

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
ФРАНЦИСКА СКОРИНЫ»

УДК 681.3;007.003;007.008;65.0

КЛИМЕНКО
Андрей Валерьевич

**МЕТОД И СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

Гомель, 2011

Работа выполнена в учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Научный руководитель: **СМОРОДИН Виктор Сергеевич**,
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой математических
проблем управления Гомельского государственного
университета имени Ф. Скорины

Официальные оппоненты: **ЛИПНИЦКИЙ Станислав Феликсович**,
доктор технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник государственного
научного учреждения «Объединенный
институт проблем информатики Национальной
академии наук Беларуси»

ХИЖНЯК Александр Вячеславович,
кандидат технических наук, доцент,
начальник кафедры автоматизированных
систем управления войсками
учреждения образования «Военная академия
Республики Беларусь»

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита состоится 29 июня 2011 года в 10:00 на заседании совета по защите диссертаций К 02.12.01 при учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» по адресу: 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, зал заседаний.
Телефон ученого секретаря (8-0232) 60-42-37, факс (8-0232) 57-81-11, e-mail: eisukach@gsu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Автореферат разослан «27» мая 2011 года.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



Е.И. Сукач

ВВЕДЕНИЕ

Диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи, которая состоит в создании эффективного метода исследования производственных систем при наличии условий потенциальной техногенной опасности. В ходе функционирования таких объектов нередко происходит изменение структуры технологического цикла производственной системы, что связано с возникновением сбоев, отказов и аварий оборудования в ходе реализации процесса производства.

Данная задача имеет важное народно-хозяйственное значение для совершенствования системы управления технологическими процессами и улучшения качества управления производственно-технологическими комплексами при наличии потенциальной опасности, что обеспечивает повышение уровня надежности исследуемых объектов и безопасности их функционирования.

Важность решения поставленной задачи при наличии условий потенциальной опасности определяется следующими факторами:

а) многообразием сложных технологических систем управления, в ходе реализации которых могут изменяться параметры их функционирования и структура технологического цикла управления;

б) необходимостью определения рациональной структуры технологического цикла с учетом текущих значений используемых ресурсов и начального состояния системы в режиме реального времени;

в) сложностью возникающих практических задач при оценке уровня надежности и безопасности потенциально опасных промышленных объектов;

г) необходимостью учета влияния человеческого фактора при выполнении работ на потенциально опасных промышленных объектах.

Как показал анализ современного состояния разработок в этой области, проблема проектного моделирования управляемых технологических систем при наличии условий возникновения потенциальной техногенной опасности объекта многократно усложняется в случае увеличения количества учитываемых параметров. В особенности это актуально для тех случаев, когда структура технологического цикла может изменяться в процессе функционирования объекта исследования ввиду возникновения сбоев и отказов оборудования.

Принимая во внимание важность проблемы повышения уровня надежности и безопасности технических объектов, в частности, обеспечивающих экономическую безопасность республики, разработка метода и средств исследования управляемых производственных систем на стадии проектирования объектов с элементами повышенной опасности, являются актуальными с научной и практической точек зрения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь «Методы мониторинга окружающей среды, прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 мая 2005 года № 512.

Работа выполнена в рамках следующих научных программ и тем:

1. Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Навуковыя асновы новых інфармацыйных тэхналогій» (ГПОФИ «Інфатэх») в 2005 году (Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; рук. темы И.В. Максимей, ГР № 20012396; задание «Інфатэх 18»);

2. Государственной комплексной программы научных исследований «Научные основы информационных технологий и систем» (ГКПНИ «Інфотех») в 2006 – 2008 годах (Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; рук. темы И.В. Максимей, ГР № 20061846; задание «Інфотех 44»);

3. Государственной программы прикладных научных исследований «Разработка и обоснование системы мер для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Беларусь» (ГППИ «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций») в 2006 – 2008 годах (Гомельский инженерный ин-т МЧС РБ; рук. темы В.С. Смородин, ГР № 20061381; задание «СРЧС 16»);

4. Государственной комплексной программы научных исследований «Научные основы информационных технологий и систем» (ГКПНИ «Інфотех») в 2009 – 2010 годах (Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; рук. темы В.С. Смородин, ГР № 20090462; задание «Інфотех 54»).

Цель и задачи исследования

Цель работы – построение математических моделей производственных систем с вероятностными параметрами их функционирования в условиях потенциальной опасности, учитывающей надежность характеристики используемого оборудования, разработка методов исследования на стадии их проектирования и эксплуатации, а также разработка алгоритмов программной реализации методов исследования.

Для достижения цели работы были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Разработать *формальную модель, описывающую динамику состояний* компонентов производственной системы при наличии элементов потенциальной опасности.

2. Разработать *метод решения задач проектного моделирования* вероятностных производственных систем, позволяющий исследовать динамику функционирования компонентов системы в условиях потенциальной опасности.

3. Разработать *методику проектного моделирования* вероятностных производственных систем при проектировании объектов, представляющих повышенную опасность.

4. Разработать *алгоритмы, программное обеспечение* системы контроля моделирования технологических процессов с вероятностными параметрами их функционирования и *технологии* ее использования.

5. Выполнить *апробацию* метода и технологии для решения задач проектирования вероятностных производственных систем при наличии элементов потенциальной опасности.

Объект исследования – производственные системы с вероятностными параметрами функционирования в условиях потенциальной опасности и их математические модели. **Предмет исследования** – методы анализа производственных систем с изменяющейся структурой и алгоритмы решения задач проектного моделирования при определении рациональной структуры технологического цикла.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен существованием проблемы надежности и безопасности функционирования производственных систем: определение графика проведения регламентных и внеочередных профилактических работ; обеспечение своевременного вывода технологических линий на проектную мощность при проведении пуско-наладочных работ. В подобных случаях ряд задач невозможно решить без использования методов математического моделирования, поскольку проведение натурального эксперимента в таких условиях может привести к аварии техногенного характера.

Положения диссертации, выносимые на защиту

1. Способ формализации и математические модели управляемых производственных систем (УПС), описывающие динамику состояний компонентов УПС при наличии компонентов потенциальной опасности.

2. Метод моделирования вероятностных производственных систем, основанный на формализации динамики взаимодействия компонентов технологического цикла с параллельно-последовательной организацией, что обеспечивает возможность корректировки последствий отказов оборудования с использованием зарезервированных технологических операций.

3. Алгоритм и программные средства для моделирования производственных систем с вероятностными параметрами их функционирования, учитывающие надежность характеристики используемого оборудования, которые основаны на использовании расширенного состава па-

раметров моделирования технологического цикла, представляющих собой сочетание вероятностных и детерминированных переменных, что позволяет проводить регламентные и профилактические работы на основании текущих значений интенсивности сбоев оборудования.

4. Методика решения задач проектного моделирования производственных систем с вероятностными параметрами их функционирования в условиях потенциальной опасности, учитывающая возможности возникновения аварийных ситуаций, что дает возможность проектирования рациональной структуры технологического цикла на основании оперативного изменения технологической схемы реализации производственной системы с учетом зарезервированных операций.

Личный вклад соискателя

В диссертации представлены результаты работ, которые выполнены соискателем самостоятельно. Основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично соискателем. Соискатель разработал математические модели, метод и алгоритмы, осуществил программную реализацию математических моделей, выполнил расчеты, экспериментальную верификацию разработанных моделей, провел апробацию, обработку и анализ полученных результатов. Из 12 статей, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 5 статей составляют личные работы, две из которых опубликованы соискателем в международных научных журналах. Общее количество публикаций автора по тематике диссертационных исследований содержит 37 наименований. Участие научного руководителя заключалось в постановке целей и задач исследования, обсуждении полученных результатов и определении структуры диссертации. Основными соавторами публикаций соискателя являются научный руководитель д. т. н., доцент В.С. Смородин, д. т. н., профессор И.В. Максимей и аспирант научного руководителя А.Н. Гончаров.

Апробация результатов диссертации

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных научных конференциях и семинарах: Третья Международная конференция «Информационные системы и технологии (IST'2006)», 1–3 ноября 2006, г. Минск; Международная конференция «Моделирование–2006 (Simulation–2006)», г. Киев, Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, 2006; I научно-практическая конференция с международным участием «Математическое и имитационное моделирование систем МОДС'2006», г. Киев; Международная научно-практическая конференция «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации», г. Гомель, Гомельский инже-

нерный институт МЧС Республики Беларусь, 2006; Пятая Международная конференция «Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях», 24–26 октября 2006 г., г. Минск, Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, 2006; Международная научно-практическая конференция «Проблемы управления и приложения (техника, производство, экономика)», г. Минск, Институт математики НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет, 2006; IV Международная научно-практическая конференция «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация», г. Минск, МЧС Республики Беларусь, НАН Беларуси, 2007; II научно-практическая конференция с международным участием «Математическое и имитационное моделирование систем МОДС'2007», г. Киев; VII международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ–2007», г. Киев, Национальный технический университет Украины, 2007; III Международная научная конференция «Сетевые компьютерные технологии», 17-19 октября 2007 г., Минск; М-во образования РБ, БГУ, 2007; Восьмая международная конференция «Computer Data Analysis and Modeling: Complex Stochastic Data and Systems», 11-15 сентября, 2007 г., г. Минск; III научно-практическая конференция с международным участием «Математическое и имитационное моделирование систем МОДС'2008», г. Киев; Международная научно-практическая конференция «Современные информационные компьютерные технологии», 26-28 апреля 2010 г., Гродно; Международный научно-технический семинар «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных», БГУИР, 20-24 сентября 2010 г., Минск.

Программные средства, в состав которых входят реализованные автором программные модули, зарегистрированы в Национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь.

Опубликованность результатов диссертации

Всего по теме исследований опубликовано 37 публикаций (из них 11 лично), в том числе:

– 12 научных статей (3,25 авторских листа), соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и ученых званий в Республике Беларусь [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А], из них 5 статей лично [1-А, 3-А, 5-А, 6-А, 10-А];

– 10 статей (2,5 авторских листа) в материалах международных конференций [13-А, 14-А, 15-А, 16-А, 17-А, 18-А, 19-А, 20-А, 21-А, 22-А];

– 14 тезисов докладов (2,25 авторских листа) на международных научных конференциях и семинарах [23-А, 24-А, 25-А, 26-А, 27-А, 28-А, 29-А, 30-А, 31-А, 32-А, 33-А, 34-А, 35-А, 36-А], из них 6 тезисов докладов лично [24-А, 28-А, 30-А, 33-А, 34-А, 36-А];

– 1 учебное пособие (4,375 авторских листа) [37-А].

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и четырех приложений. Общий объем диссертации составляет 196 страниц, включая 100 страниц основного текста, 44 иллюстрации, 36 таблиц, библиографический список из 128 наименований и четырех приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** рассматриваются существующие подходы к исследованию вероятностных технологических процессов, даются основные определения, приводятся математические модели компонентов вероятностного технологического процесса производства и формулируется содержательная постановка задачи исследования. Предметом моделирования являются производственные системы (ПС), среди которых выделены одноуровневые. Основой их реализации являются микротехнологические операции ($MTXO_{ij}$) и устройства оборудования. Математическая модель $MTXO_{ij}$ представляет собой алгоритм имитации технологических операций, которые используют при выполнении ресурсы технологического цикла. В отличие от известных попыток представления $MTXO_{ij}$, состав типов ресурсов расширен до десяти. Первые два типа ресурсов представляют собой устройства индивидуального и общего пользования. Количество устройств задается до начала имитации их функционирования. Устройства закрепляются за $MTXO_{ij}$ до конца выполнения и могут отказывать в процессе выполнения операции.

Приведены математические модели функционирования устройств оборудования, которые учитывают алгоритм имитации выполнения технологической операции длительностью τ_{ij} . Каждому r -му устройству оборудования (UOB_r) задается время наработки на отказ (T_{nar}). За время имитации устройства фиксируется фактическое время наработки (t_{factr}). Для каждой имитации выполнения запросов $MTXO_{ij}$ время t_{factr} для устройств накапливается. При этом ведется непрерывный контроль превышения фактического времени наработки ($t_{factr} \geq T_{nar}$) над пороговым значением времени наработки на отказ. В этот момент имитируется отказ функционирования UOB_r .

Другими надежностными характеристиками UOB_r являются интервал безотказного функционирования τ_{Bor} , интервал времени восста-

новления отказа оборудования τ_{Vor} , интервал времени и стоимость ликвидации аварии (τ_{Avr} и C_{Avr}). Эти характеристики являются вероятностными: для каждого UOB_r задаются вероятность возникновения простой аварии (P_{1Avr}) и сложной аварии (P_{2Avr}), функции вероятностей распределения значений интервалов времени и стоимости ($\Phi_{1r}(\tau_{BO}), \Phi_{2r}(\tau_{VO}), \Phi_{3r}(\tau_{AV1}), \Phi_{4r}(\tau_{AV2})$). Кроме списка устройств UOB_r каждая $MTXO_{ij}$ использует другие типы ресурсов: количество ресурсов индивидуального и общего пользования (n_{3ij} и n_{4ij}), количество исполнителей и бригад исполнителей (n_{5ij} и n_{6ij}), количество материалов и комплектующих изделий (mt_{ij} и ko_{ij}), стоимость и время выполнения операции (C_{lij} и τ_{lij}). Последние четыре типа ресурсов являются вероятностными величинами, поэтому перед имитацией выполнения операции задаются соответствующие функции распределения вероятностей ($F_{1ijk}(mt), F_{2ijk}(ko), F_{3ij}(c), F_{4ij}(\tau)$).

Динамика имитации $MTXO_{ij}$ и UOB_r демонстрируется с помощью временных диаграмм их взаимодействия. С помощью математических моделей $MTXO_{ij}$ и UOB_r компонуется два типа моделей производственных систем, имеющих графовую структуру. В тех случаях, когда в любой момент времени активизирована только одна операция и в ее распоряжении находятся все типы ресурсов технологического цикла, имеет место производственная система с последовательной организацией.

Производственная система второго типа характеризуется тем, что известна технологическая схема взаимодействия множества $\{MTXO_{ij}\}$. Расходы материалов и комплектующих изделий, время и стоимость выполнения операций представляют собой случайные величины. Связи между $MTXO_{ij}$ синхронизируются с помощью специальных агрегатов. Для каждой $MTXO_{ij}$ известен состав устройств оборудования, их надежные характеристики и используемые ресурсы. Структура ПС второго типа задается с помощью технологической схемы реализации. Связи между $MTXO_{ij}$ могут быть как детерминированными, так и вероятностными.

С учетом особенностей представленных типов ПС, проведен анализ существующих способов и средств их моделирования. Показано, что, ввиду вероятностного характера параметров технологического цикла и сложной структуры взаимодействия $\{MTXO_{ij}\}$, аналитические модели не являются достаточно эффективными, поскольку, как правило, явные зависимости, связывающие текущие характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными исследуемой системы, удается

получить только для сравнительно простых систем. По этой причине в качестве способа исследования данных систем предложено использовать имитацию. Обзор существующих методов имитации сложных систем показал, что названные типы производственных систем практически не исследовались с помощью имитационных моделей. *На основе анализа подходов* к имитации вероятностных технологических систем и технологических возможностей средств имитационного моделирования *поставлена задача* на разработку метода имитационного моделирования, программного обеспечения, реализующего данный метод исследования, и методик решения задач проектного моделирования для указанных типов объектов при наличии условий потенциальной опасности.

В **главе 2** приводятся принципы построения формальных моделей управляемых производственных систем, лежащих в основе функционирования производственных систем в условиях потенциальной опасности, описываются составные компоненты моделей.

На основе анализа схем синхронизации функционирования исполнительных элементов УПС определены статистики реализации во времени. Синхронизация осуществляется двумя типами элементов: в виде логической схемы «И» (по последнему приходу сигнала ($SLAST_k$)); в виде логической схемы «ИЛИ» (по первому приходу сигнала ($SFIRST_k$)) на основе агрегатного способа формализации.

Отображение взаимодействий в УПС осуществляется с помощью следующих шести типов исполнительных элементов: индикаторы, анализирующие содержимое регистров индикации изменений множества переменных управления или возникновения отказов устройств оборудования ПС; исполнительные, собственно логические УПС, использующие ресурсы УПС при выполнении логики системы управления; элементы контролирующего выхода в допустимые диапазоны; корректирующие значения в допустимых диапазонах сложные элементы индикаторы; ликвидаторы последствий аварий оборудования; универсальные элементы УПС, которые ликвидируют последствия аварий и модифицируют оперативным образом значения переменных управления в допустимых диапазонах их изменения.

Взаимодействие исполнительных элементов осуществляется с помощью оборудования общего и индивидуального пользования. Для реализации связей между синхронизаторами и исполнительными устройствами используется комбинация сигналов сложной структуры.

Формальное представление производственных систем с параллельно-последовательной организацией технологического цикла реализуется с помощью комбинации методик сетевого планирования, имитационного моделирования выполнения $MTXO_{ij}$ и процедуры реализации статистических испытаний Монте-Карло. Ввиду вероятностного харак-

тера запросов ресурсов множеством $\{M\bar{T}XO_{ij}\}$, для описания подобных производственных систем используется вероятностный сетевой график (ВСГР) как способ описания реализации технологических операций с параллельно-последовательной организацией. Согласно процедуре Монте-Карло, интервалы времени τ_{ij} выполнения $M\bar{T}XO_{ij}$ в текущей реализации ВСГР являются детерминированными, а связи между технологическими операциями, которые определяются технологической схемой реализации, становятся детерминированными в результате розыгрыша варианта возможного развития технологического процесса с учетом элементов потенциальной опасности. Вследствие этого вероятностный сетевой график заменяется последовательностью реализаций $\{ВСГР_l\}$ (l – номер реализации процедуры Монте-Карло) детерминированных сетевых графиков. При этом предоставляется возможность добавить в описание $M\bar{T}XO_{ij}$ характеристики использования десяти типов ресурсов.

Варианты организации производственной системы различаются составом параметров $\{X\}$, а их общее количество (m) определяется числом комбинаций уровней множества параметров. В качестве целевой функции используется взвешенная сумма типа:

$$\min L = \sum_{f=1}^m \delta_f \cdot Q_f, \quad \sum_{f=1}^m \delta_f = 1,$$

где $0 \leq \delta_f \leq 1$, Q_f – приведенные к одному типу нормированные значения f -х компонентов вектора откликов $\{Y_f\}$, $f = \overline{1, m}$.

В **главе 3** излагается метод проектного моделирования производственных систем при наличии условий потенциальной опасности. Вероятностная часть модели представляет собой полумарковскую модель, в которой переход объекта исследования из i -го состояния в j -ое определяется матрицей вероятности перехода $\|P_{ij}\|$, а время нахождения в каждом из состояний определяется функцией вероятности условного распределения $F_{ij}(\tau)$ времени нахождения производственной системы в j -ом состоянии при переходе в него из состояния i . Нестандартные переходы к детерминированной части модели функционирования осуществляются на основе анализа суммарного значения времени наработки Q_{nr} устройств оборудования с целью определения возможного возникновения аварии оборудования. После описания общей идеи реализации метода рассматриваются особенности имитации производственных систем с параллельно-последовательной организацией. Подробно рассматривается технология имитации функционирования оборудования при отображении его программой имитационной модели. Приве-

дено описание реализации этапов имитации функционирования оборудования с учетом надежности проектируемой производственной системы.

Далее излагается метод имитации параллельно-последовательных производственных систем на основе комбинации моделей сетевого планирования и метода статистического испытания сложных систем. Метод исследования состоит в поэтапной реализации агрегатного способа моделирования при создании, испытании и эксплуатации модели в условиях потенциальной опасности.

Для *апробации метода* имитационного моделирования была выбрана имитационная модель производственной системы с параллельно-последовательной организацией, приведенная на рисунке 1.

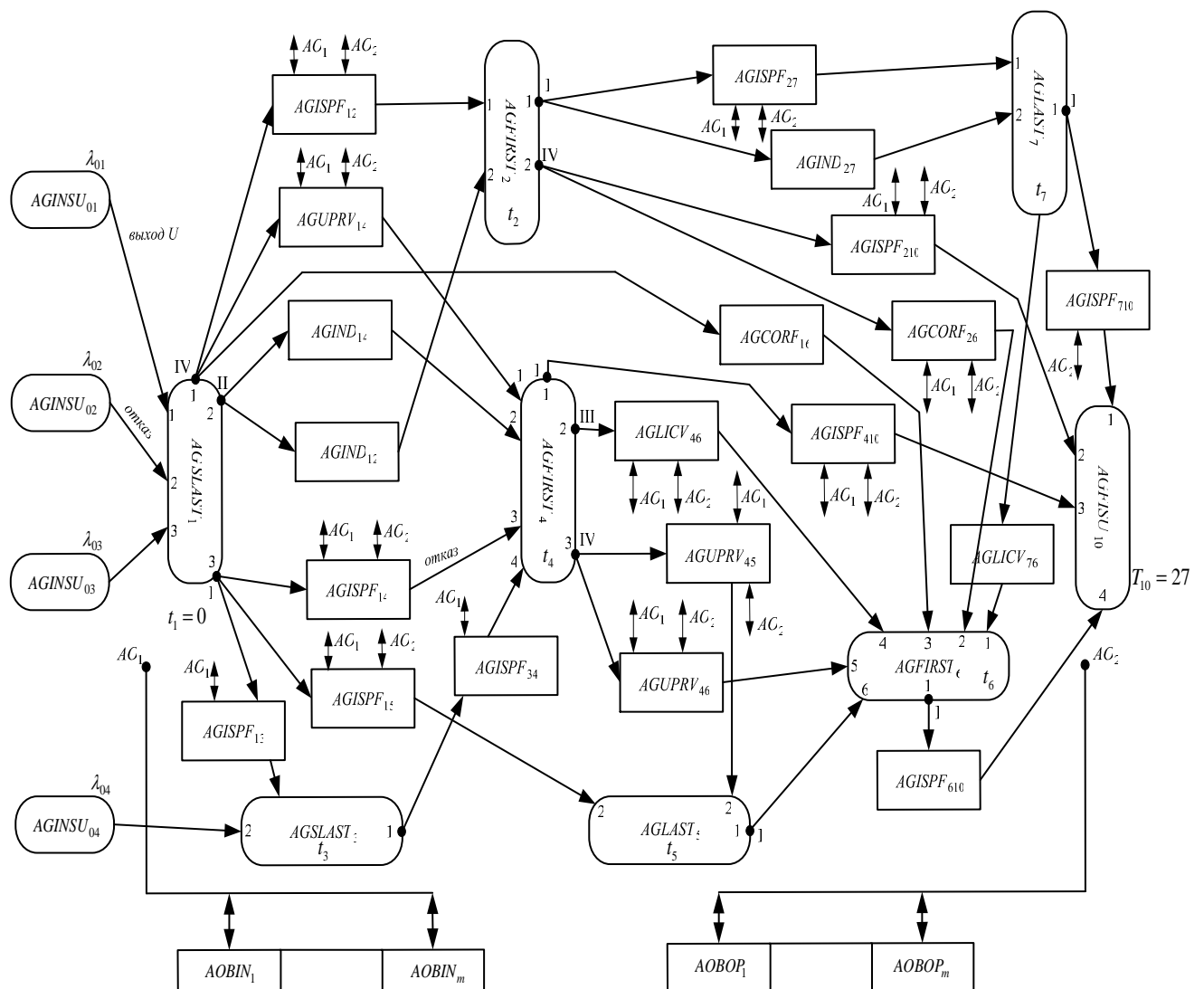


Рисунок 1 – Схема взаимодействия агрегатов в производственной системе с параллельно-последовательной организацией

Данная модель позволяет отобразить динамику использования ресурсов производственной системы с последовательной организацией технологического цикла с помощью следующих процессов:

– $PR.UZEL$ для имитации переходов ПС из i -го состояния в j -е состояние ($i, j = \overline{1,10}$);

– $PR.SOST_j$ имитирует алгоритмы поведения ПС в стандартных состояниях ($j \leq 6$) на основе полумарковской модели с использованием ресурсов;

– $PR.SOST_j$ ($10 \geq j \geq 7$) имитируют алгоритмы поведения ПС в нестандартных состояниях, использующих ресурсы на основе определения детерминированных ситуаций (одиночное или групповое резервирование оборудования, выработавшего ресурс безотказного функционирования; перевод на профилактику устройств оборудования; ликвидация последствий аварий на оборудовании);

– $PR.OBIN_{r_1}$, $PR.OBOP_{r_2}$ – процессы-имитаторы функций оборудования.

Для апробации метода в условиях потенциальной опасности была выбрана производственная система с параллельно-последовательной организацией, состоящей из двадцати семи микротехнологических операций $MTXO_{ij}$ и пятнадцати событий SOB_i , структура которой представлена на рисунке 2. После замены агрегатами компонентов этой схемы, была сформирована имитационная модель (ИМ) ВСГР, содержащая сорок два агрегата (двадцать семь агрегатов $ATOP_{ij}$ и пятнадцать $ASOB_i$).

Входы и выходы $ASOB_i$ пронумерованы ($i = \overline{1,15}$). Во время реализации ИМ ВСГР фиксируется статистика, которая позволяет исследовать динамику реализации вариантов организации технологического цикла. Каждому типу операционной обстановки в модели ВСГР соответствовала реализация процедуры Монте-Карло. В результате наложения реализовавшихся вариантов организации, с учетом элементов потенциальной опасности, был получен текущий вариант для проектирования производственной системы, использующей зарезервированные технологические операции.

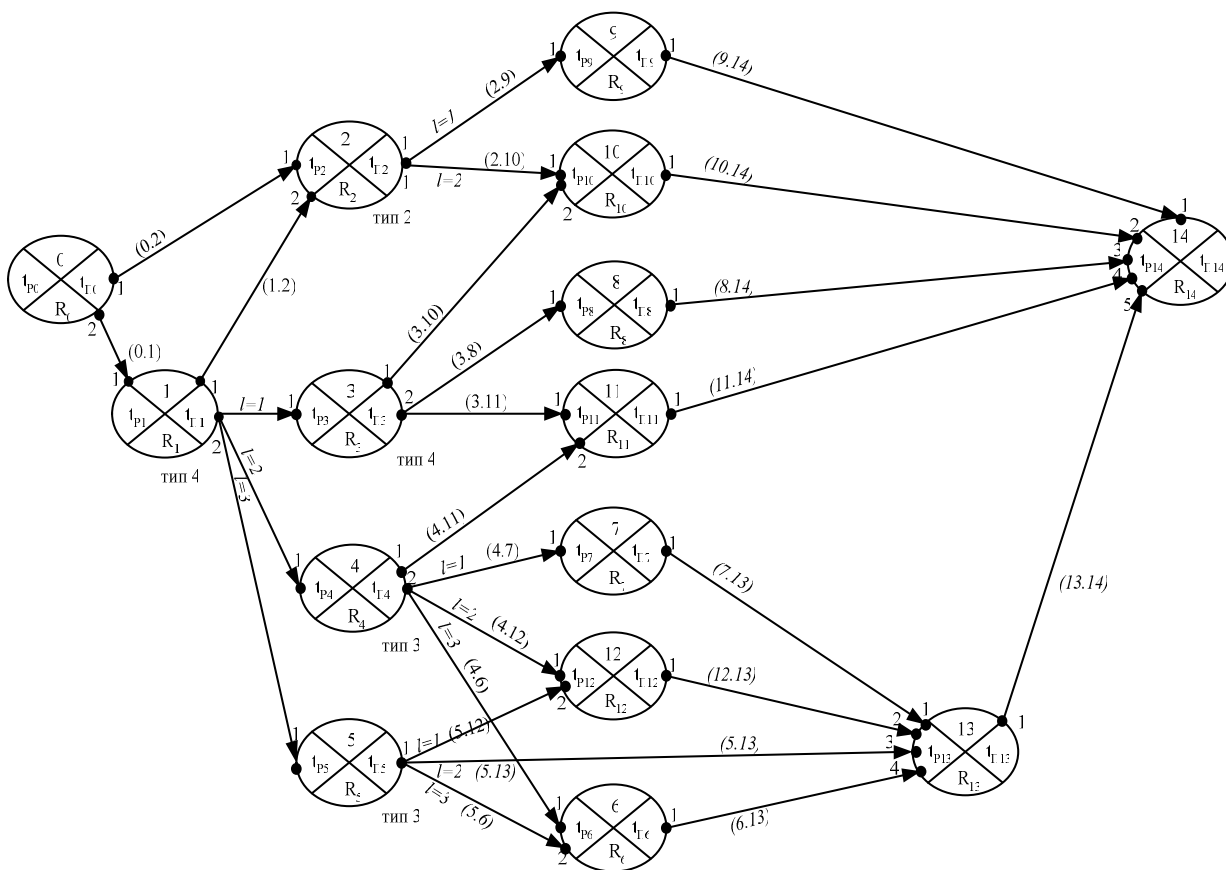


Рисунок 2 – Структура производственной системы с параллельно-последовательной организацией

В **главе 4** приведено описание состава, структуры и возможностей программных средств автоматизации проектного моделирования вероятностных технологических систем.

При реализации методов анализа на стадии проектирования используются универсальные подсистемы для обеспечения этапов испытания, обработки статистики и визуализации результатов имитации (*PS.ISPIM*, *PS.OBRABOT*, *PS.VIZUAL*). Универсальную часть программного обеспечения для каждого типа производственных систем составляют библиотека программ, позволяющая автоматизировать процесс создания моделей, и подсистема принятия решений (*PS.RESHEN*) для производственной системы соответствующего типа.

В **главе 5** отражены результаты апробации метода и средств проектного моделирования для рассматриваемых объектов исследования.

Задача проектного моделирования состояла в оценке влияния на отклики ИМ производственной системы двух факторов *потенциальной опасности*:

- надежности характеристик оборудования (фактор А);
- обеспеченности оборудованием (фактор В).

Каждый из этих факторов изменялся на четырех уровнях. Для фактора А уровни составляли: А1 – безотказное функционирование оборудования потенциально опасной ПС; А2 – минимальная интенсивность отказов оборудования; А3 – средняя интенсивность отказов оборудования; А4 – большая интенсивность отказов оборудования и появления аварий оборудования.

Для фактора В уровни были следующие: В1 – отсутствие конкуренции $АТОР_{ij}$ за ресурсы при полной обеспеченности ресурсами и исполнителями; В2 – обеспеченность ресурсами на 75% от варианта В1; В3 – 50% обеспеченности $АТОР_{ij}$ ресурсами от варианта В1; В4 – минимально допустимый состав ресурсов, при котором еще возможно параллельно-последовательное выполнение технологических операций.

В результате значения изменений обоих факторов составили матрицу комбинаций $\|A_n, B_m\|$, ($n = \overline{1,4}$, $m = \overline{1,4}$). ИМ ВСГР позволила получить статистики имитации и вычислить отклики имитации при любой комбинации этих факторов. При этом фиксировались следующие статистики имитации: среднее время свершения событий для $ASOB_i$ в l -ой реализации ИМ ВСГР; критическое время выполнения ИМ ВСГР (T_{krb}) и суммарная стоимость (C_{Sumh}) выполнения $АТОР_{ij}$ в l -х реализациях h -го варианта комбинации параметров (A_h, B_h) $h = \overline{1,18}$.

По результатам проведенных исследований для случая отсутствия конкуренции $\{АТОР_{ij}\}$ за ресурсы было установлено следующее:

- с ростом интенсивности отказов наблюдается существенный рост значений откликов (для T_{krh} в три раза, а для $S_{\Sigma h}$ в два раза);
- диапазон изменения откликов T_{krh} и $S_{\Sigma k}$ с ростом интенсивности отказов существенно возрастает;
- условия реализации ИМ ВСГР для минимальной и средней интенсивности отказов оборудования примерно одинаковы, что объясняет равенство значений откликов и диапазонов их изменения;
- при отсутствии отказов оборудования для случая, когда нет конкуренции $\{АТОР_{ij}\}$ за ресурсы потенциально опасной ПС, диапазон изменения T_{krh} составляет 12%, а для $S_{\Sigma h}$ рост значительно больше (46%).

В результате для тестового примера потенциально опасной производственной системы был сделан общий вывод об изменении откликов, связанный с изменением фактора В: с понижением обеспеченности $\{АТОР_{ij}\}$ ресурсами происходит существенный рост критического времени и интегральной стоимости реализации ВСГР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана алгоритмическая модель, основанная на использовании расширенного состава параметров моделирования технологического цикла и позволяющая формализовать динамику функционирования производственных систем с вероятностными параметрами. Преимуществом предложенной формализации является расширение пространства параметров моделирования, которые представляют собой сочетание вероятностных и детерминированных переменных, что дает возможность обеспечить проведение регламентных и профилактических работ на основании текущих значений интенсивности сбоев оборудования [1-А, 2-А, 9-А, 16-А, 21-А, 24-А, 26-А, 27-А, 28-А].

2. Разработан метод моделирования вероятностных производственных систем, основанный на формализации динамики взаимодействия компонентов технологического цикла с параллельно-последовательной организацией, что обеспечивает возможность корректировки последствий отказов оборудования с использованием зарезервированных технологических операций [6-А, 10-А, 11-А, 17-А, 22-А, 23-А, 32-А, 33-А, 34-А].

3. Разработана методика решения задач проектного моделирования производственных систем с вероятностными параметрами их функционирования в условиях потенциальной опасности, учитывающая возможности возникновения аварийных ситуаций, что позволяет проектировать рациональную структуру технологического цикла на основании учета изменения технологической схемы реализации производственной системы с помощью операций резервирования [3-А, 4-А, 7-А, 25-А, 30-А, 31-А, 36-А].

4. Предложены принципы построения программных средств, разработаны программные модули и алгоритмы для решения задач построения рациональной структуры производственных систем, позволяющие учитывать надежность характеристики функционирования используемого оборудования на стадии проектирования объектов исследования [5-А, 6-А, 8-А, 12-А, 13-А, 14-А, 15-А, 18-А, 19-А, 20-А, 26-А, 29-А, 35-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные математические модели и программные средства могут найти применение при решении задач оценки надежности функ-

ционирования технологического цикла, оценки безопасности производственных систем, а также при создании новых методик оценки безопасности функционирования производства, учитывающих надежность характеристики оборудования в режиме реального времени.

В настоящее время разработанные в диссертации модели и программные модули внедрены в следующих предметных областях:

а) при определении оптимальной топологии закладки пробных площадей в технологической схеме комплекса научно-технических и производственных мероприятий на территориях лесных массивов, загрязненных радионуклидами с целью минимизации дозовых нагрузок на персонал (ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»);

б) в практику производственной деятельности предприятия ОАО «Электроаппаратура», ОАО «Мозырьсоль»;

в) в учебной программе спецкурса «Проектное моделирование вероятностных технологических процессов» на кафедре математических проблем управления учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» при подготовке по специальности 1-31 03 03-01 «Прикладная математика (научно-производственная деятельность)» специализации 1-31 03 03-01 05 «Исследование операций и системный анализ» [37-А];

г) в учебной программе «Обработка экспериментальных данных» по кафедре естественных наук учреждения образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь в качестве составной части общего курса при подготовке по специальности «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» для системы Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [37-А].

Достоверность полученных результатов и основных положений диссертации подтверждаются также их внедрениями в ОАО «Электроаппаратура» (г. Гомель), ОАО «Мозырьсоль» (г. Мозырь) в составе заданий «СРЧС 16» и «Инфотех 54» государственных программ «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций» и «Научные основы информационных технологий и систем» (ГКПНИ «Инфотех») соответственно при оценке уровня надежности и безопасности функционирования производства.

Применение полученных научных результатов в различных предметных областях, большой объем экспериментального материала, приведенного в приложениях, и наличие документов, подтверждающих применение полученных результатов на практике, доказывают научную обоснованность полученных результатов и высокую практическую значимость основных положений диссертации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК

1-А. Клименко, А.В. Технология измерения оперативной информации с помощью имитационной модели для управления технологическими процессами дискретного производства / А.В. Клименко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. – 2006. – № 4 (37). – С. 29 – 31.

2-А. Клименко, А.В. Имитационная модель иерархического технологического процесса производства / И.В. Максимей, В.С. Смородин, О.И. Еськова, В.В. Володин, А.Н. Гончаров, А.С. Калугин, А.В. Клименко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. – 2006. – № 4(37). – С. 47 – 49.

3-А. Клименко, А.В. Методика оперативного управления надежностью функционирования оборудования технологических процессов производства / А.В. Клименко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. – 2007. – № 5(44). – С. 31 – 35.

4-А. Клименко, А.В. Об одной методике верификации имитационных моделей технологических процессов производства / А.Н. Гончаров, Д.Н. Езерский, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2007. – № 5(44). – С. 16–20.

5-А. Клименко, А.В. Технология имитационного моделирования процессов производства с последовательной организацией / А.В. Клименко // Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). – 2008. – Т. 10, № 3. — С. 18–28.

6-А. Клименко, А.В. Метод и программные средства для исследования производственных систем с последовательной организацией / А.В. Клименко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. — 2008. — № 5(50). — С. 56–60.

7-А. Клименко, А.В. Об одной методике имитационного моделирования вероятностных технологических процессов производства / И.В. Максимей, А.Н. Гончаров, В.С. Смородин, Д.Н. Езерский, А.В. Клименко // Математичні машини і системи (Mathematical Machines and Systems). – 2008. – № 1. – С. 133–138.

8-А. Клименко, А.В. Система автоматизации имитационного моделирования последовательных вероятностных технологических про-

цессов производства / И.В. Максимей, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Проблемы програмування (Problems in Programming). – 2008. – №1. – С. 77 – 87.

9-А. Клименко, А.В. Имитационное моделирование вероятностных производственных систем / А.Н. Гончаров, О.М. Демиденко, И.В. Максимей, В.С. Смородин, И.К. Чирик, А.В. Клименко // Математические машины и системы. – № 2. – 2009. – С.113-116.

10-А. Клименко, А.В. Способ исследования производственных систем с последовательной организацией технологического цикла / А.В. Клименко // Математичні машини і системи (Mathematical Machines and Systems). – 2009. – № 2. – С.122–128.

11-А. Клименко, А.В. О развитии метода пошаговой реструктуризации для исследования вероятностных технологических процессов с последовательной организацией / В.С. Смородин, А.Н. Гончаров, А.В. Клименко // Доклады БГУИР. – 2010. – № 2(44). – С. 74–76.

12-А. Клименко, А.В. Контроль имитации управляемых технологических процессов с вероятностными характеристиками функционирования / В.С. Смородин, В.А. Короткевич, Л.И. Короткевич, А.В. Клименко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. – 2010. – № 5 (62). – С. 9 – 15.

Статьи в научно-технических журналах

13-А. Клименко, А.В. Система контроля имитации технологических процессов с вероятностными параметрами их функционирования // В.С. Смородин, А.Н. Гончаров, А.В. Жигарь, А.В. Клименко // Проблемы физики, математики и техники. – № 1 (2). – 2010. – С. 56–62.

Материалы научных конференций

14-А. Клименко, А.В. Система контроля за ходом имитации технологических процессов опасного производства / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Международная конференция «Моделирование–2006»: 16–18 мая 2006 г., Киев: Сб. тр. конференции «Моделирование–2006». – С. 183–188.

15-А. Клименко, А.В. Стенд имитации для контроля возникновения аварии технологическом процессе опасного производства / А.Н. Гончаров, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях: доклады Пятой

Международной конференции, 24 – 26 октября 2006 г., Минск – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2006. – Том 1. – С. 46–51.

16-А. Клименко, А.В. Динамическое регулирование структуры техногенно опасной производственной системы на имитационной модели / А.Н. Гончаров, Д.Н. Езерский, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Информационные системы и технологии (IST'2006): III Международная конференция, 1 – 3 ноября 2006 г., Минск: материалы: в 2 ч., Ч. 2. / Редкол.: А.Н. Курбацкий, Ж.В. Василенко, И.В. Совпель и др. – Мн.: Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2006. – С. 135–140.

17-А. Клименко, А.В. Динамическое управление надежностью функционирования производственных систем при имитационном моделировании технологических процессов опасного производства / А.Н. Гончаров, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: Материалы докладов международной научно-практической конференции. – Гомель: ГИИ, 2006. – С. 279–281.

18-А. Клименко, А.В. Программно-технологический комплекс управления надежностью функционирования оборудования производственных систем / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин, Д.Н. Езерский, А.В. Клименко // VII международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ–2007», 15–18 мая 2007г., Киев: Сб. тр. / Ред. кол.: С.В. Сирота (гл. ред.) и др. – К.: Просвіта, 2007. – С. 56.

19-А. Клименко, А.В. Программно-технологические комплексы имитации вероятностных технологических процессов производства / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин, А.В. Клименко // III Международная научная конференция «Сетевые компьютерные технологии», 17–19 окт. 2007 г., Минск: сб. тр. III Междунар. науч. конф. / редкол.: М.К. Буза (отв. ред.), А.Н. Курбацкий [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2007. – С. 105–110.

20-А. Klimenko, A.V. About Management of Probability Technological Process of Manufacture by Means of the Man-Machine Imitation Complex / I.V. Maksimey, A.N. Goncharov, D.N. Ezerskiy, V.S. Smorodin, A.V. Klimenko // Computer Data Analysis and Modeling: Complex Stochastic Data and Systems: Proc. of the Eighth Intern. Conf., Minsk, Sept. 11–15, 2007. In 2 vol., Vol 2. — Minsk: Publ. center BSU, 2007. – P. 154–157.

21-А. Клименко, А.В. Оперативный анализ функционирования производственных систем // В.С. Смородин, А.Н. Гончаров, А.В. Жи-

гарь, А.В. Клименко // II Международная научно-практическая конференция «Современные информационные компьютерные технологии» [Электронный ресурс]: Материалы II Международной научно-практической конференции. – Электрон. дан. (486 Мб). – Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

22-А. Клименко, А.В. Интеллектуальное имитационное моделирование динамических систем // И.В. Максимей, В.С. Смородин, В.А. Короткевич, А.В. Клименко / Международная научно-техническая конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2011)»: материалы международной научно-технической конференции, 10-12 февраля 2011 г., Минск / редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2011. – С. 247-255.

Тезисы докладов

23-А. Клименко, А.В. Имитационное моделирование вероятностных производственных систем / А.В. Клименко // IX Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях», 13–15 марта 2006г.: [материалы] / редкол.: Д.Г. Лин [и др.]. – Гомель: ГГУ им.Ф.Скорины, 2006. – С. 58-59.

24-А. Клименко, А.В. Многоуровневая формализация производства при наличии случайных воздействий в процессе его функционирования / И.В. Максимей, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Международная научно-практическая конференция «Проблемы управления и приложения (техника, производство, экономика)»: Минск, 16-20 мая 2005 г.: Тез. докл. / Бел. нац. техн. ун-т и др. – Мн: БНТУ, 2006. – С. 163 – 164.

25-А. Клименко, А.В. Имитационное моделирование технологических производственных процессов с изменяющейся структурой / В.С. Смородин, А.Н. Гончаров, А.В. Клименко // Международная научно-практическая конференция «Проблемы управления и приложения (техника, производство, экономика)»: 16–20 мая 2005 г., Минск: Тез. докл. / Бел. нац. техн. ун-т и др. – Мн: БНТУ, 2006. – С. 183–184.

26-А. Клименко, А.В. Об использовании системы принятия решений при имитационном моделировании опасного производства / А.Н. Гончаров, А.В. Клименко, В.С. Смородин // I научно-практическая конференция с международным участием «Математическое и имитационное

моделирование систем МОДС'2006»: Тезисы докладов. – 26–30 июня 2006 г., Киев. – С. 80–81.

27-А. Клименко, А.В. Обеспечение надежности функционирования оборудования производственных систем / А.В. Клименко // IV Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте»: материалы М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; / под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2007. – С. 24–25.

28-А. Клименко, А.В. Управление надежностью функционирования оборудования производственных систем / В.С. Смородин, А.В. Клименко // «Проблемы безопасности на транспорте»: материалы. М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; / под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2007. – С. 25–26.

29-А. Клименко, А.В. Использование комплекса имитации при решении задач качественного анализа функционирования производства / А.В. Клименко // X Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях», 12–14 марта 2007 г.: [материалы] / редкол.: Д.Г. Лин [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2007. – С. 27-28.

30-А. Клименко, А.В. Стабилизация уровня надежности производственной системы с помощью имитационного моделирования / А.Н. Гончаров, В.С. Смородин, А.В. Клименко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сборник тез. докл. IV Международной науч.-практ. конференции. В 3 т., Т. 1 / Ред. кол.: Э.Р. Бариев и др. – Мн., 2007. – С. 268–270.

31-А. Клименко, А.В. Об одной методике имитационного моделирования вероятностных технологических процессов производства / И.В. Максимей, А.Н. Гончаров, Д.Н. Езерский, В.С. Смородин, А.В. Клименко // II научно-практическая конференция с международным участием «Математическое и имитационное моделирование систем МОДС'2007»: Тезисы докладов. – 25–29 июня 2007 г., Киев – С. 114–119.

32-А. Клименко, А.В. Метод исследования производственных систем с последовательной организацией технологического цикла / А.В. Клименко // XI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в

проектировании, производстве и научных исследованиях», 17–19 марта 2008 г.: [материалы]: в 2 ч., Ч. 1 / редкол.: О.М. Демиденко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2008. – С. 18–19.

33-А. Клименко, А.В. Об одном способе исследования производственных систем с последовательной организацией / А.В. Клименко // III научно-практическая конференция с международным участием «Математическое и имитационное моделирование систем МОДС'2008»: Тезисы докладов. 23-27 июня 2008 г., Киев.– С. 128 – 133.

34-А. Клименко, А.В. Об одном подходе при реализации имитационных моделей вероятностных технологических процессов / И.В. Максимей, А.Н. Гончаров, В.С. Смородин, И.К. Чирик, А.В. Клименко // III научно-практическая конференция с международным участием «Математическое и имитационное моделирование систем МОДС'2008»: Тезисы докладов. 23-27 июня 2008 г., Киев.– С. 133–137.

35-А. Клименко, А.В. Технология использования САИМ-1 при проектном моделировании ВТП с последовательной организацией технологического цикла / А.В. Клименко // XI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях», 16–18 марта 2009 г.: [материалы]: в 2 ч. Ч. 1 / редкол.: О.М. Демиденко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2009. – С. 34–35.

36-А. Клименко, А.В. Технология контроля надежности оборудования управляемых производственных процессов // В.А. Короткевич, В.С. Смородин, А.В. Клименко / Международный научно-технический семинар «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных»: тезисы докладов. 20-24 сентября 2010 г., Браслав – Мн: БГУИР, 2010. – С. 11-14.

Учебные пособия

37-А. Клименко, А.В. Проектное моделирование вероятностных технологических процессов: курс лекций по спецкурсу для студентов специальности 1-31 03 03-01 «Прикладная математика (научно-производственная деятельность)» специализации 1-31 03 03-01 05 «Исследование операций и системный анализ» / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин, А.В. Клименко; М–во образования РБ, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2008. – 129 с.

РЭЗІЮМЭ
Кліменка Андрэй Валер'евіч
Метад і сродкі імітацыйнага мадэлявання
імавернасных вытворчых сістэм

Ключавыя словы: вытворчыя сістэмы, матэматычныя мадэлі, бяспека функцыянавання, метады мадэлявання, алгарытмы і праграмныя сродкі, тэхналогія выкарыстання.

Мэта работы: пабудова матэматычных мадэляў патэнцыйна небяспечных вытворчых сістэм, распрацоўка метадаў даследавання, алгарытмаў і тэхналогіі праектнага мадэлявання ва ўмовах патэнцыяльнай небяспекі на аснове аналізу функцыянавання выкарыстаннага абсталявання ў працэсе функцыянавання тэхналагічнага цыкла.

Метады даследавання: пабудова матэматычных мадэляў вытворчых сістэм, аналіз заканамернасцей функцыянавання з улікам надзейнастных характарыстык абсталявання; выкананне лікавых эксперыментаў з ужываннем палумаркаўскіх мадэляў і метадык сеткавага планавання; камп'ютэрнае мадэляванне аб'ектаў даследавання на аснове выкарыстання спецыяльна распрацаванага праграмнага забеспячэння.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацаваны матэматычныя мадэлі функцыянавання вытворчых сістэм ва ўмовах патэнцыяльнай небяспекі на аснове аналізу надзейнастных характарыстык функцыянавання абсталявання.

Распрацаваны метады рэструктурызацыі матэматычных мадэляў аб'ектаў даследавання з улікам параметраў надзейнасці задзейнічанага абсталявання і метады пабудовы матэматычных мадэляў вытворчых сістэм ва ўмовах патэнцыйнай небяспецы.

Распрацаваны метадыкі рашэння тыпавых задач для вызначэння рацыянальнай структуры вытворчых сістэм ва ўмовах патэнцыйнай небяспекі на стадыі іх праектавання.

Створана праграмнае забеспячэнне для вырашэння задач вызначэння рацыянальнай структуры вытворчых сістэм ва ўмовах патэнцыйнай небяспецы.

Ступень выкарыстання. Вынікі дысертацыйных работ ўкаранёны і выкарыстоўваюцца ў практыцы вытворчай дзейнасці ААТ «Электраапаратура» (г. Гомель), ААТ «Мазыр соль» (г. Мазыр), Гомельскім інжынерным інстытуце МНС Рэспублікі Беларусь, у ДНУ «Інстытут лесу НАН Беларусі» пры правядзенні навукова-даследчых работ на пробных плошчах лясных масіваў ва ўмовах радыеактыўнага забруджвання мясцовасці, у УА «Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт ім. Ф.Скарыны».

РЕЗЮМЕ

Клименко Андрей Валерьевич

Метод и средства имитационного моделирования вероятностных производственных систем

Ключевые слова: производственные системы, математические модели, безопасность функционирования, методы моделирования, алгоритмы и программные средства, технология использования.

Цель работы: построение математических моделей потенциально опасных производственных систем, разработка методов исследования, алгоритмов и технологии проектного моделирования в условиях потенциальной опасности на основе анализа функционирования используемого оборудования в процессе функционирования технологического цикла.

Методы исследования: построение математических моделей производственных систем, анализ закономерностей функционирования с учетом надежности характеристик оборудования; выполнение численных экспериментов с применением полумарковских моделей и методик сетевого планирования; компьютерное моделирование объектов исследования на основе использования специально разработанного программного обеспечения.

Полученные результаты и их новизна. Разработаны математические модели функционирования производственных систем в условиях потенциальной опасности на основе анализа надежности характеристик функционирования оборудования.

Разработаны метод реструктуризации математических моделей объектов исследования с учетом параметров надежности задействованного оборудования и метод построения математических моделей производственных систем в условиях потенциальной опасности.

Разработаны методики решения типовых задач для определения рациональной структуры производственных систем в условиях потенциальной опасности на стадии их проектирования.

Создано программное обеспечение для решения задач определения рациональной структуры производственных систем в условиях потенциальной опасности.

Степень использования. Результаты диссертационной работы внедрены и используются в практике производственной деятельности ОАО «Электроаппаратура» (г. Гомель), ОАО «Мозырьсоль» (г. Мозырь), Гомельском инженерном институте МЧС Республики Беларусь, в ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» при проведении научно-исследовательских работ на пробных площадях лесных массивов в условиях радиоактивного загрязнения местности, в УО «Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины».

SUMMARY

Klimenko Andrey Valer'evich **The method and means of simulation of the probabilistic productive systems**

Keywords: productive systems, mathematical models, safety of functioning, design methods, algorithms and programmatic facilities, technology of the use.

Aim of the work: the construction of mathematical models of potentially dangerous productive systems, development of research methods, algorithms and technology of project design under conditions of potential danger on the basis of analysis of functioning of the used equipment in the process of technological cycle functioning.

Research methods: construction of mathematical models of the productive systems, analysis of regularities of functioning taking into account reliable descriptions of equipment; implementation of numerical experiments with the use of semimarkov's models and methodologies of the network planning; computer design of research objects on the basis of the use of the specially worked out software.

Achieved results and their novelty. The mathematical models of functioning of the productive systems are worked out in the conditions of potential danger on the basis of analysis of reliable descriptions of the equipment functioning.

The method of restructuring of mathematical models of research objects the taking into account the parameters of reliability of the used equipment and method of construction of mathematical models of the productive systems are worked out in the conditions of potential danger.

Methodologies of decision of standard tasks are worked out for determination of the rational structure of productive systems in the conditions of potential danger on the designing stage.

The software is created for the decision of tasks of determination of rational structure of the productive systems in the conditions of potential danger.

The use. Dissertation results are inculcated and used in the of productive activity at Open Joint-Stock Company "Electrical Equipment " (Gomel), Open Joint-Stock Company "Mozyrsalt" (Mozyr), Gomel Engineering Institute of Ministry of Emergency's situation of the Republic of Belarus, at the Institute of forest of the National Academy of Sciences of Belarus in the process of research works on the trial areas of forest arrays in the conditions of radioactive contamination and at the "F. Scorina Gomel State University".