

УДК 004.5

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТИМУЛИРОВАНИЯ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОПЕРАТОРА СЧМ**

В.И. Дубинин, В.В. Сазонов

Канд. техн. наук В.И. Дубинин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Докт. физ.-мат. наук В.В. Сазонов (ФГБОУВО «Московский

государственный университет имени М.В. Ломоносова»)

В статье постановочно обосновывается целесообразность разработки компьютерных имитационных моделей, предназначенных для активирования психических процессов оператора (КИМ АППО) в системе «человек – машина» (СЧМ). Выделены операторские функции для варианта компьютерного интерфейса обмена в СЧМ. Предложен облик КИМ АППО. Для группы операторов приведены результаты тестирования их действий в среде КИМ АППО.

**Ключевые слова:** имитационная модель, функциональная система, операторская деятельность

**Simulation Model for Stimulating the Functional Systems of  
a Human – Machine System Operator. V.I. Dubinin, V.V. Sazonov**

The paper justifies in a scripted format the expediency of developing the computer simulation models, designed to activate the operator's mental processes (CSM OMPA) in a human – machine system. The operator's functions for the variant of the computer exchange interface in a human-machine system are distinguished. The image of CSM OMPA is proposed. For the group of operators, the results of testing their actions in the CSM OMPA environment are presented.

**Keywords:** simulation model, functional system, operator activity

Профессиональная деятельность оператора [1] современных СЧМ, к которой относится и деятельность космонавта, например, при выполнении динамических режимов управления космическим аппаратом или робототехнической системой в ходе космического полета или при выполнении тренировочных занятий, характеризуется широким разнообразием и сложностью задач, решаемых в условиях взаимодействия оператора и внешней среды посредством компьютерного интерфейса обмена (КИО). Деятельность операторов сложных систем с КИО следует рассматривать в полиэргатической системе «оператор – внешняя обстановка – управление» [2]. Совместно эти три компонента образуют контур функционирования СЧМ КИО. Целью функционирования СЧМ КИО является надежная и безопасная реализация целевых задач. Так как внешняя обстановка и отражающий ее состояние КИО характеризуются переменными параметрами среды, то оператор в контуре СЧМ КИО должен адаптировать свою деятельность, основываясь

на способности логического анализа поступающей информации, опережающего прогноза и изменения алгоритма действий. Считаем, что изменение обстановки в эргатическом процессе является событием, классифицируемым по признакам:

- новизны (ожидаемое и неожиданное);
- неопределенности времени появления события (детерминированное в последовательности и случайное);
- критичности ко времени реагирования (первоочередное и рутинное);
- степени влияния на процесс (значительное, слабое);
- возможных последствий (опасное и безопасное);
- связанности параллельных событий (взаимодействующие и невзаимодействующие).

События представляются оператору посредством КИО, воспринимаются его органами чувств и далее преобразовываются в действия также посредством КИО.

Согласно теории функциональных систем [3] в основе различных типов целенаправленного поведения человека лежит формирование *функциональной системы* – системы с обратной связью, ответственной за получение полезного результата, а целенаправленные поведенческие акты различной степени сложности складываются из следующих, последовательно сменяющих друг друга, стадий:

- афферентного синтеза (формирование готовности к поведению на основе интеграции мотивационного, пускового и обстановочного возбуждения механизмов памяти);
- принятия решения;
- акцептора результатов действия (формирование образов цели, программирующих результаты будущих событий);
- эфферентного синтеза (информация о результатах и параметрах совершаемого действия);
- формирования действия;
- оценки достигнутого результата.

Вариант графической интерпретации схемы влияния внешних воздействий (стимулов) и взаимодействия классов психических процессов, происходящих в ходе реагирования оператора на возникновение внешних стимулов, представлен на рис. 1.

Специфика деятельности оператора в контуре СЧМ КИО связана с приемом, обработкой, преобразованием информации и выдачей управляющих воздействий посредством КИО, при этом задействуются перцептивные, когнитивные, исполнительные и коммуникативные психические процессы и функции. Типовые психические функции, характерные для операторской деятельности, представлены в табл. 1 [4].

Таблица 1

## Типовые психические функции оператора СЧМ

Процесс	Деятельность	Функция
1. Перцептивный	1.1. Поиск и получение информации	1.1.1. Оценивать
		1.1.2. Наблюдать
		1.1.3. Считывать
		1.1.4. Контролировать
		1.1.5. Просматривать
		1.1.6. Обнаруживать
	1.2. Идентификация объектов, событий и действий	1.2.1. Идентифицировать
		1.2.2. Определять местоположение
2. Когнитивный	2.1. Обработка информации	2.1.1. Интерполировать
		2.1.2. Проверять
		2.1.3. Запоминать
	2.2. Решение задач и принятие решений	2.2.1. Подсчитывать
		2.2.2. Выбирать
		2.2.3. Сравнить
		2.2.4. Планировать
		2.2.5. Решать
		2.2.6. Диагностировать
		3. Двигательный
3.1.2. Удерживать		
3.1.3. Толкать/тянуть		
3.2. Сложная/непрерывная	3.2.1. Устанавливать	
	3.2.2. Регулировать	
	3.2.3. Печатать	
4. Коммуникативный		4.0.1. Отвечать
		4.0.2. Информировать
		4.0.3. Запрашивать
		4.0.4. Записывать
		4.0.5. Руководить
		4.0.6. Получать

Принимая формализацию рис. 1 и табл. 1 сформулируем обобщения:

– любое сколь угодно сложное операторское действие может быть представлено в виде композиции типовых функций;

– в самом общем случае возникновение внешнего стимула может привести к инициализации всех психических процессов, характерных для профессиональной деятельности оператора;

– условия труда оператора в контуре СЧМ КИО определяют непрерывный режим поступления/ожидания стимулов (заявок) на восприятие и обработку оператором характеристик внешней среды.



Рис. 1. Схема взаимодействия психических процессов оператора

Активный переход от классических СЧМ на основе специализированных АРМ-интерфейсов (автоматизированных рабочих мест) к СЧМ КИО, обеспечивающих более комфортные условия трудовой деятельности оператора, простоту модернизации функциональности и унификацию требований к оператору, определяет следующие задачи (не ограничиваясь ими), требующие решения:

а) разработка процедуры оценки сертификации космонавта как оператора СЧМ КИО;

б) разработка системы мониторинга здоровья операторов СЧМ КИО для объективной оценки степени готовности оператора к адекватному реагированию на изменения внешней среды и оптимальной организации режима его деятельности.

В приведенных условиях для решения обозначенных задач требуется разработать модель внешней среды. Многообразие областей применения СЧМ КИО и стохастический характер реализуемых процессов не позволяют разработать как аналитическую модель, так и экспериментировать с реальными объектами. В тоже время фактами являются:

- конечное множество психических процессов (функций), реализуемых оператором в ходе целевого реагирования на предъявляемые ему стимулы;
- конечное множество стимулов, реализуемых КИО;
- требование имитации функционирования СЧМ КИО во времени, что в совокупности определяет целесообразность разработки компьютерных имитационных моделей, как модели внешней среды, для КИМ АППО.

## Облик КИМ АППО

По виду моделирования КИМ АППО относится к дискретно-событийному имитационному моделированию, при котором непрерывность природы событий представляется их дискретной последовательностью. Дискретно-событийное имитационное моделирование наиболее приемлемо для моделирования производственных процессов или при работе в соответствии с заданным алгоритмом действий.

В качестве прототипа КИМ АППО по техническому заданию ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (требования сформированы в соответствии с источником [5]) для внешнего заказчика был разработан комплекс программно-аппаратной реализации имитационной модели оценки операторской деятельности (ПАРИМОД(п) 1.0), который реализовал вариант имитационной модели нагрузки функциональных систем оператора высокоскоростного подвижного объекта (на рис. 2 показаны внешние объекты и основные системные интерфейсы) со следующими функциональностями программного обеспечения:

- реализация генерирования внешних стимулов нагрузки (из конечного априори определенного множества стимулов) функциональных систем оператора, их предъявление и регистрация (протоколирование) параметров внешних стимулов нагрузки, регистрация (протоколирование) параметров процессов реагирования оператора на внешние стимулы нагрузки, прием (протоколирование) кардиоинтервалограммы (или пульсограммы) и регистрация (протоколирование) RR-интервалов;
- выбор, разработка и сохранение сценария занятия;
- сценарий занятия содержит последовательность стимулов;
- стимулы, в соответствии с реализуемым сценарием, предъявляются оператору в пространстве (анаглифическом или звуковом) и во времени случайно в соответствии с законами вероятностного распределения с назначаемыми параметрами и с учетом признака «родительских отношений» стимулов;
- расчет показателя компетенции;
- расчет показателя функционального состояния;
- визуализация показателя компетенции;
- визуализация показателя функционального состояния;
- визуализация параметров внешних стимулов нагрузки.

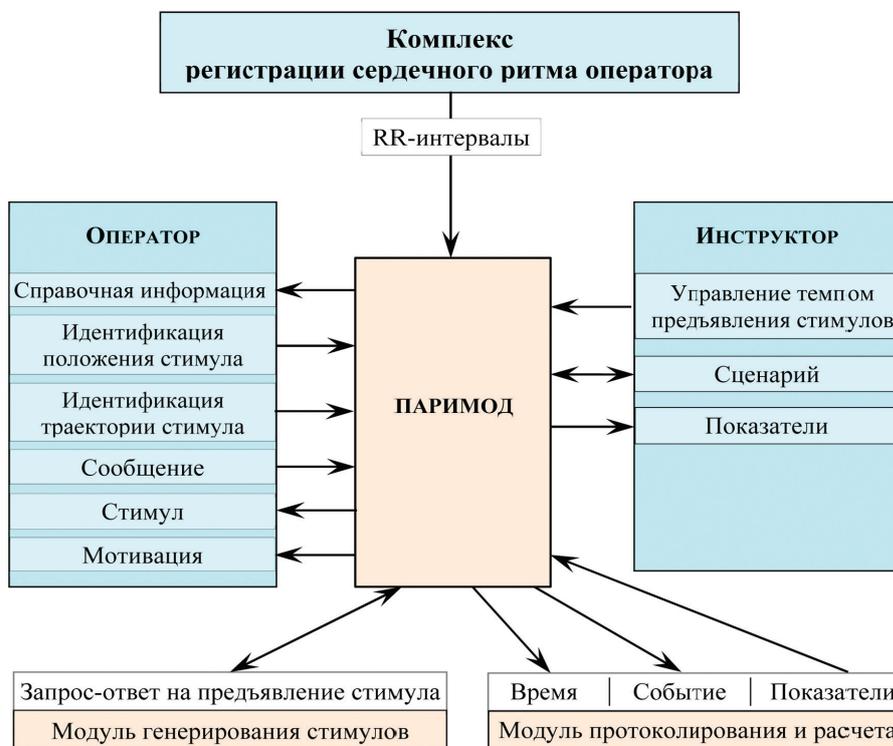


Рис. 2. Контекстная диаграмма ПАРИМОД(п) 1.0

## Экспериментальные исследования (ЭИ)

ЭИ выполнены в целях опытного подтверждения взаимосвязи нагрузки, предъявляемой оператору, и показателей variability сердечного ритма (ВСР) при выполнении оператором сценариев в контуре СЧМ КИО. ЭИ содержали два блока исследований:

- ЭИ-Т при выполнении *тренировок* на тренажере ТДК;
- ЭИ-И при выполнении *имитационных сценариев* в интерьере базового блока тренажера ОК «Мир».

Все сеансы исследований выполнены во второй половине дня, после отдыха, с участием группы операторов из четырех человек.

Формальное описание тренировок и имитационных сценариев для ЭИ включало декомпозицию на типовые операции, затем отнесение к типу – непрерывная и дискретная (малой длительности), определение общего числа и частоты выполнения типовых операций, выделение типовых психических функций (см. табл. 1) в типовых операциях учитывалось участие 18 физиологических систем организма (предложено Р.Р. Каспранским) в реализации типовых психических функций деятельности человека (см. табл. 2).

Таблица 2

## Участие физиологических систем организма в реализации типовых функций деятельности человека

Типовые психические функции (табл. 1)	Физиологические системы																	
	1	2	3	4	5	6	7	8.1	8.2	8.3	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	10	11
1.1.1. Оценивать								+			+	+	+	+	+	+		
1.1.2. Наблюдать								+		+	+	+						
1.1.3. Считывать								+		+	+	+						
1.1.4. Контролировать								+		+	+	+	+	+	+	+		
1.1.5. Просматривать								+			+							
1.1.6. Обнаруживать								+		+	+	+	+	+	+	+		
1.2.1. Идентифицировать								+	+		+	+	+	+	+	+		
1.2.2. Определять								+	+		+	+	+	+	+	+		
2.1.1. Интерполировать								+	+		+							
2.1.2. Проверять								+	+		+							
2.1.3. Запоминать								+	+		+							
2.2.1. Подсчитывать								+	+		+							
2.2.2. Выбирать								+	+		+							
2.2.3. Сравнивать								+	+		+							
2.2.4. Планировать								+	+		+							
2.2.5. Решать								+	+		+							
2.2.6. Диагностировать								+	+		+							
3.1.1. Двигать	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+					
3.1.2. Удерживать	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+				+	
3.1.3. Толкать/тянуть	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+					
3.2.1. Устанавливать	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+				+	
3.2.2. Регулировать	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+					
3.2.3. Печатать	+	+			+			+	+	+	+	+	+					
4.0.1. Отвечать		+		+	+			+	+			+						
4.0.2. Информировать		+		+	+			+	+			+						
4.0.3. Запрашивать		+		+	+			+	+			+						
4.0.4. Записывать		+						+	+		+	+						
4.0.5. Руководить					+			+			+	+						
4.0.6. Получать								+			+	+						

Примечание. Физиологические системы.

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Костная система                  | 8.3. Вегетативная нервная система          |
| 2. Мышечная система                 | 9.1. Органы чувств (зрение)                |
| 3. Пищеварительная система          | 9.2. Органы чувств (слух)                  |
| 4. Дыхательная система              | 9.3. Органы чувств (осязание)              |
| 5. Сердечно-сосудистая система      | 9.4. Органы чувств (обоняние)              |
| 6. Кровь и органы кроветворения     | 9.5. Органы чувств (вкус)                  |
| 7. Органы внутренней секреции       | 9.6. Органы чувств (вестибулярный аппарат) |
| 8.1. Центральная нервная система    | 10. Выделительная система                  |
| 8.2. Периферическая нервная система | 11. Репродуктивная система                 |

В качестве расчетных характеристик реализации тренировок и имитационных сценариев использовалась:

а) априорная информационная тара [6] тренировок (имитационных сценариев):

$$u(\tau) = \frac{H_{\text{опер}}(\tau) + \sum H_{\text{ншс}}(\tau)}{\tau_{\text{расп}}}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – момент времени по циклограмме тренировки;

$u(\tau)$  – интенсивность потока информации, обрабатываемой оператором в момент  $\tau$  с учетом наложения штатных операций и нештатных ситуаций;

$H_{\text{опер}}(\tau)$  – интенсивность потока информации, обрабатываемой оператором в момент при выполнении штатной операции;

$H_{\text{ншс}}(\tau)$  – интенсивность потока информации, обрабатываемой оператором в момент при выполнении нештатной ситуации;

$\tau_{\text{расп}}$  – располагаемое время для реализации задачи;

б) апостериорная стоимость напряженности тренировок (имитационных сценариев):

$$\widehat{P}_{\text{ИН}} = \frac{1}{\sum_i^K \tau_i^{\text{ИН}}} \cdot \left( \sum_i^K \text{ИН}_i^* \cdot \tau_i^{\text{ИН}} - \frac{1}{K} \cdot \sum_i^K \text{ИН}_i^* \cdot \sum_i^K \tau_i^{\text{ИН}} \right), \quad (2)$$

где  $\widehat{P}_{\text{ИН}}$  – оценка стоимости напряженности тренировок;

$K$  – мощность выборки независимых последовательных измерений  $\text{ИН}_{400}$  (индекс Баевского, рассчитанный для длительности 400 последовательных кардиоинтервалов);

$\tau_i^{\text{ИН}}$  –  $i$ -й интервал времени накопления 400 кардиоинтервалов;

$\text{ИН}_i^*$  –  $i$ -е независимое последовательное измерение  $\text{ИН}_{400}$ ;

Геометрический смысл зависимости по формуле (2) отражает оценку величины площади под экспериментальным графиком  $\text{ИН}^*(t)$  без вклада среднего значения индекса и отнесенную к длительности интервала наблюдения.

Цикл исследований ЭИ-Т проведен для двух экипажей (операторы 1, 2 и операторы 3, 4), выполнивших по две тренировки (тренировка 1 – «Выведение» и тренировка 4 – «Срочный спуск»). Оценивались характеристики тренировок экипажа «операторы 1, 2». Декомпозицию тренировок выполнил А.Р. Бикмучев.

Цикл исследований ЭИ-И выполнен для двух сценариев и анализировались характеристики их выполнения двумя операторами. Схема реализации психических процессов оператора в имитационной среде представлена на рис. 3. Декомпозиция (по типовым психическим функциям) действий оператора при реагировании на стимулы представлена в табл. 3. Общее количество элементов, генерируемых для сценариев из алфавита стимулов, составляло число 61 153.

Таблица 3

Декомпозиция (по типовым функциям) действий оператора  
при реагировании на стимулы программно-аппаратного комплекса  
имитационного моделирования

Типовые психические функции (табл. 1)	Объект имитационной модели (имитационный стимул)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1.1. Оценивать	+						+	+	
1.1.2. Наблюдать	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.1.3. Считывать					+		+	+	+
1.1.4. Контролировать		+	+	+	+	+	+	+	
1.1.5. Просматривать				+				+	
1.1.6. Обнаруживать	+	+	+		+	+	+	+	
1.2.1. Идентифицировать			+				+		+
1.2.2. Определять	+	+	+	+	+	+		+	+
2.1.1. Интерполировать			+	+		+			
2.1.2. Проверять	+	+		+	+			+	+
2.1.3. Запоминать	+	+			+		+		+
2.2.1. Подсчитывать		+			+		+		
2.2.2. Выбирать	+		+					+	+
2.2.3. Сравнить	+						+		+
2.2.4. Планировать		+	+	+	+	+	+	+	+
2.2.5. Решать	+	+	+				+	+	+
2.2.6. Диагностировать			+	+					+
3.1.1. Двигать	+	+	+	+	+	+			+
3.1.2. Удерживать			+	+		+			
3.1.3. Толкать/тянуть									
3.2.1. Устанавливать					+				
3.2.2. Регулировать									
3.2.3. Печатать	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4.0.1. Отвечать	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4.0.2. Информировать					+		+	+	
4.0.3. Запрашивать									
4.0.4. Записывать					+		+	+	
4.0.5. Руководить									
4.0.6. Получать	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Имитационный стимул.

- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Эллипс                    | 6. Группа точек в движении      |
| 2. Множество многоугольников | 7. Мерцающие отметки в движении |
| 3. Многоугольник (движение)  | 8. Бегущая строка               |
| 4. Группа точечных отметок   | 9. Звуковой сигнал              |
| 5. Мерцающая отметка         |                                 |

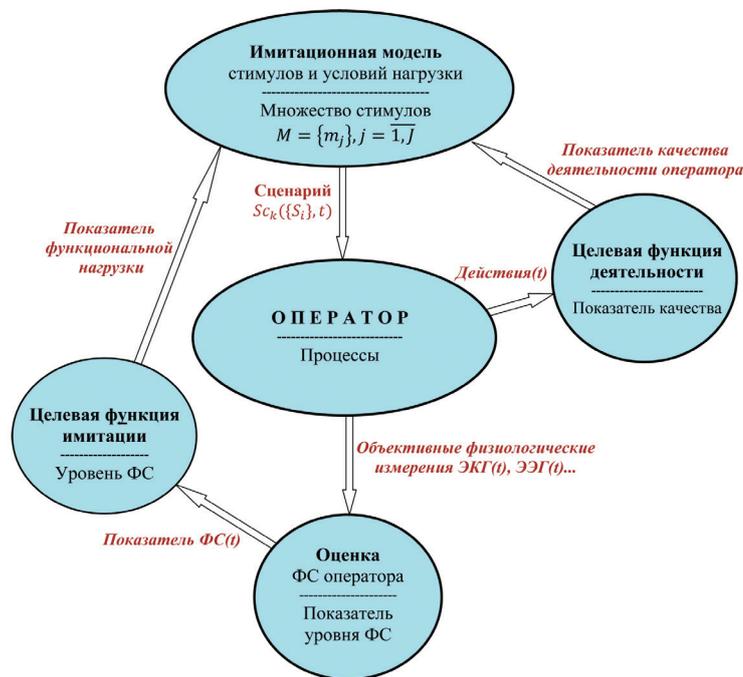


Рис. 3. Схема реализации психических процессов оператора в имитационной среде

На рис. 4 и 5 иллюстрируется подобие участия физиологических систем организма в реализации как тренировок, так и имитационных сценариев. Расчетные характеристики реализации тренировок и имитационных сценариев приведены в табл. 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

Априорные и апостериорные характеристики тренировок 1, 4

Показатели	Тренировка	Оператор 1	Оператор 2
Априорная информационная тара событий $u(\tau)$ , $c^{-1}$	1	12,49	
	4	16,81	
Апостериорная стоимость напряженности тренировок $P_{ин} / IN_{среднее}$	1	2,01/30,72	2,25/59,81
	4	2,24/39,31	3,34/61,27
Количество штрафных баллов экипажа	1	26	
	4	7	

Увеличение интенсивности потоков информации, предъявляемой для обработки оператору СЧМ, ведет к увеличению физиологической стоимости напряженности его деятельности.

Величины физиологической стоимости напряженности деятельности оператора СЧМ и их вариабельность носят индивидуальный характер.

Таблица 5

Априорные и апостериорные характеристики имитаций 1, 2

Показатели	Имитация	Оператор 1	Оператор 2
Априорная информационная тара событий $u(\tau)$ , $c^{-1}$	1	69,88	
	2	72,67	
Апостериорная стоимость напряженности сценариев $P_{ин} / IN_{среднее}$	1	89,43/81,97	68,21/70,11
	2	110,81/121,57	31,16/38,16
Количество штрафных баллов операторов	1	44,38	46,86
	2	39,67	57,73

Имитационные сценарии, исследованные в работе, обладают априорными и апостериорными характеристиками, превышающими в полтора порядка соответствующие характеристики деятельности оператора СЧМ.



Рис. 4. Диаграмма участия физиологических систем организма в реализации функций тренировок 1, 4 операторами 1–4

Следует отметить, что в реализованной постановке ЭИ наблюдаются высокие значения подобия участия физиологических систем организма операторов при выполнении тренировок и имитационных сценариев (см. табл. 6). Для оценки подобия использовалось выражение линейного коэффициента корреляции для нормированных (относительно значения числа активации центральной нервной системы) показателей физиологических систем (см. рис. 4, 5). Формула (3) приведена для сравнения пары «Тренировка 1 и Имитационный Сценарий 1»

$$K_{\text{под}}^{\text{ТР}_1/\text{ИМ}_1} = \frac{\sum_{k=1,18} \widetilde{\text{НФС}}_k^{\text{ТР}_1} \cdot \widetilde{\text{НФС}}_k^{\text{ИМ}_1}}{\sqrt{\sum_{k=1,18} (\widetilde{\text{НФС}}_k^{\text{ТР}_1})^2 \cdot \sum_{k=1,18} (\widetilde{\text{НФС}}_k^{\text{ИМ}_1})^2}}, \quad (3)$$

где  $\widetilde{\text{НФС}}_k^{\text{ТР}_1}$  – центрированный нормированный показатель числа активаций  $k$ -й функциональной системы за период Тренировки 1.

Таблица 6

Коэффициенты подобия участия физиологических систем организма при выполнении операторских действий

	Тренировка 1 оператор 1	Тренировка 1 оператор 2	Тренировка 4 оператор 1	Тренировка 4 оператор 2	Имитация 1	Имитация 2
Тренировка 1 оператор 1	1	0,9895	0,9927	0,9922	0,9607	0,9621
Тренировка 1 оператор 2		1	0,9855	0,9968	0,9804	0,9815
Тренировка 4 оператор 1			1	0,9912	0,9581	0,9599
Тренировка 4 оператор 2				1	0,9670	0,9685
Имитация 1					1	0,9999
Имитация 2						1



Рис. 5. Диаграмма участия физиологических систем организма в реализации имитационных сценариев 1, 2

## Выводы

Проведенные ЭИ показали, что системами организма космонавта, как оператора СЧМ, подвергающимися максимальной нагрузке, являются: центральная нервная система, вегетативная нервная система, органы чувств (зрение). Участие физиологических систем организма в процессе деятельности космонавта на тренажере ТДК и оператора разработанных имитационных моделей пропорционально близки, следовательно, можно предположить, что пропорциональность будет сохраняться как с деятельностью космонавтов на тренажерах орбитальных пилотируемых станций, так и при эксплуатации пилотируемых космических комплексов.

Результаты ЭИ позволяют сделать выводы в отношении возможности моделирования нагрузки оператора СЧМ КИО с использованием имитационных моделей и сценариев, содержащих стимулы, действие которых на системы организма должно быть пропорционально нагрузке на системы организма при целевой деятельности космонавтов.

Использование показателей ВСР как комплексного параметра, характеризующего индивидуальные операторские качества в СЧМ КИО, оправдано, однако настройка процедур оценки должна выполняться с учетом особенностей деятельности [7] и требует дальнейших исследований.

При проведении ЭИ предполагалось, что удастся сформировать сценарий адекватной нагрузки, реализация которого космонавтом, как оператора имитационной модели позволит за короткое время выполнить стимулирование его психических процессов подобно стимулированию при выполнении более длительной целевой операции космонавтом–оператором СЧМ КИО. Указанное требует разработки модели процессов активирования и торможения активности функциональных систем, что является предметом дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Методические подходы к диагностике и оптимизации функционального состояния специалистов операторского профиля / И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов, Л.А. Гридин, Ю.А. Кукушкин. – Москва: Медицина, 2004. – 136 с.
- [2] Сохин, И.Г. Формализация понятия компетентность космонавта в целях количественной оценки состояния его подготовленности к деятельности в нештатных ситуациях. Материалы 46-х научных чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 2011. – С. 272–273.
- [3] Системные механизмы поведения / К.В. Судаков, М. Баич, Б.В. Журавлев [и др.]; под ред. К.В. Судакова, М. Баича. – Москва: Медицина, 1990. – С. 9–39.
- [4] Человеческий фактор: В 6 т. Т. 4: Эргономическое проектирование деятельности и систем / Дж. О'Брайен, Х. Ван Котт, Дж. Векер [и др.]; под ред. Г. Салвенди; пер. Н.В. Васин, С.В. Волков, И.А. Мещерякова [и др.]. Москва: Мир, 1991. – 496 с.
- [5] Вигерс, К. Разработка требований к программному обеспечению. – Москва: Русская редакция, 2004. – 576 с.

- [6] Сохин, И.Г. Адаптивное управление тренажерной подготовкой космонавтов в интересах гарантированного обеспечения безопасности космических полетов: Сб. трудов конференции «XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014», Москва, 1619 июля 2014. – Москва: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 9131–9139.
- [7] Исследование психофизиологической реакции пассажиров скоростных поездов с различным уровнем комфорта / Е.Ю. Берсенов, В.И. Дубинин, В.М. Ермаков, А.И. Кирпичева // Гигиена и санитария. – 2021. – № 100(4). – С. 318–326. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-318-326

## REFERENCES

- [1] Methodical Approaches to the Diagnostics and Optimization of Functional Status of Professional Operators / I.B. Ushakov, A.V. Bogomolov, L.A. Gridin, Yu.A. Kukushkin – Moscow: Medicine, 2004. – 136 p.
- [2] Sokhin, I.G. Formalization of the “Cosmonaut Competence” Notion for Quantitative Evaluation of his Preparedness for Activity in Emergency Situations. Proceedings of the 46th Scientific Readings in Memory of K.E. Tsiolkovsky, Kaluga, 2011. – P. 272–273.
- [3] General Principles for Constructing Behavioral Acts on the Basis of the Theory Functional Systems // Systemic Mechanisms of Behavior / K.V. Sudakov, M. Babich, B.V. Zhuravlev [et al.]; ed. by K.V. Sudakov, M. Baich. Moscow; Medicine, 1990. – P. 9–39.
- [4] Human Factor: in 6 vol. Vol. 4: Ergonomic Design of Activities and Systems / J. O’Brien, H. Van Cott, J. Veker [et al.]; ed. by G. Salvendi; Trans. N.V. Vasin, S.V. Volkov, I.A. Meshcheryakova [et al.]. Moscow: Mir, 1991. – 496 p.
- [5] Vigers, K. Development of Requirements for Software. – Moscow: Russian Version, 2004. – 576 p.
- [6] Sokhin, I.G. Adaptive Management of Simulator Training of Astronauts in the Interests of Guaranteed Safety of Space Flights: Proceedings of the Conference “XII All-Russian Meeting on Management Problems of VSPU-2014”, Moscow, July 16–19, 2014. – Moscow: V.A. Trapeznikov IPU of the Russian Academy of Sciences, 2014. – P. 9131–9139.
- [7] Study of the Psychophysiological Reaction of Passengers of Highspeed Trains with Different Levels of Comfort / E.Yu. Bersenev, V.I. Dubinin, V.M. Ermakov, A.I. Kirpichova // Hygiene and Sanitation. – 2021. – 100(4). – P. 318–326. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-318-326