

УДК 681.3.05

Об одной методике моделирования процессов жизнеобеспечения в организме человека

И. Н. КРАВЧЕНЯ, А. В. ПИКУЛЬ

Введение

Проблеме исследования динамики функционирования систем жизнеобеспечения (СЖ) организма человека уделяется все возрастающее внимание. Известны успешные попытки математического моделирования различных сторон функционирования систем данного класса [1,2]. Как правило, используются аналитические или регрессионные модели, объясняющие многие процессы в организме человека (ОЧ). Но зачастую эти модели не обеспечивают необходимого уровня точности моделирования. Поэтому исследователи стремятся повышать уровень детализации моделируемых явлений и использовать при этом имитацию на ЭВМ реальных процессов. Однако имитация обычно требует больших затрат ресурсов ЭВМ и исследователи вынуждены прибегать к специальным средствам автоматизации имитационного эксперимента. При этом весьма существенно использовать средства имитационного эксперимента, обеспечивающие высокий уровень технологии разработки имитационных моделей (ИМ) функционирования СЖ организма человека и предметно-ориентированные на потребности практикующих врачей и работников здравоохранения. Это обстоятельство является причиной актуальности разработки метода и средств имитационного моделирования систем жизнеобеспечения организма человека. Такими системами в нашем исследовании выбраны пищеварительная система (ПИЩС) и дыхательная система (ДЫХС). Выбор в качестве базового примера ПИЩС и ДЫХС ОЧ обусловлен возможностью получения исходной информации и их наибольшей изученностью. Поэтому в качестве основной задачи исследований определена разработка метода и средств имитационного моделирования систем жизнеобеспечения организма человека на примере пищеварительной и дыхательной подсистем.

1. Формализация систем жизнеобеспечения организма человека

Общие правила составления содержательного описания сложных систем [2] модифицированы в соответствии с особенностями систем жизнеобеспечения организма человека и включают в себя рекомендации при: обосновании структуры и выбора состава компонент будущей модели ПИЩС и ДЫХС; декомпозиции подсистем на процессы; выделению видов связей; установлению целей имитационного моделирования; выдвижению гипотез; определению состояний ИМ ПИЩС и ДЫХС; составлению содержательного описания поведения компонент; установлению и стандартизации функций компонент ПИЩС и ДЫХС. В качестве основных предложены гипотезы: о наличии ресурсов у процессов и характере их изменения во времени на протяжении основного цикла их существования; об относительном характере величины этого ресурса в диапазоне $(0;1)$, уникальности этого ресурса для каждой компоненты ПИЩС и ДЫХС; об идеальном и фактическом расходах ресурса и появлении дефицита ресурса у компонент; об определяющем характере состояния компонент ПИЩС и ДЫХС как функции от остаточного ресурса k -й компоненты на момент времени t_0 и уровня активности компоненты в суточном цикле ее функционирования.

Выделены две базовые характеристики качества функционирования: минимальный ресурс всех компонент (θ_{i_0}) и запас ресурсных возможностей АКИС (Z_{i_0}) на момент времени t_0 .

Общие принципы формулировки концептуальной модели сложных систем [2] модифицированы исходя из особенностей ПИЦС и ДЫХС. При выделении определяющих факторов поведения ПИЦС и ДЫХС предложено использовать: графики изменения во времени ресурсов компонент, характеристики порога включения адаптационных и стабилизирующих циклов; параметры управления режимами моделирования функций процессов. При этом предлагаются правила: составления перспективного и ретроспективного прогноза поведения компонент ПИЦС и ДЫХС; формулировки целей моделирования, учитывающих задачи поиска узких мест в алгоритмах компонент ПИЦС и ДЫХС, нахождения несбалансированных компонент и поиска процессов с дефицитом ресурсов. Сформулированы основные правила выбора критериев качества функционирования СЖ, включающие в себя: порядок «свертки» векторных откликов в обобщенный скаляр качества СЖ, применение группы классических критериев выбора рациональных вариантов поведения ПИЦС и ДЫХС. Взаимодействие процессов ПИЦС и ДЫХС представляются в виде ветвящихся графов, узлами которых являются процессы, а дуги представляют возможные взаимодействия между процессами систем. Введено понятие о фазах функционирования во времени компонент жизнеобеспечения организма человека. Приведен состав параметров и переменных, требующих определения на этапе формулировки концептуальной модели ПИЦС и ДЫХС: параметры управления режимами моделирования функций процессов и их подсистем (X_i); множество задаваемых характеристик процессов $\{FRES_k(t)\}$, определяющих графики изменения во времени ресурсов процессов; статистики имитации (STIM); список возможных состояний процессов $\{C_{rk}\}$; статистики верификации (STVER); статистики проверки адекватности (STADKV) ИМ реального организма человека.

Общие принципы формализации сложных систем [2] модифицированы и дополнены в соответствии с особенностями систем жизнеобеспечения организма человека. Сюда входят: сочетание различных уровней детализации компонент ПИЦС и ДЫХС; уменьшение степени неопределенности поведения ПИЦС и ДЫХС за счет использования типовой модели внешней среды; многофазная и групповая обработка транзактов процессами; применение индикаторов при отражении косвенного взаимодействия между процессами. При составлении алгоритмов функционирования процессов жизнеобеспечения организма человека используется идея «детского конструктора», согласно которой алгоритм каждого процесса компонуется из набора стандартных и уникальных функций.

Поскольку формализация систем жизнеобеспечения ОЧ ориентирована на использование при построении имитационной модели в среде CM MICIS [2], то появляются дополнительные возможности формализации динамики взаимодействия их компонент. Такими возможностями являются сочетание в одном тексте ИМ декларативного и алгоритмического способов описания процессов; база данных как средство адресного распределения информации в ИМ; тактовый характер имитации в сочетании с расчетами по регрессионным уравнениям внутри такта, параметризуемость и размножаемость компонент ПИЦС и ДЫХС, многоканальное обслуживание транзактов процессами; генерация транзактов, управляющих алгоритмом обслуживания основного потока транзактов; возможность выбора направления движения транзактов, исходя из информации, заключенной в телах самих транзактов.

2. Идея метода построения имитационных моделей систем жизнеобеспечения организма человека

Метод имитационного моделирования систем жизнеобеспечения организма человека является расширением общей методики исследования сложных систем с помощью ИМ [2]. Дополнительно разработан принцип настройки универсальной ИМ процессов под конкретный ОЧ на этапе верификации ИМ ПИЦС и ДЫХС. В основе метода лежит многоуровневая параметризация компонент ИМ ПИЦС и ДЫХС и многоэтапный характер реализации и использования ИМ. Идея метода основана на использовании:

- предложенных правил составления содержательного описания, концептуальной модели и принципов формализации СЖ;
- новых подходов, связанных с построением ИМ с помощью формализованных технологических схем исследований;

– средств автоматизации основных этапов построения, испытания и исследования ИМ систем жизнеобеспечения организма человека, имеющихся в системе моделирования (СМ) МІСІС и дополнительно разработанных библиотек ИМ процессов ПИЩС и ДЫХС.

На *первом этапе* разрабатываются алгоритмы моделей компонент ПИЩС и ДЫХС на основе правил и принципов формализации и реализация этих алгоритмов с помощью средств СМ МІСІС с последующим составлением библиотеки элементов ИМ.

На *втором этапе* с помощью технологической оболочки СМ МІСІС из элементов разрабатывается конкретный вариант типовой ИМ ПИЩС и ДЫХС. При этом реализуются следующие операции: составление расписания поведения генераторов внешних воздействий на компоненты ПИЩС и ДЫХС, выделение функций изменения во времени ресурсов компонент, выделение циклов формирования патологических и дестабилизирующих связей, уточнение алгоритмов восстановления ресурсных возможностей процессов в подсистемах.

На *третьем этапе* осуществляется подготовка информации для верификации параметризованного варианта ИМ под уникальную ИМ организма человека. Сюда входит планирование и проведение натурального эксперимента для фиксации параметров и определения критериев проверки адекватности ИМ реальному организму человека.

На *четвертом этапе* реализуется методика верификации ИМ ПИЩС и ДЫХС. Проверяется: отсутствие тупиков алгоритмов обслуживания транзактов процессами; наличие неиспользуемых ветвей программ; появление неограниченного роста очередей транзактов к процессам.

На *пятом этапе* осуществляется испытание и исследование свойств ИМ, которые включает в себя процедуры: оценки точности имитации; проверки устойчивости алгоритмов имитации; анализа стационарности режима имитации; оценки чувствительности откликов к вариациям параметров ИМ систем жизнеобеспечения организма человека.

На *шестом этапе* выбирается состав задач для исследования; планируется имитационный эксперимент и выбираются средства обработки статистики имитации. Предложена методика анализа поведения компонент СЖ во времени, включающая в себя поиск: узких мест, несбалансированных процессов, процессов с дефицитом ресурсов.

3. Средства автоматизации построения ИМ систем жизнеобеспечения организма человека

В качестве средства автоматизации построения ИМ систем жизнеобеспечения организма человека разработан программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ), с помощью которого реализуется метод разработки, испытания и использования ИМ СЖ ОЧ [3, 4].

ПТКИ реализован на базе СМ МІСІС и включает в себя: управляющую программу моделирования, программы и процедуры технологической среды СМ МІСІС, вариант описания ИМ ПИЩС и ДЫХС ОЧ на языке СМ МІСІС; информационную базу данных комплекса (IBD COMP). В состав ПТКИ АКИС входят: библиотеки процедур функций (LIB.FUNK), из которых формируются алгоритмы процессов, имитирующих поведение органов пищеварительной и дыхательной систем; библиотеки процессов-имитаторов поведения органов и подсистем жизнеобеспечения (LIB.PROC_j); библиотека вариантов готовых имитационных моделей ПИЩС и ДЫХС ОЧ, которые получены из библиотеки типовых параметризованных ИМ ПИЩС и ДЫХС (LIB.MODEL) путем калибровки их под конкретный организм человека.

Библиотека подпрограмм анализа исходной информации LIB.ANAL включает в себя следующий набор подпрограмм формирования исходной информации о состоянии и поведении исследуемого ОЧ, обеспечивающих: формирование в ИБД файла FL₁, содержащего анкетную информацию (PP.ANKET); подготовку в файле FL₂ расписания, содержащего ин-

формацию о типовой структуре питания, частоте и способе употребления пищи, количестве и совместимости продуктов питания (PP.PITAN); формирование в файле FL₃ результатов лабораторных исследований объективных характеристик пищеварительной системы ОЧ (PP.LABOR); формирование в файле FL₄ набора записей диагностических заключений врачей о наличии патологии функционирования органов (PP.DIAGN);

В состав библиотеки LIB.ISPIM входят процедуры: оценки точности имитации (PR.TOCHN); оценки устойчивости режима имитации (PR.USTOI); определения чувствительности откликов к вариациям параметров ИМ ПИЦС и ДЫХС (PR.CHUVS); проверки стационарности режима имитации (PR.STACI).

В состав библиотеки процедур технологической оболочки СМ MICIC (LIB.TECNO) входят: библиотека процедур генерации случайных потоков по заданным вероятностям и функциям распределения (LIB.GENER); библиотека служебных утилит по управлению ходом имитационно экспериментальной среды СМ MICIC (LIB.UTIL); библиотека служебных функций доступа пользователей к модельной информации (LIB.FUNC); универсальная процедура калибровки ИМ (PR.KALIB); процедура верификации алгоритма модели (PR.VERIF); процедура проверки адекватности ИМ реальной системе (PR.ADEKV). Там же имеется возможность модификации состава и структуры ПТКИ за счет добавления новых процедур, подпрограмм и моделей подсистем жизнеобеспечения ОЧ.

Предметную часть ПТКИ составляет имитационная модель пищеварительной и дыхательной систем ОЧ. Функционирование каждого процесса (имитатора органов) моделируется взаимодействием приборов СМО, генераторов и поглотителей транзактов и системы очередей транзактов к приборам СМО. В ИМ отражены траектории обслуживания транзактов многофазными СМО, имитирующими: функционирование пищеварительного тракта, процесс желчеобразования и участия желчи и поджелудочного сока в пищеварительном процессе; процессы образования и вывода мочевины; процессы кровообращения и процессы дыхания [3, 4].

В заключение отметим специфику эксплуатации конкретных вариантов ИМ систем жизнеобеспечения организма человека, заключающуюся в том, что разные группы пользователей могут использовать одни и те же модели для различных задач анализа поведения систем жизнеобеспечения организма человека во времени.

Abstract. The method of simulation modeling of the processes in the human body is offered.

Литература

1. Кравченя И.Н., Левчук В.Д., Максимей И.В., Пикуль А.В., Седой В.П., Сукач Е.И. Программно-технологический комплекс исследования на ЭВМ динамики изменения ресурсов систем жизнеобеспечения человеческого организма, Известия ГГУ им. Ф. Скорины, 15, № 6 (2002), 31–35.
2. Задачи и модели исследования операций. Ч.3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений, Уч. пособие / И. В. Максимей, В. Д. Левчук, С. П. Жогаль, В. П. Подобедов, Гомель: БелГУТ, 1999.
3. Кравченя И.Н. Интеллектуальная база имитации и исследования процессов в организме человека, Электронное моделирование (март-апрель), 24, № 2 (2002), Киев, 106–112.
4. Кравченя И.Н., Максимей И.В., Пикуль А.В., Седой В.П. Имитационное моделирование основных процессов в человеческом организме, Кибернетика и вычислительная техника, № 134 (2002), Киев, 12–27.