

УДК 681.3

## Программно-технологический комплекс моделирования процессов дыхания человеческого организма

А.В. Пикуль

**Введение.** Прогресс средств вычислительной техники позволил приступить к моделированию работы организма как единой целостной системы.

Суть подхода состоит в автоматизации имитационного моделирования основных физиологических систем организма человека (ОЧ), с учетом их взаимодействия и влияния внешних факторов. Для этого был разработан программно-технологический комплекс (ПТК) моделирования процессов дыхания человеческого организма. Основное внимание при этом было уделено физическим процессам, происходящим в дыхательной системе, системе гемодинамики, системе сердца, мышечной системе, системе внутренних органов. Необходимость автоматизации имитационного моделирования именно этих систем связана с их взаимодействием при обеспечении жизненно важных функций организма: потребление организмом человека кислорода и выделение из организма углекислого газа (процессы дыхания). ПТК позволяет решать широкий набор теоретических и практических задач, стоящих перед современной физиологией и медициной.

Прежде всего, это задачи прогнозирования эффектов различных физиологических нагрузок на организм человека и задачи выявления механизмов разнообразных физиологических реакций. В данной области вычислительные эксперименты проще и дешевле натуральных экспериментов, позволяют исследовать реакции организма в более широком диапазоне внешних условий.

Целью настоящей работы является определение необходимых условий при создании ПТК моделирования; обоснование выбора физиологических систем при моделировании процессов дыхания ОЧ; разработка блок-схемы функционально-логических связей органов и систем ОЧ в ПТК моделирования процессов дыхания.

**Необходимые условия при создании ПТК моделирования.** Чтобы имитационные модели физиологических систем могли найти практическое применение, они должны удовлетворять некоторым условиям, которые можно назвать условиями полноты и замкнутости [2].

Полнота модели обозначает, что в нее включены по возможности все используемые в медицинской практике переменные, характеризующие потребность организма в кислороде и степень ее удовлетворения.

Замкнутость обозначает, что для каждой переменной, входящей в модель, создан замкнутый контур из систем и органов, образующих соответствующий субстрат, и из систем, утилизирующих или элиминирующих его. Замкнутость модели является необходимым условием того, чтобы построенная модель была автономной, то есть, чтобы задание условий внешней и внутренней среды однозначно определяло бы изменение всех переменных модели во времени.

**Обоснование выбора физиологических систем при моделировании процессов дыхания ОЧ.** Объектом моделирования являются процессы дыхания человеческого организма. Поступление воздуха в легкие (вдох) и удаление воздуха из легких (выдох) - это лишь внешние процессы дыхания. Процессы поступления кислорода и удаления углекислого газа происходят не последовательно, а одновременно. По своей сущности дыхание - совокупность иерархических сопряженных взаимодействующих циклических физических и химических процессов.

Дыхание можно разделить на три этапа.

- 1 этап. *Внешнее дыхание*: поступление воздуха, богатого кислородом, из атмосферы в легкие (вдох); проникновение кислорода из воздуха легких в кровь, где кислород «прикрепляется» к эритроцитам; переход углекислого газа из крови в воздух легких; удаление воздуха, насыщенного углекислым газом из легких в атмосферу (выдох).
- 2 этап. *Транспорт газов (кислорода ( $O_2$ ), двуокиси углерода ( $CO_2$ )) кровью*: перенос кислорода кровью к клеткам организма (кислород переносится эритроцитами); перенос кровью углекислого газа к легким (углекислый газ переносится эритроцитами).
- 3 этап. *Клеточное, или внутреннее, дыхание*: переход кислорода от эритроцитов крови в клетки; использование кислорода в клетках для реакций окисления; образование углекислого газа в клетках в результате реакций окисления веществ; переход углекислого газа из клеток в кровь, где он связывается с эритроцитами.

Таким образом, к системам организма, которые обеспечивают процессы дыхания, относятся: *система дыхания* (легкие и дыхательные пути), которая обеспечивает поступление атмосферного кислорода в легкие и удаление углекислого газа из легких в атмосферу; *система гемодинамики*, состоящая из *системы крови* обеспечивающей связь кислорода с гемоглобином или с углекислым газом для их транспортировки внутри организма, и *системы сосудов*, по которой кровь течет от легких к клеткам органов и от клеток органов обратно к легким; *система сердца* - без деятельности сердца невозможно было бы движение крови по сосудам; *нервная система*, которая управляет всеми функциями в организме, в том числе работой дыхательных мышц.

**Функционально-логические связи органов и систем ОЧ в ПТК моделирования процессов дыхания.** Блок-схема функционально-логических связей органов и систем ОЧ для ПТК моделирования процессов дыхания представлена на рисунке 1 [1].

Первый тип подмоделей представляет собой модели органов системы дыхания. Они моделируют процесс дыхания человека (поглощение кислорода и выделение углекислого газа легкими ЧО). В качестве моделей порций воздуха используются транзакты воздуха (ТВ), которые направляются от устройства, имитирующего работу носоглотки, к устройству, имитирующего работу легких и обратно. Синхронизация этапов обработки транзактов воздуха обеспечивается системой управляющих сигналов, вырабатываемых моделями этих органов.

Второй тип подмоделей включает в себя: модель сердца и модель системы гемодинамики. Данный набор подмоделей имитирует процесс переноса кислорода ко всем органам человека и вывод из них углекислого газа. Эта группа подмоделей (также как и первая группа) функционирует непрерывно в течение суточного цикла жизни ОЧ.

К третьему типу относятся модели подсистем, регулирующих физиологические процессы в организме человека: мышечной системе, системе внутренних органов и прочих систем (ПРОЧ). Они обеспечивают информационно-логическую связь всех компонентов ИМ ПТК.

Единая информационная база данных (ИБД) этих моделей является частью базы программно-технологического комплекса и служит для имитации процесса обеспечения кровеносной системой организма человека кислородом всех органов и подсистем. При этом проверяется баланс: поступления и расходования кислорода; вывода углекислого газа; расхода ресурсов органов ОЧ и имитации результатов воздействия оздоровительных процедур.

Для адаптации универсального ПТК под конкретного человека необходима его калибровка, которая, как правило, следует за верификацией алгоритма имитации в ПТК. Отметим, что в алгоритмах учтено наличие патологических и компенсаторных циклов взаимодействия органов и подсистем.

В качестве средства автоматизации построения ИМ физиологических систем организма человека был разработан ПТК, с помощью которого реализуется метод разработки, испытания и использования ИМ физиологических систем ОЧ, участвующих в процессах дыхания человека.

**Заключение.** ПТК моделирования процессов дыхания человеческого организма и технология его использования позволяют автоматизировать наиболее трудоемкие этапы разработки, верификации и эксплуатации ИМ систем ОЧ, обеспечивающих процессы дыхания, ускоряя сроки исследований. Технологическая оболочка ПТК и диалоговый характер взаи-

модействия пользователя с моделями и программами анализа анкетной информации, лабораторных данных и диагностических заключений не требуют от исследователя специальной подготовки по теории моделирования и программированию.

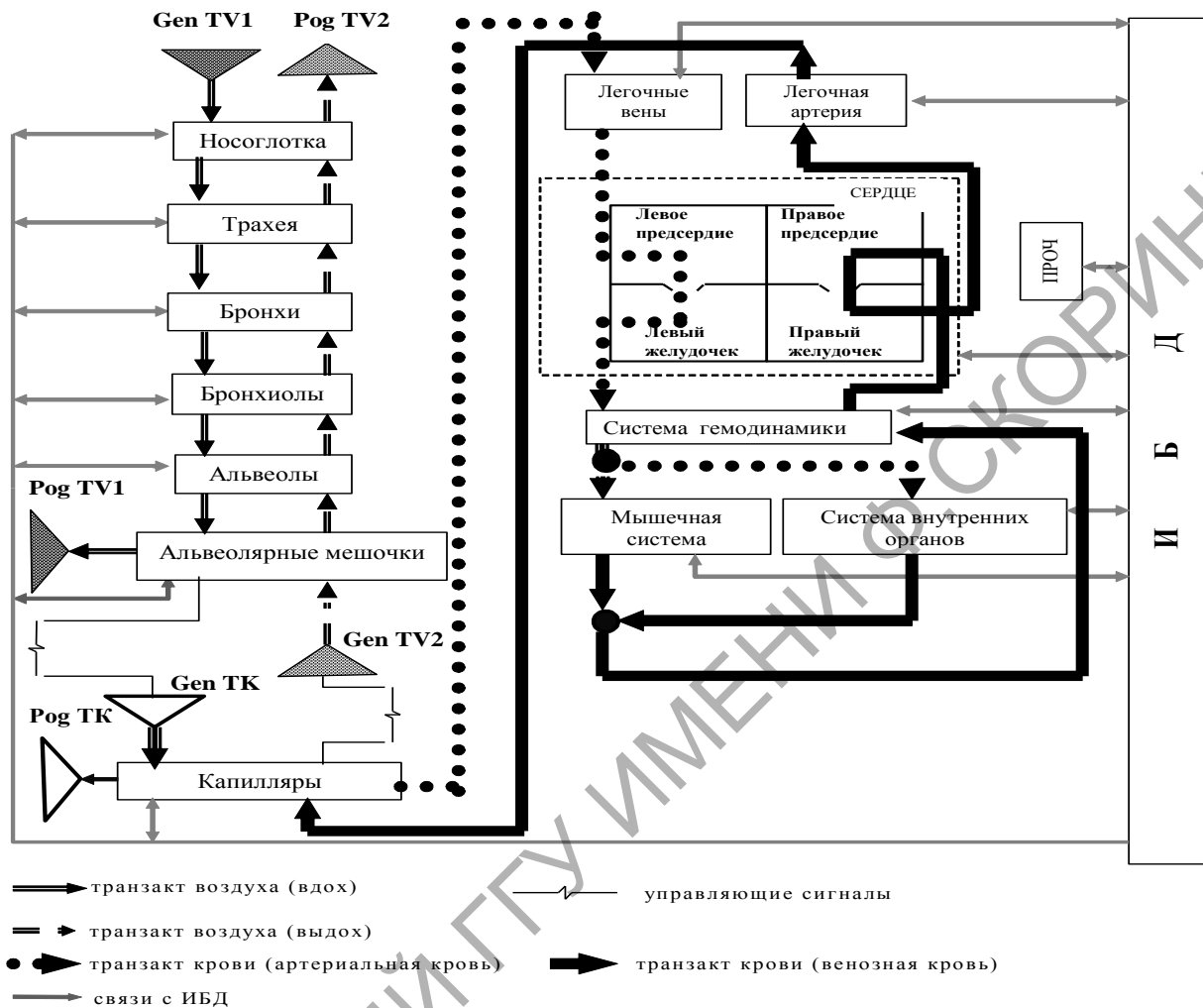


Рисунок 1 – Блок-схема функционально-логических связей органов и систем ОЧ для ПТК моделирования процессов дыхания

**Abstract.** The program technological complex of modeling the processes of breathing of a human body is presented in the paper.

### Литература

1. Пикуль А.В. Имитационное моделирование дыхательной системы человеческого организма // Известия ГГУ им. Ф.Скорины. – №5(32). –2005. – с. 60-62.
2. Шумаков В. И., Новосельцев В.Н., Сахаров М.П. и др. Моделирование физиологических систем организма. – М.: Медицина, 1971. – 346 с.