

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Коваленко Анатолия Александровича «Моделирование многостадийных управляемых стохастических продуктивных систем», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

### **1. Актуальность темы и соответствие паспорту специальности**

В последнее время интенсивно развиваются математические методы для анализа и моделирования продуктивных систем как формы организации современных и высокотехнологичных процессов в самых различных областях. Так, системы «точно-в-срок», которые являются наиболее востребованным случаем многостадийных продуктивных структур, развиваются и используются в современном промышленном и сельскохозяйственном производстве, при организации систем обучения и тренировок, в схемах лечения, при программировании и во многих других областях. При этом насущной является необходимость математического моделирования таких систем, как для анализа их характеристик в прикладных областях, так и для задач оптимального управления продуктивными структурами. Существенными особенностями, определяющими специфику моделей, являются многостадийность выполнения операций в продуктивных системах и случайные воздействия на эти системы. Несмотря на большое число работ в этой области, большинство моделей не учитывает необходимости описаний в терминах случайных процессов, а модели, в которых решаются задачи управления, вообще до настоящего времени опираются на детерминистское описание логистических задач (т. е. для очень узкого частного случая систем «точно-в-срок»).

Поэтому не вызывает сомнений актуальность темы диссертации А. А. Коваленко, в которой разрабатываются и исследуются математические и компьютерные имитационные модели многостадийных управляемых стохастических продуктивных систем.

Существенно также и то, что в диссертации развивается универсальный подход при описании многостадийных стохастических продуктивных систем. В частности, рассматривается аналогия между процессами выполнения операций в технических системах и явлениями многостадийного онтогенеза и старения живых организмов, что позволяет говорить о едином математическом подходе при моделировании в достаточно широких областях.

Работа по затронутой тематике и используемым методам соответствует специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». В частности, следующим пунктам паспорта (при преобладании математических методов в качестве аппарата исследований и при получении результатов в виде новых математических методов, вычислительных алгоритмов и новых закономерностей, характеризующих изучаемые объекты).

1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений.

4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

8. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования.

## **2. Структура и объём**

Общий **объём** диссертационной работы составляет 121 страницу, включая введение, четыре главы, выводы и заключения, список литературы (108 наименований отечественных и зарубежных источников) и двух приложений. Объём основного текста составляет 116 страниц.

Во **введении** приводится обоснование актуальности темы диссертации, формулируются цель и задачи работы, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимости выполненных исследований и даны основные положения, выносимые на защиту, определены методы исследования. Также здесь представлено краткое содержание работы.

В **первой главе** определены и раскрыты проблемы моделирования многостадийных стохастических продуктивных систем. Приведен обзор и представлено описание объекта моделирования. В главе осуществляется

разработка в терминах точечных процессов общей математической модели и основного класса продуктивных систем – «точно-в-срок». Представлен метод обратного времени для анализа однородных процессов, на основе которого найдены числовые характеристики в моделях таких систем (а именно, определены первые и вторые моменты). Здесь разработана математическая модель процессов выполнения операций в случайных средах, представляющих собой наборы случайных коэффициентов, которые определяют интенсивности процессов выполнения операций. Для этой модели сформулированы и доказаны две теоремы о необходимых и достаточных условиях для выполнения условия «точно-в-срок».

Во **второй главе** разработаны и исследованы три модели управляемых продуктивных систем для случаев нарушения однородности выполнения операций (как «точно-в-срок», так и с частичным отклонением от этого условия). Сформулированы и доказаны три теоремы об оптимальном управлении процессами выполнения операций в многостадийных продуктивных системах.

В **третьей главе** построен ряд математических моделей процессов износа в виде многостадийного продуктивного процесса (износ трактуется как явление старения для живых систем). Модели представлены как системами диффузионных уравнений отрицательными связями интегрального типа, так и математическими описаниями на основе точечных процессов при диффузионных возмущениях. Здесь показаны результаты компьютерного моделирования в форме кривых смертности и дожития со стадиями онтогенеза, соответствующими классификации ВОЗ. В главе кратко указаны близкие теоретические и прикладные задачи математического моделирования таких многостадийных процессов в биологических системах при старении, которые допускают описания в терминах точечных считающих процессов.

В **четвертой главе** показаны особенности численных методов, используемых для разработки имитационных компьютерных моделей процессов с неограниченно возрастающими интенсивностями. Также описана процедура построения дискретной модели для непрерывных систем с износом при диффузионных возмущениях.

В **выводах и заключении** кратко приводятся основные результаты диссертационной работы. Следует отметить, что подробно изложенные выводы распределены по тексту диссертации в параграфах выводов, которыми завершается каждая глава.

### **3. Новизна проведённых исследований и полученных результатов**

В диссертационной работе разработан и исследован новый метод математического описания многостадийных стохастических продуктивных систем и построения математических моделей на этой основе. Новизна заключается в возможностях как рассмотрения многостадийных стохастических процессов выполнения операций, так и оптимального управления соответствующими продуктивными системами. В частности, в диссертации разработан ряд новых математических моделей многостадийных продуктивных систем в терминах считающих процессов. В том числе для систем «точно-в-срок», систем в случайных средах и для управляемых неоднородных систем. Также здесь сформулированы и доказаны новые теоремы об условиях выполнения свойства «точно-в-срок» для достаточно общей модели систем в случайных средах. Следует отметить новые теоремы об оптимальном управлении распределением этапов выполнения операций для систем с нарушением однородности многостадийных процессов «точно-в-срок». Новой также является теорема об оптимальной интенсивности продуктивной системы при нарушении условия «точно-в-срок». Новыми и обобщающими явления многостадийности при случайных возмущениях оказались модели процессов в системах с износом в терминах точечных процессов с возмущением диффузионного типа. Также оригинальным является комплекс программ на основе численных методов, модифицированных для процессов «точно-в-срок».

### **4. Степень обоснованности и достоверности полученных положений, выводов и заключений**

Достоверность результатов диссертационной работы обоснована корректностью постановок задач, строгостью математических формулировок и доказательств теорем и вспомогательных утверждений, использованием современных методов для построения алгоритмов, при программировании и

компьютерном моделировании, при применении и развитии современных численных методов, а также актуальных методов установления адекватности.

### **5. Публикация и апробация материалов диссертации**

Основные результаты диссертации опубликованы в 15 научных работах, в том числе 7 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК (включая 1 статью, индексируемую Web of Science). Результаты диссертационной работы и выносимые на защиту положения прошли апробацию на четырех международных конференциях, посвященных математическому моделированию.

### **6. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики**

Теоретической значимостью обладают математические модели, разработанные для многостадийных стохастических продуктивных систем, которые позволяют анализировать их поведение, формулировать и решать задачи оптимального управления и проводить анализ и режимов «точно-в-срок», как аналитическими методами, так и на основе численных методов для их программных реализаций. Практическая значимость работы заключается в том, что оказываются возможными применения в производстве и при разработке конструкторской и технологической документации в системах, а также при организации иных оптимальных управляемых систем «точно-в-срок». Также практическая значимость обосновывается возможностями использования разработанных моделей при анализе экспериментальных данных в моделях износа и старения, при использовании комплекса программ для задач имитационного моделирования многостадийных продуктивных систем.

### **7. Оформление диссертации**

Диссертация оформлена в соответствии с правилами ВАК. Работа написана понятным языком и математически грамотно. Текст легко читается. Обозначения в формулах достаточно ясно раскрыты. Доказательства сделаны аккуратно, математические выкладки подробны. Материал диссертации изложен последовательно, выводы (как по главам, так и заключительные) ясны и обоснованы.

## 8. Замечания

1. В первой и второй главе текст воспринимался бы легче, если бы было приведено большее количество наглядных примеров (как для систем «точно-в-срок», так и для продуктивных систем, в которых такие режимы невозможны). Желательно, чтобы было больше примеров с экспериментальными данными, как в примере об артериальном давлении на стр. 91.
2. На стр. 21 диссертации при описании общей модели следовало указать, что процесс возвращений  $A$ , хотя и является точечным, но лишь в обобщенном смысле, поскольку его скачки могут быть не только единичными, а произвольным натуральным числом, т. е. процесс не является считающим.
3. Пример, проиллюстрированный на Рисунке 1, был бы понятнее, если бы конкретный вид процесса возвращений был представлен в тексте подробнее. Кроме того, рисунок расположен на 23 стр., а подпись к нему – на 24 стр.
4. Изредка встречаются описки в формулах. Например, на стр. 19 диссертации в Определении 4 написано  $F_{\tau}(t) = 0$  вместо  $F_{\tau}(t) = 1$ , а в Определении 5 написано  $F_{\tau}(t) = 0$  вместо  $F(t) = 1$ .
5. В диссертации и автореферате имеется несколько стилистических огрехов (например, на стр. 18 диссертации «для удобства ...формулировок сформулируем...»), а на стр. 5 автореферата «...в работе разработана...»).

## 9. Заключение

Отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы. На основании анализа работы можно заключить, что цель работы достигнута, а сформулированные задачи решены. Работа полностью соответствует специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Содержание диссертации достаточно полно отражено в автореферате. Диссертационная работа Коваленко Анатолия Александровича «Моделирование многостадийных управляемых стохастических продуктивных систем» является завершенным научным исследованием, выполненным современными методами, и представляет собой самостоятельную законченную квалификационную работу. В диссертации получены новые актуальные результаты, имеющие большую теоретическую

и практическую значимость. Считаю, что диссертационная работа «Моделирование многостадийных управляемых стохастических продуктивных систем», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук соответствует пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный  
технический университет»,  
кафедра прикладной математика и информатики,  
заведующий кафедрой,

д. т. н., к.ф.-м.н., профессор

05.11.19

Крашенинников В.Р.

Шифры специальностей, по которым защищены диссертации  
Крашенинникова. В.Р.:

К.ф.-м.н.: 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая  
кибернетика»

Д.т.н.: 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация»

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный  
технический университет»

432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

Интернет-сайт: <http://www.ulstu.ru/>

Телефон: 8 (8422) 77-86-49

e-mail: [rector@ulstu.ru](mailto:rector@ulstu.ru)

Подпись Крашенинникова В.Р. заверяю

Учёный секретарь Учёного совета

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный  
технический университет»



Арефьев В. Н.