобина для

λ_1 , можно всегда при 100% переходе одной формы гемоглобина в другую определить экстинкцию ε_1 для λ_1 другой формы гемоглобина из условия, что $C_1 = \frac{D_1}{\varepsilon_1}$ $C_2 = \frac{D_2}{\varepsilon_2}$

где $C_1=C_2$ (концентрации форм гемоглобина) при 100 % переходе одной формы гемоглобина в другую форму.

$$\text{Тогда } \frac{D_1}{\varepsilon_1} = \frac{D_2}{\varepsilon_2} \quad \text{или} \quad \varepsilon_2 = \frac{D_2 \varepsilon_1}{D_1}$$

Такой метод позволяет определить экстинкцию для любых форм гемоглобина при наличии экстинкции известной формы. Для любого случая смеси двух форм гемоглобина расчетное уравнение может иметь вид:

$$D_1 = C_1 \varepsilon_{1\lambda_1} + C_2 \varepsilon_{2\lambda_1}$$

$$D_2 = C_1 \varepsilon_{1\lambda_2} + C_2 \varepsilon_{2\lambda_2}$$

где $D_1; D_2$ – оптическая плотность, определяемая по спектру поглощения двух форм гемоглобина для λ_1 и λ_2 ; C_1 и C_2 – концентрации различных форм гемоглобина; $\varepsilon_{1\lambda_1}$ и $\varepsilon_{1\lambda_2}$ – коэффициенты молярной экстинкции для длин волн λ_1 и λ_2 для первой формы гемоглобина; $\varepsilon_{2\lambda_1}$ и $\varepsilon_{2\lambda_2}$ – коэффициент молярной экстинкции для длин волн λ_1 и λ_2 для второй формы гемоглобина.

Решение этих линейных уравнений позволяет определить любую концентрацию исследуемых форм гемоглобина.

Для трех форм гемоглобина НвО₂, дезоксиНв, метНв для составления линейных уравнений берем следующие длины волн: 555 нм, 541 нм, 500 нм. Молекулярные экстинкции веществ для этих длин волн представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты молярной экстинкции ферро- и ферриформ Нв (L/(моль*см))

	λ -нм	ε -LM ⁻¹ см ⁻¹	λ -нм	ε -LM ⁻¹ см ⁻¹	λ -нм	ε -LM ⁻¹ см ⁻¹
НвО ₂	555	9750	541	14370	500	5060
Нв	555	13040	541	11940	500	4090
метНв	555	4880	541	6100	500	9040

В случае исследования многокомпонентной смеси n различных форм гемоглобинов составляет система из n линейных уравнений, но в этом случае уменьшается точность нахождения концентраций гемоглобинов из-за взаимного влияния электронных поглощений, вследствие чего происходит искажение спектров поглощения. Данные рассуждения справедливы для случая выполнения закона Бугера-Ламберта-Бера.

Результаты исследований по изменению спектральных свойств гемоглобина и комплексов Нв с лигандами и другими соединениями могут использоваться в медицинской фармакологии и экспериментальной биологии для предотвращения повреждающего действия различных веществ на транспорт кислорода гемоглобином.

Список использованных источников

1 Степуро, И. И. Образование альдегидов из спиртов под действием пероксидной формы гемоглобина и гидроксильных радикалов, генерируемых ионами Cu^{2+} и Fe^{2+} в присутствии H_2O_2 / И. И. Степуро, В. А. Игнатенко, Д. А. Опарин // Журнал физической химии. – 1990. – Т. 64, № 7. – С. 1774–1782.

Т. И. Кожедуб

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВЛИЯНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОСФОРА В КАРПОЗОФАХ МИКОРИЗОБРАЗУЮЩИХ ГРИБОВ

Макромицеты играют существенную роль в жизнедеятельности лесных экосистем, стимулируя рост и развитие древостоя, оказывая существенное влияние на почвообразующие процессы в лесу (Багинский, Булова). Функциональная роль грибов в процессе круговорота веществ

в природе определяется их способностью синтезировать комплекс внеклеточных ферментов, с помощью которых происходит деградация растительного субстрата. Благодаря способности к поглощению минеральных и органических соединений из почвенного раствора и лесной подстилки, макромицеты принимают непосредственное участие в трансформации и концентрировании химических элементов. Микоризообразующие грибы играют важную роль в лесных экосистемах, образуя симбиоз с растениями многих видов, они трансформируют в почве соединения элементов минерального питания, переводят их в доступную для поглощения форму. Считается, что усиленное поглощение фосфора микоризными растениями вызвано увеличением поверхности корневой системы за счет внешних гиф гриба. Микориза поглощает питательные вещества и воду из почвы с более высокой скоростью, чем обычные корни [1; 2; 3].

Беларусь, в настоящее время одно из немногих государств, где леса занимают около 39 % территорий, а лесистость Гомельской области составляет 45 %, В лесах юго-восточной части страны сосредоточены крупные запасы дикорастущих макромицетов. Изучение взаимодействия минералогических, гранулометрических и физико-химических свойств субстрата и трансформационных возможностей грибов, является актуальным.

Целью настоящего исследования было изучение влияния агрохимических свойств лесных почв на содержанием фосфора в плодовых телах наиболее распространенных и собираемых видов грибов. Объектом исследования были пробы грибов *Boletusedulis*, *Cantharelluscibarius*, *Leccinumscabrum*, *Leccinumaurantiacum* и *Russulavesca*, собранных в сосновых и сосново-березовых лесах Гомельского региона. Пробные площади размером 100 x 50м были заложены в лесорастительных условиях типов А₂ и В₂. Всего заложено одиннадцать опытных объектов.

Для изучения зависимости содержания фосфора в карпофорах макромицетов от агрохимических свойств почв, была проведена оценка содержания исследуемого элемента в грибах для каждого стационара. Обязательным условием эксперимента являлось наличие образцов всех пяти исследуемых видов грибов одного размера, в одинаковом массовом соотношении. В почве определяли обменную кислотность и содержание гумуса и фосфора. Содержание фосфора в почве и в грибах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Solaar M-6.

В таблице 2 приведены результаты определения некоторых агрохимических показателей лесных почв и содержания фосфора в плодовых телах грибов.

Таблица 1 – Свойства лесных почв и содержание фосфора в пробах грибов

№ пробной площади	pH	Содержание гумуса, %	Содержание фосфора в почве, мг/кг	Среднее содержание фосфора в плодовых телах, мг/кг сухого вещества
1	5,01	2,02	144	4600 ± 97
2	4,7	3,61	74	3800 ± 34,5
3	4,5	2,16	82	4100 ± 54
4	4,3	0,41	91	4300 ± 96
5	4,2	1,33	77	5800 ± 63
6	4,1	1,52	79	5000 ± 38
7	4,1	2,66	88	5400 ± 48,2
8	4,0	1,37	85	5800 ± 110
9	4,0	0,93	73	5200 ± 43
10	3,8	2,53	39	4000 ± 84
11	3,6	0,75	42	4100 ± 72

Исследованные лесные почвы являются кислыми, что характерно для дерново-подзолистых почв Гомельского региона [4]. Содержание гумуса в них варьирует от 0,4 до 3,6 %. Содержание подвижных форм фосфора составляет 39÷144 мг/кг сухой почвы, и находится в прямой корреляционной зависимости от pH почвенного раствора, коэффициент корреляции составляет 0,8. Известно, что лесные почвы бедны соединениями фосфора, содержание данного элемента в гумусовом горизонте весьма изменчиво и зависит от многих факторов [5]. При повышении кислотности почвенного раствора увеличивается концентрация в нем подвижных форм алюминия. Алюминий переводит фосфаты почвы в неподвижную форму. По результатам проведенных исследований также можно отметить, что с увеличением кислотности содержание легкорастворимого фосфора в почве значительно уменьшается. Связи между содержанием гумуса в почве и величиной коэффициента накопления фосфора в плодовых телах грибов не обнаружено.

Данные ряда авторов [6; 7; 8] указывают на прямую взаимосвязь между содержанием доступных форм фосфора в почве и повышением урожайности растений и содержанием в них фосфатов. В системе почва-плодовые тела грибов отсутствует столь однозначная зависимость в случае миграции фосфора, что подтверждено экспериментально. Заметна незначительная разница показателей по содержанию фосфора в плодовых телах между грибами, произрастающими на почвах с высокой и низкой минерализацией относительно изучаемого элемента. Так в пробе № 1 содержание фосфора в почве составляет 144 мг/кг, в карпофорах грибов произрастающих на данном участке содержится 3600 ± 97 мг/кг сухого вещества фосфора. В пробе № 10 наблюдается уменьшение легкорастворимого фосфора в 3 раза и составляет всего 39 мг/кг почвы, а содержание фосфора в грибах изменяется незначительно и составляет 4000 ± 84 мг/кг продукта.

Представляются интересными данные коэффициента перехода фосфора из почвы в грибы. На рисунке 1 видно, при понижении pH среды на пробной площади увеличивается коэффициент перехода фосфора в системе (почва – грибы). Тенденция накопления фосфора в плодовых телах при повышении кислотности почвы характерна для всех исследуемых видов макромицетов. Величины среднего содержания фосфора в плодовых телах анализируемых видов грибов отражают упомянутую зависимость (рисунок 1). Корреляционный анализ указывает на высокую обратную зависимость показателей.

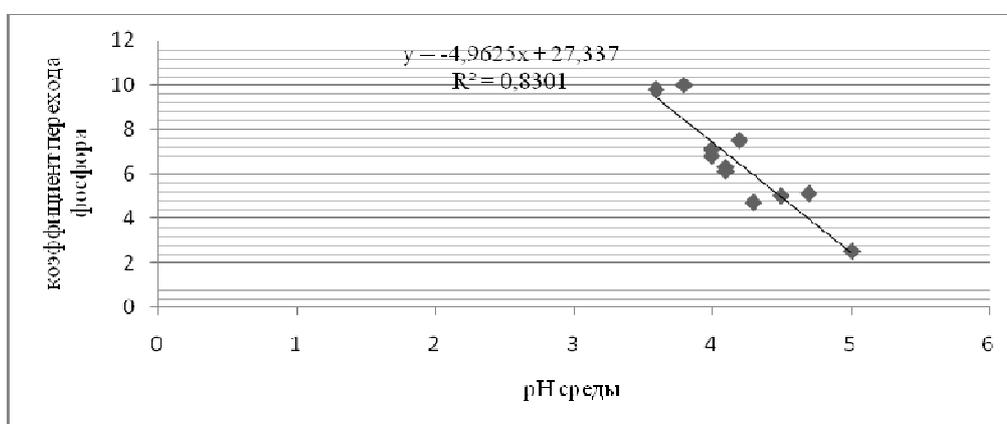


Рисунок 1 – Влияние pH почвенного раствора на величину коэффициента перехода фосфора в системе почва – грибы

Можно предположить, что высокая ферментативная активность микоризообразующих грибов, а также продукция микотрофными корнями кислой и щелочной фосфатаз, являются важными факторами перевода в почве малорастворимых соединений фосфора в доступные формы [1]. Способность макромицетов накапливать фосфор при его нехватке для минерального питания высших растений демонстрирует роль микоризы в повышении плодородия лесных почв.

На рисунке 2 представлены результаты определения содержания фосфора в плодовых телах исследуемых видов грибов. Наибольшее содержание отмечено в грибах с трубчатым гименофором: в карпофорах *Boletusedulis*, содержится 5300 мг/кг сухих грибов, в *Leccinumscabrum* и *Leccinumaurantiacum* концентрация фосфора ниже на 3–9 %. Анализируемые грибы с пластинчатым гименофором содержат меньшее количество фосфора, чем трубчатые, примерно на 20 %.

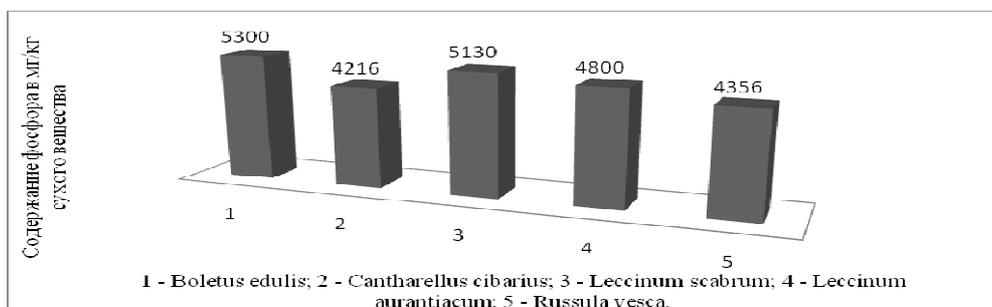


Рисунок 2 – Содержание фосфора в плодовых телах некоторых видов макромицетов

Полученные данные согласуются с литературными: в работе [9] отмечено, что наименьшее содержание фосфора наблюдается в образцах лисички обыкновенной.

Таким образом в результате исследований установлено, что понижение рН почвенного раствора приводит к увеличению коэффициента перехода фосфора в дикорастущие грибы. Сорбционные свойства относительно фосфатов выше у грибов с трубчатым гименофором.

Список использованных источников

- 1 Космачевская, Л. Н. Арбускулярно-везикулярная микориза: ее изучение и применение для повышения плодородия почв / Л. Н. Космачевская // *АгроЭкоИнфо*. – 2009. – № 2. – С. 15–25.
- 2 Соколова, Н. А. Использование ВАМ-грибов в агроценозе для регулирования фосфорного питания растений на обычных и эродированных черноземах : дис. ... канд. биол. наук / Н. А. Соколова. – М. : МГУ, 1995.
- 3 Augé, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscularmycorrhizal Symbiosis / R. M. Augé // *Mycorrhiza*. – 2001. – Vol. 11, № 3. – p. 42–45.
- 4 Козловская, И. П. Почвоведение с основами геоботаники : учеб. пособие / И. П. Козловская. – Минск : Ураджай, 2000. – 223 с.
- 5 Карпачевский, Л. О. Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. – М. : Лесная промышленность, 1981. – 170 с.
- 6 Чириков, Ф. В. Превращение фосфатов суперфосфата в почвах / Ф. В. Чириков, В. А. Александрова // *Почвоведение*. – 1952. – № 6. – С. 538–550.
- 7 Титова, В. И. Миграция фосфора и калия минеральных удобрений по пахотному слою черноземной почвы / В. И. Титова // *Действие удобрений и отходов промышленности на продуктивность сельскохозяйственных культур, качество урожая и свойства почвы*. – Горький, 1984. – С. 44–47.
- 8 Johnson, D. W. Factors affecting anion movement and retention in four forest soils / D. W. Johnson, D. W. Cole, H. Van Miegroet, F. W. Horng // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* – 1986. – Vol. 50, № 3. – P. 776–783.
- 9 Бакайтис, В. И. Содержание макро- и микроэлементов в дикорастущих грибах Новосибирской области / В. И. Бакайтис, С. В. Басалаева // *Техника и технология пищевых производств*. – 2009. – № 2. – С. 73–76.

И. И. Концевая

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

Е. А. Карпова, Н. В. Шамаль

г. Гомель, Институт радиобиологии НАН Беларуси

ИЗУЧЕНИЕ МИТОЗА В *ALLIUM*-ТЕСТЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА КУКОЛОК КИТАЙСКОГО ДУБОВОГО ШЕЛКОПРЯДА И ХРОНИЧЕСКОМ ОБЛУЧЕНИИ

Одним из самых сильных стрессоров физической природы является ионизирующее излучение [1, с. 110–137]. У растений на стресс формируется адекватная ответная реакция. Эта способность растений связана с изменением регуляции метаболизма и определяется быстротой и глубиной его изменения без нарушения согласованности между отдельными функциями, благодаря чему не нарушается единство организма и среды. Изучение закономерностей генетической нестабильности у растений имеет важное фундаментальное и прикладное значение, в частности, для прогнозирования отдаленных последствий облучения различных видов растений с целью сохранения их генофонда.

В настоящее время известно, что экстракт жидкого содержимого куколок дубового шелкопряда (ВЭКШ, экстракт) оказывает целый комплекс биостимулирующих, антиоксидантных и иммуномодулирующих эффектов [2, с. 264]. Предполагается, что ВЭКШ благодаря своей мощной антиоксидантной активности будет обладать протекторными свойствами при действии радиации на растения. Однако следует принять во внимание, что антиоксиданты, в зависимости от концентрации и других факторов, могут проявлять либо антиоксидантное действие, либо прооксидантное, либо вообще не проявлять какого-либо эффекта на интенсивность накопления активных форм кислорода и скорость реакций свободнорадикального окисления, и тем самым на общее состояние организма и его адаптивность [3, с. 14–15].

Цель работы – изучить влияние хронического облучения и различных концентраций ВЭКШ на продолжительность фаз митоза в клетках корневых меристем *Allium cepa* L.

Биотестирование различных концентраций ВЭКШ выполняли с применением *Allium*-теста [4, с. 99–102].

В исследованиях использовали луковицы лука посевного (*Allium cepa* L.). Хроническое облучение луковиц проводили на установке УОГ-1 с источником излучения цезий-137 (мощность дозы 0,339 мк Гр/с). Луковицы облучали в течение 74 суток до суммарной дозы 5,71 Гр. Предполагалось, что облучение в такой дозе может подавлять рост и развитие растений лука. Проращивание выполняли спустя 1–3 суток после облучения.

В эксперименте на каждый вариант использовали в трех повторностях по 12 репчатых луковиц сорта «Штуттгартен», диаметром 2,0–2,5 см. Предварительно у луковиц удалили внешние чешуи и коричневую нижнюю пластинку, а затем поместили в 20 мл пробирки, наполненные дистиллированной водой. Проращивание луковиц проводили при комнатной температуре 20–25 °С при естественном освещении. Через 48 часов отобрали на каждую повторность по 10 наиболее развитых луковицы и поместили их на 24 часа в тестируемые растворы ВЭКШ (таблица 1). В качестве контроля использовали дистиллированную воду (к). Выбор дистиллированной воды обоснован в работе [5, с. 59–74].

Таблица 1 – Схема эксперимента, обозначения вариантов опыта

Используемый материал	H ₂ O	o1 (10 мл в 100 мл H ₂ O)	o3 (0,1 мл в 100 мл H ₂ O)	o6 (0,001 мл в 100 мл H ₂ O)
луковицы в норме	к	к–o1	к–o3	к–o6
луковицы облученные	I–к	I–o1	I–o3	I–o6

Возможность ингибирующего либо стимулирующего эффектов ВЭКШ оценивали с использованием метафазного и ана-телофазного метода учета перестроек хромосом в клетках корневых меристем лука. Для выявления стадии митоза, на которой происходит митотический блок, подсчитывали относительную продолжительность фаз митоза [6, с. 15]. Просмотр препаратов осуществляли на микроскопе Leica Gallen III при увеличении 600. По каждому варианту было просмотрено более 20 000 клеток. Статистический анализ данных выполняли с использованием программы Microsoft Excel. Для определения достоверных различий между вариантами опыта и контролем использовали критерий Стьюдента – *t*.

Расчет различных типов митотического индекса и определение долей делящихся клеток необходимы для регистрации времени прохождения клетками различных стадий митоза, в том числе выявления возможной задержки клеток на какой-либо стадии вследствие повреждения собственных структур под действием внешних или внутренних факторов любой природы. В зависимости от того, на какие метаболические и регуляторные процессы совместно влияют тестируемые факторы, происходит остановка клеточного деления на определенной стадии митоза.

Известно, что продолжительность разных стадий митоза в физиологических условиях у разных растений неодинакова. Однако сохраняется закономерность: наиболее продолжительны стадии, связанные с процессами синтеза: профазы и телофазы. Стадии митоза, во время которых происходит движение хромосом, обычно осуществляются быстро. Если говорить о средних величинах отдельных фаз митоза, то допустимо считать, что длительность профазы варьирует в пределах 40–48 %, длительность метафазы и анафазы колеблются от 7 до 18 %, длительность телофазы изменяется от 20 до 38 % [7, с. 75].

Изучение распределения клеток по стадиям митоза показало, что наибольшее их число, как в контрольных вариантах, так и в опытных, приходится на профазу (41,6±3,8–59,8±4,0 %), доля клеток на стадии метафазы составила 14,2±2,4–30,3±3,7 %, стадии анафазы – 9,4±3,5–16,4±4,5 %, стадии телофазы – 5,4±1,5–19,4±3,5 % (рисунок). Из приведенных данных видно, что имеются определенные колебания по длительности стадий митоза как между вариантами опыта, так и в сравнении с литературными данными [7, с. 75].

Выявление способности веществ останавливать клеточное деление на различных стадиях митоза, по мнению И. А. Алова [8, с. 150–178], позволяет высказать мнение о механизме действия этих соединений. Так, блокировка на стадии профазы говорит о вмешательстве в метаболизм нуклеиновых кислот либо наблюдается при нарушениях репликации ДНК, блок на стадии метафазы характерен для всех патологий, связанных с повреждением митотического аппарата, в результате становится проблематичным расхождение хромосом к полюсам. Блок на стадии анафазы и телофазы свидетельствует о величине повреждения хромосомного аппарата, выражающейся в возрастании количества мостов.

Исследуемый показатель в клетках лука контрольного варианта I–к, луковицы которого были подвержены облучению радиацией в суммарной дозе 5,71 Гр, в сравнении с контрольным

вариантом к-к, наиболее близок к параметрам митоза при оптимальных физиологических условиях (рисунок 1).

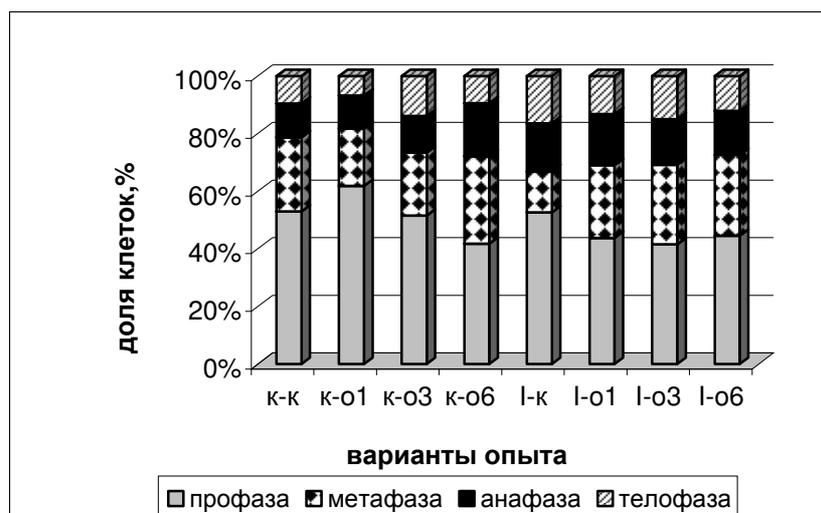


Рисунок 1 – Влияние ВЭКШ и радиоактивного облучения на относительную продолжительность фаз митоза в меристематических клетках *Allium cepa* L

В зависимости от того, на какие синтетические процессы клеточного цикла влияют разные концентрации экстракта, происходит остановка клеточного деления на определенной стадии митоза. В текущем эксперименте наибольшее количество клеток на стадии метафазы наблюдали в вариантах опыта к-о6, I-о3, I-о6, на стадии телофазы – в вариантах опыта к-о3, I-к, I-о3 и наибольшее количество клеток на стадии анафазы наблюдали в вариантах к-о6, I-к, I-о1. В вариантах опытов I-о1, I-о3 число клеток в стадии профазы уменьшается по сравнению с вариантами к-о1, к-о3 соответственно.

Известно, что облучение способно индуцировать следующие типы повреждений ДНК: одностранные разрывы, двойные разрывы ДНК, сшивки ДНК-ДНК и ДНК-белок, приводящие к изменению вторичной структуры ДНК [5, с. 60–66]. Любое первичное повреждение молекулы ДНК в результате серии ферментативных реакций может реализоваться в точечную мутацию или хромосомную аберрацию, а может и не реализоваться. Одновременно с патологическими клеточными процессами функционируют репарационные механизмы. Предположительно по этой причине тестируемая суммарная доза хронического облучения, равная 5,71 Гр, не оказала негативного влияния на прохождение митоза в клетках лука. Потенциальные клеточные повреждения различной природы успешно регулируются с привлечением различных клеточных механизмов. В частности, в варианте I-к продолжительность профазы по сравнению с опытными вариантами длиннее, что свидетельствует об внутренних адаптивных саморегулирующих процессах в популяциях клеток.

Таким образом, достоверные изменения величин относительной длительности фаз митоза отмечали при проращивании облученных луковиц на растворах с тестируемыми концентрациями экстракта в сравнении с вариантом проращивания луковиц на воде. Только для метафазы наблюдали увеличение исследуемого показателя.

Список использованных источников

- 1 Гудков, И. Н. Роль асинхронности клеточных делений и гетерогенности меристемы в радиоустойчивости растений / И. Н. Гудков, Д. М. Гродзинский // Механизмы радиоустойчивости растений. – Киев : Наукова думка, 1976. – С. 110–137.
- 2 Чиркин, А. А. Антиоксидантная активность куколок китайского дубового шелкопряда / А. А. Чиркин [и др.] // Ученые записки УО «ВГУ им. П. М. Машерова» : сб. науч. статей. – Витебск : Изд-во УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2007. – С. 248–265.
- 3 Симонян, А. В. Антиоксиданты в современном здравоохранении / А. В. Симонян // Медицинский вестник. – 2008. – № 16. – С. 14–15.
- 4 Fiskesjo, G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring / G. Fiskesjo // Hereditas. – 1985. – Vol. 102. – P. 99–102.

5 Evseeva, T. I. Genotoxicity and cytotoxicity assay of water sampled from the underground nuclear explosion site in the north of the Perm region (Russia) / T. I. Evseeva [et al.] // J. Environ. Radioactivity. – 2005. – Vol. 80. – P. 59–74.

6 Калаев, В. Н. Цитогенетический мониторинг: методы оценки загрязнения окружающей среды и состояния генетического аппарата организма / В. Н. Калаев, С. С. Карпова. – Воронеж : ВГУ, 2004. – 80 с.

7 Пухальский, В. А. Практикум по цитологии и цитогенетике растений / В. А. Пухальский [и др.]. – М. : Колос, 2007. – 186 с.

8 Алов, И. А. Цитофизиология и патология митоза / И. А. Алов. – М. : Медицина, 1972. – 264 с.

И. И. Концевая

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ОТНОШЕНИЕ СТУДЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА К СТАТУСУ МАГИСТРА

Магистр – это «...широко эрудированный специалист с фундаментальной научной подготовкой, владеющий методологией научного и педагогического творчества, современными информационными технологиями, подготовленный к научной и педагогической работе» [1, с. 8–9]. Повышение эффективности системы образования является главным ориентиром мировой общеобразовательной политики третьего тысячелетия.

Собравшиеся в 1999 г. в г. Болонье (Италия) министры образования 29 стран подписали Болонскую декларацию о признании двухуровневой системы высшего образования по схеме: бакалавр – магистр. В декларации была сформулирована основная цель Болонского процесса – достижение сопоставимости и, в конечном счёте, гармонизация национальных образовательных систем высшего образования в странах Европы. Таким образом, был инициирован процесс создания странами Европы единого образовательного пространства. Предвестниками Болонской декларации по праву является Великая хартия университетов (Болонья, 1988) и Сорбонская декларация (Париж, 1998). Изначально предполагалось, что основные цели Болонского процесса должны быть достигнуты к 2010 году [2, с. 2]. На сегодняшний день процесс включает в себя 47 стран-участниц, которые ратифицировали Европейскую культурную конвенцию Совета Европы (1954). В 2015 году Республика Беларусь вторично подала заявку для присоединения в Болонский процесс.

В соответствии с п. 5 статьи 202 «Система высшего образования» Кодекса Республики Беларусь об образовании (вступил в силу с 1 сентября 2011 года), на II ступени высшего образования (магистратура) обеспечиваются углубленная подготовка специалиста, формирование знаний, умений и навыков научно-педагогической и научно-исследовательской работы с присвоением степени магистра. На II ступени высшего образования реализуются образовательная программа высшего образования II ступени, формирующая знания, умения и навыки научно-педагогической и научно-исследовательской работы и обеспечивающая получение степени магистра, и образовательная программа высшего образования II ступени с углубленной подготовкой специалиста, обеспечивающая получение степени магистра. Высшее образование II ступени дает право на продолжение образования на уровне послевузовского образования и на трудоустройство по полученной специальности (направлению специальности, специализации) и присвоенной квалификации [3, с. 230].

В этой связи с 2012 года, наряду с традиционными «академическими» программами подготовки магистров, начато проектирование программ так называемой «практико-ориентированной» или «профессиональной» магистратуры, которая обеспечит подготовку высококвалифицированных специалистов, ориентированных не столько на научно-исследовательскую и научно-педагогическую, сколько на проектную, опытно- и проектно-конструкторскую, технологическую, методическую и управленческую деятельность.

При анализе многоуровневого профессионально ориентированного университетского образовательного процесса высшей школы Российской Федерации мы отмечаем наличие педагогического компонента [4, с. 1–5]. Областью профессиональной деятельности выпускников педагогической магистратуры являются социальная сфера, образование, культура. Объектами деятельности выпускников магистратуры являются воспитание, развитие, просвещение учащихся, различные системы образования [5, с. 1].

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины в настоящее время осуществляет переход на двухуровневую систему высшего образования по всем специальностям и направлениям.

Целью исследования является выявление отношения студентов биологического факультета к статусу магистра на основе проведенного среди студентов ГГУ имени Ф. Скорины анкетирования.

Исследование проводили по представительной типической выборке в период: I–II декады декабря 2014 года. В качестве метода сбора первичной информации использовали анкетный опрос. Анкетирование проводили среди студентов 3-го и 4-го курсов биологического факультета Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, обучающихся по специальности 1-31-01 01-02 «Биология (научно-педагогическая деятельность)». Метод заполнения анкеты – анонимная индивидуальная форма ответов респондента на вопросы анкеты.

Выборка: всего было опрошено 145 студентов. На 3-м курсе выборка составила 76 респондентов. Из них: девушки – 85,5 %, парни – 14,5 %; учатся на бюджетной основе – 39,5 %, на контрактной основе – 60,5 %. На 4-м курсе опрошено 69 респондентов. Из них: девушки – 87,0 %, парни – 13,0 %; учатся на бюджетной основе – 42,0 %, на контрактной основе – 58,0 %.

Информационную базу проведенного исследования составили ответы студентов 3-го и 4-го курсов на вопросы анкеты. Несмотря на то, что Гомельский государственный университет с 1 сентября 2013/2014 учебного года перешел на двухуровневую систему высшего образования, 100 % опрошенных студентов практически ничего не знают ни о сути Болонского процесса, ни о возможностях поступления и обучения в магистратуре. Возможно, повысить число студентов, знающих о магистратуре и двухступенчатой модели высшего образования, можно будет с помощью активной рекламы на биологическом факультете, которая в настоящее время почти отсутствует. Этим можно объяснить и опасения студентов к незнакомому нововведению. Для нашего времени характерны активные процессы устаревания знаний и, соответственно, обновление знаний. К тому же отмечается заметная динамика социальных процессов: когда люди проявляют высокую мобильность в социальных и географических отношениях. Изменение среды в свою очередь приводит к необходимости приобретения новых знаний и компетенций. Необходимо признать, что знания, полученные в вузе, не могут оставаться неизменными и не способны обеспечить социальную и профессиональную адаптацию на протяжении всех трудовой деятельности человека. Отсюда и существенный плюс бакалавриата, который характеризуется фундаментальностью подготовки и возможностью повысить квалификацию и даже переквалифицироваться с получением новой специальности.

На рисунке 1 графически представлены намерения студентов биологического факультета относительно продолжения обучения в магистратуре. Показаны ответы на пять поставленных в анкете вопросов. Предложены следующие варианты ответов: да, нет, не знаю.

На вопрос 1 «Планируете ли Вы в будущем работать учителем в школе (иных образовательных учреждениях)?» студентами 3-го курса был дан положительный ответ в 52,6 %, студентами 4-го курса – в 47,8 %. Следует отметить, что данные цифры выше числа студентов, обучающихся на бюджетной основе. Это свидетельствует о том, что многие студенты, обучающиеся на контрактной основе, еще не определились с будущей работой. Подтверждением тому является невысокий процент респондентов, которые категорически дали на вопрос 1 ответ «нет» на момент опроса (29,0 % – студенты 3-го курса и 18,8 % – студенты 4-го курса) (рисунок 1).

На вопрос 2 «Планируете ли Вы продолжить свое обучение в магистратуре на биологическом факультете?» утвердительно ответили 6,6 % студентов 3-го курса и 18,8 % 4-го курса. Студенты обоих курсов дали ответ «нет» в 45 %. От 36,2 до 48,0 % респондентов не определились в отношении продолжения обучения в магистратуре. На 3-м курсе только одна студентка проявила желание продолжить обучение в формате «педагогическая магистратура» (1,3 %), на 4-м курсе такое желание высказали 2 студентки (2,9 %). Значительно больший интерес вызывает у студентов формат «научная магистратура»: от 5,3 % на 3-м курсе до 16,1 % на 4-м курсе. В отношении вопроса 4 «Планируете ли Вы продолжить свое обучение в формате «научная магистратура?» более 50 % респондентов обоих опрошенных курсов еще не определились (рисунок 1).

В тоже время на вопрос 5 «Как Вы считаете, получение статуса магистра может ли содействовать карьерному росту?» дали утвердительный ответ 88,1 % студентов 3-го курса и 92,8 % студентов 4-го курса. Ответ «нет» был дан в 2,9–3,9 % случаев. Следует отметить, что студенты 4-го курса по сравнению со студентами 3-го курса не столь категоричны в своих ответах по всем пяти вопросам анкеты: меньше ответов «нет» (рисунок 1).

На открытый вопрос «Каковы возможности статуса магистра?» респонденты дали более 13 вариантов ответа. Сумма ответов превышает 100 %, поскольку 1/3 часть респондентов на этот вопрос дали 2 или более вариантов ответа.

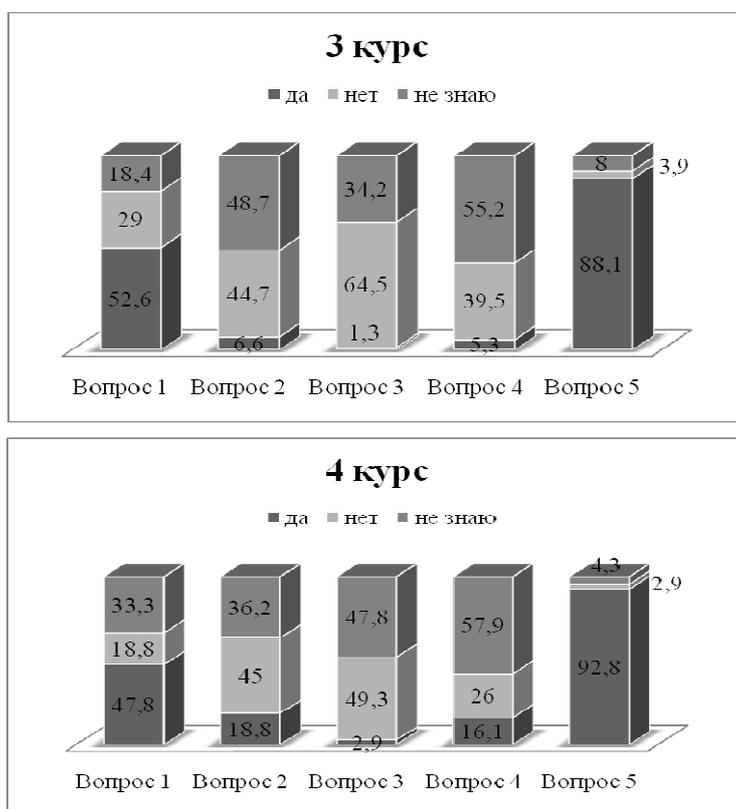


Рисунок 1 – Намерения студентов биологического факультета относительно продолжения обучения в магистратуре, %

По результатам опроса следует, что более 10,3 % студентов 3-го курса не задумывались о возможностях статуса магистра, дав ответ «не знаю». Среди студентов 4-го курса, даже при отрицательном отношении к статусу магистра, были даны конкретные ответы.

Респонденты обоих курсов чаще всего (от 7,4 до 18,7 % – студенты 3-го курса и от 17,2 до 21,5 % – студенты 4-го курса) называли следующие возможности при получении статуса магистра: возможность карьерного роста, лучшие возможности в трудоустройстве, выше зарплата, углубление знаний.

От 2,8 до 7,4 % студентов 3-го курса называли следующие положительные параметры статуса магистра: повышение статуса самой личности (7,4 %), повышение статуса в обществе (5,6 %), легче найти работу в НИИ (4,7 %), шире спектр направлений карьеры (3,7 %), продолжение учебы в аспирантуре (3,7 %), больше перспектив в жизни (2,8 %), устойчивый статус в рабочем коллективе (2,8 %). В тоже время студенты 4-го курса в 4,3 % случаев отмечали «лучшее отношение руководителя», в то время как студенты 3-го курса этот фактор не учитывали. От 1 до 2,1 % респондентов обоих опрошенных курсов называли также возможность работать с иностранцами, общение со специалистами, легче найти работу за границей, легче открыть свое дело.

Полученные в ходе исследования данные представляют определенный интерес. Несомненно необходима проводить среди студентов работу по повышению мотивационной направленности студентов, осваивающих разные ступени высшего образования.

Список использованных источников

- 1 Матвеев, Л. П. Введение в теорию физической культуры : учеб. пособие для институтов физической культуры / Л.П. Матвеев. – М. : ФиС, 1983. – 128 с.
- 2 Зона Европейского высшего образования : совместное заявление европейских министров образования г. Болонья, 19 июня 1999 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.inf.tsu.ru/Webdesign/bpros.nsf/news/010920051>. – Дата доступа : 27.01.2015.
- 3 Кодекс Республики Беларусь об образовании : одобрен Советом Республики 22 декабря 2010. – 354 с.

4 Бермус, А. Г. Педагогический компонент многоуровневого профессионально ориентированного университетского образования / А. Г. Бермус // Непрерывное образование: XXI век. Научный электронный журнал [Электронный ресурс]. – 2014. – Вып. 1. – Режим доступа : 10.15393/j5.art.2014.2281. – Дата доступа : 12.12.2014.

5 Профильное биологическое образование [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://magistratura.su/speciality/69631/profile/>. – Дата доступа : 10.02.2015.

А. В. Кравцов, И. И. Концевая
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНАМ ПО БИОЛОГИИ

Подавляющее количество усваиваемой человеком информации передается нам в так называемой линейной (последовательной) форме. При использовании словесных методов обучения, таких как книжные тексты, семинары, лекции, информация усваивается последовательно с помощью языка. Чем более последовательно и логично предоставляется информация, тем она легче для усвоения и понимания. В конце 20 века было доказано, что разные полушария человеческого мозга отвечают за разные аспекты человеческого мышления. Так, при классическом, линейном, подходе к запоминанию и обучению задействуется только левое полушарие, которое отвечает за логику и оперирование символами. Соответственно, подключая к процессу памяти правое полушарие мозга, отвечающее за образное мышление, мы, совмещая эти две системы, тем самым значительно увеличиваем скорость и качество усвоения запоминаемой информации. Именно этот принцип и лежит в основе интеллект-карт, или карт разума (русскоязычная терминология). Они были предложены в середине 60-х годов прошлого столетия английским психологом Тони Бьюзенем [1, с. 256].

Английское название методики – Mind Mapping, т.е. методика создания Mind Maps, создание «карт ума». Анализируя различные приемы запоминания, Тони Бьюзен пришел к выводу, что эффективность запоминания существенно повышается при предоставлении информации в виде графической схемы, которую он и назвал Mind Map – интеллект-карта. В центре рабочего листа бумаги (по рекомендации самого автора форматом не меньше А3) изображается произвольная фигура, например, круг, прямоугольник, овал, в поле которой записывается главная тема, идея или ключевое слово. От основного, главного раздела темы отходят ветви подтем, каждая из которых имеет свое название – ключевое слово (или группа ключевых слов), определяющее содержание подтемы. Подтемы могут делиться на подтемы второго порядка, подтемы третьего порядка и так далее. Глубина детализации формально не ограничена, а главным критерием является наглядность и полнота представленной таким образом информации. Среди важных условий Бьюзен рекомендует использовать разные цвета для разных ветвей, сопровождать ветви лаконичным рисунком, или пиктограммой, связанной по смыслу с содержанием. Многочисленные эксперименты, проведенные Бьюзенем и его командой последователей, показали высокую результативность такого представления информации [2, с. 320].

Бьюзен отмечал, что эффективность использования данного метода связана с устройством человеческого мозга, отвечающего за обработку информации. Обработка информации в мозге человека сводится к её обработке правым и левым полушарием одновременно. Левое полушарие отвечает за логику, слова, числа, последовательность, анализ, упорядоченность. Правое полушарие – за ритм, восприятие цветов, воображение, представление образов, размеры, пространственные соотношения. Обучающиеся, усваивая информацию, используют преимущественно левополушарные логические способности. Это блокирует способность головного мозга видеть целостную картину, способность ассоциативного мышления. В этом случае интеллект-карты являются тем инструментом, благодаря которому можно задействовать оба полушария для формирования учебно-познавательной компетенции обучающихся.

Метод интеллект-карт не является единственным в своем роде, однако в отличие от других подобных методик, имеет ряд превосходств, связанных с наличием четких правил составления карт, а именно:

1. Вместо линейной записи следует использовать радиальную. Это значит, что главная тема (идея), на которой будет сфокусировано наше внимание, помещается в центре листа, то есть действительно в фокусе внимания.

2. Желательно использовать бумагу формата А4, лучше рисовать от руки, но возможно и выполнение на компьютере; предпочтительно использование компьютерных программ: FreeMind, MindMaps, PowerPoint.

3. Записывать не все подряд, а только ключевые слова (идеи). В качестве ключевых слов выбираются наиболее характерные, яркие, запоминаемые, «говорящие» слова.

4. Ключевые слова (под-идеи) помещаются на ветвях, расходящихся от центральной темы. Ассоциации, которые, как известно, очень способствуют запоминанию, могут подкрепляться символическими рисунками.

Использование данного метода, как альтернативный подход к обучению и запоминанию, находит широкое применение среди людей разных профессий и занятий [3, с. 220].

Целью данной работы явилось исследование эффективности использования метода интеллект-карт для повышения успеваемости среди студентов 3–4-х курсов, обучающихся на одном факультете Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. В связи с вышесказанным необходимо было решить следующие задачи: опытным путём проверить методику Тони Бьюзена; сравнить классический способ ведения линейного конспекта с записями в формате интеллект-карт.

На протяжении двух лет группа студентов биологического факультета ГГУ им. Ф. Скорины, в количестве 10 человек, использовала при подготовке к сдаче экзаменов две методики. На первом году обучения (третий курс) использовали стандартное конспектирование в виде линейных записей. Излагаемый преподавателем материал лекций записывался дословно или близко к тексту, без использования цветных чернил. В последующем эти конспекты были основным источником повторения материала на этапе подготовки к экзаменам. Были отобраны три профильных предмета, с максимально близким количеством часов и учебной нагрузки, по результатам экзаменов которых и вычисляли средний балл успеваемости.

На второй год обучения (четвертый курс) этим же студентам была предложена и разъяснена методика ведения конспекта, записи лекций и подготовки к экзаменам, с применением метода Т. Бьюзена. По такому же принципу были отобраны три профильных предмета, с максимально близким количеством часов и учебной нагрузки. К каждому из предметов в ходе практических и теоретических занятий были составлены интеллект-карты с соблюдением основных критериев правильности, разработанных Т. Бьюзеном. Главным требованием, предъявляемым к участникам, было соблюдение иерархии подтем, выделение главных или ключевых слов, использование цветных чернил, горизонтальное (альбомное расположение) рабочего листа формата А4. Студенты могли использовать в процессе подготовки к экзаменам только конспекты-карты. Контингент участников отбирался по принципам: одного возраста и одной категории успеваемости. После каждой экзаменационной сессии отметки по трем отобранным предметам фиксировали в сводной таблице, и затем высчитывали средний балл успеваемости.

Для участия в исследовании были приглашены студенты с высокой успеваемостью и усердным подходом к обучению. Это нашло отражение в результатах первого года эксперимента, когда при использовании классических линейных конспектов были получены довольно высокие результаты по зимней и весенне-летним экзаменационным сессиям. Средний балл по выбранным предметам представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Средний балл участников в первый год исследования (третий курс)

Показатель	Предмет «А»	Предмет «Б»	Предмет «В»
Средний балл по предметам	7,4	7,2	7,6

После того как участники применили в процессе обучения метод интеллект-карт, средний балл успеваемости отразился в следующих цифрах, представленных в таблице 2. Полученные данные показывают, что средний балл успеваемости по предмету «А» увеличился с 7,4 до 7,7, что примерно составляет 5,4 %. По данному предмету прогресс оказался самым низким. Возможно потому, что материал предмета содержал большой объем информации, тесно связанный с математикой и физикой, что затруднило использование метода Тони Бьюзена, рассчитанного в большей мере для гуманитарного материала [4, с. 400].

Успеваемость по предмету «Б» также возросла на 9,7 % с 7,2 до 7,9 балла. Данный предмет содержал только практическую часть, связанную с математикой, физикой и другими расчетными дисциплинами, поэтому средний балл успеваемости этого предмета вырос почти на 10 %.

Таблица 2 – Средний балл участников на второй год исследования (четвертый курс)

Показатель	Предмет «А»	Предмет «Б»	Предмет «В»
Средний балл по предметам	7,7	7,9	8,7

Предмет «В» отмечен самым высоким прогрессом. Успеваемость с 7,6 баллов при использовании линейного, классического конспектирования, выросла до 8,7 балла при использовании интеллект-карт. Существенный рост успеваемости по предмету «В» мы связываем с отсутствием математических расчетов в изучаемом материале. В этом случае легко соблюдались основные требования по составлению интеллект-карт [5, с. 308]. Студенты делали своими руками сжатые конспекты-карты в виде ключевых фраз, без дополнительного комментария, материал легко запоминался благодаря простоте в создании образов и ассоциаций, что практически невозможно было в предмете «А», и затруднено в предмете «Б».

Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о том, что метод интеллект-карт Т. Бьюзена действительно является работающим инструментом обучения. Увеличение среднего балла успеваемости подтверждает, что студенты, использовавшие данную методику, гораздо лучше усваивают материал предмета, и более успешно сдают экзаменационную сессию по дисциплинам. Однако следует отметить и тот факт, что предмет, содержащий большое количество математических формул, задач, или иных абстрактных форм информации, для данного метода не всегда подходит. Поскольку на практике трудно создать ассоциацию или ключевое слово для сложной абстрактно-логической информации, то, соответственно, и успеваемость по такому предмету заметно не увеличивается. То есть, кардинальная отмена классического линейного конспекта, как это рекомендует автор методики интеллект-карт, представляется нам невозможной. Во-первых, потому что каждый студент должен подбирать методику конспектирования и подготовки к экзаменам, исходя из своих психологических особенностей; во-вторых, оптимальным вариантом, по-нашему мнению, является выработка некоего гибридного варианта, где для каждого предмета возможно использование различных методик, которые оптимальны на данном этапе обучения. И метод Тони Бьюзена, базирующийся на использовании интеллект-карт при конспектировании и подготовке к экзаменам, кажется нам наиболее перспективным и заслуживающим внимания.

Список использованных источников

- 1 Бьюзен, Т. Интеллект-карты / Т. Бьюзен ; пер. с англ. Е. А. Самсонов. – Минск : Поппури, 2009. – 256 с.
- 2 Бьюзен, Т. Интеллект-карты для практического мышления / Т. Бьюзен, К. Грифитеа ; пер. с англ. О. А. Белошеев. – Минск : Поппури, 2011. – 320 с.
- 3 Бьюзен, Т. Научите себя думать / Т. Бьюзен. – Минск : Поппури, 2008. – 220 с.
- 4 Хорст, М. Составление ментальных карт. Метод генерации и структурирования идей / М. Хорст ; пер. с англ. В. Мартынова, М. Дремин. – Минск : Поппури, 2012. – 400 с.
- 5 Копыл, В. А. Карты ума / В. А. Копыл. – М. : Харвес, 2013. – 308 с.

Е. А. Манешкина

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И ВОСПИТАНИЕ ЛИЦЕИСТОВ

На сегодняшний день проблемы экологического образования и воспитания стали общемировыми и рассматриваются на уровне таких авторитетных международных организаций как ЮНЕСКО (ООН по вопросам образования, науки и культуры), ЮНЕП (Программа ООН по окружающей среде), ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), ВФОП (Всемирный фонд охраны природы) и др. [3, с. 120].

В Республике Беларусь в последнее десятилетие вопросы экологического образования и воспитания поставлены для решения на государственном уровне, отражены в правительственных документах, связанных с осуществлением реформы общеобразовательной школы. Экологическая направленность образования введена в ранг принципа государственной политики в области образования. Одной из ведущих целей системы образования является формирование экологической культуры подрастающего поколения [5, с. 109]. Реализация данной цели позволяет

последовательно формировать мотивы овладения ключевыми и общепредметными компетенциями, показывая их актуальность, практическую значимость для адаптации к природным и социальным условиям среды, а также использовать активные методы обучения, современное оборудование, обеспечивающее включение учащихся в поисковую, исследовательскую деятельность в процессе изучения программ факультативных занятий экологической направленности [1, с. 45].

Экологическая культура – это социально необходимое нравственное качество личности, которое включает в себя: систему экологических знаний и умений, как основу экологической грамотности; систему ценностных ориентаций и убеждений, как нравственную основу поведения; систему экологически оправданных поступков в природе [6, с. 56]. Экологическая культура является важнейшей частью общей культуры, проявляющейся в духовной жизни и поступках, это особое качество личности осознавать непреходящую ценность жизни, природы и выражать активность в их защите.

В педагогической науке в соответствии с целью экологического образования формируются, а затем на практике развиваются принципы, которые определяют процесс становления и развития ответственного отношения школьников к окружающей среде. Выделяют следующие принципы экологического образования и воспитания: единство сознания, переживания, действия; принцип прогностичности [7, с. 48]; взаимосвязь глобального, национального и локального уровней экологических проблем; междисциплинарный подход; целенаправленность общения школьников с окружающей средой [3, с. 34].

Государственное учреждение образования «Лицей при Гомельском инженерном институте» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (далее по тексту – Лицей) является учреждением общего среднего образования с изучением учащимися отдельных учебных предметов на повышенном уровне и подготовкой к поступлению в учреждения образования, осуществляющие подготовку кадров с высшим образованием для МЧС Республики Беларусь, и иные учреждения образования других органов государственного управления. Лицей создан постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 мая 2004 г. № 612 и с 1 сентября 2004 года начал обучение воспитанников.

Лицей обеспечивает получение общего среднего образования в два этапа: первый этап (7–9 классы) – завершение получения общего базового образования, подготовка к обучению на третьей ступени общего среднего образования; второй этап (10–11 классы) – получение общего среднего образования. Воспитанники, прошедшие аттестацию после окончания девятого класса, получившие общее базовое образование, продолжают обучение на третьей ступени общего среднего образования. Обучение может осуществляться на белорусском и русском языках. Обучается 5 курсов, на каждом курсе по 2 взвода. 1-й курс соответствует 7 классу, 2-й курс – 8 классу, 3-й курс – 9 классу, 4-й курс – 10 классу, 5-й курс – 11 классу.

В сентябре 2012 года в Лицее был создан научно-исследовательский проект «Экологическая тропа» [2]. Вся деятельность по осуществлению научной, практической, воспитательной, образовательной и познавательной деятельности осуществляется на прилегающей к лицее территории урочища «Боровая». Также основополагающим фактором при создании экологической тропы явилось то, что «Лицей при Гомельском инженерном институте» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь является специализированным учреждением образования, которое готовит учащихся к поступлению в высшие учебные заведения пожарно-спасательной направленности. Ведь пожарному-спасателю как никому другому известна ценность сохранения окружающей среды в первозданном состоянии.

Экологическое образование призвано формировать знания о взаимодействии общества и природы, развивать умения и навыки по изучению и охране природы. Процесс экологического образования лицеистов в той или иной мере всегда, сочетая обучение и воспитание, направлен на формирование экологической ответственности в отношении окружающей среды. Все мероприятия, проходящие в рамках проекта «Экологическая тропа», имеют научное, практическое, методическое и общеобразовательное значение для экологического образования лицеистов.

В рамках проекта реализуются различные республиканские и международные акции. Занятия с лицеистами проводятся в активных формах. Для лицеистов разработан маршрут биолого-географической экскурсии «Экологическими тропами». Маршрут экскурсии (рисунок 1) включает изучение таких объектов, как озеро, лесная опушка, суходольный луг. Во время экскурсии учащимся разъясняются взаимосвязи и закономерности формирования рельефа прилегающей к лицее территории и экосистемы озеро-лес-суходольный луг. В данной экосистеме рассматриваются растения гигрофиты, которые произрастают вблизи водоемов или непосредственно в них,

лекарственные растения, многолетние и однолетние травы. По ходу маршрута встречаются разновидности съедобных и несъедобных грибов. В связи с этим с воспитанниками обсуждаются правила сбора грибов. На примере лиственных и хвойных пород деревьев лесной опушки изучаются сезонные изменения.

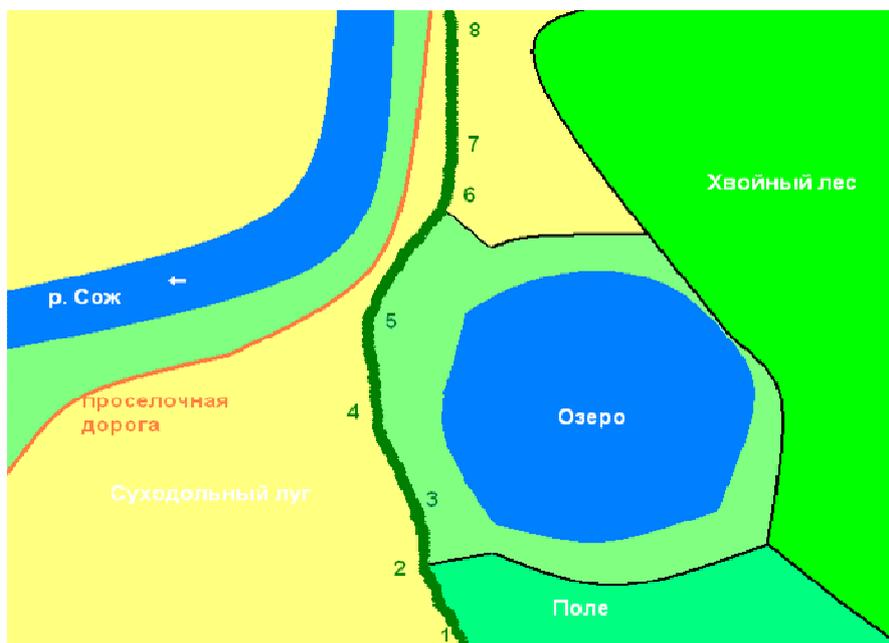


Рисунок 1 – План-схема «Экологической тропы»

Обязательным условием после проведения акций является подведение итогов по их эффективности. Победители мероприятий награждаются. Оформляются наглядные и методические материалы. Информация о мероприятии помещается на сайт учебного учреждения.

Таким образом, одним из перспективных направлений развития экологической культуры в системе экологической подготовки лицеистов является дополнительное непрерывное экологическое образование, предполагающее его постоянное обновление. Проект «Экологическая тропа» ориентируется на организацию такого педагогического процесса, в котором возможна подготовка в соответствии с личностными возможностями, интересами и потребностями на основе самоопределения личности, ее ценностных ориентаций, жизненных смыслов и мотиваций.

Список использованных источников

- 1 Вертинская, Л. А. Перспективы экологизации школьного образования / Л. А. Вертинская [и др.] // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века : материалы 12-й междунар. науч. конф., 17–18 мая 2012 г., г. Минск. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2012.
- 2 Государственное учреждение образования «Лицей при Гомельском инженерном институте» МЧС Республики Беларусь [Электронный ресурс] / ГУО «Лицей при Гомельском инженерном институте» МЧС Республики Беларусь. – Гомель, 2010. – Режим доступа : <http://liceymes.by/2014-09-11-11-29-14/eco.html>. – Дата доступа : 15.11.2014.
- 3 Зверев, И. Д. Общая методика преподавания биологии / И. Д. Зверев, А. Н. Мягкова – М. : Просвещение, 1985.
- 4 Информационно-образовательный портал сети образовательных учреждений Ярославской области [Электронный ресурс] / Ярославский Центр телекоммуникаций и информационных систем в образовании. – Ярославль, 2002. – Режим доступа : <http://projects.edu.yar.ru/biology/14-15/tur1/result.html>. – Дата доступа : 20.11.2014.
- 5 Конюшко, В. С. Методика обучения биологии : учеб. пособие для студентов / В. С. Конюшко [и др.] – Минск : Книжный дом, 2004.
- 6 Пономарева, И. Н. Общая методика обучения биологии : учеб. пособие для студ. пед. вузов / И. Н. Пономарева [и др.]. – М. : Академия, 2007.
- 7 Яковенко, Т. С. Индивидуальная ответственность и будущее человека / Т. С. Яковенко // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века : материалы 12-й междунар. науч. конф., 17–18 мая 2012 г., г. Минск. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2012.

Л. М. Пушкова, И. И. Концевая
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГУО «СРЕДНЯЯ ШКОЛА № 2 Г. ЖЛОБИНА»: АНАЛИЗ МОТИВАЦИОННО-ЦЕЛЕВЫХ АСПЕКТОВ ПОЛЬЗОВАНИЯ

В представленном материале рассмотрены особенности пользования учащимися ГУО «Средняя школа № 2 г. Жлобина» информационно-коммуникативными технологиями (ИКТ). При этом особое внимание уделено вопросам о мотивах пользования ИКТ, что позволит дифференцировать различные типы пользователей ИКТ по параметрам, характеризующим не только качественно-количественные особенности пользования (уровень доступности ИКТ, время пользования, уровень материально-технической оснащенности, компетентность в области ИКТ), но и по существенным характеристикам, которые касаются именно своеобразия содержательной направленности реализуемых подростками видах деятельности. Обсуждая обозначенную проблематику, учитывали различия в пользовании компьютером и Интернетом, поскольку здесь могут проявиться содержательные различия в подростковых видах деятельности [1, с. 410–425].

Государственное учреждение образования «Средняя школа № 2 г. Жлобина» в настоящее время осуществляет процесс повышения уровня развития и использования ИКТ в образовательном процессе. Цель настоящего исследования – выявление отношения учащихся ГУО «Средняя школа № 2 г. Жлобина» к использованию ИКТ.

Исследование выполняли по представительной типической выборке в период: I–II декады февраля 2015 г. В качестве метода сбора первичной информации использовали анкетный опрос. Анкетирование проводили среди учащихся ГУО «Средняя школа № 2 г. Жлобина». Метод заполнения анкеты – анонимная индивидуальная форма ответов респондента на вопросы анкеты.

Всего было опрошено 247 учащихся. В 6«А» классе выборка составила 26 респондентов. Из них: девушки – 50 %, парни – 50 %. В 7-х классах выборка составила 103 респондента. Из них 65 % – девушки, 35 % – парни. В 8-х классах выборка составила 50 респондентов. Из них девушки – 70 %, парни – 30 %. В 9 «А» классе опрошено 24 учащихся, из них 67 % – девушки, 37 % – парни. В 10 «А» классе выборка составила 27 респондентов. Из них девушки – 72 %, парни – 28 %. В 11 «А» классе опрошено 18 учащихся, из них парни – 33 %, девушки – 67 %.

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием пакета программ STATISTICA 7.0. Для определения значимости различий между средними значениями использовали t-критерий Стьюдента [3, с. 46–50; 103–121]. Информационную базу проведенного исследования составили ответы учащихся 6–11 классов на вопросы анкеты.

Обращаясь к ответам школьников на вопрос о том, насколько часто они пользуются компьютером и Интернетом, необходимо отметить, что более половины опрошенных указали, что «пользуются компьютером каждый день» (58,4 %); Интернетом «ежедневно пользуется» каждый четвертый (27,2 %). Различия в интенсивности пользования компьютером наиболее явно проявляются при сравнении ответов юношей и девушек, а также по таким параметрам, как специфика местоживания и академическая успеваемость. Так, анализ полученных материалов показывает, что среди мальчиков значительно больше, чем среди девочек, доля тех, кто пользуется компьютером ежедневно, соответственно, 68,9 и 43,7 % ($p = 0,02$). Однако, если среди «отличников» доля ежедневно пользующихся компьютером составляет 71,3 %, то среди «троечников» – 56,9 % ($p = 0,01$). Заметим, что относительно интенсивности пользования Интернетом каких-либо существенных различий между отличниками и троечниками не обнаружено.

Основные мотивы использования компьютера оказались связаны с развлечением: варианты ответа «пользуюсь, чтобы слушать музыку, смотреть кино» отмечает 69,6 % респондентов; «чтобы играть в компьютерные игры» – 54,3 %. Образовательные мотивы также выявлены достаточно часто: «чтобы готовиться к урокам (кроме уроков информатики)» – 45,6 %; «чтобы изучать различные программы» – 42,1 %; «готовиться к урокам информатики» – 29,1 %. Довольно высока доля школьников, указывающих на то, что они пользуются компьютером с целью «чтобы просто убить время» – 22,4 % ($p = 0,05$). Иными словами, фактически каждый пятый подросток фиксирует, что зачастую он не имеет четко сформированной мотивации и определенной цели при пользовании компьютером. Также следует отметить, что для 14,4 % школьников оказался значимым такой мотив пользования как «реализация своих творческих потреб-

ностей» ($p = 0,05$). Сумма ответов превышает 100 %, поскольку 1/3 часть респондентов на этот вопрос дали 2 или более вариантов ответа.

Анализ возрастной динамики изменения мотивации пользования компьютером показывает, что здесь заметные различия обнаруживаются относительно следующих четырех мотивов: «подготовка к урокам (кроме уроков информатики)»; «желание реализовать свои творческие потребности»; «использование компьютера, как средства для прослушивания музыки и просмотра кинофильмов» и «для того, чтобы играть в компьютерные игры».

Весьма показателен также сдвиг в значимости такой мотивации, как «прослушивание музыки и просмотр кинофильмов». Этот сдвиг происходит заметно раньше – на рубеже 7 и 9 классов и, с нашей точки зрения, свидетельствует о том, что на этом возрастном этапе складывается новый тип подростковой субкультуры. Необходимо отметить, что литературные данные показывают, что на данном возрастном рубеже кардинально изменяются художественные предпочтения школьников в различных видах искусства [2, с. 75–80]. Иными словами, помимо школы сегодня не только традиционные средства массовой информации, но и ИКТ оказывают мощное влияние на распространение и трансляцию художественных ценностей в подростковой среде. Таким образом, приведенные нами данные можно рассматривать как пример, иллюстрирующий влияние техноэволюционных процессов (развитие компьютерной техники) на сферу культуры, в частности, подростковой.

В этом контексте особый интерес представляет также анализ мотивации обращения подростка к Интернету. Здесь можно выделить четыре группы мотивов. Ожидаемо, что наиболее распространенной является потребность получения через Интернет необходимой информации: на это указали 47,3 % подростков. Вместе с тем крайне важно и то, что мотивация, связанная с учебной деятельностью, занимает при пользовании Интернетом второе по своей значимости место: «подготовку к урокам» отметили 23,5 %, «скачивание рефератов» – 32,7 %, «желание повысить свой культурный и образовательный уровень» – 20,3 %. Третью по значимости группу мотивов составили развлекательные: «скачивание музыки» – 35,7 %; «желание играть в сетевые компьютерные игры» – 24,6 %. Следует специально выделить мотивацию, связанную с коммуникативными возможностями Интернета («общение»), на которую указывают 41,7 % респондентов ($p = 0,01$).

Анализ возрастной динамики изменения мотивации показывает, что в пользовании Интернетом в отличие от пользования компьютером каких-либо существенных различий не обнаруживается. Можно отметить лишь два момента. Один из них касается заметного сдвига на рубеже 9 и 11 классов значимости мотивов пользования Интернетом в связи с учебной деятельностью.

Заметим, что содержательно данный сдвиг в изменении мотивации пользования Интернетом на рубеже 9-го класса соотносится и с отмеченным выше увеличением значимости использования компьютера в учебной деятельности. Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что в пользовании Интернетом среди подростков проявляется та же тенденция, что и в пользовании компьютером: на этапе перехода в старшее звено школы актуализируется мотивация, связанная с учебной деятельностью. Другой момент связан с изменениями в ответах относительно потребности в получении необходимой информации. Значимость этой мотивации последовательно увеличивается от 7-го к 11-у классу: в 7 классе составило 37,2 %, в 9 – 53,6 % , в 11 – 62,8 %. На наш взгляд, увеличение с возрастом числа выборов этой мотивации можно рассматривать с определенными оговорками как индикатор, фиксирующий своеобразие линии «взросления» – самоопределение подростка в информационной среде.

Завершая анализ особенностей мотивации в пользовании компьютером и Интернетом, отметим, что именно на этапе старшего школьного возраста проявляются отчетливые различия между учащимися с разной академической успеваемостью. Так, например, среди одиннадцати-классников-«троечников» отмечены те, которые пользуются компьютером, чтобы «подготовиться к урокам (кроме уроков информатики)» (41,3 %), а среди «отличников» доля таких учеников повышается в 1,9 раза до 79,2 %. Указывают на «подготовку к урокам» при пользовании Интернетом, соответственно, 22,6 % и 36,7 % ($p = 0,05$). На предыдущих возрастных этапах различия между учащимися с разным уровнем академической успеваемости не столь отчетливы.

Таким образом, мы видим, что академическая успеваемость выступает в качестве важного фактора, определяющего различия в мотивации пользования ИКТ: подростки с высокой академической успеваемостью более активно обращаются к компьютеру и Интернету и как к средству обеспечения учебной деятельности, и как к средству для самоопределения в информационном пространстве.

Помимо мотивов обращения к ИКТ, представляет интерес вопрос о пользовании подростками различными компьютерными программами. Заметим, что частота пользования теми или иными программами позволяет в первом приближении охарактеризовать те конкретные виды деятельности, которые реализует подросток, пользуясь компьютером и Интернетом.

Анализ ответов учащихся на вопрос о том, какое программное обеспечение они используют чаще всего, показывает, что наиболее популярны здесь те функции компьютера, которые связаны с проведением досуга: «музыкальные приложения» отмечают 61,3 % респондентов; «игры» – 55,7 % респондентов. Программы, использование которых в большей степени может быть связано с учебной деятельностью и ее организацией («текстовые редакторы и офисные приложения») используют 44,8 % респондентов, «программы-переводчики» – 9,7 % респондентов. Следует обратить особое внимание на то, что применение «обучающих программ по школьным предметам» отмечает довольно большое число учащихся – 21,2 % ($p = 0,01$). Это, на наш взгляд, свидетельствует о том, что сегодня учебная деятельность каждого шестого подростка тесно связана с использованием компьютерных технологий. Иными словами, мы можем зафиксировать сдвиг школьного образования в сторону его частичной «виртуализации», в позитивном смысле этого слова, когда для реализации учебной деятельности открываются новые возможности и перспективы.

Наряду с особенностями пользования компьютерными программами, особый интерес представляет вопрос о том, какие страницы в Интернете подростки посещают наиболее часто. Полученные данные показывают, что чаще всего учащиеся посещают «поисковые сервера» – 42,4 %. При этом с возрастом число учащихся, фиксирующих этот вариант ответа, заметно увеличивается с 6-го по 11-й классы. Необходимо отметить, что эта тенденция отчетливо проявилась и в исследованиях российских методистов [2, с. 80–85]. По всей видимости, это связано с тем, что с возрастом школьники работают с Интернетом более осмысленно и целенаправленно. Использование же поисковых серверов здесь играет роль своеобразного фильтра для отсеивания лишней информации. Следует также обратить внимание на то, что «игровые сервера» в качестве наиболее часто посещаемых страниц отмечает практически каждый шестой подросток (17,3 %). При этом в отношении данного варианта ответа прослеживается выраженная возрастная динамика.

Таким образом, проведенный анализ эмпирических данных показал, что уровень пользования ИКТ связан в значительной степени с изменением его мотивационно-целевой структуры. Следует обратить внимание на то, что подростки с высоким уровнем пользования, как правило, реализуют свои навыки и умения для организации структуры досуга, удовлетворения своих информационных, коммуникационных, эстетических и рекреационных потребностей. Однако лишь для незначительного числа подростков пользование ИКТ ориентировано на повышение культурного уровня, развитие творческих способностей. Таким образом, полученные данные показывают, что в современной ситуации образования «линия компетентного освоения» подростком ИКТ не реализует основную цель воспитания: подросток не становится субъектом своего собственного культурного развития.

Список использованных источников

- 1 Бабаева, Ю. Д. Интернет: воздействие на личность / Ю. Д. Бабаева [и др.]. // Гуманитарные исследования в Интернете / под ред. А. Е. Войскунского. – М. : Можайск-Терра, 2000. – 431 с.
- 2 Собкин, В. С. Отношение участников образовательного процесса к информационно-коммуникационным технологиям / В. С. Собкин, Д. В. Адамчук. – М., 2006. – 156 с.
- 3 Жученко, Ю. М. Математическая статистика в биологии и химии : учеб. пособие для студ. вузов по спец. 1-31 01 01 «Биология» / Ю. М. Жученко. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2010. – 197 с.

И. В. Кураченко, Е. С. Нечай-Ницевич
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННОЙ МЕЗОФАУНЫ ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ

Почвенные беспозвоночные занимают ведущее место по зоомассе в составе биоценоза, существенно влияют на процессы почвообразования, биологическую активность почвы. От состава

и численности почвенного населения зависят скорость и характер разложения лесной подстилки, а также физико-химические свойства и профиль почв [1, с. 24]. Сохранение разнообразия беспозвоночных и поддержание устойчивости их сообществ – важные задачи современной зоологии. Вместе с тем, мезофауна включает значительное количество лесных вредителей и имеет, поэтому, большое практическое значение [2, с. 108].

Изучение влияния недостатка влаги в летний период в условиях изменения климата, антропогенного воздействия на пойменные луга юго-восток Беларуси имеет существенное практическое значение, особенно на фоне проведенной осушительной мелиорации в поймах рек [3, с. 38; 4, с. 9]. В связи с этим определенным интересом представляет экологическое моделирование состояния пойменных зооценозов, включая комплексы почвенной мезофауны, в условиях недостатка влаги в летний период. В процессе экологического моделирования использовалась натурная (реальная) высокоградиентная модель на основе реальных компонентов пойменной экосистемы, отличающихся степенью увлажнения, которая в большей степени соответствует принципу адекватности [5, с. 14].

Целью работы явилось изучение видового состава, количественных характеристик и биомассы почвенной мезофауны пойменных лугов в зависимости от степени увлажненности почвы. Исследования проводились с июня по сентябрь 2012–2014 гг. в пойменных экосистемах реки Сож на территории Гомельского района. Изучалась почвенная мезофауна пойменных лугов, выбранных по градиенту увлажнения: недостаточное увлажнение – нормальное увлажнение – избыточное увлажнение [6, с. 41].

Во время изучения видового состава почвенных беспозвоночных в исследуемых биотопах применялся метод почвенных раскопок (закладка почвенно-зоологических участков размером 25×25 см. и глубиной 40 см). В каждом биотопе взято по 32 пробы, общее число проб 128. Определение биомассы проводилось по фиксированному в 4 % формалине материалу, как имаго, так и их личинок. Проведено систематическое определение до вида с помощью определителей Б. М. Мамаева [7, с. 10] и Н. Н. Плавильщикова [8, с. 9], рассчитаны количественные характеристики и биомасса почвообитающих беспозвоночных. Статистическая обработка материалов проводилась с использованием стандартных статистических методов по программам статистического пакета Statistica 7.0.

Изучение количественных характеристик и биоразнообразия почвообитающих беспозвоночных пойменных лугов, отличающихся условиями увлажнения, показывает, что по мере уменьшения увлажнения в комплексах почвенной мезофауны отмечается уменьшение видового разнообразия и численности беспозвоночных. Так, по данным 2012 г. на влажном лугу почти половина численности мезофауны приходилась на долю дождевых червей (*Lumbricidae*), которые представлены двумя видами *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843) и *Nicodrilus caliginosus* (Savigny, 1826). Чуть меньше половины численности мезофауны отмечено у жесткокрылых (*Coleoptera*). Редко встречались двукрылые (*Diptera*) и ракообразные (*Crustacea*). На лугу нормального увлажнения дернистошучкового типа численность мезофауны примерно такая же, как на влажном лугу, но структура комплекса мезофауны значительно отличалась. Преобладали не дождевые черви, а жесткокрылые, составляющие около половины численности всей мезофауны. Основу комплекса жесткокрылых составляли щелкуны. Кроме щелкунов значительна численность долгоносиков (*Curculionidae*) и жуликов (*Carabidae*). Численность дождевых червей по сравнению с влажным лугом существенно меньше. Представлены они также двумя видами *Lumbricus rubellus* и *Nicodrilus caliginosus*. Довольно многочисленны паукообразные (*Arachnida*), а также двукрылые (*Diptera*) и полужесткокрылые (*Hemiptera*). Луг недостаточного увлажнения отличался значительно меньшей численностью мезофауны по сравнению с влажным лугом и лугом нормального увлажнения. Комплекс дождевых червей меньше, чем на предыдущих стационарах. Доминировали жесткокрылые, появляются сухолюбивые обитатели – чернотелки (*Tenebrionidae*), отсутствующие на более влажных лугах.

В 2013 г. на указанных стационарах пойменной экосистемы наибольшая плотность почвенной мезофауны отмечалась на влажном пойменном лугу ($64,8 \pm 4,5$ экз./м²). В комплексе почвенной мезофауны доминировали дождевые черви. По сравнению с влажным лугом, на лугу нормального увлажнения плотность почвенной мезофауны составляла $32,5 \pm 6,0$ экз./м², почти в 2 раза меньше. Доминирующими группами являются дождевые черви и жесткокрылые. На лугу недостаточного увлажнения плотность почвенной мезофауны составляет $33,7 \pm 6,5$ экз./м². Дождевых червей не встречалось. Доминирующее место занимают жесткокрылые, затем паукообразные. Единично встречаются прямокрылые и чешуекрылые.

При изучении состояния популяций мезофауны пойменной экосистемы в летний период 2014 г. установили, что все показатели имеют наибольшие величины на влажном лугу поймы реки Сож (относительная плотность $281,0 \pm 39,2$ экз./м²). Основную часть составляют дождевые черви, на долю которых, приходится в среднем 226 экземпляров. Значительно меньшей плотностью обладают группы жесткокрылых и паукообразных, которая составляет $34,0 \pm 8,5$ и $11,0 \pm 3,2$ экз./м² соответственно (таблица 1).

Таблица – Состав и относительная плотность почвенной мезофауны пойменных лугов (экз./м²)

Группы беспозвоночных животных	Пойменные луга					
	влажный		нормального увлажнения		недостаточного увлажнения	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Дождевые черви	$35,0 \pm 1,7$	$26,0 \pm 24,6$	$16,0 \pm 2,5$	$56,0 \pm 7,4$	0	$18,0 \pm 6,4$
Жесткокрылые	$26,0 \pm 0,5$	$34,0 \pm 8,5$	$10,5 \pm 1,3$	$80,0 \pm 14,2$	$25,0 \pm 0,1$	$87,0 \pm 20,2$
Паукообразные	$1,6 \pm 1,0$	$11,0 \pm 3,2$	$1,7 \pm 0,6$	$17,0 \pm 4,8$	$4,0 \pm 1,2$	$45,0 \pm 4,2$
Чешуекрылые	$1,2 \pm 0,3$	$2,0 \pm 1,4$	$1,6 \pm 0,5$	$10,0 \pm 2,1$	$1,3 \pm 1,8$	0
Прямокрылые	0	0	$1,5 \pm 0,5$	$8,0 \pm 2,5$	$1,4 \pm 1,8$	$14,0 \pm 3,8$
Двукрылые	$1,0 \pm 1,0$	$8,0 \pm 1,5$	$1,2 \pm 0,6$	$12,0 \pm 3,8$	$2,0 \pm 1,6$	$20,0 \pm 4,6$
Итого	$64,8 \pm 4,5$	$281,0 \pm 39,2$	$32,5 \pm 6,0$	$183,0 \pm 34,8$	$33,7 \pm 6,5$	$166,0 \pm 32,8$

Редко встречаются двукрылые и чешуекрылые. Прямокрылых на влажном биотопе не обнаружено. На лугу нормального увлажнения доминирующее положение занимают жесткокрылые, средняя плотность которых составила около 80 экз./м². В сравнении с влажным лугом группа дождевых червей почти в 4 раза меньше. Также незначительно увеличилась численность паукообразных, в среднем составляющая 17 экз./м². Единично встречаются чешуекрылые, двукрылые и прямокрылые. Почвообитающие беспозвоночные на лугу недостаточного увлажнения отличаются среди обследованных биотопов наименьшей численностью. В отличие от влажного луга и луга нормального увлажнения, где преобладают дождевые черви и жесткокрылые, здесь доминируют жесткокрылые, численность которых равна около 90 экз./м².

Анализ видового богатства показал, что на влажном лугу и лугу нормального увлажнения наиболее многочисленны дождевые черви, представленные тремя видами: *Octolasion lacteum*, *Lumbricus rubellus*, *Nicodrilus caliginosus*. По сравнению с комплексом дождевых червей, численность беспозвоночных, относящихся к отряду жесткокрылых в несколько раз меньше. Жесткокрылые включают представителей пяти семейств: Scarabaeidae, Elateridae, Curculionidae, Tenebrionidae, Staphylinidae. Доминирующее положение занимают почвообитающие беспозвоночные из семейства шелкуны (Elateridae), представленные 4 видами. Из них больше всего комплекса шелкунов приходится на долю *Agriotes lineatus*. В целом, доминантами комплекса почвообитающих беспозвоночных влажного луга являются виды *Agriotes obscurus* и *Agriotes pilosus*, являющиеся вредителями сельского хозяйства. На лугу нормального увлажнения из отряда жесткокрылых доминирующее место занимает *Amphimallon solstitialis*, входящий в семейство пластинчатоусые (Scarabaeidae). Из дождевых червей ведущее место занимает вид *Octolasion lacteum*. На лугу недостаточного увлажнения доминируют семейства чернотелки (Tenebrionidae) и долгоносики (Curculionidae). Паукообразные преобладают на сухом лугу, нежели на остальных лугах.

Таким образом, анализ видового богатства и количественных характеристик комплексов почвенной мезофауны пойменных лугов, отличающихся условиями увлажнения, показывает, что по мере уменьшения увлажнения в комплексах почвенной мезофауны отмечается изменение характера переработки первичной продукции. На влажном лугу и лугу нормального увлажнения основная часть продукции, используемой почвенной мезофауной, перерабатывается по детритному типу, на лугу недостаточного увлажнения – по пастбищному типу с преобладанием фитофагов.

Изучение видового богатства, биомассы и плотности сообществ почвенной мезофауны пойменных лугов различных по градиенту увлажнения: влажный луг – луг нормального увлажнения – луг недостаточного увлажнения, показывает, что на влажном лугу по сравнению с пойменными лугами нормального и недостаточного увлажнения отличается значительно большим видовым разнообразием и плотностью почвообитающих беспозвоночных. В наибольшей степени на лугу нормального увлажнения по сравнению с влажным лугом сокращается видовой состав и численность дождевых червей, участвующих в процессах переработки растительных остатков, почвообразовании и поддержании естественного плодородия почв.

В то же время на этих биотопах, особенно на влажном лугу и лугу нормального увлажнения имеется тенденция накопления растительных видов, в том числе вредителей сельскохозяйственных культур, среди которых наиболее опасны щелкун темный (*Agriotes obscurus*) и щелкун посевной удлинённый (*Agriotes pilosus*).

Использование сообществ почвенной мезофауны как элемента экологического мониторинга выявило, что уменьшение увлажнения пойменных лугов приводит к изменению структуры сообществ почвенной мезофауны, переходу с детритного типа переработки первичной продукции к пастбищному, что может способствовать увеличению плотности фагов-вредителей сельского хозяйства и разрушению механизмов, поддерживающих естественное плодородие почв.

Проведенные исследования показали, что на сухом биотопе – луг недостаточного увлажнения в комплексе почвообитающих беспозвоночных преобладают жесткокрылые, среди которых наибольшей плотностью отличаются представители семейств щелкунов и долгоносиков. Плотность дождевых червей значительно меньше по сравнению с влажным лугом и лугом нормального увлажнения.

На влажном лугу основу комплекса почвенной мезофауны составляют дождевые черви с доминантным видом *Octolasion lacteum*. Плотность жесткокрылых на данном биотопе значительно меньше. Эти данные свидетельствуют о том, что степень увлажненности почвы оказывает существенное влияние на структуру сообществ почвообитающих беспозвоночных. По биомассе доминирующими представителями на влажном лугу и лугу нормального увлажнения являются дождевые черви, биомасса которых составляет 113,1 и 28,6 г/м² соответственно. На лугу недостаточного увлажнения доминирующей группой является жесткокрылые, биомасса которых составляет 14,8 г/м².

Установлено, что в пойменной экосистеме по мере увеличения продуктивности растительности имеется тенденция увеличения численности почвообитающих беспозвоночных. Это определяется тем, что увеличение объема первичной продукции в пойменной экосистеме приводит к увеличению численности животных на втором и последующих трофических уровнях.

Список использованных источников

- 1 Гиляров, М. С. Закономерности приспособлений членистоногих к жизни на суше / М. С. Гиляров. – М. : Акад. наук СССР, 1970. – 262 с.
- 2 Симонович, Е. И. Анализ экосистемной роли почвенной фауны в процессе формирования почвенного плодородия / Е. И. Симонович // International Journal of Experimental Education. – 2013. – № 10. – С. 108–110.
- 3 Веремеев, В. Н. Экологическая модель изменений комплексов почвенной мезофауны лесных экосистем в условиях недостатка влаги / В. Н. Веремеев // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2008. – Т. 2. – С. 38–43.
- 4 Гиляров, М. С. Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) / М. С. Гиляров // Количественные методы в почвенной зоологии / под ред. М. С. Гилярова, Б. Р. Стригановой. – М. : Наука, 1987. – С. 9–26.
- 5 Федоров, В. Д. Экология / В. Д. Федоров, Т. Г. Гильманов. – М. : МГУ, 1980. – 464 с.
- 6 Веремеев, В. Н. Почвенная мезофауна пойменных лугов юго-востока Беларуси в условиях недостатка влаги в летний период как экологическая модель их антропогенной трансформации / В. Н. Веремеев // Вестн. Днепропетр. ун-та. Биология. Экология. – 2008. – Вып. 16, № 1. – С. 41–45.
- 7 Мамаев, Б. М. Определитель насекомых европейской части СССР / Б. М. Мамаев [и др.]. – М. : Просвещение, 1976. – 304 с.
- 8 Плавильщиков, Н. Н. Определитель насекомых : краткий определитель наиболее распространенных насекомых европейской части России / Н. Н. Плавильщиков. – М. : Топикал, 1994. – 544 с.

А. В. Лысенкова, В. А. Филиппова, В. А. Игнатенко
г. Гомель, ГГМУ

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ В МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

В условиях реформирования высшей школы особую остроту приобретают вопросы совершенствования преподавания естественнонаучных дисциплин, направленных на формирование глубоких фундаментальных и профессиональных знаний у будущих специалистов.

Традиционный подход к высшему образованию перестал удовлетворять все возрастающим требованиям, предъявляемым к выпускникам медицинских университетов. Задача университета заключается не только в том, чтобы дать студентам общее образование и профессию, но и в том, чтобы сформировать у них предпосылки к постоянному, непрерывному в течение всей жизни образованию, в получении новых и новых специальностей и квалификаций. Безусловно, нельзя впадать в крайности и отказываться от реализации обще-дидактических принципов, к которым, в частности, относятся принцип соответствия содержания образования потребностям общественного развития, принцип структурного единства содержания образования на различных его уровнях, принципы научности, системности и межпредметных связей [1, с. 83]. Данные принципы являются основой фундаментализации современного высшего образования, без которого невозможно формирование естественнонаучного мировоззрения будущих врачей. Важную роль в этом процессе играют кафедры медико-биологического профиля.

Особенностью преподавания естественнонаучных дисциплин в медицинских университетах является стремление сформировать целостный подход к пониманию процессов, протекающих в организме человека и других биосистемах. Данный подход используется при изучении всех разделов курсов химии и физики, что позволяет студентам-медикам изучить фундаментальные законы квантовой механики, термодинамики, химической кинетики, химии дисперсных систем и применить их для описания метаболических процессов. Медико-биологическая направленность естественнонаучных дисциплин является необходимым условием подготовки студентов младших курсов к восприятию клинических дисциплин.

Для реализации медико-биологического подхода при преподавании естественных наук на младших курсах медицинских университетов целесообразно: ввести в традиционные курсы лекций и лабораторно-практических занятий специальные разделы, посвященные изучению биохимических процессов; широко внедрять в процесс обучения изучение экологических проблем современности, как глобальных, так и конкретного региона; использовать в учебном процессе системы задач и упражнений медико-биологической направленности, моделирующих разнообразные биологические процессы *in vivo*; широко применять учебное моделирование физико-химических процессов в биосистемах.

Залогом успешной реализации решения поставленных задач является самостоятельная работа студентов, которая служит важным звеном, способствующим формированию навыков поиска и анализа информации, обеспечивает оптимизацию учебного процесса и повышает качество подготовки студентов. Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебной деятельности. Помимо практической важности, она имеет большое воспитательное значение: происходит не только формирование навыков, умений и знаний, но и в дальнейшем обеспечивается усвоение студентами приемов познавательной деятельности, интерес к творческой работе. В ходе самостоятельной работы формируется самостоятельность как черта характера, играющая существенную роль в становлении будущего специалиста, способного решать поставленные перед ним медицинские и научные задачи.

В условиях коренных изменений, происходящих в системе образования, резко возрастает роль и значение самостоятельной работы студентов в вузе, эффективность которой зависит от целого ряда факторов: правильной организации аудиторной самостоятельной работы и вне ее; обеспечения студентов необходимыми учебно-методическими материалами; постоянного контроля данного вида деятельности студентов.

Необходимым элементом самостоятельной работы студента является его научная деятельность, осуществляемая под руководством и при непосредственном участии преподавателя. Особый интерес вызывают исследования, выполняемые на стыке медицины, химии, физики, биологии и экологии; при этом реализуются методологические принципы межпредметных связей и профессиональной направленности обучения. Включение в содержание образования научных видов деятельности позволяет обеспечить связь теории и практики и воспитать специалиста с широким кругозором. Привлечение талантливых молодых людей к научно-исследовательской работе кафедр обеспечивает дифференцированный и индивидуальный подход, позволяющий учитывать способности, интересы и профессиональные намерения студентов. Именно такой подход к обучению создает положительное отношение к учению и повышает его мотивацию. Многолетний опыт свидетельствует о целесообразности вовлечения в работу студенческого научного общества одаренных и заинтересованных студентов, начиная с первого курса. Проводимая работа СНО осуществляется в трех направлениях: реферативная работа по изучаемым темам курсов общей и биоорганической химии; проведение ежегодных научных студенческих

конференций «Декабрьские химические чтения»; выполнение поисковых и экспериментальных исследований.

В последние годы все чаще появляются студенческие работы, связанные с моделированием процессов, протекающих в живых системах. Это вполне закономерно, так как медицинская наука переживает важный этап своего развития, суть которого заключается в том, что в описание медико-биологических процессов широко внедряются методы математического и физического моделирования [2, с. 315]. Метод моделирования является средством, позволяющим устанавливать глубокие и сложные взаимосвязи между теорией и практикой. Известно, что в последние десятилетия экспериментальный метод в медицине недостаточно эффективен без предварительного моделирования биохимических процессов. Кроме того, некоторые теоретически возможные эксперименты неосуществимы вследствие недостаточного уровня развития экспериментальной техники. В том числе, большую группу опытов, связанных с экспериментированием на человеке, следует отклонить по морально-этическим соображениям. Достоинством учебного моделирования является возможность реализовать в учебном процессе такие важные дидактические принципы, как принцип наглядности, системности и межпредметных связей.

Приобретенные навыки и умения составлять модели биохимических процессов способствует воспитанию у студентов уверенности в профессиональной значимости изучаемого предмета, помогает им увидеть практическое применение физических и математических методов в медицине и биологии. Обучение методам моделирования является важной составной частью подготовки высококвалифицированных специалистов в области медицины.

На сегодняшний день современная образовательная система вузов вступила на инновационный путь развития. Инновации в образовании – естественное и необходимое условие его развития в соответствии с меняющимися потребностями общества. Инновации способствуют, с одной стороны, сохранению непреходящих ценностей, с другой стороны, они несут в себе отказ от всего устаревшего и отжившего. Особый интерес для нас, преподавателей медицинского вуза, работающих на младших курсах, представляют инновации, связанные с разработкой и внедрением технологий, способствующих не только формированию знаний, но и развитию креативного мышления и творческого потенциала студента как личности.

Одним из современных инновационных методов является новый метод, называемый коучинг-методология. Он служит тем инструментом, который позволяет оптимизировать процесс обучения студентов. Коучинг возник на стыке психологии, менеджмента, философии, аналитики и логики. Технологии коучинга могут с успехом применяться в процессе преподавания разных дисциплин и открывают множество перспектив для совершенствования процесса обучения. Коучинг создает креативную атмосферу, особое пространство, то есть условия, направленные на развитие научно-методических умений преподавателей высшей школы. Процесс внедрения коучинга в образовательное пространство вуза предполагает:

- установление партнерских взаимоотношений между студентами и преподавателями;
- исследование текущей проблемы (ситуации) в процессе развития научно-методических умений;
- определение внутренних и внешних препятствий на пути к результату;
- выработку и анализ возможностей для преодоления трудностей в решении проблемы развития научно-методических умений;
- совместное определение задач научно-методической деятельности.

Внедрение коучинговой системы педагогического сопровождения особенно эффективно при обучении иностранных студентов. Этот метод, как показал накопленный нами опыт, позволяет повысить привлекательность белорусских вузов и дать ощутимый экономический эффект, так как дружелюбная, комфортная и безопасная среда обучения и проживания вдали от дома – один из определяющих факторов при выборе зарубежного образовательного маршрута на всех этапах образовательного процесса [3, с. 71]. Внедрение коучинговой образовательной системы способствует воспитанию молодого поколения в духе толерантности, взаимоуважения и диалога культур. Преподаватели университета обязаны ставить перед собой задачу повышения внутренней мотивации к усвоению естественнонаучных дисциплин, а также создавать психологическую комфортность в процессе обучения. Толерантность как качество личности и феномен общественного бытия принадлежит к числу высших, базовых ценностей культуры.

Ключевыми положениями модели толерантного поведения в студенческой среде являются: развитие способности решать конфликты, понимать их неизбежность и в то же время продуктивность (работа в коллективе); идея автономной личности, способной самостоятельно

принимать решения и нести ответственность за них; идея сообщества (совместного общества, построенного на общении), идея совместности, сотрудничества; развитие чувства принадлежности (культурные и социальные ценности общества), идея идентичности личности.

Внедрение современных инновационных образовательных программ и технологий обучения является насущной необходимостью сегодняшней вузовской подготовки. Целью данной подготовки является не только получение знаний студентами, но еобходимость научить студента самостоятельно овладевать знаниями и информацией, научить воспринимать и продуцировать изменения, выработать потребность в обучении.

Список использованных источников

1 Попков, В. А. Методология педагогического исследования и дидактика высшей школы / В. А. Попков, А. В. Коржуев. – М. : МГУ, 2000. – 183 с.

2 Скатецкий, В. Г. Математические методы в химии / В. Г. Скатецкий, Д. В. Свиридов, В. И. Яшкин. – Минск : ТетраСистемс, 2006. – 368 с.

3 Лысенкова, А. В. Внедрение коучинг технологии в образовательный процесс иностранных студентов / А. В. Лысенкова, В. А. Филиппова, Л. В. Прищепова // Актуальные проблемы медицины : сб. науч. статей респ. науч.-практ. конф. и 22-й итоговой науч. сессии Гом. гос. мед. ун-та, Гомель, 14–15 нояб. 2013 г. : в 4 т. / редкол. : А. Н. Лызиков [и др.]. – Гомель : ГомГМУ, 2014. – Т. 3. – С. 70–72.

Т. В. Макаренко

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВЫСШИМИ ВОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

Растительной клетке присуща способность активно поглощать вещества, необходимые для ее жизнедеятельности, против градиента концентрации и активно накапливать их. Благодаря этому свойству растения содержат микроэлементы в количествах, в сотни раз превышающих их концентрацию в донных отложениях и в тысячи раз – в воде. Химический состав растений определяется не только средой обитания, но и различной поглотительной способностью самих растений по отношению к разным элементам.

Цель работы – изучить влияние загрязнения донных отложений на накопление тяжелых металлов в высших водных растениях водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий.

В процессе выполнения работы собраны макрофиты, широко распространенные в водоемах Беларуси, которые относятся к 4 экологическим группам: I – свободноплавающие неприкрепленные – ряска малая (*Lemna minor L.*) и водяной орех (*Trapa natans L.*); II – плавающие прикрепленные растения – кубышка желтая (*Nuphar luteum (L) Sm.*) и горец земноводный (*Polygonum amphibium L.*); III – подводные (погруженные) растения – элодея канадская (*Elodea canadensis Rich.*), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum L.*), рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus L.*); IV – надводные (земноводные или воздушно – водные) растения – стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia L.*), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus L.*), частуха подорожниковая (*Alisma peantago-aquatica L.*), манник наплывающий (*Gluceria fluitans*), болотница болотная (*Eleocharis palustris*), камыш озерный (*Scirpus lacustris L.*), тростник обыкновенный (*Phragmites communis Trin.*).

Изучение взаимосвязи между накоплением тяжелых металлов в растениях и их содержанием в донных отложениях водоемов опробования показывает, что для большинства макрофитов степень данной зависимости, в целом, незначительна (таблица 1). Это может объясняться тем, что валовое содержание металлов в донных отложениях не отражает количество его доступных форм для растений. Наряду с донными отложениями существуют дополнительные источники поступления тяжелых металлов в водные растения. Вместе с тем, наличие коррелятивных связей может подсказать о доступности металлов в осадках для растительных организмов.

Хотя в литературе и отмечается прямая связь между содержанием кобальта в почвах и растениях [1; 2], в настоящей работе такие связи не выявлены. По данным тех же авторов [1; 2] кобальт активно поглощается листьями (через кутикулу), что может явиться причиной отсутствия связи в накоплении металла растениями от количества в донных отложениях. В таком случае можно предположить доминирование атмосферного поступления кобальта над корневым

для гидрофитов на изучаемых территориях. Проведенные исследования показывают наличие зависимости накопления никеля в гидрофитах II и III-ей групп от содержания его в седиментах. А. Кабата–Пендиас и Х. Пендиас также указывают, что количество никеля в растениях положительно коррелирует с его содержанием в почвах, пока концентрация металла не достигнет определенного порогового значения [2]. Растворимые формы марганца легко извлекаются из почв наземными растениями и содержание металла в последних зависит от общего количества растворимого марганца в почвах [2]. Учитывая вышесказанное можно было ожидать тесную связь между концентрацией элемента в донных отложениях и макрофитах IV-ой группы, которые ближе к наземным растениям. Но в настоящих исследованиях слабая корреляционная связь отмечена для марганца только у гидрофитов II-ой группы, а у растений IV-ой группы наблюдается обратно пропорциональная зависимость между количеством металла в седиментах и макрофитах. Возможно, в отложениях водоемов марганец содержится в малорастворимых и малодоступных для растений формах. Польские ученые [2] отмечают, что, несмотря на большую сложность механизмов поступления меди в растения, между концентрацией ее в почвах и наземных растениях можно наблюдать взаимосвязь, особенно, в области токсических содержаний. Аналогичные результаты получены и в настоящих исследованиях, исключение составляют гидрофиты II-ой группы, слабо связанные с дном. По имеющимся данным количество цинка в сухопутных растениях линейно возрастает с повышением его концентрации в почвах [2]. И для представителей IV-ой группы в водоемах опробования существует связь между количеством металла в растениях и отложениях дна.

Таблица 1 – Корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов в донных отложениях и растениях различных экологических групп

Экологическая группа	Коэффициент корреляции						
	Свинец	Медь	Цинк	Марганец	Кобальт	Хром	Никель
II	0,81	-0,01	-0,19	0,62	0,31	0,63	0,81
III	0,77	0,78	-0,16	0,23	0,33	0,37	0,85
IV	0,36	0,53	0,68	-0,57	-0,08	0,12	0,30

Несмотря на слабо развитую корневую систему у гидрофитов II-ой группы, именно для этих растений определена более выраженная, по сравнению с другими группами, взаимосвязь аккумуляции тяжелых металлов с их содержанием в донных отложениях. Можно предположить, что большинство металлов растения II-ой группы поглощают из донных отложений. Накопление марганца и никеля до высоких уровней в гидрофитах II-ой группы в отдельных водоемах Гомеля при значительном содержании металлов в донных отложениях, возможно, связано со срывом работы механизма блокировки, регулирующего поступления данных элементов в растительные организмы или с пассивным поглощением загрязнителей гидрофитами. Вопрос о наличии или отсутствии у растений активного (метаболического) и пассивного (неметаболического) механизмов поглощения того или иного микроэлемента остается дискуссионным [3]. В диапазоне низких концентраций преобладает активное поглощение, при высоких концентрациях – пассивное [3; 4]. Эти данные еще раз подтверждают известный факт, что конкурентные или неконкурентные антагонистические взаимоотношения элементов в большей мере проявляются при высоких уровнях их концентраций в субстрате [3]. Соотношение между активным и пассивным поглощением ионов зависит не только от их концентрации в среде, но и от других факторов – возраста растения, биологических особенностей культуры, первоначальной насыщенности корней элементом и других факторов [5]. В растениях некоторых водоемов, принимающих стоки, отмечены аномально низкие концентрации хрома, никеля и свинца на фоне значительного количества металлов в донных отложениях. Возможно, это связано с различными формами нахождения элементов (биологически доступными или недоступными) в седиментах. Высокая концентрация свинца у гидрофитов II-ой группы в р. Сож не соответствует относительно низкому его содержанию в донных отложениях, что говорит о доступности металлов в грунтах реки.

Полностью погруженные гидрофиты III-ей группы, как укореняющиеся, так и неукореняющиеся, на протяжении вегетационного сезона могут менять источники поступления химических веществ в свои ткани, что может повлиять на наличие зависимостей накопления элементов в организме от их содержания в среде. Однако, максимальное накопление свинца, меди и никеля растениями III-ей группы наблюдается в водоемах с загрязненными донными отложениями. Высокий уровень поглощения свинца у макрофитов группы также, как и для растений II-ой

группы, отмечен для гидрофитов р. Сож, что подтверждает предположение о доступности элемента в седиментах реки. Относительно низкое содержание никеля у растений II-ой и III-ей групп в некоторых озерах является следствием нахождения элемента в биологически недоступной форме в донных отложениях.

Несмотря на наличие у растений IV-ой группы мощной корневой системы, влияние состава седиментов на поступление металлов в ткани проявляются в настоящих исследованиях наименее четко. Однако в литературе встречаются сведения о зависимости накопления элементов у данных макрофитов от концентрации загрязнителей в грунтах водоемов [1]. Возможно, растения водоемов опробования поглощают элементы большей частью при аэральном выпадении непосредственно листовой пластиной по безбарьерному типу [4]. Только для воздушно-водных растений отмечается обратно пропорциональная связь в накоплении марганца в тканях от содержания в донных отложениях. Содержание меди в растениях слабо зависит от количества в седиментах. Высокий уровень содержания металла в макрофитах IV-ой группы на фоне его максимального количества в донных отложениях наблюдается в некоторых водоемах города. Аномально высоким можно считать накопление меди у представителей оз. Шапор при малом содержании в грунтах. Возможно, высокое содержание меди в растениях является следствием ранее поступавших в водоемы загрязнителей, содержащих данный металл. Внесение меди в почвы имеет долговременный эффект, и даже через 10 лет после внесения медьсодержащих удобрений ее содержание в травах остается повышенной [2].

По имеющимся в литературе данным содержание цинка в сухопутных растениях, которым ближе представители IV-ой группы, линейно возрастает с повышением его концентрации в почвах [2], что определено и в настоящих исследованиях. Достаточно высокое количество элемента в растениях определено в р. Сож, где ранее отмечалась высокая концентрация свинца у представителей других групп. Возможно, в донных отложениях речной системы металлы находятся в доступных формах.

В настоящих исследованиях определена взаимосвязь между аккумуляцией металлов растениями и их концентрацией в донных отложениях. По количеству свинца, марганца, хрома и никеля в растениях II-ой группы можно делать предположения о содержании металлов в донных отложениях. Растения III-ей группы могут быть использованы при определении загрязнения грунтов свинцом, медью и никелем; растения IV-ой группы – цинком. В значительных количествах металлы аккумулируются как в растениях водоемов зоны отдыха, так и в макрофитах водоемов, подвергающихся значительному техногенному воздействию. Аккумуляция соединений металлов растениями водоемов в существенной мере зависит от особенностей самого растительного организма, в данном случае от принадлежности его к определенной экологической группе.

Список использованных источников

- 1 Эмпирические связи между содержанием металлов в растениях и донных осадках эвтрофированного озера Неро / М. В. Гапеева [и др.] // Экология. – 1995. – № 3. – С. 217–221.
- 2 Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
- 3 Рудакова, Э. В. Микроэлементы: поступление, транспорт и физиологические функции в растениях / Э. В. Рудакова, К. Д. Каракис, Т. Н. Сидоршина; под ред. Э. В. Рудаковой. – Киев: Наук. думка, 1987. – 184 с.
- 4 Тарабрин, В. П. Устойчивость растений к промышленному загрязнению окружающей среды / В. П. Тарабрин // Промышленная ботаника / под ред. Н. И. Ноинцева. – Киев, 1980. – С. 52–109.
- 5 Ahn, I. Y. The effect of body size on metal accumulation in the bivalve *Laternula elliptica* / I. Y. Ahn, J. Kang, K. W. Kim // *Antarct. Sci.* – 2001. – Vol. 13, № 4. – P. 355–362.

Д. В. Потапов

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ И НЕКОТОРЫЕ ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОГО РАЙОНА)

Мышевидные грызуны – мелкие вредные грызуны семейства хомякообразных (Cricetidae) и мышинных (Muridae) из отряда грызунов (Rodentia). Это самая многочисленная группа грызунов,

распространенная почти по всему земному шару. Большинство видов этих семейств – мелкие зверьки, живущие в норах. Характерна очень большая плодовитость и раннее половое созревание. При благоприятных условиях некоторые виды способны размножаться в течение всего года. Численность может резко колебаться, возрастая в периоды массовых размножений в 100–200 раз. Лучше других млекопитающих мышевидные грызуны переносят неблагоприятные воздействия среды [1; 2; 3; 4; 5; 6]. В условиях Беларуси встречаются следующие виды – рыжая лесная полевка, полевка-экономка, обыкновенная полевка, лесная мышь, полевая мышь, желтогорлая мышь, лесная мышовка, некоторые синантропные виды: домовая мышь, серая и черная крыса [3; 4; 5; 7; 8; 9; 10; 11].

В течение вегетационного периода мышевидные грызуны повреждают все сельскохозяйственные культуры, а особенно сильно зерновые и посевы многолетних трав. Зимой они выедают всходы озимых, объедают кору и корни деревьев в садах, питомниках, лесах, лесополосах, делают огромные запасы семян древесных культур. На пастбищах и сенокосах мышевидные грызуны уничтожают ценные кормовые растения. Поселяясь в жилых постройках, на складах и в хранилищах, портят продукты, тару и сами постройки. Кроме того, многие из них являются переносчиками возбудителей различных инфекционных и инвазионных заболеваний человека и домашних животных [2; 3; 4; 5; 6; 11; 12; 13]. Значительный ущерб мышевидные грызуны могут приносить в лесных стациях, особенно подверженных антропогенной нагрузке, что связано с изменением условий обитания и увеличением разнообразия кормовой базы.

Таким образом, изучение видового состава и биологического разнообразия мышевидных грызунов и выявление их мест обитания вблизи населенных пунктов позволяют спрогнозировать общую степень вредоносности этой группы животных в конкретной местности [14; 15; 16; 17]. Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования состояния природных популяций мышевидных грызунов, разработки эффективных мер борьбы с ними.

Исследования проводились на территории Ченковского лесничества Гомельского района в летний период на протяжении 2014 года на трех различных стациях: а) смешанный лес (Ченковское лесничество в окрестностях агробиостанции «Ченки»); б) сельскохозяйственное поле (граничащее со смешанным лесом в окрестностях агробиостанции «Ченки»); в) дачный поселок (вблизи агробиостанции «Ченки»). Учет численности мышевидных грызунов осуществлялся путем отлова специальными ловушками методом ловушко-линий. Основным показателем численности изучаемых видов в той или иной стации при этом методе является количество особей, приходящееся на 100 ловушко-суток. Для определения видовой принадлежности отловленных мышевидных грызунов без препарирования использовались определители [10, 14; 15; 16].

В ходе проведения исследований изучались параметры биологического разнообразия [18] сообществ мышевидных грызунов в обследованных биотопах:

1. Информационное разнообразие сообщества (индекс Шеннона):

$$H' = -\sum(n_i/N) \log(n_i/N),$$

где n_i – число особей i -го вида; N – общее число особей всех видов в сообществе.

2. Индекс концентрации доминирования (индекс Симпсона):

$$D = \sum(n_i/N)^2,$$

где n_i – число особей i -го вида; N – общее число особей всех видов в сообществе.

3. Выравненность видов в сообществе (индекс Пиелу):

$$e = H'/\ln S,$$

где H' – индекс Шеннона, S – число видов в сообществе.

4. Коэффициент фаунистического сходства сообществ (коэффициент Жаккара):

$$Kg = C/(A + B) - C,$$

где A – число видов в 1-м сообществе, B – число видов во 2-м сообществе, C – число видов, общих для обоих сообществ.

За период исследований было отработано 786 ловушко-суток. В таблице 1 отражен видовой состав и относительное обилие микромаммалий по биотопам, на которых производились исследования. Отловленные мышевидные грызуны по систематическому положению относятся к пяти видам: рыжая лесная полевка (*Clethrionomys glareolus*), полевая мышь (*Apodemus agrarius*), домовая мышь (*Mus musculus*), желтогорлая мышь (*Apodemus flavicollis*), полевка обыкновенная (*Microtus arvalis*). Наиболее массовым за время исследований был вид рыжая лесная полевка (*Clethrionomys glareolus*). Так за 2014 год отловлено 60 микромаммалий, из них рыжая лесная полевка составляет 51,7 % от всего числа отловленных особей.

Присутствие на стационаре сельскохозяйственного поля лесной полевки объясняется экотонном данной станции со смешанным лесом.

Таблица 1 – Параметры биологического разнообразия сообществ мышевидных грызунов (%)

Вид	Стационар		
	Смешанный лес	С/х поле	Дачный поселок
Рыжая лесная полевка (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	83,8	31,3	0
Полевая мышь (<i>Apodemus agrarius</i>)	0	50,0	0
Желтогорлая мышь (<i>Apodemus flavicollis</i>)	16,2	0	0
Домовая мышь (<i>Mus musculus</i>)	0	0	30,8
Полевка обыкновенная (<i>Microtus arvalis</i>)	0	18,8	69,2
Всего особей, шт.	31	16	13
Всего видов, шт.	2	3	2
Информационное разнообразие, H' , отн. ед.	0,063	0,150	0,110
Индекс Симпсона, D , отн. ед.	0,691	0,250	0,473
Выравненность по Пиелу, e , отн. ед.	0,018	0,054	0,042

Этот биотоп отличается большим видовым разнообразием, чем остальные станции, так как отловленные особи относятся к трем видам – рыжая лесная полевка (31,3 %), полевая мышь (50,0 %), полевка обыкновенная (18,8 %). На этой станции отловлено всего 16 микромаммалий, так как в условиях этой станции нет естественных и искусственных укрытий, а также слабая кормовая база. На станции дачного поселка обнаруживается синантропный вид – домовая мышь (30,8 %), сопутствующий жилью человека, а также обыкновенная полевка (69,2 %).

Полученные показатели информационного разнообразия (до 0,150) свидетельствуют о низком видовом разнообразии сообществ мышевидных грызунов в обследованных станциях. Низкие индексы выравненности видов (до 0,054) говорят о достаточной степени сформированности сообществ микромаммалий в обследованных станциях. Высокие индексы концентрации доминирования (до 0,691) указывают на малое количество доминирующих видов, что является следствием доминирования рыжей лесной полевки в обследованных станциях.

Со всех отловленных особей были сняты морфометрические промеры. В таблице 2 приведены средние значения морфометрических параметров, снятых с отловленных мышевидных грызунов.

Таблица 2 – Средние значения морфометрических параметров мышевидных грызунов (мм)

Вид	Длина тела	Длина хвоста	Высота уха	Длина задней ступни
Рыжая лесная полевка (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	87,50±4,75	39,30±3,50	6,02±0,27	15,50±0,60
Желтогорлая мышь (<i>Apodemus flavicollis</i>)	103,6±3,30	102,4±2,20	13,0±0,32	23,20±0,80
Полевая мышь (<i>Apodemus agrarius</i>)	84,25±2,60	47,30±4,10	5,60±0,27	14,80±0,50
Домовая мышь (<i>Mus musculus</i>)	81,70±3,50	68,30±3,08	7,25±0,78	12,75±1,30
Полевка обыкновенная (<i>Microtus arvalis</i>)	90,80±3,70	43,70±2,80	5,40±0,36	13,20±0,80

Как видно из полученных результатов, все морфометрические показатели соответствуют литературным данным, что может косвенно указывать на стабильность популяций мышевидных грызунов в обследованных станциях.

Используя коэффициент Жаккара, удалось определить, насколько сообщества мышевидных грызунов из разных станций схожи между собой по видовому составу. Вычисленные параметры занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Видовое сходство сообществ мышевидных грызунов из разных биотопов, отн. ед.

Биотопы	Смешанный лес	С/х поле	Дачный поселок
Смешанный лес		0,22	0
С/х поле	0,22		0,36
Дачный поселок	0	0,36	

Наибольшее сходство наблюдается между станциями сельскохозяйственного поля и дачного поселка (0,36 отн. ед.). Это объясняется сходством экологических условий в данных стационарах: большое разнообразие укрытий естественного и искусственного происхождения, наличие кормов естественного и антропогенного происхождения. Между станциями смешанного леса и поля наблюдается низкое сходство – 0,22 отн. ед. На биотопах смешанного леса и дачного поселка общих видов отловлено не было, поэтому сходства между этими станциями нет.

Список использованных источников

- 1 Ветеринарная энциклопедия / гл. ред. К. И. Скрябин. – М. : Советская энциклопедия, 1969. – 1190 с.
- 2 Карасева, Е. В. Грызуны России / Е. В. Карасева, Ю. В. Тошигин. – М. : Наука, 1993. – 166 с.
- 3 Наумов, Н. П. Очерки сравнительной экологии мышевидных грызунов / Н. П. Наумов. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – 203 с.
- 4 Наумов, Н. П. Экология животных / Н. П. Наумов. – М. : Высшая школа, 1963. – 618 с.
- 5 Огнев, С. И. Звери СССР и прилежащих стран : в 7 т. / С. И. Огнев. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – Т. 4–7.
- 6 Пантелеев, П. А. Грызуны Палеарктики: состав и ареалы / П. А. Пантелеев. – М. : ИПЭЭ РАН, 1998. – 117 с.
- 7 Бурко, Л. Д. Позвоночные животные Беларуси / Л. Д. Бурко, В. В. Гричик. – Минск : БГУ, 2005. – 391 с.
- 8 Звери : Популярный энциклопедический справочник / под ред. П. Г. Козло. – Минск : БелЭн, 2003. – 440 с.
- 9 Константинов, В. М. Зоология позвоночных : учебник для студ. биол. фак-тов пед. вузов / В. М. Константинов, С. П. Наумов, С. П. Шаталова. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 464 с.
- 10 Кучмель, С. В. Определитель млекопитающих Беларуси / С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко, Б. П. Савицкий. – Минск : БГУ, 2007. – 168 с.
- 11 Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий, С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко. – Минск : БГУ, 2005. – 319 с.
- 12 Аристов, А. А. Европейская рыжая полевка / А. А. Аристов, Н. В. Башенина. – М. : Наука, 1981. – 352 с.
- 13 Большая советская энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров. – М. : Большая советская энциклопедия, 1969. – 573 с.
- 14 Малыгин, В. М. Систематика полевков / В. М. Малыгин. – М. : Наука, 1974. – 246 с.
- 15 Малыгин, В. М. Систематика обыкновенных полевков / В. М. Малыгин. – М. : Наука, 1983. – 206 с.
- 16 Бобринский, Н. А. Определитель млекопитающих СССР / Н. А. Бобринский, Б. А. Кузнецов, А. П. Кузякин. – М. : Просвещение, 1965. – 381 с.
- 17 Голикова, В. Л. Использование территории лесными мышами в разных частях их ареала / В. Л. Голикова. – Киев, 1962. – Т. 6. – С. 46–47.
- 18 Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М. : Мир, 1992. – 184 с.

В. В. Трухоновец, Т. А. Колодий, Д. Г. Дайнеко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВЕГЕТАТИВНЫЙ РОСТ И ПЛОДООБРАЗОВАНИЕ БАЗИДИАЛЬНОГО ГРИБА *PLEUROTUS ERYNGII* (DC.) QUEL. В ИСКУССТВЕННОЙ КУЛЬТУРЕ

Промышленное производство высших съедобных грибов во многих странах мира выделилось в самостоятельную высокопроизводительную отрасль – грибоводство. В настоящее время в Беларуси в промышленных объемах культивируют шампиньон двуспоровый *Agaricus bisporus* (J. Lge) Imbach., вешенку обыкновенную *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) Kumm. и шиитаке (сиитаке *Lentinula edodes* (Berk.) Singer). Для дальнейшего развития грибоводства страны важным является интродукция новых видов и штаммов съедобных и лекарственных грибов. Перспективным видом для искусственного выращивания является съедобный гриб вешенка степная *Pleurotus eryngii* (DC.) Quel., или, как его еще называют из-за замечательного вкуса, вешенка королевская. Вешенка степная в больших объемах культивируется в странах Юго-Восточной Азии [1]. Целью наших исследований являлось изучение биолого-экологических

особенностей вегетативного роста и плодообразования штаммов *P. eryngii* на местных растительных субстратах в искусственной культуре.

В исследованиях использовались грибные культуры *P. eryngii* полученные в порядке научного обмена от доктора биологических наук Н. А. Бисько (Институт ботаники им. Холодного НАН Украины) и А. Г. Богдаева (Воронежский государственный университет, Россия), за что выражаем им глубокую признательность. Изучение особенностей вегетативного роста *P. eryngii* проводили при 24 или 28 °С в чашках Петри на агаризованных питательных средах состоящих из зерна, осиновых, березовых или дубовых опилок, соломы, лузги подсолнечника, кукурузных кочерыжек, листовых опилок смешанных с пшеничными отрубями или жмыхом рапсом в весовом соотношении 2:1, 3:1, 4:1 и 9:1 соответственно. Применяли также агаризованные питательные среды из осиновых опилок смешанных с соломой и пшеничными отрубями в весовом соотношении 2:2:1, из осиновых опилок в смеси с кукурузными кочерыжками и отрубями в весовом соотношении 2:2:1, из осиновых опилок в смеси с кукурузными кочерыжками и жмыхом рапса в весовом соотношении 1,5:1,5:1 соответственно. Для оценки скорости вегетативного роста гриба измеряли диаметр колоний в двух взаимно перпендикулярных направлениях, высоту колоний. Отмечалась плотность колонии по трехбалльной системе (1 – редкая, 2 – средняя, 3 – плотная). На основании полученных данных вычислялся ростовой коэффициент (РК) по Семерджиевой в модификации А.С. Бухало [2, с. 203]. Определение ростового коэффициента проводили по следующей формуле:

$$PK = d \cdot h \cdot g / t,$$

где: d – диаметр колонии, мм; h – высота колонии, мм; g – плотность колонии, балл; t – возраст колонии, сутки.

Для получения плодовых тел грибов использовали два состава субстрата: осиновые опилки, смешанные с пшеничными отрубями в весовом соотношении 4:1, и осиновые опилки, смешанные с соломой и пшеничными отрубями в весовом соотношении 2:2:1 соответственно. Субстраты увлажняли водой до 60–63 % и фасовали по 750 грамм в пакеты из полиэтилена низкого давления. Субстраты стерилизовали в автоклаве при температуре 109–110 °С, давлении 0,10 МПа в течение 1 часа. После охлаждения субстрат в стерильных условиях инокулировали посевным зерновым мицелием *P. eryngii* в количестве 2 % от массы субстрата. Инокулированный субстрат инкубировали при 24 °С в течение 21 суток. Затем организовывали условия для получения плодовых тел гриба: температура воздуха 14–18 °С, интенсивность освещения 80–120 люкс, влажность воздуха 90–95 %, 5-кратный воздухообмен. Повторность опытов 3–5-кратная.

Для оценки возможности применения местных отходов лесного и сельского хозяйства в качестве субстратов для культивирования *P. eryngii* нами изучался мицелиальный рост 2-х штаммов гриба на различных по составу растительных питательных средах (таблицы 1–4).

Таблица 1 – Показатели вегетативного роста штаммов *Pleurotus eryngii* на агаризованных растительных питательных средах при 24 °С

Состав среды	Штамм гриба	РК, балл	Диаметр колонии (мм), на			
			3 сутки	5 сутки	7 сутки	9 сутки
Осиновые опилки	<i>P. eryngii</i> 2032	6,7	15±1	32±1	47±2	56±2
	<i>P. eryngii</i> GSU 114	6,3	18±1	27±1	44±2	56±1
Осиновые опилки +отруби (9:1)	<i>P. eryngii</i> 2032	15,1	18±1	36±1	54±1	69±1
	<i>P. eryngii</i> GSU 114	15,0	21±1	34±2	53±2	70±2
Осиновые опилки +отруби (4:1)	<i>P. eryngii</i> 2032	52,3	17±1	38±1	61±1	80±1
	<i>P. eryngii</i> GSU 114	52,4	15±1	30±1	53±1	76±1
Солома	<i>P. eryngii</i> 2032	27,4	14±1	29±1	48±1	64±3
	<i>P. eryngii</i> GSU 114	26,2	15±1	28±1	46±2	57±3
Осиновые опилки +солома+отруби (2:2:1)	<i>P. eryngii</i> 2032	74,4	17±2	36±2	58±2	80±1
	<i>P. eryngii</i> GSU 114	73,2	14±1	31±1	57±2	74±2
Лузга подсолнечника	<i>P. eryngii</i> 2032	18,0	16±2	41±1	63±1	81±2
	<i>P. eryngii</i> GSU 114	24,0	15±1	32±2	56±3	78±2

Таблица 2 – Показатели вегетативного роста *Pleurotus eryngii* GSU 114 на агаризованных зерновых питательных средах при 28 °С

Состав питательной среды	РК, балл	Диаметр колонии (мм)			
		3 сутки	5 сутки	7 сутки	9 сутки
Осиновые опилки +отруби (4:1, контроль)	64,2	12±1	32±1	54±2	77±2
Овес	74,0	14±1	27±2	51±2	74±3
Ячмень	87,0	14±1	34±1	57±1	87±1
Пшеница	87,0	11±1	32±1	62±1	87±1

Таблица 3 – Показатели вегетативного роста *Pleurotus eryngii* GSU 114 на агаризованных растительных питательных средах при 28 °С

Состав питательной среды	РК, балл	Диаметр колонии (мм)		
		5 сутки	7 сутки	9 сутки
Осиновые опилки +отруби (4:1)	61,6	32±3	51±3	74±3
Осиновые опилки +отруби (3:1)	70,0	42±1	63±1	84±1
Осиновые опилки + жмых рапса (4:1)	39,5	37±3	55±3	79±2
Осиновые опилки + жмых рапса (3:1)	52,7	36±2	55±2	79±2
Осиновые опилки + жмых рапса (2:1)	60,8	36±1	53±1	73±2
Кукурузные кочерыжки	54,0	22±1	63±3	81±3
Осиновые опилки + кукурузные кочерыжки + отруби (2:2:1)	146,7	25±2	69±3	88±2
Осиновые опилки + кукурузные кочерыжки + рапс (1,5: 1,5:1)	78,1	17±1	54±2	78±1
Солома	44,5	22±1	67±2	89±1
Осиновые опилки + солома + отруби (2:2:1)	64,2	20±1	57 ±1	77±2

Таблица 4 – Показатели вегетативного роста *Pleurotus eryngii* GSU 114 на агаризованных опилочных питательных средах при 28 °С

Состав питательной среды	РК, балл	Диаметр колонии (мм)		
		3 сутки	5 сутки	7 сутки
Березовые опилки +отруби (4:1)	66,4	22±1	31±1	62±1
Дубовые опилки + отруби (4:1)	34,2	15±1	20±2	40±2

Рост мицелия изучаемых штаммов грибов начинался уже на третьи сутки. На опилочной агаризованной среде без добавок отмечена наиболее низкая скорость роста и РК штаммов вешенки степной, при этом формировались редкие, просвечивающие колонии. Несколько более высокая скорость роста и РК выявлены на следующих средах: осиновые опилки +отруби (9:1), лузга подсолнечника, солома. На опилочных и комплексных растительных средах с добавками 20–25 % отрубей или жмыха рапса показан наиболее интенсивный рост мицелия и РК *P. eryngii*. Высокие ростовые показатели отмечены также на всех зерновых средах. Изучаемые штаммы достоверно не различались между собой по скорости мицелиального роста и РК. В целом, изучение вегетативного роста и морфологических особенностей колоний вешенки степной на растительных средах показало важную роль органических добавок на плотность обрастания субстрата мицелием, а следовательно, и на питательные свойства субстрата.

Таким образом, для культивирования гриба в условиях Беларуси можно предварительно рекомендовать питательные субстраты, которые будут включать листовые опилки (предпочтительнее осиновые или березовые), кукурузные кочерыжки, лузгу подсолнечника или солому с обязательным добавлением 20–25 % отрубей или жмыха рапса. Если для получения плодовых тел *P. eryngii* рекомендуется использовать субстраты на основе опилок, то для производства посевного мицелия следует использовать зерно (таблица 2).

Для изучения особенностей плодообразования штаммов *P. eryngii* в искусственной культуре в качестве субстратов были использованы осиновые опилки в смеси с отрубями в соотношении 4:1 и осиновые опилки в смеси с соломой и отрубями в соотношении 2:2:1. Выявлено, что плодоношение изучаемых штаммов вешенки степной раньше начинается на субстрате из опилок, соломы и отрубей (на 23–43 сутки после инокуляции) по сравнению с субстратом из опилок в смеси с отрубями 4:1 (на 31–53 сутки после инокуляции). Процесс плодообразования *P. eryngii* можно разделить условно на несколько стадий. На первой стадии развития карпофоров

на поверхности субстрата появляются белые мицелиальные узелки, которые со временем увеличиваются в размере и преобразуются в примордии бутылчатой формы. Интенсивное развитие примордий начинается на 2–3-е сутки. При этом происходят существенные изменения в морфологии карпофоров: вначале отмечается их дифференцировка на шляпку и ножку, несколько позже – формирование пластинок. На первых этапах морфогенеза вешенки степной примордии растут перпендикулярно поверхности субстрата, а с появлением гименофора увеличивается чувствительность к гравитационному и фотопериодическому воздействиям. В процессе роста ножки грибов, растущих на боковой поверхности субстратного блока, изгибаются, ориентируя шляпки горизонтально или под небольшим наклоном в направлении источника света. Пластинки при этом направлены строго вертикально вниз. Край шляпки у молодых грибов слегка завернут, а по мере роста и созревания карпофоров раскрывается. У полностью раскрытых шляпок гриба, (в эксперименте на 6–8 сутки), происходит массовое высыпание спор. Зрелые плодовые тела штаммов вешенки степной имеют толсто-мясистую шляпку диаметром до 11 см, вначале плоско-выпуклую, позднее в центре притупленную, неправильной формы, гладкую или слегка чешуйчатую (таблица 5). Цвет шляпки серовато-рыжий до желтоватого. Длина ножки грибов составляла в среднем 10 см, максимум 17 см. Ножка гриба, как правило, центральная, плотная, толстая, сужается к низу. Пластинки гименофора нисходящие, редкие, сероватые.

Таблица 5 – Биометрические показатели карпофоров *Pleurotus eryngii* GSU 114 при культивировании на опилочных субстратах

Наименование показателя, единица измерения	В среднем	Минимум	Максимум
Масса, г	42,7±5,9	2,1	179,1
Диаметр шляпки, мм	47,3±4,4	6,0	110,0
Длина ножки, мм	100,6±5,0	40,0	170,0
Диаметр ножки, мм	22,1±1,2	1,0	43,0

Исследование особенностей плодообразования вешенки степной на растительных субстратах показало важную роль органических добавок на урожай и сроки формирования грибов. Общий урожай грибов за две волны плодоношения на оптимизированных субстратах, в зависимости от штамма, составлял от 15 до 22 % от массы субстрата. Для промышленного культивирования гриба в условиях Беларуси можно рекомендовать комплексный субстрат, в состав которого будут входить опилки в смеси с отрубями в соотношении 4:1, или опилки в смеси с соломой и отрубями в соотношении 2:2:1 соответственно.

Список использованных источников

- 1 Zhi-qiang, W. New species cultivation in China / W. Zhi-qiang // Теоретические и прикладные аспекты рационального использования и воспроизводства недревесной продукции леса : материалы междунар. науч. конф., Гомель, 10–12 сент. 2008 г. – Гомель : Ин-т леса НАНБ, 2008. – С. 105–124.
- 2 Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубинной культуре / Н. А. Бисько, А. С. Бухало, С. П. Вассер [и др.] ; под ред. И. А. Дудки. – Киев : Наук. думка, 1983. – С. 158–174.

О. М. Храмченкова
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПОД ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ

За последние годы в структуре земельного фонда Беларуси по видам земель произошли существенные изменения – сокращение площади сельскохозяйственных земель и увеличение количества земель под лесной растительностью. Основные причины перераспределения земель связаны с оптимизацией структуры землепользования, выводом из оборота малопродуктивных сельскохозяйственных земель и передачей их в другие виды земель, в значительной степени – в земли лесного фонда. В процессе лесоразведения в последние годы освоены сотни тысяч гектаров с низким плодородием почв [1]. Создание лесных культур на таких землях процесс трудоемкий, дорогостоящий и длительный, так как образование лесной среды протекает здесь медленно, приживаемость лесных культур часто бывает низкой. Подходы к решению обозначенного

круга задач, в частности, могут заключаться в использовании микробной компоненты почвы. В этом плане практически не изученными являются почвенные водоросли и цианобактерии. Познавание их видового состава, структуры сообществ в сочетании с особенностями биологии отдельных видов может послужить теоретической основой для создания принципиально новых микробоудобрений.

Являясь космополитами, цианобактерии заселяют практически любые наземные биотопы, в том числе – низкопродуктивные почвы. Развитие микроорганизмов в таких почвах подчиняется воздействию специфического комплекса природных факторов, характерного для данной почвенной разности и конкретных условий существования. В результате формируются цианоценозы, обладающие рядом характерных признаков. При изучении почвенных водорослей Гомельского региона авторами был определен видовой состав и показан вклад цианобактерий (ранее называемых синезелеными водорослями) в структуру альгосообществ городских и пригородных почв, испытывающих антропогенные нагрузки различной природы и интенсивности [2; 3; 4; 5; 6; 7].

Имеются многочисленные данные о влиянии антропогенных факторов на почвенные цианобактерии. Показано, что в условиях интенсивного полива усиленно развиваются азотфиксирующие *Tolypothrix* и *Nostoc* [8]. На вырубках разрастаются колонии *Phormidium*, к концу второго года после рубки отмечен значительный рост *Nostoc* и *Cylindrospermum*. Найденные на вырубке виды относятся в основном к группе азотфиксаторов [9]. На лесных пожарищах водоросли и цианеи являются пионерами наряду с протонемами мхов [10; 11]. Способность почвенных водорослей сохраняться при действии высоких температур обнаружена при изучении заселения вулканических пеплов, в частности на месте засыпанных ими лесов [12].

Почвенные цианобактерии низкопродуктивных сельскохозяйственных земель, переданных в лесной фонд, эпизодически описаны в мировой литературе и никогда не изучались в Республике Беларусь.

Пробы почв отбирали на территории ГЛХУ «Гомельский лесхоз», на основании данных, любезно предоставленных РДЛУП «Гомельлеспроект». Была собрана информация о землях, выведенных из сельскохозяйственного производства по показателю продуктивности и поступивших в лесной фонд Гомельского ГПЛХО в 2002–2013 гг. Для исследования выбрали 3 группы участков, отличавшихся по покрытости лесными культурами: непокрытые лесом земли (Нп), несомкнувшиеся лесные культуры (Нлк) и собственно насаждения I класса возраста (Нас).

Пробы отбирали по стандартной методике на глубину 5 см в стерильные пакеты. После высушивания почвы в темном месте до воздушно-сухого состояния определяли видовой состав цианобактерий методами чашечных культур со «стеклами обрастания» и агаровых культур [13]. Номенклатура и классификация таксонов Cyanobacteria приведена по J. Komarek, K. Anagnostidis [14; 15; 16], состав жизненных форм – в соответствии с классификацией Э. А. Штины и М. М. Голлербаха [8].

В ходе исследования было выявлено 25 видов почвенных цианобактерий, относящихся к 15 родам, 7 семействам, 3 порядкам класса Cyanophyceae. Наиболее широко были представлены порядки Oscillatoriales – 11 видов (44,0 %) и Nostocales – 10 видов (40,0 %). Порядок Crocospales насчитывал 4 вида (16,0 %). Наибольшее видовое богатство было отмечено для семейств Nostocaceae и Phormidiaceae (10 и 5 видов соответственно). Род *Phormidium* был представлен 4 видами, *Leptolyngbya*, *Cylindrospermum* и *Nostoc* – 3. Около 40 % обнаруженных цианобактерий способны к фиксации атмосферного азота, 72 % – слизеобразователи, влияющие на структуру почвенной среды. Состав почвенных цианобактерий исследованных участков отличался. В почве не покрытых лесом земель цианобактерии составляли 29,4 % всех видов. Наиболее активно в культурах вегетировали виды родов *Anabaena*, *Phormidium* и *Leptolyngbya*. Под несомкнувшимися лесными культурами цианеи формировали 39,1 % почвенной альгофлоры. Наиболее обильны были виды родов *Phormidium*, *Leptolyngbya*. Доля цианобактерий в альгосообществах почв насаждений не превышала 6,3 %, степень обилия была невысокой.

По совокупности морфолого-экологических признаков приспособлений почвенных водорослей к условиям существования Э. А. Штиной и М. М. Голлербахом [8] выделен ряд жизненных форм (экобиоморф) эдафотрофных почвенных водорослей. Обнаруженные нами почвенные цианеи относились к следующим жизненным формам:

– Chlorococcum-форма (Ch-форма) – одноклеточные и колониальные организмы, обитающие в толще почвы, при благоприятной влажности дающие разрастания и на поверхности почвы. Отличаются устойчивостью к различным экстремальным условиям.

– *Cylindrospermum*-форма (С-форма) – одноклеточные, колониальные или нитчатые формы, способные образовывать обильную слизь. Обитают как в толще почвы, так и на ее поверхности. Достаточно требовательны к влаге, высыхание переносят в виде спор, зигот, реже в вегетативном состоянии. В большинстве это теневыносливые виды и на поверхности почвы развиваются под укрытием высших растений.

– *Rhormidium*-форма (Р-форма) – нитевидные синезеленые, не образующие значительной слизи. Рассеяны в толще почвы, оплетают почвенные частицы, или образуют на поверхности тонкие кожистые пленки, ксерофиты.

– *Microcoleus*-форма (М-форма) – нитевидные слизиобразующие синезеленые, формируют макроскопически заметные корочки или «дерновинки» на поверхности почвы. Отличаются засухоустойчивостью, теплоустойчивостью и холодоустойчивостью.

В зависимости от условий произрастания на участках исследования изменялся состав жизненных форм цианобактерий (рисунок 1).

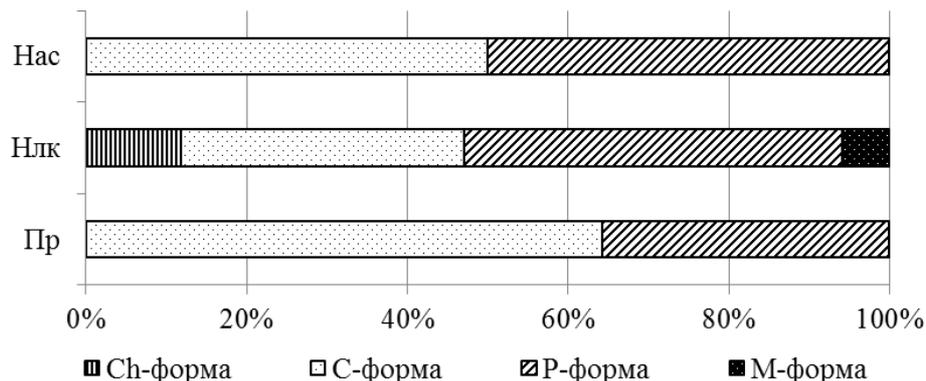


Рисунок 1 – Экологическая структура группировок цианобактерий на различных стадиях лесовосстановления

Условия жизни в почвах не покрытых лесом земель и насаждений обедняют цианогруппировки и только в почвах несомкнувшихся лесных культур состав жизненных форм свидетельствует о наличии достаточно хороших условий для развития цианей.

Важными свойствами почвенных цианогруппировок являются количество видов, фиксирующих атмосферный азот и количество слизиобразователей, влияющих на структурированность почв (рисунок 2).

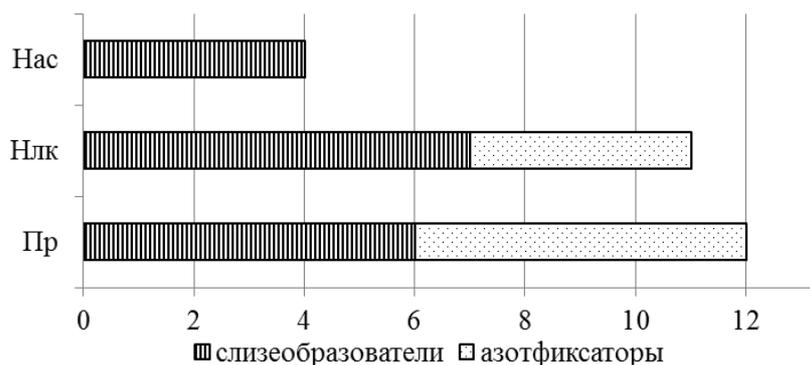


Рисунок 2 – Вклад слизиобразователей и азотфиксаторов в структуру цианогруппировок на различных стадиях лесовосстановления

По мере развития лесных культур на низкобалльных землях, выведенных из сельскохозяйственного производства, численность азотфиксирующих почвенных цианей резко снижается.

Таким образом, был определен видовой состав и описана структура сообществ почвенных цианобактерий низкобалльных земель сельскохозяйственного назначения, переданных под лесные культуры. Выявлена приуроченность цианобактерий к не покрытым лесом землям и несомкнувшимся лесным культурам. Показано обеднение цианосообществ по мере развития лесных культур и исчезновение из их состава азотфиксирующих представителей на стадии насаждения I класса возраста.

Список использованных источников

- 1 Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ (Технический кодекс установившейся практики) / ТКП 302-2011 (03150). – Минск : Госкомимущество, 2011. – 137 с.
- 2 Бачура, Ю. М. Особенности восстановления альгогруппировок почв на кострищах / Ю. М. Бачура // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2008. – № 5, Ч. 2. – С. 153–160.
- 3 Бачура, Ю. М. Особенности заселения почвенными водорослями отвалов фосфогипса / Ю. М. Бачура, О. М. Храмченкова, А. Г. Цуриков // Наука и инновации. – 2009. – № 11. – С. 39–43.
- 4 Бачура, Ю. М. Почвенные водоросли некоторых антропогенно-нарушенных территорий / Ю. М. Бачура, О. М. Храмченкова // Экологический вестник. – 2010. – № 4. – С. 21–28.
- 5 Бачура, Ю. М. Водоросли почв полигона твердых бытовых отходов и некоторых улиц г. Гомеля / Ю. М. Бачура, О. М. Храмченкова // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І. П. Шамякіна. – 2011. – № 3. – С. 3–9.
- 6 Бачура, Ю. М. Почвенные водоросли некоторых сосняков юго-восточной Беларуси / Ю. М. Бачура, О. М. Храмченкова // Сборник науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. – Гомель, 2012. – Вып. 72 : Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 517–526.
- 7 Бачура, Ю. М. Почвенные водоросли деградированных торфяников Гомельского района / Ю. М. Бачура, О. М. Храмченкова // Экологический вестник. – 2013. – № 4. – С. 117–121.
- 8 Штина, Э. А. Экология почвенных водорослей / Э. А. Штина, М. М. Голлербах. – М. : Наука, 1976. – 143 с.
- 9 Алексахина, Т. И. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов / Т. И. Алексахина, Э. А. Штина. – М. : Наука, 1984. – 149 с.
- 10 Штина, Э. А. Альгологический мониторинг почв / Э. А. Штина, Г. М. Зенова, Н. А. Манучарова // Почвоведение. – 1998. – № 12. – С. 1449–1461.
- 11 Штина, Э. А. Реакция почвенных водорослей на антропогенные воздействия / Э. А. Штина, К. А. Некрасова // Проблемы антропогенного воздействия на окружающую среду : сб. науч. трудов / отв. ред. Н. И. Пьявченко. – М. : Наука, 1985. – С. 56–62.
- 12 Штина, Э. А. Заселение водорослями вулканических субстратов / Э. А. Штина, В. М. Андреева, Т. И. Кузякина // Ботанический журнал. – 1990. – № 8. – С. 33–42.
- 13 Гайсина, Л. А. Современные методы выделения и культивирования водорослей : учеб. пособие / Л. А. Гайсина, А. И. Фазлутдинова, Р. Р. Кабиров. – Уфа : Изд-во БГПУ, 2008. – 152 с.
- 14 Komarek, J. Cyanoprokaryota. Teil: Chroococcales / J. Komarek, K. Anagnostidis. – Heidelberg-Berlin : Spektrum Akademischer Verlag, 2000. – 551 p.
- 15 Komarek, J. Cyanoprokaryota. Teil: Oscillatoriales / J. Komarek, K. Anagnostidis. – Munchen : Spektrum Akademischer Verlag is an imprint of Elsevier GmbH, 2005. – 759 p.
- 16 The on-line database of cyanobacterial genera [Electronic resource] / Jiří Komárek, Tomáš Hauer. – Mode of access : <http://www.cyanodb.cz>. – Date of access : 25.11.2013.

О. М. Храмченкова

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПРИМЕНЕНИЕ КУЛЬТУР ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Цианобактерии являются непременным компонентом микрофлоры любого типа почвы. Следовательно, прямое влияние, прежде всего, они могут оказывать на корневую систему растений, с которой контактируют в ризосфере особенно в поверхностных слоях почвы. Ризогенный эффект цианобактерий установлен при проведении лабораторных опытов со многими сельскохозяйственными культурами [1; 2; 3]. Культуры цианобактерий широко используют в качестве ростостимулирующих веществ, так как цианобактерии способны продуцировать фитогормон – индолил-3-уксусную кислоту, который синтезируется в процессе установления симбиотических отношений между цианобактерией и высшим растением [2; 3].

Среди веществ гормональной природы в выделениях цианобактерий обнаружены цитокинины и гиббереллины [3]. Для культур *Anabaena variabilis* и *Chlorogloeopsis fritschii* показан синтез ими индолил-3-уксусной кислоты и цитокининов, причем ни индолил-3-уксусная кислота, ни цитокинины не накапливались внутри клеток *A. variabilis*. Цианобактерии накапливают в почве без внесения азотных удобрений около 20–50 кг/га азота в год. Азотные удобрения резко

снижают фиксацию азота. Высокие дозы азота (100–150 кг/га) полностью подавляет азотфиксацию, и тогда цианобактерии имеют значение как накопители органического вещества [4].

В достаточной степени изучено влияние различных монокультур цианобактерий на прорастание семян и рост проростков ряда сельскохозяйственных культур. Показано, что стимулирующий эффект зависит от фазы роста культур цианобактерий и их видовой принадлежности [2; 5]. В последнее время показано, что экобиотехнологический потенциал микроорганизмов проявляется полнее всего в консорциумах. Создание искусственных консорциумов позволит обогатить среды источником углерода и азота за счет цианобактерий и является перспективным в использовании более бедных и менее ценных питательных сред [6].

Азотфиксирующие цианобактерии являются причинными агентами важнейшего процесса – азотфиксации. Эти организмы чрезвычайно устойчивы к неблагоприятным условиям, что определяет широкую амплитуду их распространения. Исследование искусственных консорциумов содержащих цианобактерии, представляют большой интерес для биотехнологии, поскольку могут удешевить культивирование и повысить эффективность инокуляционного процесса [6; 7; 8].

Культуры *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.* выделяли из почвенных образцов, отобранных на территории ГЛХУ «Гомельский лесхоз». Для отбора проб почв на основании данных РДЛУП «Гомельлеспроект» были выбраны участки, исключенные их сельскохозяйственного пользования и переданные под лесные культуры. Использовали последовательность методов: изоляция отдельных клеток, посеvy и пересевы на жидкие среды Дрю, ВВМ (среда Болда), ВВМ-N (среда Болда без азота) и ЧУ-10 для получения чистых культур [9]. Полученные чистые культуры *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.* были испытаны на микроклональных растениях осины в лаборатории генетики и биотехнологии ГНУ «Институт леса НАН Беларуси».

Для проведения исследования был использован длительно поддерживаемый клон *Populus tremula L. V22*, культивируемый на среде WPM [10; 11]. Эксплантанты культивировали при температуре 23 °С. Режим освещения – круглосуточный, 2–4 тыс. лк. После четырех недель культивирования укорененные регенеранты пересаживали в субстраты для дальнейшей адаптации к нестерильным почвенным условиям. В качестве субстрата использовали смесь следующего состава: верховой нераскисленный торф + песок + перлит в соотношении 3:1:2. Перед посадкой количество корней у каждого растения фиксировали, после чего корни обрезали до 1 см. Высота баночных растений перед посадкой была различной. Растения заглубляли на 0,2–0,3 мм. Кассеты с высаженными растениями помещали в установку с климат-контролем (поддерживаемая влажность 80–90 %). После начала формирования первого нового листа (через одну неделю) влажность постепенно снижали до естественной, световой режим меняли с 24/0 ч на 16/8 ч, 4–5 тыс. лк, t = 21–23°C. Длительность первого периода адаптации составляла 4 недели с момента высадки микроклональных растений из стерильных условий. На втором этапе адаптации (дорастивании) микроклональные саженцы переставили в комнатные условия: освещенность 5–6 тыс. лк, температура 21–23 °С, фотопериод 16/8 ч, влажность 50 %. Длительность этапа – 2 недели. Непосредственно после высадки проводили однократный полив адаптируемых растений раствором культур цианобактерий. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта выявления влияния культур *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.* на дорастивание микроклонального посадочного материала *Populus tremula L.*

Вариант опыта	Род цианобактерий	Среда выращивания цианокультуры
Контроль	–	–
1	<i>Anabaena sp.</i>	ВВМ-N
2	<i>Anabaena sp.</i>	Дрю
3	<i>Anabaena sp.</i>	Чу-10
4	<i>Anabaena sp.</i>	ВВМ
5	<i>Nostoc sp.</i>	ВВМ-N
6	<i>Nostoc sp.</i>	Дрю
7	<i>Nostoc sp.</i>	Чу-10
8	<i>Nostoc sp.</i>	ВВМ

Развитие растений в контроле и под воздействием культур цианобактерий оценивали по показателю высоты побега (в миллиметрах от поверхности субстрата до последней развитой почки). Учитывали процент выживших растений-регенерантов в конце периода адаптации. Рассчитывали процент прироста растений и анализировали динамику развития. Учеты проводили

на 3, 21, 42 день после посадки. Установлено положительное влияние большинства использованных культур цианобактерий на рост и развитие микроклональных растений, адаптируемых к нестерильным почвенным условиям. Данные по средней высоте стволика и величине прироста представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Средняя высота стволиков и величина прироста регенерантов осины в опытах с культурами *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.*

Вариант опыта	Средняя высота стволика, мм			Прирост		Прирост по отношению к контролю
	на 3 день	на 21 день	на 42 день	мм	%	
Контроль	35,6±9,6	42,5±11,6	58,1±13,0	22,5	63	63
1	33,1±11,4	58,5±14,0	95,2±19,3	62,1	188	167
2	33,4±10,0	53,7±17,1	86,6±24,0	53,2	159	143
3	33,2±9,0	43,0±11,2	55,4±15,8	22,2	67	56
4	30,3±8,1	47,8±11,9	69,8±20,3	39,5	130	96
5	30,6±9,6	56,2±15,8	86,9±22,9	56,3	184	144
6	30,7±8,4	50,2±15,4	77,6±19,3	46,9	153	118
7	32,2±11,6	42,6±15,1	51,6±13,7	19,4	60	45
8	33,1±12,0	43,0±10,8	50,8±15,2	15,0	42	43

Средняя высота стволика микроклональных растений осины контрольного варианта составила (58,1±13,0) мм, что существенно ниже значений аналогичного показателя в вариантах обработки саженцев культурами *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.* Наибольшие показатели средней высоты стволика по прошествии периода выращивания в нестерильных почвенных условиях были у растений в вариантах применения культур *Anabaena sp.*, полученных на средах ВВМ-N и Дрю (95,2±19,3) и (86,6±24,0) мм соответственно (достоверное отличие от контроля $F_{кр} 3,9 < F_{ст} 87,2$ и $36,7$ соответственно). Для культур *Nostoc sp.*, полученных на тех же средах, показатели роста микроклональных растений также были наибольшими и составили (86,9±22,9) и (77,6±19,3) мм соответственно. Отличия контроля в данном случае также достоверны $F_{кр} 3,9 < F_{ст} 41,0$ и $24,2$ соответственно.

Использование культур *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.*, полученных на средах ВВМ-N и Дрю, отразилось и на интенсивности прироста микроклональных растений осины. В контроле прирост составил 22,5 мм (63 % относительно начальной высоты). Наиболее интенсивный прирост наблюдался в вариантах опыта с обработкой культурами *Anabaena sp.*, полученными на средах ВВМ-N, Дрю и ВВМ, где он составил 62,1 (188 %), 53,2 (159 %) и 39,5 (130 %) соответственно. Высокая интенсивность прироста отмечена в вариантах опыта с использованием культур *Nostoc sp.*, выращенных на средах ВВМ-N и Дрю: 56,3 (184 %) и 46,9 (153 %) соответственно. Для изучения процесса адаптации регенерантов к почвенным условиям анализировали динамику прироста растений.

В первые две недели опыта максимальная интенсивность прироста отмечена для растений, обработанных культурами *Anabaena sp.*, полученными на средах ВВМ-N, ВВМ, Дрю и культурами *Nostoc sp.*, выращенными на средах ВВМ-N и Дрю, что говорит о более быстрой акклиматизации регенерантов к нестерильным почвенным условиям в присутствии «привычных» к ним цианей. За вторые две недели данная тенденция сохранилась, что говорит о существенном влиянии культур цианобактерий на рост и развитие микроклональных саженцев осины в период адаптации.

Максимальный прирост на первом этапе адаптации отмечен в опытном варианте при обработке культурами *Nostoc sp.*, выращенными на среде ВВМ-N, на втором – культурами *Anabaena sp.*, полученными на среде ВВМ-N и *Nostoc sp.*, выращиваемыми на среде ВВМ-N. Таким образом, среда Болда, из которой были исключены азотсодержащие соединения, оказалась наиболее пригодна для получения культур почвенных азотфиксирующих цианобактерий, применяемых для адаптации микроклональных растений к нестерильным почвенным условиям. Наименьший прирост отмечен в опытном варианте 8, где производилась обработка микроклональных растений осины культурами *Nostoc sp.*, выращенными на среде ВВМ.

Для растений контрольного варианта показатель сохранности оказался высоким и составил 94 %. Максимальная сохранность регенерантов в опытных вариантах отмечена при обработке культурой *Nostoc sp.*, выращенной на среде Дрю – 100 %. Наименьшая сохранность (89 %) отмечалась для растений, обработанных культурой *Nostoc sp.*, выращенной на среде Чу-10.

Возможно, что единичные выпадения растений, наблюдавшиеся в первые дни после пересадки в торфо-перлитно-песчаный субстрат, связаны с физиологическим состоянием регенерантов на момент посадки, а не воздействием культур.

В конце этапа адаптации был оценен диаметр корневой шейки регенерантов. Достоверных отличий между контролем и опытными вариантами не было отмечено. Диаметр корневых шеек в контрольном варианте составил 3,3 мм, в опытных колебался от 3,5–3,8 мм.

Таким образом, установлено, что средняя высота стволиков растений осины клона V22, обработанных культурами *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.* достоверно выше данного показателя в контрольном варианте опыта. Наибольшие высоты стволика *Populus tremula L.* клона V22 по окончании адаптации к почвенным условиям были отмечены в вариантах применения культур *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.*, полученных на безазотистой среде Болда и среде Дрю. Показано, что обработка микроклональных регенерантов осины культурами *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.*, полученных на безазотистой среде Болда и среде Дрю, приводила к увеличению интенсивности роста растений. Отмечено, что показатель сохранности в конце периода адаптации был высоким, как в контрольном, так и в опытных вариантах. Культуры *Anabaena sp.* и *Nostoc sp.* показали позитивное влияние на интенсивность ростовых процессов микроклональных регенерантов осины, что позволяет рекомендовать их для практического использования в процессе адаптации микроклонов осины.

Список использованных источников

- 1 Андреев, Е. И. Цианобактерии / Е. И. Андреев, Ж. П. Коптева, В. В. Занина. – Киев : Наук, думка, 1990. – 200 с.
- 2 Lobakova, E. S. Cyanobacterial-bacterial complexes in plant syncyanoses / E. S. Lobakova, G. A. Dol'nikova, T. G. Korzhenevskaya // Microbiology. – 2001. – Vol. 70, № 1. – P. 128–134.
- 3 Гольдин, Е. Б. Цианобактерии в смешанных культурах и их биоцидная активность / Е. Б. Гольдин // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах. – Киров, 2010. – С. 84–88.
- 4 Tan, L. T. Bioactive natural products from marine cyanobacteria for drug discovery / L. T. Tan // Phytochem. – 2007. – Vol. 68, № 7. – P. 954–979.
- 5 Chavez-Santoscoy, A. Application of aqueous two-phase systems for the potential extractive fermentation of cyanobacterial products / A. Chavez-Santoscoy, J. Benavides, M. Rito-Palomares, W. Vermaas // Chemical Engineering and Technology. – 2010. – Vol. 33, № 1. – P. 177–182.
- 6 Панкратова, Е. М. Цианобактерия *Nostoc paludosum* Kütz как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий р. *Rhizobium* / Е. М. Панкратова, Л. В. Трефилова, Р. Ю. Зяблых, И. А. Устюжанин // Микробиология. – 2008. – Т. 77, № 2. – С. 1–7.
- 7 Трефилова, Л. В. Конструирование микробных культур на основе синезеленой водоросли *Nostoc paludosum* Kütz / Л. В. Трефилова // Альгология. – 2004. – Т. 14, № 4. – С. 445–458.
- 8 Campinas, M. Evaluation of cyanobacterial clls removal and lysis by ultrafiltration / M. Campinas, M. J. Rosa // Separation and Purification Technology. – 2010. – Vol. 70, № 3. – P. 345–353.
- 9 Гайсина, Л. А. Современные методы выделения и культивирования водорослей : учеб. пособие / Л. А. Гайсина, А. И. Фазлутдинова, Р. Р. Кабиров. – Уфа : БГПУ, 2008. – 152 с.
- 10 Smith, M. A. A comparison of source tissue for protoplast isolation from three woody plant species / M. A. Smith, B. H. McCown // Plant sci. lett. – 1983. – Vol. 28. – P. 149–156.
- 11 Murashige, T. A. Revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures / T. A. Murashige, F. A. Scoog // Physiol. plant. – 1962. – Vol. 15. – P. 473–497.

Л. В. Чернышева
г. Гомель, ГГМУ

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ПРЕПОДАВАНИИ ХИМИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В МЕДИЦИНСКОМ ВУЗЕ

Происходящие структурные изменения в обществе, переход к экономике, базирующейся на знаниях новых технологий, изменяют контекст образования. На сегодняшний день процессами информатизации в Республике Беларусь в той или иной мере охвачены практически все сферы деятельности. Это относится и к сфере высшего образования как одной из определяющих общественного прогресса. Сегодняшней целью вузовской подготовки становится развитие независимой и активной личности, которая должна быть достаточно зрелой, чтобы удовлетворять

потребностям нации и государства, быть открытой к постоянной учебе и иметь конкурентоспособные профессиональные квалификации, удовлетворяющие как личные запросы, так и требования рынка труда.

Вместе с тем следует осознать, что современное образование – образование информационного общества – объективно и существенно отличается от образования в индустриальном обществе. Все быстрее меняются приоритеты общества, все увеличивающийся объем и поток информации приводит к тому, что традиционное образование научить человека на всю жизнь не может не только в хорошей школе, но и в самом лучшем университете. Следует менять цели и функции современного образования в вузе, где основной целью образования человека будет не только получение знаний, но научить студента самостоятельно овладевать знаниями и информацией, научить воспринимать и продуцировать изменения, выработать потребность в обучении на протяжении жизни. Не сегодняшний день, современная образовательная система вузов вступило в инновационный тип развития, когда изменчивость становится ключевой чертой и характеристикой образования. Инновации в образовании – естественное и необходимое условие его развития в соответствии с меняющимися потребностями общества. Инновации способствуют, с одной стороны, сохранению непреходящих ценностей, с другой стороны, они несут в себе отказ от всего устаревшего и отжившего. Особый интерес для нас, преподавателей медицинского вуза, работающих на младших курсах, представляют инновации, связанные с разработкой и внедрением технологий, способствующих формированию не только знаний, но и максимально полно выражающего потенциал студента как личности [1].

В русле этих идей *инновационное образование*, нами видится, как *развивающееся и развивающее образование* в вузе. Конечно, инновационное образование не возможно без активного обучения, целью которого является создание преподавателем условий, в которых обучающийся сам будет открывать, приобретать и конструировать знания. Традиционными формами организации учебного процесса медицинского вуза, как и любого другого вуза, являются лекционные и семинарские занятия. В своей работе мы используем потенциалы лекции для превращения последней в метод активного обучения [2].

Традиционно лекции используются для монологического изложения материала, она объясняет, упорядочивает сложные понятия дисциплин вузов; моделирует процесс решения проблем; иллюстрирует связь между различными идеями; подвергает сомнению убеждения; порождает мотивацию к дальнейшему образованию. Не умоляя достоинств традиционной лекции, мы видим и ряд недостатков этого метода. К ним относятся:

- во время лекции наибольшую активность проявляет преподаватель, который стремится, максимально используя время, дать наибольший объем информации, работа студентов сводится к простому записыванию. На лекциях не остается времени на осмысление и обдумывание материала;

- однообразие работы приводит к снижению концентрации внимания студентов на учебном материале. Как показывают психологические исследования, максимальный уровень внимания у студентов наблюдается первые на 15–20 минут лекции;

- большой объем монотонно изложенной информации плохо усваивается и запоминается студентами, как показывают исследования, студенты способны воспроизвести после лекции не более 20 % услышанного;

- отсутствует обратная связь преподавателя с обучающимися, что не позволяет еще раз вернуться к наиболее важным или трудноусвояемым вопросам лекции.

В педагогике рассматриваются различные варианты лекций, мы, не останавливаясь подробно на всех видах лекций, расскажем лишь о тех, которые были адаптированы к условиям высшей школы.

Метод «лекция – конференция». Студенты заранее знают тему и имеют распечатанный основной материал лекции. В ходе лекции лектором озвучиваются лишь некоторые важнейшие моменты темы или наиболее сложные. Вторую половину лекции студенты задают вопросы по материалу лекции.

Метод «лекция с опорными конспектами». Студенты перед лекцией получают распечатанный материал лекции, но в отличие от предыдущего в нем имеются лишь основные вопросы: определения понятий, формулировки законов, справочные данные, важнейшие графики и т. д. В ходе лекции студенты слушая преподавателя, на специально оставленных полях в распечатке лекции делают пометки, составляют схемы, расшифровывают формулировки, дополняют лекцию новыми примерами.

Метод «лекция с процедурой пауз». При подготовке лекции преподаватель разбивает материал лекции на логически завершённые части и продумывает для студентов задания, которые они будут выполнять в паузах между чтением лекции. Изложение одной части не должно превышать 15–20 минут, а выполнение задания 3–4 минуты. Процедура лекции состоит из нескольких этапов изложения материала и пауз. Необходимо во вступительной части лекции студентам четко изложить порядок работы, а также следует помнить, что задания не должны быть объемными. Задания подбираются исходя из материала лекции, для их выполнения можно привести во время лекции алгоритм выполнения, схему рассуждения, к дополнительным заданиям можно отнести и составление вопросов по материалу лекции, которые затем задаются преподавателю и на наиболее трудные лектор отвечает во время лекции. В конце лекции задания необходимо проверить или привести ответы к ним.

Метод «проведение лекции с помощью обучающихся». По нашему мнению это наиболее сложный метод и требует от преподавателя четкого понимания цели его использования. Подготовка лекции начинается заранее. Преподаватель предлагает каждому обучающемуся написать вопросы, которые они хотели бы услышать на лекции, перед лекцией данные вопросы предоставляются лектору. Лекция читается по вопросам студентов, которые сгруппированы по смыслу материала. Заметим, что преподаватель, применяющий этот метод, должен четко представлять цель такой работы; лекцию лучше проводить со студентами, которые уже имеют опыт участия в лекционных занятиях, со студентами, которые имеют хороший уровень подготовки по дисциплине [3].

Не менее важным считаем применение на лекциях демонстрационных опытов. Демонстрации различных опытов на лекционном занятии, в лекционной аудитории постепенно исчезает из практики лектора. Но технические средства обучения позволяют расширить воздействие на студента путем активизации процесса восприятия. И этого можно добиться, используя on-line технологии. Приведем пример такого использования.

Например, для демонстрации химических опытов на лекционном занятии заранее два или три студента под руководством преподавателя проводят планируемый к демонстрации эксперимент в лаборатории. У вытяжного шкафа в лаборатории предварительно устанавливают видеокамеры, которые подключаются к компьютеру. Во время лекции, в необходимый по плану момент, по мобильной связи лектором дается сигнал о начале эксперимента. Студенты, подготовленные заранее для выполнения демонстрационного опыта, начинают его выполнять. За этим процессом, проводимым в лаборатории, устными комментариями преподавателя, наблюдает вся лекционная аудитория. Познавательный интерес и соответственно обучающий, развивающий, стимулирующий эффект к этим проводимым в лаборатории демонстрационным опытам, многократно превосходит тот, который наблюдается при просмотре учебных видеофильмов. Наблюдение за своими сверстниками всегда интереснее, нет никаких сомнений в комбинаторике, достигаемой техническими возможностями при монтаже учебного фильма. Кроме того происходит необходимая разрядка, мотивация и актуализация изучаемого вопроса.

В заключение рассмотрим аспекты, которые, по нашему мнению, помогут преподавателям сделать лекцию более эффективной: определить с какой целью будет использоваться лекция (лекция может быть: информационная – передача информации; воспитательная – побуждение к действию; консультативная – определение позиции, решение проблемы); познакомиться с особенностями студентов потока, для которого вы будете читать лекции, насколько подходит данный метод; не забывайте о своих особенностях чтения лекции: Ваш темп изложения, способствует ли Вы выделению основных положений материала; продумайте, содержание лекции, сформулируйте заранее, что Вы хотите сказать в лекции, какие вопросы освещаете, и которые не затрагиваете, как вопросы оставляете для самостоятельного изучения; позаботьтесь, чтобы лекция действовала не только слух, но и зрение, эмоции студентов; подумайте, по каким признакам вы поймете, что лекция прошла успешно: реплики студентов или, когда Вы, спросив в конце лекции: «Есть вопросы?», получите положительный ответ [4].

Безусловно, существуют и другие способы проведения лекции, но мы надеемся, что приведенные варианты, будут интересны и полезны для преподавателей других дисциплин, и они смогут найти те варианты, которые наиболее эффективно можно использовать при изучении каждой отдельной дисциплины.

Список использованных источников

1 Гарчеренок, И. И. Инновационная деятельность и высшее образование: европейское видение до 2020 года / И. И. Гарчеренок // Инновации в образовании. – 2005. – № 2. – С. 5–8.

2 Казбанов, В. В. Молодежь и инновации – настоящее и будущее белорусской науки / В. В. Казбанов // Новости науки и технологий. – 2012. – № 4. – С. 6–9.

3 Фредерик, П. Дж. Восемь вариантов чтения лекций / П. Дж. Фредерик // Школьные технологии. – 2004. – № 4. – С. 46–49.

4 Степин, Б. Д. Демонстрационные опыты по общей и неорганической химии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б. Д. Степин [и др.]. – М. : Гуманитар. изд. центр Владос, 2003. – 336 с.

А. Л. Чеховский, Д. Н. Дроздов

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

Л. А. Чунихин

г. Гомель, ГГМУ

КАРТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАДОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Среди основных источников естественной радиоактивности, определяющих формирование доз облучения человека, наибольший вес имеет радон и его дочерние продукты распада (ДПР). Согласно текущей оценке НКДАР ООН, радон и его ДПР определяют примерно две третьих части годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно половину дозы от всех источников радиации [1]. Главным источником поступления радона в атмосферу являются почва и грунтовые породы, доля от общего поступления составляет около 75 %. Процесс выделения радона в основном связан с его диффузией из структурных частиц породы и зависит от большого количества факторов. В геологическом отношении около 40 % территории Республики Беларусь, преимущественно Северо-Запад, рассматриваются как потенциально радоноопасные [2].

Эманация радона подстилающими породами обуславливает объемную активность в помещении, в среднем 20–30 Бк/м³ [3]. В терминах ущерба на единицу эффективной дозы облучения для населения (ICRP, 1991), экспозиционная доза радона и ДПР в 1 (мДж·ч·м⁻³)⁻¹ эквивалентна эффективной дозе для населения 1,1 мЗв. Таким образом, если концентрация радона 1 Бк/м³ приводит к годовой экспозиции в жилище 1,56·10⁻² мДж·ч·м⁻³, то при объемной активности радона в 100 Бк/м³ – эффективная доза составит 1,7 мЗв/год [4]. По экспертным оценкам дозы облучения от радона и его ДПР, оцененные по методу условного дозового перехода, могут составить следующие величины: в Брестской и Гомельской области до 1,5 мЗв/год, в Могилевской, Гродненской и Минской областях до 2,5 мЗв/год, в Витебской области до 3,5 мЗв/год.

Наличие неравномерного распределения радоноопасных территории при относительно высоких значениях доз облучения населения, в том числе от радионуклидов чернобыльского происхождения, имеет важное научно-практическое значение. В соответствии с мировой практикой оценки опасности и радиационной защите от радона и его ДПР принято проводить картирование территории. В основу картирования закладывается понятие радоновый потенциал, либо радоновый риск. В первом случае показателем для картирования является объемная активность радона в почвенном воздухе, во втором случае – в жилых и рабочих помещениях зданий. Согласно работе [5] установлена зависимость между объемной активностью радона в помещении и радоновым показателем (РП) сельских зданий. РП был использован для построения карт радонового риска Гомельской и Могилевской области.

Целью настоящей работы являлось картирование территории Гомельской области для оценки радоновой обстановки по результатам измерения объемной активности радона в помещениях. Материалами для данной работы являлись результаты измерения объемной активности (ОА) радона в типичных помещениях сельских населенных пунктах Гомельской области. Данные были получены при широкомасштабных обследованиях, выполненных специалистами НИИ морской и промышленной медицины [6], специалистами ГУ «ГОЦГЭиОЗ» и ГНУ «ОИЭ-ЯИ – Сосны» НАН Беларуси [7]. Измерения проводились в помещениях сельских одноэтажных зданий, в которых можно ожидать максимально возможные уровни ОА радона, поступающего в основном из почвы. По результатам этих исследований было проведено картирование радонового риска. Для построения карт распределения радона по территории Гомельской области использовались ГИС-технологии. Была сформирована пространственно-скоординированная база данных результатов измерений. Для построения тематических карт использовалась топооснова со слоями населенных пунктов и границами районов, и областей. Процедура была выполнена с применением программного продукта MapInfo10.5.

При анализе радоноопасности территории использовался ряд карт с показателями, оказывающими существенное влияние на ОА радона в помещении: геологические карты Беларуси, на которых показано расположение пород и почв с различным содержанием урана [8]; дочернобыльские карты мощности экспозиционной дозы (МЭД) на территории Беларуси [8]; данные по проницаемости различных пород для радона [9]; гидрогеологические карты территории Беларуси с глубинами залегания первого от поверхности водоносного горизонта [10].

На основе данных по измерению ОА радона в помещениях сельских зданий была разработана карта радонового риска Гомельской области, которая приведена на рисунке 1.

При детальном описании радоновой обстановки на территории Гомельской области можно выделить 2 группы районов. К первой группе относятся районы с низкими значениями ОА радона в пределах 0–40 Бк/м³: Кормянский, Жлобинский, Буда-Кошелевский, Добрушский, Светлогорский, Речицкий, Лоевский, Брагинский, Хойникский, Петриковский, Житковичский, Лельчицкий. Ко второй группе относятся районы, территория которых значительно или полностью имеет повышение уровня ОА радона до 40–70 Бк/м³ с возможными единичными измерениями вплоть до 100 Бк/м³: Рогачевский, Чечерский, Ветковский, Гомельский, Октябрьский, Калинковичский, Мозырский, Наровлянский, Ельский районы.

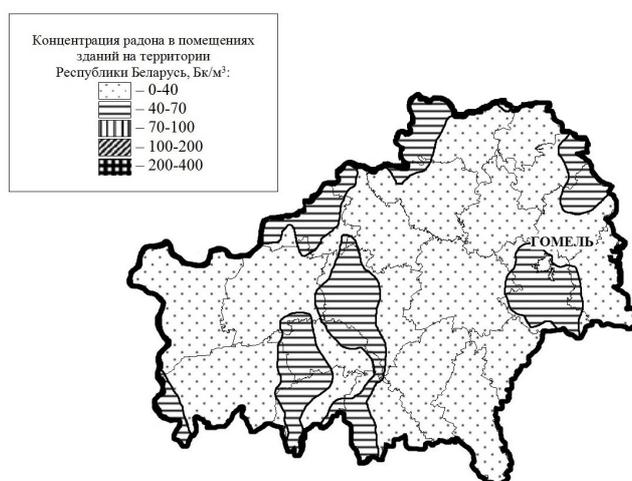


Рисунок 1 – Карта радонового риска Гомельской области

Специфические геологические и экологические условия, которые определяют радоновую обстановку, могут быть представлены рядом факторов, непосредственно влияющих на ОА радона. Наиболее значимыми из них являются: содержание урана в почвах, дочернобыльская мощность экспозиционной дозы (МЭД), коэффициент фильтрации почв для радона, глубинами залегания первого от поверхности водоносного горизонта. Обоснование применения данных показателей приводится в работе [11]. На основании значений показателей, полученных по соответствующим картам [8; 9; 10], и описанных групп районов была составлена сводная таблица 1. Необходимо подчеркнуть общую тенденцию и связь ОА радона и представленных показателей. ОА радона прямо пропорциональна значениям: содержания урана в почвах, МЭД, глубины залегания первого от поверхности водоносного горизонта; и обратно пропорциональна значениям коэффициента фильтрации почв для радона [11].

Таблица 1 – Характеристика групп районов Гомельской области по показателям, которые влияют на объемную активность радона

Область	Объемная активность, Бк/м ³	Районы	МЭД, мкР/ч	Концентрация урана, $n \cdot 10^{-3} \%$	Коэф. фильтрации, отн. ед.	Глубина водоносного горизонта, м
1	2	3	4	5	6	7
Гомельская	0–40	Кормянский, Жлобинский, Буда-кошелевский, Добрушский, Светлогорский, Речицкий, Лоевский, Брагинский, Хойникский, Петриковский, Житковичский, Лельчицкий	1–8	0–1	0,027–0,04	0–5

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Гомельская	40–70	Рогачевский, Чечерский, Ветковский, Гомельский, Октябрьский, Калинковичский, Мозырский, Наровлянский, Ельский	3–8	1–2	0,004–0,027	2,5–10

На основе полученных значений объемной активности радона и ряда определяющих ее показателей (содержание урана в почвах, дочернобыльская мощность экспозиционной дозы (МЭД), коэффициент фильтрации почв для радона, глубинами залегания первого от поверхности водоносного горизонта) была проведена комплексная оценка радоновой опасности районов Гомельской области.

Все районы Гомельской области имеют низкие значения ОА радона (0–70 Бк/м³) и низкий уровень радоновой опасности ввиду специфических достаточно однородных геологических условий данной территории: малые значения МЭД (до 8 мкР/час), небольшое и среднее содержание урана в почвах (в основном 0–1 н·10⁻³%), поверхностное залегание первого водоносного горизонта (в основном 0–5 м). Средние и высокие значения коэффициента фильтрации почвы (0,027–0,04 м), которые способствуют увеличению значений ОА радона, не вносят значительного вклада в общую картину из-за низких значений трех вышеперечисленных факторов.

В настоящее время при дозовой оценке отдаленных последствий радиационных аварий или штатной деятельности предприятий ЯТЦ необходимо учитывать дозовую нагрузку на население от естественных радионуклидов и, в первую очередь, от радона. Рассмотрение техногенных дозовых нагрузок в отрыве от естественного радиационного фона на данной местности является некорректным [4]. Картирование территории Гомельской области по результатам измерения объемной активности радона в помещениях, и представленная оценка радоновой обстановки по ряду факторов, непосредственно влияющих на ОА радона, способствует более точному и обоснованному определению дозовой нагрузки, которой подвергается население на данной территории с учетом радоновой составляющей. В целом, территория Гомельской области достаточно однородна и имеет низкий уровень потенциальной радоноопасности.

Список использованных источников

- 1 Радиация. Дозы, эффекты, риск : пер. с англ. Ю. А. Банникова. – М. : Мир, 1990. – 79 с.
- 2 Матвеев, А. В. Концентрации радона в почвенном воздухе на смежных площадях Белорусской антеклизы и Припятского прогиба (Беларусь) / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, В. В. Лосич, А. П. Иваненко // Природопользование. – 2012. – Вып. 21. – С. 68–74.
- 3 Матвеев, А. В. Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси / А. В. Матвеев [и др.] // Літасфера. – 1996. – № 5. – С. 151–16.
- 4 Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах / Публикация № 65 МКРЗ. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
- 5 Чунихин, Л. А. Комплексный радоновый показатель для картирования радонового риска на территории Гомельской и Могилевской области / Л. А. Чунихин, А. К. Карабанов, А. В. Беляшов // Экологический вестник. – 2010. – № 1. – С. 33–38.
- 6 Радоновый мониторинг Могилевской и Гомельской области Республики Беларусь : отчет о НИР (закл.) / Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины ; рук. Э. М. Крисяк. – СПб., 1992. – 205 с.
- 7 Отчет о НИР (закл.) / Объединенный Институт энергетических и ядерных исследований ; рук. О. И. Ярошевич. – Минск ; Областной Центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья ; рук. В. Н. Бортоновский. – Гомель, 2005. – 170 с.
- 8 Karabanov, A. K. Impact of geological structures of Belarus on Radon Concentration in Air Workshop on Natural Radiation and Radon // Seminar on Radon, Stockholm, SSM, 25–27 January, 2009.
- 9 Беляшов, А. В. Оценка гидрогеологических параметров по данным геофизических исследований в скважинах : метод. руководство / А. В. Беляшов [и др.]. – Минск : Фонды геофизической экспедиции, 2008. – 43 с.
- 10 Богомолов, Г. В. Гидрогеологическая карта четвертичных отложений Белорусской ССР / Г. В. Богомолов [и др.]. – Минск, 1963.
- 11 Чеховский, А. Л. Обоснование применения компонентов радонового показателя для картирования радонового потенциала / А. Л. Чеховский // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2014. – № 6. – С. 100–106.



ГЕОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ

С. В. Андрушко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ИСТОРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ГОМЕЛЬСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Преобразование естественной природной структуры ландшафтов – длительный процесс, являющийся результатом совокупности антропогенных воздействий. Особенно ярко данный процесс наблюдается в староосвоенных регионах, к которому и относится территория Гомельского Полесья, как часть более обширного физико-географического района – Белорусское Полесье. Именно на территории Гомельской области отмечено наибольшее скопление первичных поселений, памятников, датируемых ранним железным веком – 71 % из числа всех обнаруженных памятников в Республике Беларусь и 42 % от общего числа приходится именно на территорию Гомельского Полесья [1]. Соответственно наибольшая степень антропогенных воздействий на начальных этапах хозяйственного освоения была характерна именно для данной территории.

За длительный период антропогенного воздействия естественные ландшафты Гомельского Полесья испытали значительные изменения, вызванные расселением, хозяйственным освоением территории и интенсивным использованием природных ресурсов. В результате на территории сформировались современные природно-антропогенные ландшафты.

Особенности природопользования и антропогенных изменений ландшафтов Гомельского Полесья рассмотрены за период около 2500 лет, начиная со времени появления первых стационарных поселений, а вместе с ними и существенных преобразований ландшафтов в железном веке (первое тысячелетие до н. э.) и до современного этапа (начало XXI века). Ландшафтная структура Гомельского Полесья, представленная 6-ю родами (аллювиальный террасированный, вторичный водно-ледниковый, вторично-моренный, моренно-зандровый, озерно-аллювиальный, пойменный), 16 видами ландшафтов и 21 территориальным выделом, которые за более чем две с половиной тысячи лет были существенно преобразованы. Для изучения истории антропогенного освоения Гомельского Полесья проведена комплексная историческая периодизация хозяйственного освоения территории. Всего выделено 5 этапов:

1-й этап – этап подсечно-огневого земледелия (1 тысячелетие до нашей эры);

2-й этап – этап перехода от подсечно-огневого к пашенному земледелию (I–VIII век нашей эры);

3-й этап – этап развития пашенного земледелия и ремесел (IX–XVI век);

4-й этап – этап начала промышленного воздействия (XVII–XIX век);

5-й этап – этап интенсивного антропогенного преобразования (XX–XXI век).

Для каждого из выделенных этапов характерны свои характерные особенности освоения, демографического развития и преобладающие виды хозяйственной деятельности.

Начиная с первого тысячелетия до н. э. (1 этап) хозяйство в регионе становится присваивающим и человек начинает интенсивно преобразовывать незначительные участки лесных ландшафтов подсечно-огневым, а на наиболее плодородных участках и пашенным земледелием, которое в последующем (2 этап) полностью заменило подсечно-огневую систему земледелия. С течением времени антропогенные изменения приводили к формированию т.н. антропогенизированных урочищ, почвенный покров и растительность в которых были коренным образом преобразованы многочисленной сменой севооборотов. Лесистость территории на данном этапе составляла 85–90 %, остальные территории занимали открытые болота и воды [4, с. 18].

С XIII века (3 этап) начинается интенсивное освоение плакорных территорий, о чем свидетельствует анализ системы расселения на территории. В сельскохозяйственный оборот вовлекались новые земли, подвергая существенному преобразованию структуру естественных природных ландшафтов. Хозяйственные ареалы поселений занимали от 12 до 16 десятин в зависимости

от использовавшейся системы земледелия [6]. Лесистость на данном этапе снижается до 65–70 % [4], что свидетельствует о появлении лесохозяйственного ландшафта на наиболее освоенных участках. Начиная со второй половины XVI века (4 этап) площадь сельскохозяйственного надела увеличивается до 21,36 га [5], что способствовало дальнейшему увеличению сельскохозяйственной освоенности, кроме того лесистость региона была уже снижена до 60 % [4]. Начиная с данного периода можно утверждать о появлении сельскохозяйственно-лесного ландшафта на наиболее преобразованных территориях, попадающих в радиус хозяйственного освоения населенных пунктов. В конце XX века (5 этап) значительно снижается площадь лесохозяйственных ландшафтов и начинают преобладать сельскохозяйственные и сельскохозяйственно-лесные ландшафты. Доминирующим в сельскохозяйственно-лесном ландшафте становятся пахотно-лесной и лесо-пахотный подклассы, а в пределах сельскохозяйственного – селитебно-пахотный подкласс.

Для изучения антропогенных преобразований ландшафтов Гомельского Полесья были использованы топографические карты района исследований середины XIX и конца XX века. В целом для территории за рассматриваемый период характерно значительное снижение лесистости и лесоболотных территории (с 58,5 до 43,7 %) и общее увеличение сельскохозяйственных угодий (с 26,4 до 45,7 %) особенно в пределах волнистых, волнисто-увалистых и холмисто-волнистых моренно-зандровых ландшафтов (в среднем с 50 % до 65,8 %). Еще одной тенденцией является значительное увеличение площади населенных пунктов (с 2,9 до 5,7, а в пределах селитебно-пахотных моренно-зандровых ландшафтов с 5,25 % до более чем 11 %), при общем снижении площади естественных природных территорий и их замене сельскохозяйственными и застроенными землями.

С учетом структуры земельных угодий каждого вида ландшафтов, были установлены типы и виды антропогенной трансформации по методике, разработанной Г. И. Марцинкевич [2; 3]. Обобщенная таблица типов и видов антропогенной трансформации ландшафтов на двух временных срезах (середина XIX и конец XX века) приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение классов и подклассов природно-антропогенных ландшафтов Гомельского Полесья

Вид ландшафта	Этап	Класс ПАЛ	Подкласс ПАЛ
1	2	3	4
1 Холмисто-волнистый вторично-моренный	2	СХ	селитебно-пахотный
	1	СХ	лугово-пахотный
2 Волнистый моренно-зандровый северный выдел	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	СХ-Л	лесо-пахотный
3 Волнистый моренно-зандровый южный выдел	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	СХ-Л	лесо-пахотный
4 Волнисто-увалистый моренно-зандровый	2	СХ	селитебно-пахотный
	1	СХ	лугово-пахотный
5 Волнистый аллювиальный террасированный	2	Л	лесоболотный
	1	Л	лесоболотный
6 Плоский пойменный	2	СХ	болотно-пахотный
	1	СХ	лугово-пастбищный
7 Волнистый моренно-зандровый северный выдел	2	Л	лесохозяйственный
	1	Л	лесохозяйственный
8 Волнистый моренно-зандровый южный выдел	2	СХ	селитебно-пахотный
	1	СХ	лугово-пахотный
9 Холмисто-волнистый моренно-зандровый	2	СХ	селитебно-пахотный
	1	СХ	лугово-пахотный
10 Волнистый вторичный водно-ледниковый	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	СХ-Л	лесо-пахотный
11 Плосковолнистый вторичный водно-ледниковый	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	Л	лесохозяйственный
12 Волнистый вторичный водно-ледниковый	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	СХ-Л	пахотно-лесной

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
13 Плосковолнистый аллювиальный террасированный центральный выдел	2	СХ-Л	лесо-пахотный
	1	Л	лесохозяйственный
14 Плосковолнистый аллювиальный террасированный северный выдел	2	Л	лесохозяйственный
	1	Л	лесохозяйственный
15 Плосковолнистый аллювиальный террасированный южный выдел	2	Л	лесохозяйственный
	1	Л	лесохозяйственный
16 Плоскобугристый аллювиальный террасированный	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	Л	лесохозяйственный
17 Плосковолнистый аллювиальный террасированный северный выдел	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	Л	лесохозяйственный
18 Плосковолнистый аллювиальный террасированный южный выдел	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	Л	лесохозяйственный
19 Плоский пойменный	2	СХ	болотно-пахотный
	1	Л	лесоболотный
20 Плоскогрядистый пойменный	2	СХ	болотно-пахотный
	1	СХ	лугово-пастбищный
21 Плосковолнистый озерно-аллювиальный	2	СХ-Л	лесо-пахотный
	1	Л	лесохозяйственный
Весь район	2	СХ-Л	пахотно-лесной
	1	Л	лесохозяйственный
Примечание: 1 – середина XIX в.; 2 – конец XX века			

Таким образом, за более чем две с половиной тысячи лет антропогенных изменений территории установлен эволюционный ряд изменения классов ландшафтов в пределах Гомельского Полесья в виде: лесной – лесохозяйственный – сельскохозяйственно-лесной – сельскохозяйственный класс ландшафтов. Формирование лесохозяйственного класса ландшафтов приходится на начало второго тысячелетия н. э., однако на наиболее освоенных приречно-долинных пространствах уже отмечались локальные участки близкие по своей структуре к сельскохозяйственно-лесному классу. После XVI века значительно возрастает степень сельскохозяйственного освоения, однако о формировании сельскохозяйственно-лесного класса природно-антропогенных ландшафтов возможно говорить только к концу XVIII века в пределах наиболее преобразованных моренно-зандровых и вторично-моренных природных ландшафтов. В середине XIX века сельскохозяйственный класс ландшафтов уже был представлен на 14 % территории Гомельского Полесья. Остальные ландшафты относились к лесохозяйственному и сельскохозяйственно-лесному классу природно-антропогенных ландшафтов. Установлено, что к концу XX века на более чем 27 % территории уже был сформирован сельскохозяйственный класс ландшафтов. Из которых наибольшей долей антропогенно преобразованных территорий характеризовался селитебно-пахотный подкласс природно-антропогенных ландшафтов, общей площадью 18,9 %.

Таким образом, в ходе анализа особенностей формирования природно-антропогенных ландшафтов установлено:

- территория Гомельского Полесья является наиболее староосвоенной в пределах Республики Беларусь, так как именно здесь отмечено наибольшее количество (42 %) объектов первичной системы расселения и соответственно зон их хозяйственного влияния;

- в ходе длительного антропогенного освоения уже к середине XIX века отмечалось значительное снижение площади естественных природных территорий и их замена сельскохозяйственными и застроенными землями (соотношение в середине 19 века составляло 70,7 % к 29,3 % соответственно, тогда как в конце XX века – 48,6 % к 51,4 %).

- естественная природная структура ландшафтов была значительно изменена, что привело к формированию сельскохозяйственного класса ландшафтов на месте лесохозяйственного и сельскохозяйственно-лесного в пределах наиболее преобразованных участков.

Список использованных источников

1 Поболь, Л. Д. Археологические памятники Белоруссии: Железный век / Л. Д. Поболь. – Минск : Наука и техника, 1983. – 456 с.

2 Марцинкевич, Г. И. Функциональная типология и структура трансформированных ландшафтов Белорусского Полесья / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая, И. П. Усова // Земля Беларуси. – 2010. – № 3. – С. 24–27.

3 Марцинкевич, Г. И. Функциональная типология и структура трансформированных ландшафтов Белорусского Полесья / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая, И. П. Усова // Земля Беларуси. – 2010. – № 4. – С. 43–48.

4 Комплексная продуктивность земель лесного фонда / В. Ф. Багинский [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Багинского. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 2007. – 295 с.

5 Голубев, В. Ф. Крестьянское землевладение и землепользование в Белоруссии: XVI–XVIII века / В. Ф. Голубев. – Минск : Наука и техника, 1992. – 176 с.

6 Риер, Я. Г. Аграрный мир Восточной и Центральной Европы в средние века (по археологическим данным) / Я. Г. Риер. – Могилев : МогГУ, 2000. – 320 с.

А. П. Гусев

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ГЕОЭКОЛОГИЯ В ГОМЕЛЬСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: 1990-е гг.

Геоэкологии в Гомельском государственном университете зарождалась в середине 1970-х гг., когда на кафедрах тогдашнего геологического факультета работала комплексная Полесская экспедиция по направлению «Природные ресурсы и экономика Полесья» (научный руководитель – профессор, д.г.-м.н. Георгий Алексеевич Кузнецов). Главная задача экспедиции – комплексное изучение природных ресурсов Белорусского Полесья в пределах Гомельской и Брестской областей с целью определения рентабельности и возможности их использования в народном хозяйстве, разработки рекомендаций по охране природы.

Полноценное развитие экологическое направление получило в 1990-х гг. в рамках имеющихся специальностей и кафедр геолого-географического факультета. В 1990 г. были открыта специализация «Экологическая геофизика» на специальности «Геофизические методы поисков и разведки». Экологическая подготовка на этой специализации сначала велась на курсах: охрана окружающей среды, общая экология, физико-химические и химические методы анализа. В 1994–1996 гг. спектр предметов расширился – основы экологии, геоэкология, экологические проблемы Беларуси. Инициатором развития экологического направления в рамках имеющихся тогда специальностей выступил заведующий кафедрой геофизики и декан факультета Адам Петрович Пинчук.

В 1995 году впервые в Гомельском государственном университете был прочитан курс по геоэкологии для студентов 5 курса специальности «Геофизические методы поисков и разведки», а в 1996 году были изданы методические указания по курсу «Геоэкология» для студентов специальности «Геофизические методы поисков и разведки» (составитель – А. П. Гусев).

В 1995 г. лауреатом Республиканского конкурса на лучшую научную работу студентов по гуманитарным, естественным и техническим наукам стал студент специальности «Геофизические методы поисков и разведки» (специализация «Экологическая геофизика») Меленевский Владимир Георгиевич (научный руководитель – А. П. Гусев). Данная научная работа была посвящена использованию резистивиметрического метода при изучении техногенного химического загрязнения почвогрунтов и вод на территории города Гомеля.

В это же время на специальности «География» была открыта специализация «Геоэкология». Для студентов-географов разработаны курсы по общей экологии, геоэкологии и другие. Кстати, на этой специализации училась Наталья Ивановна Жаркина, ныне заместитель начальника управления биологического и ландшафтного разнообразия Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

В середине 1990-х гг. на факультете интенсивно велась НИР в области охраны и мониторинга окружающей среды. Выполнялся ряд хозяйственных тем: по изучению техногенного теплового загрязнения; по изучению химического загрязнения подземных вод на буровых площадках геофизическими методами; по оценке состояния подземных вод в районе свалки твердых бытовых отходов; по изучению эколого-гидрогеологических условий и мониторингу подземных вод в зоне влияния Гомельского химического завода; по разработке проекта инженерной защиты подземных вод от загрязнения в районе Гомельского химического завода.

Выполнено картирование химического загрязнения снежного покрова и почв на территории города Гомеля. Изучено воздействие полигона ТБО на подземные воды. Проведена оценка загрязнения грунтовых вод на территории микрорайонов города Гомеля. Исследовано поле эманаций радона в территории Гомеля и Речицы. Активно разрабатывались газогеохимические методы мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды.

Следует отметить многолетние гидрогеологические исследования, проводимые сотрудниками кафедры гидрогеологии и инженерной геологии под руководством Василия Гавриловича Жогло: мониторинг подземных вод в зоне влияния Гомельского химического завода; оценка влияния радиоактивного загрязнения, промышленных предприятий и водозаборов на подземную гидросферу; прогноз качества подземных вод на водозаборах; изучение подтопления на территории Гомельского химического завода; оценка защищенности подземных вод от загрязнения (В. Г. Жогло, В. В. Коцур, А. Ф. Акулевич, А. Н. Галкин).

В 1996 году на базе имеющихся наработок была открыта кафедра геоэкологии. Заведующим этой кафедрой назначен к.г.-м.н., доцент Александр Михайлович Гумен. В марте 1997 г. кафедрой была проведена 1-я научно-практическая конференция молодых ученых «Молодежь и экологические проблемы современности» и издан сборник материалов (главный редактор – А. П. Пинчук, заместители главного редактора – А. М. Гумен, А. П. Гусев, А. Н. Кусенков). Эта конференция проводилась также в 1998 и 1999 гг.

Разрабатываются теоретические представления о геоэкологии, которая рассматривается как междисциплинарная наука о среде окружающей человека. В сферу геоэкологических исследований входят геосистемы, экосистемы, биосистемы, техносистемы, а также их различные сочетания. Сотрудники кафедры вели экологические факультативы в средних школах города Гомеля, участвовали в летних экологических лагерях школьников («Ченки», «Маяк», «Алые Паруса»), организовывали научно-исследовательскую работу школьников в области экологии.

Расширялась тематика дипломных работ экологической направленности. Часть дипломных работ представляла эколого-геологическое направление: Широков В. Ф. Геоэкологическая экспертиза территории бывшей ракетной базы (Мозырский район) (руководитель – А. М. Гумен); Ушев С. В. Использование геоэлектрических методов с целью выявления химического загрязнения геосреды (руководитель – А. М. Гумен); Исачев Я. А. Использование каппаметрического метода для картирования техногенного загрязнения почвогрунтов тяжелыми металлами (руководитель – А. М. Гумен) и др. Появляются работы эколого-географического направления: Казаченок Ж. М. Состояние воздушного бассейна крупного промышленного центра (на примере г. Гомеля) (руководитель – А. Н. Кусенков), Агеева С. А. Экологическая экспертиза Светлогорского целлюлозно-картонного комбината (руководитель – А. Ф. Акулевич) и др.

В 1998 г. открыт набор на специальность «Экология» (квалификация – эколог-географ, преподаватель географии и экологии). С августа 1998 года кафедра геоэкологии переименована в кафедру экологии. Заведующим кафедрой экологии был назначен к.б.н., доцент Александр Николаевич Кусенков.

Учебный план специальности «Экология» включал как экологические, так и географические дисциплины. Экологический блок был представлен такими дисциплинами, как геоэкология, экологические проблемы Беларуси, экологические проблемы промышленного производства, безотходные технологии, эколого-географическая экспертиза, социальная экология и т. д. Географический блок охватывал все основные дисциплины физической и социально-экономической географии. Были также предусмотрены изучение педагогики, методики преподавания и педагогическая практика.

На кафедре значительно увеличивается объем учебно-методической работы. Издан сборник программ, в который вошли программы по курсам биология, геоэкология, использование природных ресурсов и охрана природы, радиационная безопасность, радиоэкология, социальная экология. Вышел практикум по лабораторным занятиям по курсам «Радиоэкология» и «Радиационная безопасности» (составители – А. Н. Кусенков, М. Г. Верутин, Ю. М. Суви́га). Позже – учебные пособия по биологии (А. Н. Кусенков) и геоэкологии (А. П. Гусев).

Ведется работа по методическому обеспечению учебных практик, в том числе по подготовке экологических полигонов практик – «Ченки», «Волотова», «Осовцы», «Горваль».

В новом качестве кафедра проводит Международную научно-практическую конференцию «Проблемы геоэкологии и экологическая безопасность городских агломераций» (сентябрь 1998 г.) и 1-ю Международную научно-практическую конференцию «Экологические проблемы

Полесья и сопредельных территорий» (октябрь 1999 г.), изданы сборники материалов этих конференций (ответственный редактор – А. Н. Кусенков).

На кафедре выполняется научно-исследовательская тема ГБЦМ 98-15 «Изучение факторов, формирующих экологическое напряжение урбанизированных территорий (на примере Гомельской городской агломерации)». Проводятся комплексные исследования техногенных ландшафтов, включающие изучение фауны, флоры, почвенного покрова, микроклимата.

Начинаются фитоиндикационные исследования в зонах антропогенной трансформации лесных ландшафтов, разрабатывается методика оценки устойчивости лесных геосистем к антропогенному воздействию (А. П. Гусев). Развивается орнитоэкологическое направление, проводятся исследования различных групп позвоночных и беспозвоночных животных как биоиндикаторов антропогенного воздействия (А. Н. Кусенков, И. А. Шелякин).

Организовывается студенческая научно-исследовательская лаборатория «Экобарьер», цель которой – привлечение студенческой молодежи к активному участию в научно-исследовательской работе, способствующей улучшению качества профессиональной подготовки студентов-экологов (за первые 5 лет работы СНИЛ «Экобарьер» студентами было опубликовано более 100 научных статей и тезисов докладов, внедрено в учебный процесс 25 разработок, выиграно 2 гранта Министерства образования; кроме того, 3 студента стали лауреатами Республиканского конкурса научных работ студентов).

А. П. Гусев, Д. С. Непочелович, А. В. Харькова, А. Ю. Федоренко
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЭКОЛОГИИ

Геоэкология – это наука, в которой активно и широко используются геоинформационные технологии. Решение многих задач по анализу экологических проблем, по экологической оценке состояния окружающей среды, по прогнозированию экологических последствий и т. д. невозможно без использования специализированных компьютерных программ. Можно сказать, что геоинформационные технологии – неотъемлемая составляющая геоэкологии, которая отличает ее от других экологических наук.

Подготовка геоэкологов в Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины включает изучение геоинформационных систем (ГИС) и технологий их применения. Любая ГИС включает три взаимосвязанных компонента: *цифровые данные* – геологическая, географическая, экологическая и другая информация; *аппаратное обеспечение* – компьютеры, используемые для обработки и хранения данных; *программное обеспечение* – компьютерные программы, предназначенные для пространственного анализа информации и создания цифровых карт. Геоэкологи обучаются выполнять сканирование и векторизацию пространственных данных; геопривязывать пространственные данные разными методами и средствами; выполнять проекционные преобразования; добавлять атрибутивную информацию в геоинформационные системы; выполнять сопряженную аналитическую обработку пространственных и атрибутивных данных в двухмерной и трёхмерной среде и т. д.

Геоинформационные технологии используются в геоэкологии для: ландшафтного анализа и картографирования природных ресурсов; оценки загрязнения компонентов окружающей среды; оценки антропогенной нагрузки; составления тематических карт экологических процессов и явлений; оценки антропогенной трансформации природных ландшафтов; изучения миграции загрязняющих веществ; оценки риска экзогенных геологических процессов; пространственного анализа и оценки экологических проблем и экологических ситуаций; оценки влияния предшествующего землепользования на современную экологическую ситуацию; изучения динамики землепользования и экологических последствий этой динамики.

Для решения геоэкологических задач используются: MapInfo Professional, ArcView, Golden Software Surfer, Global Mapper, MultiSpec, Quantum GIS, GRASS, SAGA, MOLUSCE, SEXTANTE, FRAGSTATS.

Для создания серии тематических карт и геопространственного анализа геоэкологических процессов и явлений на модельных территориях используется геоинформационная система Quantum GIS. Quantum GIS представляет собой пакет программного обеспечения, предназначенный для создания, визуализации, поиска и анализа пространственных данных с открытым

исходным кодом. Quantum GIS представляет широкие возможности работы с данными: инструменты оцифровки, создания и редактирования shape-файлов, геокодирования изображений, инструменты GPS, инструменты визуализации и редактирования данных OpenStreetMap, инструменты управления атрибутами векторных данных, инструменты сохранения снимков экрана как изображений с пространственной привязкой. В ее состав входят основные модули: GDAL (привязка растров), интерполяции векторных данных, установщик модулей Python, морфометрический анализ растровых слоев, eVIS (визуализация событий – показ изображений, связанных с векторными объектами); fTools (управление векторными данными и их анализ); GRASS (поддержка ГИС GRASS).

Модуль fTools содержит расширенный набор инструментов управления пространственными данными и функций анализа, включающий инструменты: матрица расстояний, сумма расстояний в полигонах, количество точек в полигонах, базовая статистика, анализ близости, средние координаты, пересечения линий, случайная выборка, векторная сетка и другие. В данном модуле также заложены инструменты геопроецирования (буферные зоны, пересечение, объединение, отсечение, разность и т. д.), обработки геометрии (центроиды полигонов, триангуляция Делоне, преобразование полигонов в линии и т. д.) и управления данными (экспорт в новую проекцию, объединение атрибутов, разбиение векторного слоя и т. д.).

Модуль GDAL Tools позволяет работать с широким спектром растровых форматов. Включает инструменты создания изолиний, растеризации, преобразования в полигоны, объединения, отсеивания, интерполяции, преобразования форматов, обрезки пересчета индексированных растров в полноцветные растры, пересчета полноцветных растров в индексированные и др.

Программа MultiSpec разработана в университете Пердью (Purdue University) и предназначена для анализа мульти- и гиперспектральных изображений (в том числе спутников серии Landsat). Разработана на доступной компьютерной платформе и не требует значительной вычислительной мощности. Обеспечивает импорт и экспорт данных в различных форматах (в виде тематических карт, в табличной форме).

Широкие возможности для геоэкологической оценки и прогнозирования открываются при использовании цифровых моделей рельефа (ЦМР). Для построения и анализа ЦМР может быть рекомендована геоинформационная система, разработанная в Геттингенском университете – SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses). В структуру SAGA включены модули, позволяющие создавать различными методами ЦМР, преобразовывать их, осуществлять их гидрологический и морфометрический анализ.

Модуль «Terrain Analysis» SAGA включает несколько тематических блоков: форма поверхности – угол наклона (Slope) и кривизны (Plan, Profile and Mean Curvatures, Convergence Index), шероховатость поверхности (Terrain Ruggedness Index), классификация элементов рельефа (Topographic Position Index, TPI Based Landform Classification); освещенность, видимость и количество тепла – солярная экспозиция склонов (Aspect), аналитическая отмывка рельефа (Analytical Hillshading), анализ зон видимости (Visibility), суммарная, прямая и рассеянная солнечная радиация (Potential Incoming Solar Radiation), температура земной поверхности (Land Surface Temperature); миграция вещества и энергии в твердом и жидком состоянии – комплексные индексы, оценивающие перераспределение твердого и жидкого стока (Topographic Wetness Index, SAGA Wetness Index, Mass Balance Index), потенциал площадной и линейной эрозии (LS Factor, Stream Power Index); гидрологический анализ – моделирование поверхностного стока (Catchment Area, Flow Width, Upslope Area), оконтуривание сети тальвегов и водосборных бассейнов (Channel Network, Drainage Basins).

«Basic Terrain Analysis» позволяет создавать grids уклонов поверхности (Slope), экспозиции склонов (Aspect), кривизны поверхности (Plan Curvature, Profile Curvature, Convergence Index), отмывки рельефа (Analytical Hillshading). Модуль включает: определение угла наклона поверхности, потенциала площадной эрозии (LS Factor), индекс перераспределения твердого и жидкого стока (Wetness Index), модели поверхностного стока (Catchment Area), сети тальвегов (Channel Network).

Для анализа динамики экологического состояния территории используется MOLUSCE (Modules for Land Use Change Simulations), который представляет собой расширение для геоинформационной системы QGIS. В качестве входных данных используются: карты начальных и конечных состояний территории (растровые изображения, в пикселях которых закодированы номера состояний территории); карты факторов, влияющих на изменение территории. Факторы выбираются в зависимости от решаемой задачи. Процесс анализа происходит в несколько этапов:

поиск изменений; построение модели для оценки вклада отдельных факторов на вероятность появления изменений; построение карты значимости вклада фактора; построение интегральной карты вклада всех факторов; прогноз; оценка качества модели/прогноза.

Для выполнения геопространственного анализа может быть рекомендована мощная и гибкая платформа в QGIS – SEXTANTE. SEXTANTE предоставляет доступ как к своим собственным функциям геообработки, так и к алгоритмам, реализованным в сторонних приложениях, упрощая выполнение анализа и делая его более продуктивным. SEXTANTE в QGIS позволяет использовать основные возможности известных сторонних ГИС (SAGA GIS, GRASS GIS, TauDEM) и алгоритмов, реализованные напрямую в SEXTANTE (fTools, MMQGISX) в едином интерфейсе. Кроме того, этот модуль представляет богатые возможности в автоматизации обработки данных (объединение однотипных шагов по выбору алгоритмов) и данных в пользовательской модели анализа.

Важной задачей является количественная оценка ландшафтной структуры с помощью ландшафтных метрик. Для вычисления ландшафтных метрик используется программный продукт FRAGSTATS. Набор используемых метрик зависит от решаемых задач или проблем, от объема анализируемых данных, от специфики изучаемых процессов, их пространственного разрешения. Выделяют три иерархических уровня использования ландшафтных метрик: уровень «пятна», уровень класса, уровень ландшафта.

Основные типы метрик: метрики разнообразия (Diversity Metrics); метрики формы (Shape Metrics); метрики изоляции и близости (Isolation and Proximity Metrics); метрики краев (Edge Metrics); метрики состава (Area and Density Metrics); фрактальные метрики (Fractal Dimension); метрики контагиозности и интердисперсности (Contagion and Interspersion); сетевые метрики (Network Metrics).

Ландшафтные метрики характеризуются различной чувствительностью к изменению ландшафтной структуры, причем большую чувствительность при прочих равных условиях проявляют метрики на уровне класса. Реакция метрик ландшафтного уровня определяется изменениями фонового типа землепользования. В тоже время, метрики индицируют временные изменения ландшафтной структуры вне зависимости от фонового землепользования.

М. И. Гусенок

г. Минск, БГУ

Н. Г. Белковская

г. Минск, БГПУ им. М. Танка

СЕЛЬСКАЯ МЕСТНОСТЬ КАК ОБЪЕКТ ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

За последние 100 лет уровень урбанизации Беларуси вырос более чем в 5 раз и составил на 1 января 2014 г. – 76,8 % [1]. Снижение людности сельских населенных пунктов, отток населения в трудоспособном возрасте, изменение возрастной структуры и функций сельских поселений обусловили трансформацию сельской местности в целом. На современном этапе развития, когда страна стоит на пороге структурных преобразований отдельных секторов экономики, особую актуальность приобретает изучение сельской местности с позиции изменения функций сельских населенных пунктов.

Традиционно исследования сельской местности проводятся на стыке географии, экономики, социологии. Являясь областью междисциплинарных исследований, изучение сельской местности требует комплексного подхода через систему «природа – хозяйство – население». Обеспечить его реализацию, на наш взгляд, представляется возможным только посредством комплексного экономико-географического исследования. Четверть века назад А. И. Алексеев выделял три аспекта географических исследований сельской местности: экономический, социальный и экологический – и говорил о преобладании экономического аспекта изучения [2, с. 20]. Перед современной наукой стоит задача связать воедино все три аспекта и разработать стратегию максимально разумного, сбалансированного развития территории в рамках устойчивого развития, учитывая полифункциональность сельской местности.

В современной системе географических наук сельская местность выступает объектом изучения георуралистики (руралистика, руралогия) (от латинского *ruralis* – сельский) – молодого

научного направления, оформившегося в 60–90-е гг. XX века, но недостаточно закрепившегося на постсоветском пространстве.

По определению С. А. Ковалева (1980 г.), сельская местность – это обитаемая территория, находящаяся вне городских поселений [2, с. 14]. Следовательно, сельская местность включает в себя не только территорию непосредственного проживания сельского населения, но и территорию за пределами населенных пунктов, используемую жителями в различных целях (сельскохозяйственные угодья, леса, водоемы, карьеры по добыче полезных ископаемых). Среди функций сельской местности XXI века ведущую роль играют обеспечение населения продовольствием, а промышленности – сырьем, экологическая функция, транспортно-коммуникационная, рекреационная, культурная. Предметная область изучения сельской местности очень обширна, и на ее просторах находятся объекты исследования подавляющего большинства дисциплин всей географической науки. Задача же современного экономико-географического исследования сельской местности состоит в комплексности изучения сельской местности с целью выявления дальнейших перспектив ее развития.

Учитывая сложность объекта исследования, при выделении этапа зарождения географических исследований сельской местности, с одной стороны, нужно говорить о комплексном изучении сельской местности как едином объекте, а с другой, нельзя недооценивать опыт исследований отдельных компонентов сельской местности, обобщение которого служит базой комплексного исследования. При таком подходе началом покомпонентного изучения сельской местности территории Беларуси следует считать XIX – начало XX века, комплексного – исследования А. А. Смолича 1910–1930-х гг.

Наиболее полным определением сельской местности в современной социально-экономической географии на постсоветском пространстве является определение А. И. Алексеева: «Сельская местность – это вся обитаемая территория стран и районов, находящаяся вне городских поселений, с ее естественными и преобразованными человеком (антропогенными) ландшафтами, населением и населенными пунктами (которые относят к категории сельских)» [3, с. 225].

В современной науке существует три концепции выделения границ между городом и деревней, закономерно сменивших друг друга: «дихотомическая», «континуальная» и «многомерная» (Т. И. Заславская, Р. В. Рывкина, 1972). «Дихотомическая» концепция, наиболее простая, выделяет два типа поселений – «город – деревня». В «континуальной» концепции между городским и сельским «полюсами» выделяется переходная зона – «сельско-городской «континуум» с нарастанием урбанизированности при приближении к городу. «Многомерная» концепция отражает современные процессы развития города и деревни и поднимает вопрос несогласованной по времени смены разных черт поселений. Например, поселок городского типа может иметь как застройку городского типа и выполнять функции, типичные для города, так и, наоборот, на фоне застройки сельского типа его жители могут вести сельский образ жизни [2, с. 12].

Российские социологи Т. И. Заславская и Р. В. Рывкина предлагают критерии выделения сельской местности, которые сводятся к следующему: 1) численность населения и степень его стабильности, характер естественного и механического движения населения; 2) характер и сложность отраслевой и профессиональной структуры общественного производства, степень развития промышленности, строительства, транспорта; 3) уровень организации материально-пространственной среды, степень благоустройства поселения; 4) уровень развития обслуживания (сферы услуг), то есть организации всех форм социального потребления; 5) социальные функции поселения (его роль в управлении обществом и народным хозяйством, функции по отношению к окружающим населенным пунктам); 6) образ жизни населения; 7) состояние сознания (специфические для данного населения нормы, ценности и мнения), характеризующая его дифференциация потребностей; 8) отношение к населенному пункту как к городу или как к деревне [4]. Кроме того следует добавить экологическую составляющую.

Такая система критериев отражает комплексный подход к выделению границ сельской местности, учитывает ее полифункциональность, система универсальна и при дополнении критериев индивидуальными для государств или регионов пороговыми значениями статистических показателей и разработкой системы самих показателей применима в экономико-географических исследованиях сельской местности.

В белорусском законодательстве также нет однозначного определения сельской местности. Указ Президента Республики Беларусь от 2 июня 2006 г. № 372 «О мерах развития агроэкотуризма в Республике Беларусь» с изменениями от 26 ноября 2010 г. сельской местностью называет территорию, входящую в пространственные пределы сельсоветов, за исключением

территорий поселков городского типа и городов районного подчинения [5]. В Указе Президента Республики Беларусь от 23 февраля 2012 г. № 100 «О мерах по совершенствованию учета и сокращению количества пустующих и ветхих домов в сельской местности» термин сельская местность применяется в отношении территории сельсоветов, поселков городского типа, городов районного подчинения, являющихся административно-территориальными единицами, поселков городского типа и городов районного подчинения, являющихся территориальными единицами, а также иных населенных пунктов, не являющихся административно-территориальными единицами, входящих вместе с другими территориями в пространственные пределы сельсоветов [6]. Отсутствие единого определения «сельской местности» на законодательном уровне свидетельствует не только о неразрывной связи города и деревни, размытости границы между ними, но и недостаточной проработанности самого понятия.

В рамках существующего административно-территориального деления Беларуси все населенные пункты делятся на три категории: города (город Минск, города областного и районного подчинения), поселки городского типа (городские, курортные и рабочие) и сельские населенные пункты (агломерации, поселки, деревни и хутора) [7]. Необходимо отметить, что, несмотря на официальную занятость подавляющего большинства населения поселков городского типа в промышленности и сфере услуг, велика значимость личных подсобных хозяйств в жизни населения (рисунок 1) и условия проживания не всегда соответствуют городскому образу жизни (характер застройки, наличие удобств и др.). В то же время, статистические издания республики публикуют данные по двум типам поселений: городским, в том числе поселкам городского типа, и сельским. По состоянию на 1 января 2014 г. при наименьшей плотности населения в пределах республики лидером по количеству сельских населенных пунктов и поселкам городского типа является Витебская область – 6262 и 24 единицы соответственно.

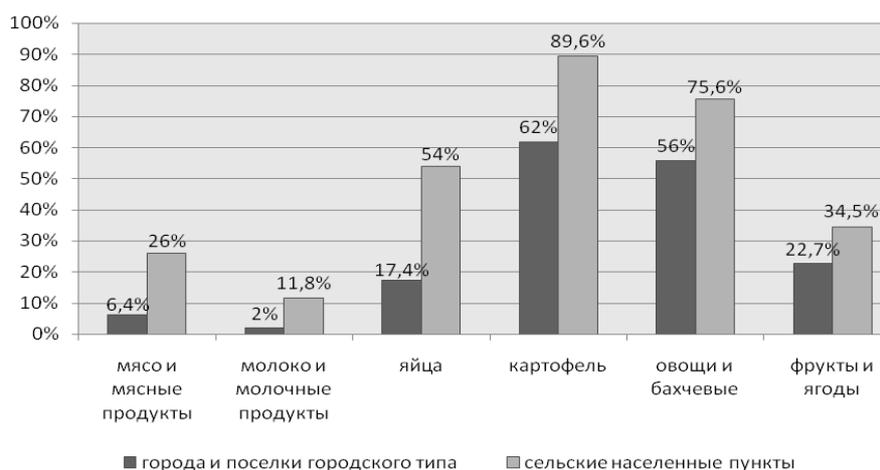


Рисунок 1 – Доля потребления продуктов питания, произведенных в личных подсобных хозяйствах, в общем объеме потребления домашних хозяйств Витебской области (2013 г.)

Таким образом, при экономико-географическом изучении сельской местности для уточнения ее границ логично комплексное сочетание двух концепций: «континуальной» на национальном и региональном уровне и «многомерной» на локальном. По Т. Г. Нефедовой, главным показателем городского образа жизни является обеспеченность канализацией [8, с. 21]. При этом более 60 % площади сельских населенных пунктов Витебской области обеспечены канализацией, но в то же время показатель обеспеченности горячим водоснабжением ниже в 2 раза. В городских поселениях, в том числе поселках городского типа, аналогичные показатели составляют 94,6 % и 87,6 %. К тому же уровень обеспеченности газом сельских населенных пунктов на 15 % выше, чем городов и поселков городского типа. Как видим, в условиях рурбанизации даже такие показатели не могут иметь решающего значения при выделении границ сельской местности.

При таком ракурсе исследования не обойтись без игры масштабами от мелкого (республика, область) до крупного (населенные пункты, хозяйства, предприятия). Официальная статистика дает только первичное представление о сельской местности, статистические показатели сглаживают острые углы, публикацию получают только средние показатели по республике, областям, в лучшем случае по районам. Реальная ситуация, как правило, прояснится только

после выезда на место – интервью, анкетирование, личные впечатления. Конечно, в идеале, личного посещения требуют все сельские поселения от мала до велика, но, учитывая их количество, итогом заочного исследования каждого района должна стать выборка объектов для посещения (населенных пунктов, хозяйств, предприятий), отличающихся по количеству жителей, природным условиям, роду деятельности населения, организацией труда, экономической ситуацией. Такой подход позволит отразить разнообразие сельской местности, выявить сильные и слабые стороны развития отдельных хозяйств, предприятий, населенных пунктов, районов, взаимосвязи пространственного размещения существующих предприятий и населенных пунктов, определить перспективные территории для возникновения новых и возможно дать второе дыхание мельчающим сельским поселениям.

Список использованных источников

- 1 Официальный сайт национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа : 22.02.2015.
- 2 Алексеев, А. И. Многоликая деревня / А. И. Алексеев. – М. : Мысль, 1990. – 395 с.
- 3 Социально-экономическая география: понятия и термины. Словарь-справочник / А. П. Горкин [и др.] ; отв. ред. А. П. Горкин. – Смоленск : Ойкумена, 2013. – 328 с.
- 4 Заславская, Т. И. Методология и методика системного изучения советской деревни / Т. И. Заславская, Р. В. Рывкина. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1980. – 344 с.
- 5 О мерах развития агроэкотуризма в Республики Беларусь : указ Президента Респ. Беларусь от 2 июня 2006 г. № 372 : с изм. и доп. : текст по состоянию на 26.11.2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ekotour.eu/print/ukaz614.php>. – Дата доступа : 22.02.2015.
- 6 О мерах по совершенствованию учета и сокращению количества пустующих и ветхих домов в сельской местности : указ Президента Респ. Беларусь от 23 февр. 2012 г. № 100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pro-n.by/news/pravo/2488/>. – Дата доступа : 22.02.2015.
- 7 Об административно-территориальном устройстве Республики Беларусь : закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 154-З : с изм. и доп. : текст по состоянию на 31.12.2014 [Электронный ресурс] / Мир права. – Режим доступа : http://pravo.by/world_of_law/text.asp?RN=H19800154. – Дата доступа : 22.02.2015.
- 8 Нефедова, Т. Г. Сельская Россия на перепутье: Географические очерки / Т. Г. Нефедова. – М. : Новое издательство, 2003. – 408 с.

С. В. Дыдышко, А. Ф. Черныш
г. Минск, БГУ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ НА ДЕФЛЯЦИОННООПАСНЫХ ЗЕМЛЯХ ПОЛЕСЬЯ

Ветровая эрозия является одним из наиболее распространенных видов деградации почв, наносящих большой экономический и экологический ущерб. Она относится к числу тех глобальных проблем, актуальность которых не только не уменьшается в ходе исторического развития, но и приобретает все большую остроту.

Проблема дефляции почв актуальна для Беларуси, так как особенности рельефа, геоморфологии, характер почвообразующих пород и интенсивная антропогенная нагрузка на почвенный покров обусловили значительное ее развитие. Проведенные исследования показывают, что на пахотных землях ежегодно с одного гектара выносятся ветром в среднем 10–15 тонн твердой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, безвозвратно теряется до 10 кг азота, 4–5 кг фосфора и калия, 5–6 кг кальция и магния. Потери гумуса и элементов питания, ухудшение агрофизических, биологических и агрохимических свойств отрицательно сказываются на производительности способности почв [1, с. 7; 2, с. 10].

В настоящее время предпринимаются огромные усилия для изучения процессов ветровой эрозии и разработки эффективных мер борьбы с ней. Мероприятия по борьбе с ветровой эрозией в первую очередь должны быть направлены на устранение причин, порождающих ее развитие, а также на повышение плодородия почв, поднятие их производительности в целях получения высоких и устойчивых урожаев. Комплекс мероприятий по предотвращению и ослаблению дефляции почв включает организационно-хозяйственные, агротехнические и лесомелиоративные меры борьбы.

Организационно-хозяйственные мероприятия предполагают рациональное распределение земельных угодий. Эти мероприятия предусматривают создание почвозащитной системы земледелия, которая предполагает дифференцированное использование земельных ресурсов на основе учета особенностей агроландшафта. Такой подход реализуется путем разделения всех обрабатываемых земель на агротехнологические группы по возможной интенсивности сельскохозяйственного использования. Основным критерием разделения являются количественные показатели потенциальной дефляционной опасности [1, с. 14].

Предварительная экспертная оценка дефляционной опасности территории устанавливается по удельному весу дефляционноопасных почв. К дефляционноопасным относятся рыхлосупесчаные, подстилаемые песками, песчаные автоморфные и осушенные заболоченные, а также торфяные и торфяно-минеральные почвы. В зависимости от удельного веса этих почв на пахотных угодьях выделяются следующие группы дефляционной опасности территории: I – менее 5 % (очень слабая); II – 5,1–20 % (слабая); III – 20,1–50 % (средняя); IV – 50,1–70 % (сильная); V – > 70 % (очень сильная) [1, с. 14].

Для равнинных территорий Белорусского Полесья дифференцированное использование земель реализуется через выделение контуров агротехнологических групп исходя из типа почвообразования, гранулометрического состава и степени увлажнения почв. В результате на территории Полесья выделяют пять агротехнологических групп земель [1, с. 18–19; 3, с. 34–35].

К первой агротехнологической группе земель относятся приподнятые плоские заболоченные песчаные земли с преобладанием дерново-подзолистых заболоченных (30–70 %), дерновых заболоченных (20–50 %) и небольшим удельным весом (10–20 %) торфяно-болотных низинных почв. Потенциальная дефляционная опасность их составляет 1–3 т/га в год.

Вторая агротехнологическая группа высоких песчаных земель включает дерново-подзолистые песчаные автоморфные (около 30 %), оглеенные внизу (20–25 %), временно избыточно увлажненные (около 15 %), глееватые и глеевые осушенные (20–25 %) почвы. Эта группа земель характеризуется средней и сильной дефляционной опасностью. Потенциально возможный перенос почвы ветром составляет 6–10 т/га в год.

Третья группа земель (низинные плоские заболоченные осушенные песчаные) объединяет песчаные дерновые заболоченные (около 60 %), дерново-карбонатные заболоченные (около 30 %) и торфяно-болотные деградированные (до 10 %), а также торфяные низинные осушенные (до 10 %) почвы. Характеризуется легким гранулометрическим составом, сильной неоднородностью и слабой устойчивостью к процессам ветровой эрозии. Потенциальная дефляционная опасность изменяется от 8 до 13 т/га в год.

К четвертой группе отнесены земли самой низкой гипсометрической ступени, то есть котловинные и котловинно-ложбинные. Преобладают осушенные торфяные маломощные почвы (50–80 %) с присутствием осушенных дерновых заболоченных (10–40 %) по периферии котловин или в виде небольших островов в центре. Характеризуется несложным и малоcontrastным почвенным покровом. Потенциально возможный перенос почвы ветром 10–12 т/га в год.

Пятая группа земель представлена котловинными осушенными деградированными торфяно-минеральными почвами, образовавшимися на месте сработанных маломощных торфяников в результате глубокого осушения и нерационального использования почвенного покрова в сельском хозяйстве. Основной фон почв этой группы (70 %) составляют торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфянистые и минеральные постторфяные почвы. К небольшим сползшим буграм приурочены дерново-карбонатные почвы (около 20 %), которые являются одним из компонентов этой группы земель и усиливают степень их неоднородности. Сохранившиеся в небольшом количестве (до 10 %) маломощные торфяно-болотные низинные почвы ожидают в недалеком будущем трансформация в общий фон деградированных почв. На небольших открытых пространствах, занятых данной группой земель, значительно возрастает дефляционная опасность. Потенциально возможный перенос почвы ветром может достигать максимальной величины (15 т/га и более) [1, с. 18–19].

Поскольку эрозионные процессы возникают преимущественно на пахотных землях, основными мероприятиями по борьбе с этими процессами должны быть агротехнические: различные приемы обработки, посева, посадки, культивации, снегозадержания и регулирования снеготаяния, внесение повышенных доз удобрений. Основным агротехническим мероприятием по оптимизации землепользования на дефляционноопасных землях Полесья является формирование экологически и экономически обоснованных дифференцированных севооборотов и структуры посевных площадей. Растительность всех видов является мощным противозерозионным

фактором. Основной почвозащитный эффект оказывают наземные части растений. По почвозащитной эффективности (способности) культуры разделены на три группы [1, с. 21]:

1) высокой почвозащитной эффективности – многолетние травы (первого года – 0,92, второго-третьего года – 0,98), озимые зерновые, озимый рапс (0,89);

2) средней почвозащитной эффективности – яровые зерновые и зернобобовые (0,36), однолетние травы (0,36), лен (0,25);

3) низкой почвозащитной эффективности – пропашные культуры (картофель, сахарная и кормовая свекла, кукуруза) (0,08).

Для каждой группы земель разработаны типы севооборотов и среднее соотношение возделываемых культур [2, с. 14–16; 1, с. 30].

На землях первой группы, отличающейся самой низкой дефляционной опасностью, размещаются зернопропашные и зернотравяно-пропашные севообороты с нормативной оценкой противозероэрозийной роли 0,6–0,7. Удельный вес пропашных культур может составлять в этих севооборотах до 25 %, зерновых культур – 45–60 %, а многолетних трав – 12,5–30 % (таблица 1).

Земли второй группы рекомендуется использовать в плодосменных и зернотравяных севооборотах (N_z – 0,75–0,80). Удельный вес пропашных культур в структуре посевов здесь не должен превышать 10–15 %.

На землях третьей и четвертой агротехнологических групп размещаются зернотравяные и травяно-зерновые севообороты с нормативной оценкой противозероэрозийной роли 0,8–0,9. Возделывание пропашных культур на этих землях не рекомендуется. В структуре посевных площадей удельный вес многолетних трав составляет 50–70 %, озимых зерновых – 12,5–25 %, яровых зерновых и однолетних трав по 10–12,5 %.

На землях пятой группы, отличающихся самой высокой дефляционной опасностью, вводятся только травяно-зерновые севообороты (N_z – > 0,90). Многолетние травы в структуре посевов должны составлять не менее 70 %.

Таблица 1 – Типы севооборотов и соотношение культур для агротехнологических групп земель

Агротехнологические группы земель	Величина дефляционной опасности, т/год	Тип севооборота	Соотношение культур, %					N_z^*
			Пропашные	Яровые зерновые	Озимые зерновые	Однолетние травы	Многолетние травы	
I	1–3	зернопропашные, зернотравяно-пропашные (плодосменные)	20,0	40,0	20,0	20,0	–	0,61
			25,0	25,0	25,0	25,0	–	0,60
			14,3	28,6	14,3	14,3	28,6	0,70
			25,0	25,0	25,0	12,5	12,5	0,63
			14,3	28,6	28,5	14,3	14,3	0,70
II	6–10	зернотравяные, зернотравяно-пропашные (плодосменные)	–	25,0	25,0	37,5	12,5	0,75
			–	25,0	12,5	25,0	37,5	0,74
			12,5	37,5	12,5	–	37,5	0,74
			6,3	12,4	25,0	6,3	50,0	0,82
III	8–13	зернотравяно-пропашные, травяно-зерновые	12,5	12,5	12,5	–	62,5	0,82
			–	12,5	25,0	12,5	50,0	0,85
			–	12,5	25,0	–	62,5	0,88
IV	10–12	травяно-зерновые	–	10,0	10,0	10,0	70,0	0,90
			–	10,0	20,0	–	70,0	0,89
			–	12,5	25,0	12,5	50,0	0,85
			–	12,5	12,5	12,5	62,5	0,88
V	10–15	травяно-зерновые	–	–	16,7	–	83,3	0,96
			–	–	25,0	–	75,0	0,96
			–	12,5	12,5	–	75,0	0,92
			–	–	30,0	–	70,0	0,94
			–	–	–	–	–	–

* N_z – нормативная оценка противозероэрозийной роли севооборотов

Система удобрения является важной составной частью почвозащитной системы земледелия и тесно связана с остальными ее элементами. Поэтому она разрабатывается, опираясь на запроектованную структуру севооборотов, запланированные способы обработки почвы, а также

на планируемую продуктивность возделываемых культур. На дефлированных почвах возрастает потребность в органических удобрениях, поскольку необходимо компенсировать ежегодную убыль органического вещества не только при минерализации, но и с ветровой эрозией.

Система удобрений разрабатывается для каждой из выделенных агротехнологических групп земель [1, с. 35–36]. На землях первой и второй агротехнологических групп под сельскохозяйственные культуры вносятся те дозы органических удобрений, которые рекомендованы для почв, не подверженных эрозии (50–60 т/га). На землях третьей агротехнологической группы, где размещаются зернотравяные севообороты с насыщением многолетними травами 30–50 %, органические удобрения рекомендуется вносить в дозах 40–50 т/га под две культуры севооборота (например, под озимые зерновые, озимый рапс, однолетние травы как предшественник пшеницы или ячменя). На сильнодефлированных почвах (четвертая и пятая группа) положительный баланс гумуса возможно обеспечить за счет послеуборочных остатков многолетних бобовых и бобово-злаковых трав, занимающих более 50 % в структуре посевных площадей. Органические удобрения рекомендуется применять под одну культуру севооборота в дозах 40 т/га. Минеральные удобрения вносятся в дозах, рассчитанных на планируемый урожай с учетом нормативного выноса азота, коэффициентов их возврата, действия и последствия органических удобрений [1, с. 35–36].

В борьбе с дефляцией почв важное место отводится и лесомелиоративным мероприятиям, так как применение агротехнических мер не всегда бывает достаточным для полного прекращения ветровой эрозии. Лесные полосы на мелиорируемых землях целесообразно размещать вдоль канав перпендикулярно преобладающим ветрам. Эти полосы не только препятствуют развитию ветровой эрозии почвы, но и улучшают условия роста и развития сельскохозяйственных культур, защищая посеы летом от суховеев, всходы – от холодных весенних ветров. Взрослые 20–30-летние лесные полосы защищают 30–40-кратную территорию. Лесные полосы не только защищают почву от дефляции, но создают более благоприятный микроклимат и обеспечивают прибавку урожая на 3–4 ц/га [3, с. 32].

Таким образом, комплекс мероприятий по предотвращению и ослаблению дефляции почв служит основой для разработки экологически безопасной и экономически эффективной системы землепользования в Полесском регионе.

Список использованных источников

- 1 Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси : рекомендации / под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.
- 2 Яцухно, В. М. Проблемы деградации земель Беларуси : обзорная информация / В. М. Яцухно, А. Ф. Черныш. – Минск, 2003. – 41 с.
- 3 Черныш, А. Ф. Полезащитные лесные полосы в рациональном землепользовании на осушенных дефляционноопасных почвах Белорусского Полесья / А. Ф. Черныш, П. И. Волович, А. М. Устинова // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2. – С. 32–41.

Е. А. Лаптева, А. С. Соколов
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ПОТЕНЦИАЛ ПОЛЯ РАССЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ

Одним из способов картографического отображения географических явлений является способ изолиний и псевдоизолиний, основанный на представлении рассматриваемого явления в виде полей. Термин «поле» впервые предложен в физике. Затем его начали насыщать новым содержанием, использовать в других областях знаний. Так, в географии появилась концепция географического поля, которое рядом авторов рассматривается как модель распространения в пространстве отдельных явлений (как физико-, так и экономико-географических), аналог физических полей: поле распределения элементов, видов растений, размещения населения, лесистости, природных ресурсов, атмосферного давления, температур, инвазий [1] и т. д., причем в виде полей могут быть представлены как непрерывные, так и дискретные явления. Такой способ представления результатов базируется на абстрактно-математическом понятии географического поля, предполагающим наличие пространства, в каждой точке которого определено численное

значение некоторой величины. При этом поле рассматривается как функция положения точки в пространстве и времени. В таком виде объем понятия «поле» значительно расширяется. Оно охватывает уже не только природные, но и социально-экономические явления [2].

Особая метричность карт полей, позволяющая снимать данные в любых точках и любых количествах, создала благоприятные возможности для сопоставления рассматриваемых карт не только и не столько визуально, сколько на уровне математической обработки картометрической информации [3].

Целью настоящей работы было картографирование *потенциала поля расселения* (ППР) Беларуси с помощью которого определяют потенциальное влияние территориальных групп населения. Потенциал поля расселения, или демографический потенциал, впервые был предложен Дж. Стюартом (1958 г.), а в нашей стране уточнен Ю. В. Медведковым (1965 г.) [4].

В отличие от плотности населения ППР характеризует не местные взаимосвязи населения с территорией, а потенциальное влияние территориальных групп населения, а также более точно характеризует степень взаимной близости (или удаленности) населенных мест, так как в реальной действительности население не замыкается в местных территориальных рамках и взаимодействует на более или менее обширных пространствах в зависимости от территориальной организации производительных сил. Взаимные связи предполагают наличие взаимного влияния территориальных групп населения. Их величина, густота, в свою очередь, зависят от степени населенности территории, которую также характеризует ППР. Из-за того, что расчет ППР для всех населенных пунктов весьма трудоемкая операция, возможно географически более простое его определение по сети только городских поселений. При этом каждый город рассматривается в качестве точки с определенным населением, а изображение значений потенциала на карте показывает зоны влияния городов, их взаимную связность и иерархическую соподчиненность. Следует помнить, что отображаются не реальные связи, а потенциальные возможности связей между поселениями, прямо пропорциональные численности жителей в них и обратно пропорциональные расстоянию. Во многих случаях реальные связи не соответствуют потенциальным возможностям из-за особенностей дорожной сети, функциональных типов поселений и по другим причинам [4].

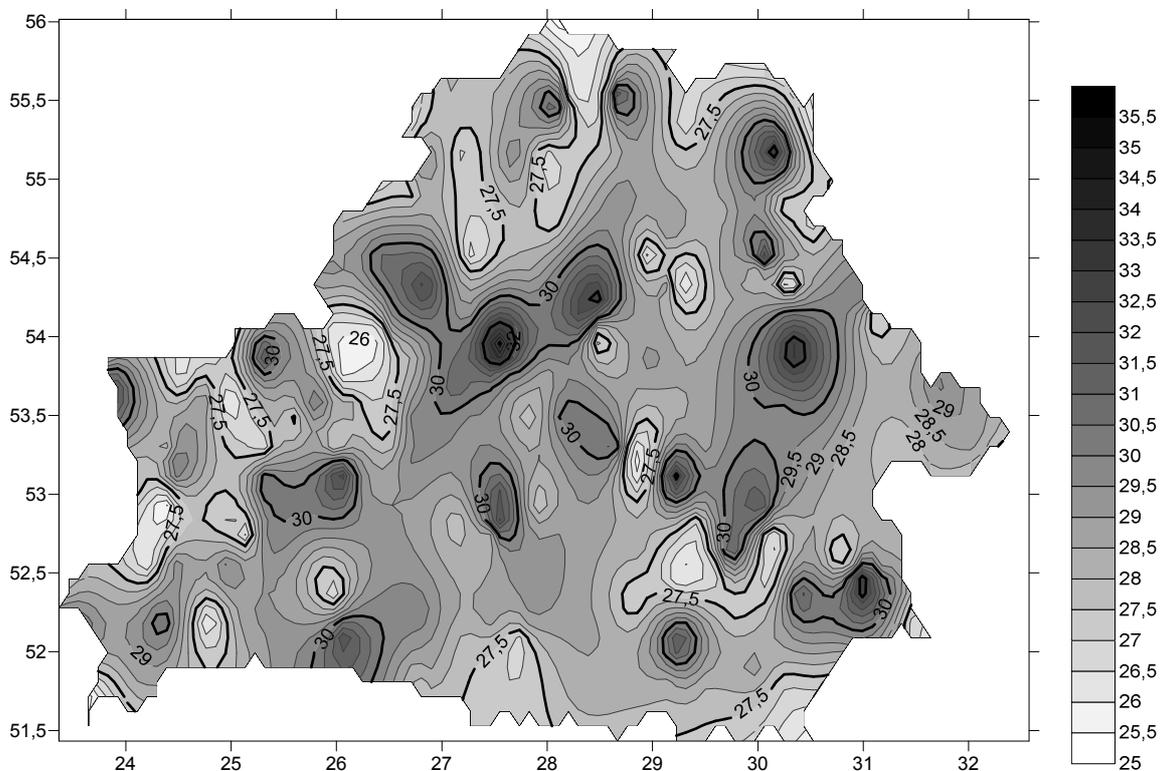


Рисунок 1 – Карта потенциала поля расселения Беларуси

Потенциал поля расселения определяется в пределах данной территории (поля) для данного пункта как сумма отношений людности в нем и прочих пунктах к расстояниям от этого пункта до всех прочих:

$$V_i = N_i \sum_{j=1}^n \frac{N_j}{R_{ij}},$$

где N_i – численность населения в населенном пункте, для которого рассчитывается потенциал поля расселения; N_j – численность населения в j -ом населенном пункте на данной территории; R_{ij} – расстояние от i -го до j -го населенного пункта.

ППР был рассчитан для территории Беларуси на основе данных о численности 204 городских населенных пунктов, для каждой пары из которых был определен показатель V_i (всего 41,5 тыс. пар). Расчет значений производился с помощью ГИС *MapInfo Professional 12.0.2*. Для составления карты в связи с большими значениями и большим их разбросом были взяты логарифмы рассчитанного показателя V_i с основанием 2 ($\log_2 V_i$) и уже по их значениям с помощью программы *Surfer* была составлена карта изолиний (рисунок 1).

Проведенные исследования позволяют определить значение ППР для любой точки на территории Беларуси, а также вычислять статистическую связь данного показателя с другими, также представленными в виде полей.

Список использованных источников

- 1 Арманд, Д. Л. Наука о ландшафте (основы теории и логико-математические методы) / Д. Л. Арманд. – М. : Мысль, 1975. – 288 с.
- 2 Червяков, В. А. Количественные методы в географии / В. А. Червяков. – Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 1998. – 259 с.
- 3 Модели полей в географии: теория и опыт картографирования / В. А. Червяков [и др.]. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд., 1989. – 145 с.
- 4 Демография : учеб. пособие / под ред. В. Г. Глушаковой, Ю. А. Симагина. – 5-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2010. – 288 с.

А. А. Саварин

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ НАСЕКОМОЯДНЫХ (LIPOTYPHILA) МЛЕКОПИТАЮЩИХ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

Современный уровень исследований насекомоядных млекопитающих, обитающих на территории Беларуси, нельзя назвать удовлетворительным по целому ряду причин. Так, в териологической литературе по данному отряду нередко преобладают заимствованные из иностранных источников сведения, которые не подтверждены анализом местных выборок. Стали «традицией» публикации по экологии землероек без анализа видовых диагностических признаков, прежде всего, краниологических. В этой связи следует предположить значительную долю ошибок в определении видов, и, как следствие, обесценивание полученных результатов. Подобная или близкая точка зрения высказывалась еще 20 лет назад (Гричик, 1996), а позже и другими авторами (Савицкий и др., 2005). Однако, несмотря на это, ситуация принципиально не меняется. Это связано не только с отсутствием комплексных исследований сообществ землероек различных регионов, методическими ошибками при отловах зверьков, но и недостатком специалистов-териологов в зоологических (биологических) музеях университетов.

Юго-восточная часть Беларуси представляет особый интерес для зоологов. Так как через эту территорию осуществляются интенсивные миграции животных, то изучение особенностей формирования териокомплекса данного пограничного региона является важным с точки зрения зоогеографии и фауногенеза. Кроме того, на территории приграничных государств обитают виды, которые потенциально могут расширить список региональной териофауны в случае расширения ареала или искусственного вселения.

Из 11 видов насекомоядных млекопитающих Беларуси на территории юго-востока республики не доказано обитание крошечной и равнозубой бурозубок. Однако поимки их реальны, прежде всего, равнозубой (*Sorex isodon* обитает в заповеднике «Брянский лес»).

В течение последних 10 лет получены новые сведения по морфо-биологии и экологии ряда представителей отряда Lipotyphla, на основе которых: опубликовано 20 статей в журналах ВАК Беларуси, Украины, России и Казахстана; издано практическое руководство «Экология

животных» (2012); подготавливаются монография по экологии северного белогрудого ежа (*Erinaceus concolor roumanicus*), а также практическое руководство по экологии белозубок (*Crocidura*) и кутор (*Neomys*) для студентов специальности 1-33 01 02 «Геоэкология». Перспективной является издание улучшенного варианта определителя насекомыхных млекопитающих республики. Следует заметить, что на сайте Териологического общества Украины создана страница публикаций сотрудников кафедры экологии (<http://www.terioshkola.org.ua/ua/persona.htm>).

Обобщим основные научные результаты, выявим проблемные вопросы для их решения в дальнейших исследованиях.

Получены принципиально новые данные по экологии белозубок. Так, в 20 веке достоверная находка белозубки малой (*Cr. suaveolens*) сделана В. Л. Новиковым 12.08.1928 г. в Чечерском районе. Именно эта поимка упоминается в определителе млекопитающих страны (Сержанин и др., 1967). Каких-либо сведений по биологии и экологии вида в пределах Беларуси до этого не было. Наши исследования доказали:

– территория распространения вида в последнее десятилетие расширяется. Самые северные поимки особей на территории Гомельской области – пригород г. Жлобина и окраина г. Чечерска (2012);

– особи вида обитают на всей территории Гомельской городской агломерации (отловлены во всех 4-х районах областного центра);

– белозубка малая является типичным луго-полевым, а не лесным видом, как предполагалось ранее. Данное обстоятельство приводило к методической ошибке при оценке численности данного вида.

Основные факторы, способствующие расселению особей вида: появление на юге страны новой наиболее теплой агроклиматической зоны (сумма температур более 2600°); наличие широкой стабильной пищевой базы; относительно слабое трофическое воздействие со стороны хищных птиц и млекопитающих; большая площадь заброшенных, захламленных территорий, примыкающих к сельскохозяйственным угодьям и жилым деревянным постройкам частного сектора; наличие большого количества полигонов и мини-полигонов.

Впервые получены краниометрические характеристики белозубки малой отдельного региона Беларуси. Особи *Cr. suaveolens*, обитающие на юго-востоке страны, имеют сравнительно мелкие размеры, но являются достаточно упитанными. В окраске шерсти спины доминируют серо-коричневые тона, брюха – серые. Между окраской спины и брюха нет резкого перехода. Некоторые характеристики консервативны (высота моста предглазничного отверстия больше ширины, форма углового отростка), другие – изменчивы (форма премоляра, линии возвышений клиновидно-затылочного моста).

В дальнейших исследованиях необходимо определить диапазон морфологической изменчивости белозубок, создать фотокаталог видовых диагностических признаков и аномальных изменений (включая череп). С учетом проникновения землероек в жилые постройки следует выявить реальную роль белозубки малой в сохранении природно-очаговых заболеваний, прежде всего, лептоспироза и ГЛПС. Полученные результаты дают основание считать нецелесообразным дальнейшее нахождение *Cr. suaveolens* в Приложении Красной книги Беларуси.

Впервые в республике проведены многолетние комплексные исследования ежей с главной целью – монографического морфо-биологического описания этих животных. Доказано обитание на территории Беларуси одного вида ежей – белогрудого (*Erinaceus concolor* s. l.), ранее рассматривавшегося как европейский еж (*E. europaeus* Linnaeus, 1758). Белогрудого ежа региона следует отнести к подвиду *E. s. roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900. Установленная таксономическая принадлежность согласуется с современными научными представлениями об ареалах видов р. *Erinaceus* в Европе.

В черепе северных белогрудых ежей с территории Беларуси выявлено более 10 форм патоморфологических изменений (выпячивание лобных костей с истончением прилегающих участков, разрушение костной ткани на границе предчелюстной и верхнечелюстной костей, деформация твердого неба, экзостозы и др.), которые ранее другими авторами не указывались. Наиболее распространенными формами патологий являются истончение лобных костей, наличие в своде участков без костной ткани, разрушение костной ткани челюстных костей, остеолит в области альвеол и перестройка костной структуры суставного и углового отростков. Степень выраженности многих патоморфологических изменений усиливается с возрастом, что приводит к высокой смертности. В черепе взрослых ежей региона брегматическая кость имеет патологическое происхождение, что не позволяет использовать частоту ее встречаемости как диагностический признак

подвидов *E. concolor*. Следует указать, что данной позиции придерживаются сейчас и другие специалисты-териологи (Зайцев и др., 2014). Проблема этиологии добавочных костей связана с множеством других вопросов: морфологией, экологической физиологией, эволюцией и систематикой. Решение проблемы этиологии вормиевых костей позволит определить и степень влияния внешних факторов на формирование черепа.

В последние годы проводятся совместные научные исследования с лабораторией териологии Института Зоологии НАН Азербайджана. Цель работы – выявить закономерности и особенности формирования свода черепа ежей различных регионов (Саварин, Гасанов, 2012).

Указаны точные места обитания бурозубки средней (*S. caecutiens*) на юго-востоке страны (например, Днепро-Сожский биологический заказник). Необходимо указать, что в многочисленных публикациях (сделанных даже в последние годы) по комплексам микромамманий ряда регионов Беларуси (Центральное Полесье, Полесский ГРЭС и др.) бурозубка средняя не указывается. Изучена изменчивость зубной системы, выявлены патологии и аномалии черепа европейского крота (*Talpa europaea*), обитающего в Гомельском районе.

На кафедре экологии ведется подготовка аспиранта по теме «Морфо-биологическая и экологическая характеристика землероек) юго-запада Беларуси».

Т. Г. Флерко, А. И. Павловский
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ГОМЕЛЬСКОГО ОБЛАСТНОГО ОТДЕЛА БЕЛОРУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Общественное объединение «Белорусское географическое общество» – это самостоятельная научная общественная организация, объединяющая на добровольных началах граждан на основе общности интересов в области географии, краеведения и других смежных наук. Главной целью общества является объединение усилий для решения актуальных научных задач, связанных с дальнейшим развитием географических наук, рациональным использованием природных ресурсов, их охраной и воспроизводством, рациональной территориальной организацией производительных сил республики в целях обеспечения оптимальной среды жизнедеятельности ее населения и воспитания членов общества в духе любви к природе.

Ровно 40 лет назад, в 1975 г., начал свою деятельность областной отдел общественного объединения «Белорусское географическое общество» в г. Гомеле. За этот длительный период общество прошло несколько этапов своего развития – от активной деятельности к упадку и современному возрождению. Руководили ГО БГО в разные годы учитель-методист А. А. Соколова (первый председатель), заведующая методкабинетом ОИУУ В. М. Воловикова, кандидат географических наук О. А. Малахов, кандидат географических наук И.И. Богдель, директор Гомельской лесоустроительной экспедиции Ф. Ф. Бурак. С 2004 г. областное общественное объединение возглавляет кандидат географических наук, заведующий кафедрой географии А. И. Павловский.

В настоящий момент областной отдел имеет свой юридический адрес, штамп, печать, расчетный банковский счет, бланки и зарегистрированную символику. Все члены общества зарегистрированы, на них заведены учетные карточки и выданы членские билеты.

Численный состав представляют 92 действительных члена ОО «БГО» (на начало 2015 г.), в их числе 1 член-корреспондент НАН Беларуси, доктор с.-х наук, профессор; 28 кандидатов наук (6 – географических наук, 13 – биологических, 4 – экономических, 1 – педагогических наук, 1 – технических, 2 – геолого-минералогических, 1 – сельскохозяйственных), преподаватели вузов, школ, работники научных учреждений, государственных служб и т. д.

География организаций, в которых заняты члены отдела, широка – Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомельский областной исполнительный комитет, Гомельлеспроект, Институт леса НАН Беларуси, Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомельский государственный технический университет имени И. О. Сухого, Мозырский педагогический университет имени И. П. Шамякина, Гомельский областной эколого-биологический центр детей и молодежи.

Одним из основных направлений деятельности общества является научная работа. Действительные члены ГО ОО «БГО» выполняют хоздоговорную тему по мониторингу подземных

вод в санитарно-защитной зоне ОАО «Гомельский химический завод» и госбюджетную ГПНИ «Экологическая диагностика геологической среды и прогноз техноприродных опасностей на урбанизированных территориях». Гомельский отдел является организатором и спонсором научно-практических конференций: Международная научно-практическая конференция «Непрерывное географическое образование: новые технологии в системе высшей и средней школы» (2004, 2009, 2011, 2013), III Международная научно-практическая конференция «Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды» (Мозырь, 2014), Международная научно-практическая конференция «Географические аспекты устойчивого развития регионов» (Гомель, 2015) и др.

С 2012 г. активизировалась издательская деятельность. Совместно с Гомельским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды и ГГУ имени Ф. Скорины подготовлен к изданию и выпущен рецензируемый сборник научных трудов «Географические аспекты устойчивого развития регионов» (2013). Под эгидой Гомельского отдела БГО издаются труды действительных членов, за последние годы это монографии доцентов И. Ф. Рассашко, О. В. Ковалевой, В. Э. Ковдерко.

Гомельский отдел ОО «БГО» поддерживает всесторонние связи с Институтом рационального природопользования и Институтом леса НАН Беларуси, Гомельским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды, Могилевским и Брестским отделами БГО, коллегами МГУ им. А. А. Кулешова, ВГУ им. П. М. Машерова, БрГУ им. А. С. Пушкина, МГПУ им. И. П. Шамякина, БГУ, БГПУ им. М. Танка и др. В рамках проведенных научных мероприятий налажены контакты со многими учреждениями и организациями Украины и Российской Федерации.

Ведется научная работа со студентами. Под руководством членов общества за последние пять лет подготовлено более 40 научных студенческих работ для участия в Республиканском конкурсе научных работ студентов и магистрантов, многие из которых удостоены званий лауреатов и различных степеней. Некоторые из обладателей этих наград сами стали действительными членами объединения.

Члены Гомельского областного отдела БГО на протяжении многолетнего периода принимают активное участие в подготовке и проведении этапов республиканской олимпиады учащихся по географии, являются разработчиками заданий, организаторами и членами жюри республиканских, областных и городских конкурсов научных работ школьников. Активно ведется работа с учащимися школ в Геологическом музее кафедры геологии и разведки полезных ископаемых, за последние пять лет проведено около 100 лекций и встреч. Под руководством членов отдела действуют ученическое научное общество «Искатель» (руководитель – учитель высшей категории О. И. Митрахович), очно-заочная экологическая школа «Экошкола» (руководитель школы – А. С. Соколов).

Доцентом кафедры лесохозяйственных дисциплин ГГУ имени Ф. Скорины А. Е. Падутовым на основании большого коллекционного материала на биологическом факультете оформлен музей, в котором представлены экспонаты животных разных географических регионов.

В 2013 г. под руководством Р. Ф. Хлебина организован клуб путешествий Гомельского отдела ОО «БГО». С момента создания Клуба совершено 32 поездки, в которых приняло участие более 90 человек. Во время данных поездок были посещены особо охраняемые природные территории (Березинский заповедник, национальный парк «Беловежская пушта», заказники «Августовский», «Освейский», «Званец», «Мозырские овраги», «Стрельский» и др., природный парк «Сколевские Бескиды» (Украина), национальный парк «Боржоми-Харагули» (Грузия), Полистовский заповедник (Российская Федерация) и др.), примечательные географические объекты (остров Ду на оз. Освейское, памятный знак на водоразделе Днепро-Бугского канала, гидротехнические сооружения Августовской, Днепро-Бугской и Березинской водных систем, исток реки Сож в Смоленской области, совершены восхождения на г. Парашка (высшая точка Сколевских Бескид) и г. Ломимста (Малый Кавказ). В настоящее время в клубе зарегистрировано около 50 постоянных участников.

Таким образом, общество в регионе динамически развивается. В состав членов ГО ОО «БГО» вступают молодые сотрудники учебных заведений и организаций, студенты с активной жизненной позицией и планами на деятельность в рамках общества. Главными задачами общества в настоящий момент являются координация региональных научных исследований и пропаганда географических и экологических знаний. Среди перспективных направлений работы отдела на ближайшее время следует отметить: проведение II Международной научно-практической

конференции «Географические аспекты устойчивого развития регионов» в 2017 г.; создание сайта Гомельского областного отдела ОО «БГО»; издание сборника научных статей членов отдела. Кроме того, предполагается дальнейшее расширение деятельности отдела в области популяризации географических знаний среди молодежи, посредством привлечения в клуб путешествий, активизация научной деятельности студентов в процессе проведения полевых практик. Намечены реальные пути сотрудничества с региональными отделами Русского географического общества и географическими кафедрами России.

Т. А. Шафаренко, С. К. Жгун
г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТУРИЗМА НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА

Основоположником кластерного подхода является профессор Гарвардской школы бизнеса Майкл Портер. Проанализировав конкурентные возможности во многих странах мира, он пришел к выводу, что наиболее конкурентоспособные компании обычно не расположены системно по разным странам, а имеют тенденцию концентрироваться в одной стране, а иногда даже в одном регионе страны. Согласно Майклу Портеру, под кластерами понимаются сконцентрированные по географическому признаку группы взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков услуг, а также связанных с их деятельностью других организаций, конкурирующих, но при этом ведущих совместную работу [1, с. 256].

Ключевыми свойствами кластера являются: географическая локализация, взаимосвязь между фирмами и технологическая взаимосвязанность отраслей. Так, первое свойство отражает географические границы кластера, второе свойство представляет кластер как особую форму сети взаимосвязанных предприятий, а третье свойство характеризует многоотраслевое строение кластера. Неотъемлемый целевой атрибут кластера – это его конкурентоспособность в национальном и мировом хозяйстве. Следуя данному утверждению, кластер открыт для глобального рынка и является частью мировой экономики. Территориальный охват кластера может варьироваться от одного города до страны или даже несколько соседствующих стран, поэтому определение границ кластера часто носит сложный поэтапный характер и включает в себя процесс выявления наиболее важных связей разных отраслей и организаций.

По мере появления и развития новых фирм и отраслей, границы кластеров постоянно изменяются. Достаточно часто границы кластеров совпадают с территориальными (государственными, региональными, муниципальными) границами. В структуре каждого кластера можно выделить объекты следующих типов: а) «ядро» – объекты, выполняющие основной вид деятельности, вокруг которых группируется кластер; б) «дополняющие» – объекты, деятельность которых напрямую обеспечивает функционирование «ядра»; в) «обслуживающие» и «вспомогательные» – объекты, деятельность которых напрямую не связана с функционированием объектов «ядра».

Анализ мировой хозяйственной практики показал, что наиболее экономически эффективным и перспективным направлением развития территорий является применение кластерного подхода. Сущность кластерного подхода в туристской индустрии заключается в сосредоточении на ограниченной территории предприятий и организаций, занимающихся разработкой, производством, продвижением и продажей туристского продукта, а также деятельностью смежной с туризмом. Применение кластерного подхода в туристском бизнесе формирует ряд существенных положительных моментов. Это и значительное снижение барьеров выхода на рынок, и рациональное распределение ресурсов (трудовых, финансовых, технических), и распространение положительной репутации кластера на всех его участников. Территории, на которых формируются кластеры, становятся лидерами национальных экономик и их внешнеэкономических связей. Соответственно, формирование туристского кластера может стать мультипликатором экономического роста региона за счет развития сопутствующих отраслей.

Кластерный подход дает предприятиям преимущество над более изолированными конкурентами. Это открывает доступ к большому количеству поставщиков и услугам поддержки, адаптированных к требованиям потребителей, к опытным и высококвалифицированным работникам. Тем самым, дает возможность компаниям фокусироваться на том, что они знают и делают лучше всего. При этом компании также «выигрывают» от синергии: функционируя как

система, они могут совместно производить больше, чем составляет сумма их индивидуальных результатов. Внутри кластера компаниям открывается более дешевый доступ к факторам производства. Доступность местных ресурсов минимизирует потребность в материально-производственных запасах и избавляет от необходимости затрат на импорт и связанных с этим задержек. Благодаря тесным взаимосвязям участники кластера более оперативно узнают о доступности новых технологий, технических средствах, новых концепциях в обслуживании и маркетинге.

Восприятие группы компаний и организаций в качестве кластера позволяет выявить благоприятные возможности для координации действий и благотворного взаимного воздействия в сферах общих интересов. Кластер обеспечивает возможность ведения конструктивного и эффективного диалога между родственными компаниями и их поставщиками, а также другими вовлеченными институтами. Кластеры вносят в организацию производства новые для экономики принципы: открытости, межрегионального (международного) сотрудничества, самоуправления, отсутствия необходимости в государственном администрировании. Для экономики государства кластеры выступают «точками роста» внутреннего рынка. Кластерные образования способствуют усилению конкурентных преимуществ отдельных компаний, а, соответственно, и структуры в целом, что позволяет достичь конкретного хозяйственного эффекта.

Кластерный подход способствует гарантированному сохранению рабочих мест людям, работающим в туристской сфере, смежных и сопутствующих отраслях, увеличению доли занятых в малом и среднем бизнесе, увеличению налоговой базы, привлечению квалифицированных специалистов, развитию социальной инфраструктуры. Концепция кластеров способствует развитию особой формы мышления, выходящего за рамки общих потребностей экономики. В результате этого, кластеры выступают основой эффективного экономического развития территории и способствуют эффективности развития государства в целом. Кластерный подход предоставляет органам власти инструмент эффективного взаимодействия с бизнесом. В управлении регионом появляется удобный инструмент для взаимодействия, снижается зависимость от отдельных групп, появляются основания для диверсификации экономического развития территории.

Используя репутацию кластера, предприятия малого и среднего бизнеса сохраняют свою приоритетность, независимость и гибкость, получают новые возможности доступа к ресурсам. Кластер предоставляет новые возможности для систематизации возникающих проблем, выбора путей их преодоления. В зависимости от изменений внешней среды и рыночной конъюнктуры кластеры формируются, расширяются, углубляются, а при неблагоприятных условиях могут со временем свертываться и распадаться. Подобная динамичность и гибкость кластеров является еще одним преимуществом по сравнению с другими формами организации экономической системы. Кластерный подход является хорошей основой для создания новых форм объединения знаний, стимулирует возникновение новых научно-технических направлений, а также косвенным образом поддерживает сферу образования и науку. Кроме того, кластерная политика предоставляет органам власти возможность целенаправленного, реального, мотивированного и стратегического планирования ресурсов региона, развития территорий.

Интеграционная природа кластеров предусматривает включение экономики региона в национальные и глобальные экономические процессы. Опыт развития кластерной системы показывает, что формирование кластеров дает значительный импульс региональному развитию, в том числе, повышению экономической активности депрессивных территорий, а также развитию бизнеса. Использование кластерного подхода является одним из эффективных механизмов повышения конкурентоспособности территории и обеспечения устойчивых темпов экономического развития. Таким образом, для того, чтобы туризм стал прибыльной сферой, целесообразно осуществлять его развитие в соответствии с новой парадигмой конкурентоспособности, основанной на кластерном подходе [2, с. 142].

В ряде стран мира уже долгое время успешно функционируют туристские кластеры: кластер в долине Напа (США), кластер штата Квинсленд (Австралия), курорт Канкун (Мексика), кластер острова Бали (Индонезия). Не исключением является и Республика Беларусь. В нашей стране, в частности на Брестчине, получили свое развитие такие туристские кластеры, как: «Беловежский тракт», «Долина реки Ясельда», «Пинское Полесье», «Полесская Амазония», «Зеленое кольцо Баранович», «Мотольский Шлях», «Муховецка Кумора».

Основной идеей формирования туристских кластеров Беларуси является создание популярного туристского направления, которое будет пользоваться спросом, как у белорусских, так и у иностранных туристов. Преобладающая часть кластеров нашей страны относится к типу «зарождающихся», то есть находящихся на начальной стадии своего формирования.

Социально-экономическая среда развития туризма большинства кластеров Беларуси представляется благоприятной, однако пока не приходится рассчитывать на привлечение массовых потоков туристов и соответствующее генерирование значительных объемов доходов. Достичь изменения данной ситуации, а также увеличить количество туристских потоков планируется путем совершенствования и создания новых объектов туристской инфраструктуры, расширения ассортимента платных дополнительных услуг, привлечения различных форм финансовой и материальной поддержки, а также более эффективного продвижения туристского продукта.

Таким образом, уникальность природного и историко-культурного потенциала наряду с достаточно большим числом квалифицированных партнеров и субъектов туризма, позволят туристским кластерам нашей страны приобрести не только мировую известность, но и стать брендом Беларуси.

Список использованных источников

- 1 Портер, М. Конкуренция / М. Портер. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 608 с.
- 2 Жгун, С. К. Кластерный подход как новая парадигма развития туризма / С. К. Жгун // Молодость. Интеллект. Инициатива : материалы II междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, Витебск, 17–18 апр. 2014 г. – Витебск, 2014. – С. 141–142.



СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА И ТЕХНИКА

Алешкевич Н. А., Короткевич С. В., Кравченко В. В. Разработка стенда для диагностики подшипников скольжения и турбинных масел.....	3
Андреев В. В. Прецизионное решение уравнения Шредингера с гиперсингулярным ядром.....	6
Андреев В. В., Дерюжкова О. М., Максименко Н. В. Дипольные спиновые поляризуемости и электрослабые характеристики нуклона.....	10
Бегун Д. Г. Формирование шаговых траекторий с использованием экстраполированных значений оценочной функции.....	12
Бурмин В. Е., Кондратенко В. И. Отражение электромагнитных волн от металлодиэлектрической слоистой структуры.....	16
Гавриленко В. Н., Сетейкин А. Ю. Моделирование тепловой абляции поверхности зуба за короткие временные интервалы.....	19
Гаврилова В. В., Воронцов А. С. Адамчик А. И., Плескач С. А. Составы смазочных материалов и их влияние на триботехнические характеристики узлов трения.....	21
Гайшун В. Е., Косенок Я. А., Тюленкова О. И. Влияние ультразвуковой обработки на размер частиц в суспензиях на основе диоксида кремния.....	23
Galaburda M. V., Bogatyrov V. M., Oranska O. I., Skubiszewska-Zięba J. Facile synthesis of mesoporous carbon composites from iron-containing resorcinol-formaldehyde resins.....	25
Гиргель С. С. Фракционные обобщенные пучки Бесселя-Гаусса.....	27
Дей Е. А. Численное решение стационарного уравнения Шредингера в базисе эрмитовых конечных элементов.....	30
Ефимович Е. А., Колесник Н. С., Кондратенко В. И. Модель планарной гиротропной среды в диапазоне СВЧ.....	34
Желонкина Т. П., Лукашевич С. А. Изложение темы «Электрические явления в контактах» в курсе физики.....	37
Коваленко Д. Л., Гайшун В. Е., Горбачев Д. Л., Васькевич В. В., Luca D. Формирование функциональных SiO ₂ и TiO ₂ покрытий вакуумно-плазменным методом из мишеней, полученных золь-гель методом.....	40
Кулеш Е. А., Федосенко Н. Н., Пилипцов Д. Г., Руденков А. С. Свойства и структура вакуумных покрытий типа АПП/Cu/АПП и Cu/АПП/Cu.....	42
Купо А. Н., Федосенко Н. Н., Побияха А. С. Моделирование фотохимических процессов лазерного экспонирования фоторезистов.....	45
Купреев М. П., Леонович Е. Н. Высокопористый абразивный инструмент повышенной стойкости из электрокорунда.....	48
Поляковский В. В. Построение и алгоритмизация транспортного модуля технологического оборудования микро- и нанoeлектроники.....	51
Самофалов А. Л., Михолап Е. А. Виртуальный физический эксперимент по теме «Механические волны».....	54
Семченко А. В., Сидский В. В., Гайшун В. Е., Коваленко Д. Л., Колос В. В., Турцевич А. С., Залесский В. Б., Малютина-Бронская В. В. Применение золь-гель метода с целью получения функциональных материалов для электроники.....	56
Тюменков Г. Ю. О моделировании радиальной функции плотности планет.....	58
Хило П. А., Шаповалов П. С. Распространения гауссовых лазерных пучков нулевого и первого порядка в средах с керровской нелинейностью.....	60
Чаус А. С. Теоретическая оценка поверхностной активности модифицирующих элементов.....	63
Черепок А. К. Формирование учебно-исследовательских навыков у учащихся при проведении наблюдений.....	66
Чернякова К. В., Врублевский И. А., Завадский С. М., Голосов Д. А., Котинго Д. Д. Характеристики экранирования электромагнитного излучения для структур анодный оксид алюминия – пленка нихрома.....	68
Шалупаев С. В., Никитюк Ю. В., Середа А. А. Анализ процесса лазерного термораскалывания арсенида галлия в плоскости {111} в рамках линейной механики разрушения.....	71
Шаповалов П. С., Дробышевский В. И. Распространение и взаимодействия двух эллиптических пучков в нелинейной среде.....	74

Шолох В. Ф. Фазовая и групповая скорости электромагнитной волны в движущейся одноосной среде.....	76
--	----

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Авдашкова Л. П., Грибовская М. А. Проектирование педагогического сценария электронного обучающего комплекса.....	80
Аниськов В. В. О приводимых локальных формациях конечных групп Пи-разложимого дефекта 3.....	83
Белокурский М. С., Деменчук А. К. Задача Еругина о существовании нерегулярных решений линейной системы в случае вырожденного стационарного коэффициента.....	85
Бородич Р. В., Бородич Е. Н., Селькин М. В. О не p -нильпотентных максимальных подгруппах.....	86
Бородич Т. В. О разрешимости группы с добавлениями к нормализаторам выделенных силовских подгрупп.....	87
Бураковский В. В. Симметричная кольцевая локальная сеть с бесконечными буферами и вентильным обслуживанием.....	88
Бычков П. В. Масштабирование приложений с помощью платформы RabbitMQ.....	91
Васильев А. Ф., Васильева Т. И., Вегера А. С. Классы конечных групп, определяемые вложением силовских подгрупп.....	94
Вересович П. П. Периодичность решений одного рационального дифференциального уравнения.....	97
Долинский М. С., Долинская М. А. Гомельская школа олимпиадного программирования.....	99
Дудовская Ю. Е., Якубович О. В. Сети с несколькими типами заявок и ограничением на переключение режимов в отдельных узлах.....	102
Еськова О. И., Сукач Е. И. Применение метода Монте-Карло для анализа рисков инвестиционного проекта.....	105
Жадан М. И. Кинетика бифилярно-контролируемых движений.....	108
Жогаль С. П., Жогаль С. И., Сафонов И. В. Сравнительный анализ приближенных методов исследования слабонелинейных колебательных систем, подверженных внешнему бигармоническому воздействию.....	108
Казимиров Г. Н. Некоторые аспекты контроля выполнения лабораторных работ по математическому анализу.....	111
Капустин А. Г., Карнаухов Н. С. Исследование систем автоматического регулирования с переменной структурой в установившемся режиме.....	112
Карпович С. Е., Войтов А. Ю., Кекиш Н. И. Алгоритмизация задачи позиционирования в пространственной системе перемещений с трехкоординатным гибридным приводом.....	116
Карпович С. Е., Кузнецов В. В., Поляковский В. В. Формирование аналитических функций обобщенных координат пространственной системы перемещений с шестью степенями свободы.....	118
Клименко А. В., Филиппов А. А. Разработка сервиса фиксирования дорожных объектов для Web-карт.....	121
Княгина В. Н., Монахов В. С. Конечные группы с нормально вложенными подгруппами.....	124
Ковалева В. А., Скиба А. Н. Конечные группы с заданными максимальными цепями подгрупп.....	125
Курносенко Н. М., Парукевич И. В., Подгорная В. В. Преподавание основ матричного анализа для студентов IT-специальностей.....	127
Малинковский Ю. В. Эргодическая теорема для систем массового обслуживания с групповым поступлением отрицательных заявок.....	129
Марченко Л. Н., Мельченко А. Г. Анализ монетарного фактора инфляции в Республике Беларусь.....	132
Маслович С. Ф., Смирнов А. В. Об одном использовании библиотеки NuSOAP для взаимодействия веб-портала с CRM-системой с применением полнотекстового поиска Sphinx.....	135
Мироненко В. И., Мироненко В. В. О новом методе поиска периодических решений дифференциальных систем.....	137
Миротин А. Р. Об обращении линейной комбинации значений резольвенты.....	139
Можаровский В. В., Кузьменков Д. С. Реализация расчета напряженно-деформированного состояния слоистых цилиндрических конструкций из композиционных материалов.....	141
Монахов В. С. О нормально вложенных подгруппах конечных групп.....	145
Осипенко А. Н., Осипенко Н. Б. Метод генерации гипотез для выявления факторов ранней смертности населения.....	145
Прусак А. Б. Задача – одна, способов решения – множество (из опыта работы в школе и вузе).....	149

Ружицкая Е. А., Голубев Д. Н. Компьютерный контроль знаний студентов по курсу «Программирование на языке Assembler».....	153
Селькин М. В. Школа профессора Л. А. Шеметкова.....	155
Сморodin В. С. Метод анализа систем управления технологическими процессами производства с элементами потенциальной опасности.....	157
Сохор И. Л. Влияние кофакторов субнормальных подгрупп на инварианты конечной разрешимой группы.....	160
Станишевская Л. В., Барковская Л. С. Математическая составляющая в подготовке иностранных студентов экономических специальностей.....	161
Старовойтов А. П., Герман А. В., Кечко Е. П. О нулях аппроксимаций Эрмита – Паде экспоненциальных функций.....	162
Старовойтова Н. А. Презентация по математике как инструмент адаптации иностранных слушателей подготовительного отделения.....	163
Сукач Е. И. Методика анализа надежности систем управления технологическими процессами производства с элементами потенциальной опасности.....	165
Трофимук А. А. Конечные разрешимые группы с ограничениями на силовские подгруппы из подгруппы Фитинга.....	169
Ходанович Д. А. Влияние индексов максимальных подгрупп на p -разрешимость конечной группы.....	171
Чирик И. К. О разрешимости конечной факторизуемой группы с KP^2 -субнормальными сомножителями.....	172
Ющенко Д. П., Евдокимович В. Е. О многозначных потенциалах для обобщенной системы Навье-Стокса.....	172

БИОЛОГИЯ И ХИМИЯ

Асташева Н. П. Действие малых доз хронического облучения на биохимические показатели крупного рогатого скота.....	176
Багинский В. Ф., Лазарева М. С. Союз высшего лесного образования и лесной науки в городе Гомеле – кафедра лесохозяйственных дисциплин.....	178
Гулаков А. В. Влияние продуктов аварийного выброса Чернобыльской АЭС на отдельные популяции диких млекопитающих.....	181
Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Жадько С. В. Накопление тяжелых металлов растениями изучаемых объектов вблизи Мозырского НПЗ.....	184
Дроздов Д. Н., Чеховский А. Л., Чунихин Л. А. Радиационная обстановка в Республике Беларусь, облученная чернобыльским загрязнением и радоном.....	187
Игнатенко В. А., Кузнецов Б. К. Спектрофотометрическое изучение различных форм гемоглобина в зависимости от степени окисления катиона железа.....	189
Кожедуб Т. И. Влияния агрохимических свойств лесных почв на содержание фосфора в карпофорах микоризообразующих грибов.....	192
Концевая И. И., Карпова Е. А., Шамаль Н. В. Изучение митоза в <i>Allium</i> -тесте при действии водного экстракта куколок китайского дубового шелкопряда и хроническом облучении.....	195
Концевая И. И. Отношение студентов биологического факультета к статусу магистра.....	198
Кравцов А. В., Концевая И. И. Применение интеллект-карт для подготовки к экзаменам по биологии.....	201
Манешкина Е. А. Экологическая культура и воспитание лицеистов.....	203
Пушкова Л. М., Концевая И. И. Информационно-коммуникационные технологии в ГУО «Средняя школа № 2 г. Жлобина»: анализ мотивационно-целевых аспектов пользования.....	206
Кураченко И. В., Нечай-Ницевич Е. С. Характеристика сообществ почвенной мезофауны пойменных лугов различной степени увлажнения.....	208
Лысенкова А. В., Филиппова В. А., Игнатенко В. А. Современный подход к естественнонаучному образованию в медицинском университете.....	211
Макаренко Т. В. Изучение содержания тяжелых металлов высшими водными растениями.....	214
Потапов Д. В. Структура сообществ и некоторые популяционные характеристики мышевидных грызунов (на примере Гомельского района).....	216
Трухоневец В. В., Колодий Т. А., Дайнеко Д. Г. Вегетативный рост и плодообразование базидиального гриба <i>Pleurotus eryncii</i> (DC.) Quel. в искусственной культуре.....	219
Храмченкова О. М. Трансформация почвенного цианобактериального комплекса под лесными культурами.....	222
Храмченкова О. М. Применение культур цианобактерий при выращивании микроклонального посадочного материала.....	225

Чернышева Л. В. Инновационные методы в преподавании химических дисциплин в медицинском вузе.....	228
Чеховский А. Л., Дроздов Д. Н., Чунихин Л. А. Картирование и оценка радоновой обстановки на территории Гомельской области.....	231

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ

Андрушко С. В. Исторические особенности формирования природно-антропогенных ландшафтов Гомельского Полесья.....	234
Гусев А. П. Геоэкология в Гомельском государственном университете: 1990-е гг.	237
Гусев А. П., Непочелович Д. С., Харькова А. В., Федоренко А. Ю. Геоинформационные системы в геоэкологии.....	239
Гусенок М. И., Белковская Н. Г. Сельская местность как объект экономико-географического исследования.....	241
Дыдышко С. В., Черныш А. Ф. Рациональное землепользование на дефляционноопасных землях Полесья.....	244
Лаптева Е. А., Соколов А. С. Потенциал поля расселения Беларуси.....	247
Саварин А. А. Итоги и перспективы изучения насекомоядных (Lipotyphla) млекопитающих юго-востока Беларуси.....	249
Флерко Т. Г., Павловский А. И. Вклад в развитие географического образования Гомельского областного отдела Белорусского географического общества.....	251
Шафаренко Т. А., Жгун С. К. Территориальная организация туризма на основе кластерного подхода.....	253

Научное издание

**ЮБИЛЕЙНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
посвященная 85-летию
Гомельского государственного университета
имени Франциска Скорины**

(Гомель, 17 июня 2015 года)

Материалы

В четырех частях

Часть 4

Главный редактор О. М. Демиденко
Компьютерная верстка С. Н. Седяровой

Подписано в печать 10.09.2015.
Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 30,2. Уч.-изд. л. 26,3.
Тираж 8 экз. Заказ 528.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/87 от 18.11.2013.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330/450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.