

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

На основе анализа особенностей технологических процессов производства с переменной структурой определены требования к средствам автоматизации их проектного моделирования. Излагается состав и структура программно-технологического комплекса исследования технологических процессов производства. Сформулированы базовые принципы формализации и имитационного моделирования. Определены особенности технологии использования комплекса при решении проектных задач.

Введение

Компьютерному моделированию технологических процессов производства (ТПП) уделяется много внимания исследователей и технологов [1, 2]. Созданы специальные расчетные программы и методики их использования [1]. Однако в случаях, когда ТПП имеют вероятностную природу и переменную структуру существующие средства автоматизации компьютерного моделирования не обладают необходимым уровнем технологии исследований и проектного моделирования. Ограничения, накладываемые на применение математических моделей, зачастую не выполняются, необходим высокий уровень детализации ТПП, что неизбежно приводит к их имитации. Наличие же в составе ТПП технологических операций (TXO_i) вероятностных переменных требует использования метода Монте-Карло [3], который весьма ресурсоемок, и поэтому возникает проблема экономии ресурсов ЭВМ при имитационных экспериментах (ИЭ). Таким образом, несмотря на обилие систем моделирования (СМ) на ЭВМ, актуальна разработка экономичных специализированных программно-технологических комплексов имитации (ПТКИ) производства. В данной статье рассматриваются состав, структура и технология использования ПТКИ, ориентированного на класс ТПП, обладающих следующими особенностями реализации TXO_i : во-первых, это ТПП, описываемые сетевыми графиками выполнения

TXO_i , когда параметры выполнения микротехнологических операций ($MTXO_{ij}$), входящих в состав TXO_i , имеют вероятностный характер, поэтому сам сетевой график реализации TXO_i является вероятностным; во-вторых, ТПП состоит из множества $\{TXO_i\}$ и имеет переменную структуру технологии выполнения, также задаваемую графом, узлами которого являются TXO_i и операции изменения их состава и структуры.

1. Особенности технологических процессов производства с переменной структурой

В первую группу особенностей рассматриваемых типов ТПП входят: использование для описания TXO_i одноуровневого вероятностного графа ($GTXO_i$); вероятностный характер применения ресурсов ТПП при выполнении ($MTXO_{ij}$); использование в составе ресурсов, требуемых для реализации $MTXO_{ij}$, кроме времени ее выполнения, еще таких характеристик, как количество материалов и комплектующих изделий; состав рабочей силы и оборудования; стоимость выполнения операций.

Вторую группу особенностей ТПП составляют следующие. Во-первых, наличие в графе ГТПП, описывающего состав и структуру TXO_i , специфичных $MTXO_{ij}$, называемых операциями «расщепления» ($RACH_{ij}$) и

«объединения» ($OBJE_{ij}$) ветвей алгоритма ГТПП. При этом структура и состав $MTXO_{ij}$ в $GTXO_i$ фиксированы и задаются в виде специальной технологической карты (ТК). Во-вторых, состав коллективно используемых ресурсов ТПП фиксирован максимальными величинами. При этом ТПП реализуется на множестве узлов обработки $\{UZO_l\}$, представляющих собой рабочие места с закрепленными за ними частями оборудования ТПП и определенного состава рабочей силы. В-третьих, определено такое понятие ТПП_h, как его пропускная способность (ω_h), означающая количество обслуженных запросов при реализации ТПП_h. Параллельные ветви ГТПП_h реализуются на одном и том же составе UZO_l , поэтому возникает конкуренция UZO_l за захват оборудования, материалов, рабочей силы на время выполнения на нем соответствующих $MTXO_{ij}$. В-четвертых, каждая $MTXO_{ijh}$ характеризуется вектором запроса ресурсов ТПП_h, которые могут быть как детерминированными, так и вероятными.

2. Требования, предъявляемые к средствам автоматизации проектного моделирования технологических процессов производства

Перечисленные особенности ТПП при моделировании вариантов их организации требуют использования таких средств имитационного моделирования, которые обладали бы следующими возможностями.

Во-первых, позволяли бы в одном тексте имитационной модели (ИМ) ТПП сочетать процессный и транзактный способы имитации технологии реализации $MTXO_{ij}$. При этом одна часть описания ИМ может быть декларативной, а другая — предполагает алгоритмический способ описания компонентов ТПП. Это требование означает, что в ИМ роль технологической карты изделия (TK_k) играет соответст-

вующий транзакт k -го типа (TR_k), а узлами обработки изделий являются процессы со сложными алгоритмами обслуживания TR_k .

Во-вторых, у средств программирования ИМ ТПП должны быть возможности описания параллельных ветвей ТПП с операторами «расщепления» и «объединения» TXO_i . Для этого необходимо создание новых транзактов (расщеплений ветвей TXO_i) и уничтожение лишних (при объединении ветвей в одну базовую TXO_i). Таким образом, управляющая программа моделирования (УПМ) системы моделирования (СМ) должна обеспечивать многокальную обработку информации, относящейся к составу и структуре $MTXO_{ij}$. Для этого в специализированной СМ необходимо предусмотреть следующее: наличие широкого спектра механизмов обслуживания очередей транзактов; многоканальный характер обработки TR_k , находящихся на разных стадиях их обслуживания; наличие механизмов прерывания выполнения алгоритмов процесса и определения условий воздействия на процессы для организации прерываний обслуживания этих транзактов.

В-третьих, параметрическое описание характеристик ресурсов, используемых TXO_i и $MTXO_{ij}$. СМ должна позволять оперативным образом создавать копии компонентов с однотипными алгоритмами, корректировать модельную информацию, устанавливать наблюдателей для сбора статистики, организовывать управляющие связи компонентов ИМ, обеспечивать синхронизацию параллельных ветвей $\{TXO_i\}$ с помощью семафорной техники. Для отображения конкуренции TR_k ресурса ТПП_h необходимо СМ обеспечить возможностью создания и уничтожения TR_k в любом месте «расщепления» и «объединения» ветвей и границ TXO_i , а также установки соответствующих управляющих сигналов.

Анализ технологических возможностей существующих средств автоматизации имитационного эксперимента (ИЭ), доступных широкому пользователю [4], позволил установить, что наиболее подходящим инструментарием средством имитации ТПП_h является СМ МІСІС [5]. Это определило выбор СМ МІСІС [5] в качестве базовой компоненты программно-технологического комплекса исследования технологических процессов производства (ПТКИ ТПП).

3. Состав и структура программно-технологического комплекса исследования ТПП

Структурно ПТКИ ТПП состоит из следующих компонентов:

- система моделирования МІСІС со своей технологической оболочкой организации ИЭ, адаптированной к среде ОС Windows любых модификаций;
- библиотека подпрограмм технологического обеспечения ИЭ с моделями ТПП_h (*LIB.TECNOL*);
- библиотека процедур испытания и исследования свойств ИМ ТПП (*LIB.ISPMOD*);
- библиотека процедур информационного обеспечения и реализации интерфейсов с подпрограммами обработки данных ИЭ (*LIB.INFORM*);
- библиотека процедур анализа данных и принятия решений на основе классических критериев в условиях неопределенности и риска (*LIB.RESHEN*);
- библиотека имитационных и аналитических подмоделей технологических операций и процессов (*LIB.IMITAT*);
- библиотека генераторов псевдослучайных чисел имитации воздействия внешней среды на ТПП_h (*LIB.GENERT*);
- единая информационная база данных (ИБД) комплекса;
- пакет программ статистической обработки и анализа данных ИЭ (*STATISTIKA* [6]).

СМ МІСІС обладает адаптированным к данной предметной области языком описания состава (ЯОСС) и

структуры ИМ ТПП, задания исходной информации и планирования серии ИЭ при исследовании вариантов организации ТПП. Из перечисленного состава компонентов ПТКИ ТПП в диалоговом режиме СМ МІСІС формирует рабочую версию варианта ИМ ТПП и каталогизирует ее для дальнейшего использования в *LIB.IMITAT*. Для удобства работы с моделью ТПП специалистов по исследованию и проектированию ТПП диалог с моделью и результаты имитации выдаются в понятных им терминах и определениях. Диалог достигается с помощью одной из подпрограмм из *LIB.TECNOL*.

В состав *LIB.TECNOL* входят еще подпрограммы:

- задания начальных условий имитации ТПП (*ПП.ZAPITK*);
- установки и модификации параметров *MTXO_{ij}* и *TXO_i* (*ПП.MODIFI*);
- установки и модификации начальных значений ресурсов ТПП (*ПП.NACHAL*);
- установки и модификации состава статистик и откликов ИМ ТПП (*ПП.OTKLIK*).

Библиотека *LIB.ISMOD* содержит следующие процедуры испытания и исследования свойств моделей ТПП:

- оценка точности моделирования ТПП (*ТОCHNS*);
- верификация ИМ ТПП (*VERIFI*);
- оценка чувствительности откликов к изменениям параметров ИМ ТПП под реальные условия (*CALIBR*);
- проверка адекватности ИМ реальному ТПП (*ADEKVA*);
- определение рабочей области изменения параметров исследования (*RABOBL*);
- установки условий завершения имитации (*ULLZAV*).

Все эти процедуры представляют собой конкретную реализацию под данную предметную область общей методики испытания и исследования свойств ИМ, предложенную в [4].

Библиотека *LIB.INFORM* организует все интерфейсы между подсисте-

мами ПТКИ и пакетом статистической обработки и анализа данных ИЭ (*STATISTIKA* [6]). Совместное использование библиотек *LIB.RESHEN* и пакета прикладных программ *STATISTIKA* позволяет спланировать ИЭ, обработать результаты и принять решения согласно таким классическим критериям принятия решений, как критерии Вальда, Максвелла, Севиджа [5]. Библиотека генераторов внешней среды (*LIB.GENERT*) обладает стандартным набором законов распределений псевдослучайных чисел. Каждый из этих генераторов представляет собой процедуру, формирующую структуру транзактов TR_k и моделирующую выполнение технологических карт описания *ГТПП*.

Библиотека имитационных и аналитических подмоделей технологических операций и процессов (*LIB.IMITA*) включает «заготовки» подмоделей, из которых конструируется очередная структура ИМ ТПП или выбирается типовая структура $GTXO_j$ для задания очередных значений параметров $MTXO_{ij}$. В качестве среды имитации *ГТПП* или $GTXO_j$ используется технологическая оболочка СМ МІСІС. Квазипараллельное взаимодействие транзактов и процессов моделей ТПП реализуется УПМ СМ МІСІС. Информационное взаимодействие подсистем компонентов моделей *ГТПП* и $GTXO_j$ осуществляется с помощью ИБД комплекса.

4. Принципы формального представления ТПП

При описании ТПП необходимо отразить следующие аспекты динамики реализации TXO_i :

- взаимосвязь разных цепочек реализации TXO_i и различия в структурах вхождения в TXO_i последовательностей $\{MTXO_{ij}\}$;

- ограниченный состав и специализацию $MTXO_{ij}$ по узлам обработки ($УЗО_k$) этих операций;

- требуемое ресурсное обеспечение каждого $УЗО_k$ для реализации k -й группы $\{MTXO_{ijk}\}$;

- состав и структуру расположения в ТПП_h операций «расщепления» $RACH_{ij}$ и «объединения» $OBIE_{ij}$ изделий, обрабатываемых в ходе реализации ТПП_h.

Для реализации ТПП_h используется иерархическое представление TXO_i , транзактный способ передачи информации о составе TXO_i и описание алгоритмов ветвей TXO_i с помощью процессов, которыми можно управлять последовательностью сигналов «открыть», «закрыть», «прервать» выполнение алгоритма процесса в среде СМ МІСІС [5]. Алгоритмы обработки l -го изделия ($IZDEL_l$) в ТПП_h определяются технологической картой (TXK_l), которая формируется до начала стадии имитации ТПП_h и записывается в «теле» транзакта TR_l . Кроме того, в «теле» TR_l накапливается также статистика использования изделием ($IZDEL_l$) множества $\{УЗР_k\}$ за время жизни транзакта в ТПП_h ($T_{жсткlh}$). Все «тела» TR_l располагаются в ИБД ПТКИ ТПП в областях с установленными заранее адресами Q_l . Поэтому в ИМ ТПП от одной очереди к другой движется только заголовок TR_l , состоящий из «триады»: идентификатор транзакта (l), его приоритет (π_l) и адрес «тела» $TR_l(Q_l)$. Маршрут движения этой «триады» (l, π_l, Q_l) заранее запрограммирован в TXI_l .

Введены также понятия о следующих состояниях TR_l : нахождение TR_l в очереди к $УЗО_k$ (C_{1lk}); обработка изделия с помощью $MTXO_{ij}$ в l -м технологическом узле (C_{zlk}); выделение из TR_l на узле k параллельной ветви (C_{3lk}), при этом отображается операция «расщепления» TXO_i ; объединение основного TR_l с дополнительным TR_m

(C_{4lk}); «объединение» ветвей ТПП_h с помощью TXI_l отображает различные состояния обработки изделия. Каждому состоянию TR_l соответствует свой УЗО_k. Граф ($GRMI_l$) возможных маршрутов движения TR_l определяет алгоритм TXI_l , который может быть детерминированным (порядок смены УЗО_k неизменный), вероятностным (задаются матрицами вероятностей использования УЗО_{k+1} после выполнения $УЗР_k \parallel P_{kk+1} \parallel$) и смешанным.

Кроме описания технологии обработки l -го изделия в ТПП_h, задаваемого с помощью TXK_l , в ИМ ТПП необходимо отобразить динамику использования УЗО_k при реализации последовательности $\{TXO_i\}$ с учетом появления в этой последовательности операций «расщепления» и «объединения» ветвей ТПП_h. Для этого применяется механизм формирования из TR_l копий управляющих транзактов ($UTRI_{lk}$). При появлении в графе $GTXO_i$ $MTXO_{ij}$, требующих смены УЗО_k на УЗО_{k+1}, из TR_l рождается новый управляющий транзакт ($UTRI_{lk+1}$), который поступает в очередь к УЗО_{k+1} и существует в модели до завершения его обслуживания устройством УЗО_{k+1}. Таким образом, любое завершение обслуживания на УЗО_{k+1} формирует переход TR_l в новое состояние. Сами же операции обработки изделий реализуются во время обслуживания $UTRI_{lk}$ алгоритмом процесса УЗО_k.

Поскольку УЗО_k является базовым компонентом ИМ, то он параметризован и специализируется на обслуживании определенных групп $MTXO_{ij}$. Особенности алгоритма функционирования процессов УЗО_k являются: выбор очередного $UTRI_{lk}$ из общей очереди согласно приоритетам (π_l); формирование списка требуемых ресурсов

каждого типа для выполнения $MTXO_{ij}$ ($RES_{hk}; h = \overline{1, H_K}$); формирование списка требуемого состава оборудования каждого типа для выполнения $MTXO_{ij}$ ($OB_{mk}, m = \overline{1, M_k}$); определение затрат времени на реализацию $MTXO_{ij}$ (τ_{ijk}). Собственно реализация алгоритмов УЗО_k начинается только после "захвата" требуемого состава ресурсов $\{RES_{hk}\}$ и оборудования $\{OB_{mk}\}$. Имитация выполнения $MTXO_{ij}$ на УЗО_k сводится к временной задержке на УЗО_k управляющего транзакта $UTRI_{lk}$ на время τ_{ijk} . Далее в моменты активизации k -го устройства ($t_{ij} = t_0 + \tau_{ijk}$, здесь t_0 — модельное время) реализуется следующая последовательность действий: освобождение «захваченных» ресурсов и оборудования ТПП и формирование управляющих сигналов, поступающих на соответствующие устройства-имитаторы выполнения технологических операций, являющихся узлами $GTXO_i$ ($MTXO_{ij}$). Завершается операция обслуживания УЗО_k выбором из входной очереди следующего $UTRI_{lk+1}$ и весь цикл обслуживания уже нового управляющего транзакта повторяется аналогично обслуживанию предыдущего $UTRI_{lk}$.

Различаем три типа RES_{hk} : ресурсы, находящиеся в монопольном распоряжении УЗО_k во время выполнения $MTXO_{ij}$; одновременно используемые ресурсы нескольких УЗО_k и затем возвращаемые по окончании выполнения $MTXO_{ij}$; ресурсы, безвозмездно расходуемые на реализацию каждой $MTXO_{ij}$. К первому типу RES_{hk} относятся исполнители ($ISPO_{ij}$), технологическая оснастка рабочих узлов ($OSNA_{ij}$), стационарное оборудование ($STOB_{ij}$). Второй тип ресурсов составляют средства информационного обеспечения

($INFO_{ij}$). К третьему относятся материалы, комплектующие изделия (mt_{ij}), энергетические затраты (EN_{ij}), стоимость выполнения $MTXO_{ij}$ (CT_{ij}). В общем случае каждый ресурс характеризуется вектором параметров, количество и тип которых могут быть различными, и задается при описании $MTXO_{ij}$.

Язык описания $ТКИ_k$ ориентирован на верхний уровень представления $ТПП_h$ с помощью графа $ГТПП_h$. Связи между узлами $ГТПП_h$ детерминированы. Вероятностными могут быть только параметры расхода ресурсов $ТПП_h$ при реализации $MTXO_{ij}$ ($OB_{ij}, mt_{ij}, IS_{ij}, ST_{ij}, \tau_{ij}$), для задания которых необходимо знать вид и параметры соответствующих функций распределения.

Вторым уровнем описания $ТПП$ является представление динамики реализации TXO_i либо с помощью последовательности $\{MTXO_{ij}\}$, либо с помощью графов $GTXO_i$. Описание TXO_i с помощью $GTXO_i$ имеет следующие особенности. Одноуровневый вероятностный сетевой график с вероятностным характером использования ресурсов предполагает полумарковское развитие процесса их расхода. Кроме параметра время выполнения операции τ_{ij} в качестве аналогичного расхода можно рассматривать и другие ресурсы, такие, как стоимость операции (CT_{ij}) и затраты материалов, комплектующих изделий (mt_{ij}). По этим трем типам ресурсов сетевого графика TXO_i возможен поиск критического пути при вероятностном характере использования ресурсов $ТПП_h$ для выполнения операций $MTXO_{ij}$.

Полумарковский характер развития процесса следования друг за другом последовательностей $\{MTXO_{ij}\}$ ограничивается одним условием: в лю-

бом состоянии сетевого графика необходимо предусмотреть приход хотя бы одной детерминированной $MTXO_{ij}$. Таким образом, из любого сетевого графика состояния, отображающего алгоритм обработки изделий в $GTXO_i$, должны исходить как минимум одна детерминированная $MTXO_{ij}$ и любое количество «кустов» $MTXO_{ij}$ с заданными векторами вероятностей выполнения последующих $MTXO_{ij}$.

Итак, в ПТКИ ТПП реализован двухуровневый характер имитации $ТПП_h$: на нижнем уровне с помощью вероятностного графа представления технологических операций $GTXO_i$ описана технология реализации TXO_i , а на верхнем — отображаются в $ГТПП$ детерминированные алгоритмы следования TXO_i и специальные операции изменения структуры $ТПП$ «расщепления» и «объединения» последовательностей TXO_i .

5. Особенности технологии использования ПТКИ ТПП

Нижний уровень описания $ТПП$ с помощью $GTXO_i$ используется при проектном моделировании состава и структуры TXO_i . Верхний уровень описания $ТПП$ с помощью $ГТПП$ позволяет исследовать на ИМ $ТПП$ различные варианты организации $ТПП$. Рассмотрим особенности технологии использования ПТКИ $ТПП$ при выборе рациональной структуры технологических операций.

В графе $GTXO_i$ предполагается полумарковский процесс следования $MTXO_{ij}$. В качестве исходной информации задается:

- матрица вероятностей следования друг за другом $MTXO_{ij}$ ($\|P_{ijf}\|$);
- матрицы условных распределений ресурсов $ТПП$ времени, стоимости, комплектующих изделий и материалов: ($\|F_i(\tau_{ijf})\|, \|\bar{\Phi}_i(CT_{ijf})\|, \|H_i(mt_{ijf})\|$);

— идентификатор той $MTXO_{ij}$, с которой начинается реализация последовательности микротехнологических операций (j_{0i}) и количество элементов последовательности $\{MTXO_{ij}\}$ n_{0i} в TXO_i .

Вероятностный характер выбора $MTXO_{ij}$ и значений требуемых ресурсов приводит к необходимости использования метода Монте-Карло при расчете параметров сетевого графика, отображающего алгоритм реализации TXO_i . В итоге вероятностный $GTXO_i$ представляется последовательностью детерминированных сетевых графиков объемом N , параметры которых определяются по стандартным методикам (здесь N — количество реализаций $GTXO_i$ по методу Монте-Карло). Таким образом, автоматически формируются выборки объемом N всех параметров сетевого графика [3], по которым затем вычисляются их математические ожидания и дисперсии. Далее определяются критические значения времени выполнения, стоимости и затрат материалов на реализацию TXO_i , представленную вероятностным графом $GTXO_i$, которые также имеют вероятностный характер. Для остальных же видов ресурсов в каждой реализации $GTXO_i$ определяются их максимальные значения, требуемые при выполнении всех $MTXO_{ij}$. Затем определяются максимальные значения этих ресурсов во всех реализациях, которые и будут необходимы требованиями к составу ресурсов ТПП при имитации развития $GTXO_i$. После нахождения критического пути по любой из переменных (τ_{ij} , mt_{ij} и CT_{ij}) осуществляется имитация на сетевом графике уже с детерминированными переходами и фактическими значениями параметров $MTXO_{ij}$ при «захватах» и «освобождениях» соответствующих ресурсов ТПП.

Верхний уровень описания ТПП предполагает, что все TXO_i уже спроек-

тированы и для их выполнения заранее задан: состав исполнителей $\{SP_{0k}\}$ как по количеству, так и по квалифицированному составу; список распределяемого оборудования ТПП (OB_{0h}); средства информационного обеспечения ($SRIN_0$); общее количество материалов и комплектующих изделий (mt_{0l}); состав узлов обработки изделий, на которых реализуются $MTXO_{ij}$ ($УЗО_k$).

Целью исследования является определение пропускной способности вариантов ТПП и рациональных расходов ресурсов ТПП на реализацию $GTPPW_h$. Для этой цели определяются методом Монте-Карло математические ожидания и дисперсии времени жизни транзактов ($MT_{ЖTRKh}$, $DT_{ЖTRKh}$) k -го типа при имитации ТПП_h. Множества статистик ($MT_{ЖTRKh}$ и $DT_{ЖTRKh}$) определяют качество обработки изделий запланированным составом $\{TXO_i\}$ при заданных ресурсах ТПП_h и структуре рабочих площадей предприятия:

$$W_h = \sum_k 1 / MT_{ЖTRKh}.$$

В качестве статистик использования рабочих площадей предприятия применяются: множество коэффициентов загрузки узлов обработки $\{\eta_{УЗОl}\}$, длин очередей и времен ожидания управляющих транзактов в очередях к $УЗО_l$ ($l_{очУЗОl}$ и $t_{очУЗОl}$); множество коэффициентов использования оборудования, комплектующих изделий и состава исполнителей $\{\eta_{ОВК}$, η_{mtl} и $\eta_{ISr}\}$. Качество реализации технологических операций определяется следующим набором статистик моделирования: коэффициенты использования технологических операций $\{\eta_{mxojh}\}$ и времена ожидания TR_h в очередях $MTXO_{ihh}$ ($t_{очТОijh}$).

По этим статистикам по окончании h -го варианта организации TXO_i на предприятии формируется вектор

отклика Y_h , компонентами которого являются множества интегральных характеристик использования рабочих площадей $\{\eta_{y30fh}\}$, ресурсов ТПП $_h$ ($\{\eta_{OBLh}\}, \{\eta_{mth}\}, \{\eta_{iSrh}\}$), технологических операций $\{\eta_{TXOih}\}$, микротехнологических операций $\{\eta_{MTXOih}\}$, качество обслуживания запросов на обработку изделий $\{T_{ЖTRKh}\}$. Для последней группы откликов требуется минимизация их значений, в то время как для остальных необходимо стремиться к максимизации их значений. Поэтому для приведения всех компонентов к одному типу вместо $T_{ЖTRKh}$ в качестве откликов используются обратные величины. Вторым шагом преобразования этой части компонент вектора откликов является операция приведения их к одному масштабу изменения (на интервале $[0,1]$). Для этого проводится нормировка обратных величин $T_{ЖTRKh}$ максимальной величиной ($max_{kh}/T_{ЖTRKh}$). Далее ставится задача поиска такого состава ресурсов ТПП $_h$, который обеспечивал бы максимальное значение компонент вектора Y_h .

1. Гулятев А.К. MATLAB.5.2 — Имитационное моделирование в среде Windows: Практик. пособие. — С.-Пб.: КОРОНА принт, 1999. — 288 с.

2. Основы имитационного и статистического моделирования: Учеб. пособие / Ю.С. Харин, В.И. Малюгин, В.П. Кирилица и др. — Мн.: Дизайн ПРО. 1997. — 288 с.
3. Максимей И.В., Серегина В.С. Задачи и модели исследований операций. Ч.2: Методы нелинейного и стохастического программирования: Учеб. пособие. — Гомель: БелГУТ, 1999. — 103 с.
4. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1988. — 232 с.
5. Задачи и модели исследования операций. Ч.3: Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: Учеб. пособие / И.В. Максимей, В.Д. Левчук, С.П. Жогаль и др. — Гомель: БелГУТ, 1999. — 150 с.
6. Айвазян С.А. Программное обеспечение ПЭВМ по статистическому анализу данных // Заводская лаборатория. — 1991. — № 1. — С. 54 — 58.

Получено 25.05.02

Об авторах

Максимей Иван Васильевич,

доктор технических наук, профессор
кафедры МПУ ГГУ им. Ф. Скорины

Левчук Виктор Дмитриевич,

кандидат технических наук, доцент
кафедры МПУ ГГУ им. Ф. Скорины

Попова Елена Олеговна,

аспирант ГГУ им. Ф. Скорины

Поташенко Александр Михайлович,

ассистент кафедры АСОИТ ГГУ им.
Ф. Скорины

Место работы авторов:

Гомельский государственный университет им.
Ф. Скорины, Беларусь

Тел.: (0232) 56 4237