

**НИСТРАТОВ АНДРЕЙ АНДРЕЕВИЧ**

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ И ЕЕ  
РЕАЛИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИИ**

Специальность 05.13.17 - Теоретические основы информатики  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем информатики Российской академии наук (ИПИ РАН)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
Степанов Павел Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Позин Борис Аронович, технический директор ЗАО «ЕС-Лизинг», профессор Московского государственного университета экономики, статистики и информатики (МЭСИ);

кандидат технических наук, доцент Безкоровайный Михаил Михайлович, начальник Управления испытаний и сертификации информационных технологий и систем Международного центра по информатике и электронике «ИнтерЭВМ».

Ведущая организация - Юго-Западный государственный университет, г.Курск

Защита диссертации состоится «24» июня 2013 года в 16 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д002.073.01 при ИПИ РАН по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПИ РАН.

Автореферат разослан «22» мая 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д002.073.01  
доктор технических наук, профессор

Гринченко С.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Несовершенство современных систем различного функционального назначения во многом связано с объективным наличием остаточных рисков, для оценки которых существующие методы, основанные лишь на принципе измерений, оказываются недостаточными. Существующие методы количественного анализа рисков в приложении к техногенным ситуациям (т.е. являющимся следствием развития техники, результатом применения различных технологий производства), характеризуемым множеством случайностей, для различных приложений являются несовместимыми. Вероятностная интерпретация расчетных рисков зачастую принципиально различается. Несмотря на логическую идентичность воздействия угроз и реализации процессов контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности, существующие подходы к прогнозированию рисков не позволяют в общем случае обосновывать требования к системным процессам при ограничениях на допустимые риски и ресурсы. По этой причине, а также из-за специфичности существующих моделей или их недоступности, не осуществляется целенаправленной обработки накапливаемой информации в интересах выявления закономерностей в реализуемых процессах и сравнения эффектов в различных областях приложений. Все вышеизложенное позволяет утверждать о необходимости развития теоретических основ информатики для обеспечения эффективности упреждающего решения практических задач, связанных с управлением рисками.

Налицо методическое противоречие – с одной стороны острая необходимость выполнения системных требований для обеспечения качества и безопасности систем, а с другой – длительность и дороговизна разработки новых моделей, несовершенство, специфичность или недостаточная доступность существующих моделей для прогнозирования рисков в жизненном цикле современных систем. Вопросы многосторонней методической оценки качества и безопасности функционирования систем с использованием математического моделирования были заложены в школах российских ученых Б.В.Гнеденко, П.С.Краснощекова, Н.Н.Моисеева, Г.С.Поспелова, Ю.В.Прохорова, исследования были продолжены и расширены В.Ю.Королевым, Н.А.Махутовым, А.В.Печинкиным, И.Н.Синициным, И.А.Соколовым, В.Г.Ушаковым и получили практическое развитие и приложение в работах В.Б.Артемьева,

М.М.Безкорвайного, В.И.Будзко, Г.В.Дружинина, Л.И.Григорьева, В.В.Киселева, К.Коловроского, А.И.Костогрызова, В.В.Кульбы, К.К.Колина, В.В.Липаева, Ю.Б.Михайлова, Г.А.Нистратова, Б.А.Позина, П.В.Степанова и др. Анализ упомянутых и многих других исследований показывает, что они сохраняют свою востребованность. Тем не менее, несмотря на наличие множества моделей, связанных с оценкой качества и безопасности функционирования систем, многие из них не поддержаны доступной программной реализацией. А, учитывая структурную сложность анализируемых систем, такие модели оказываются тяжелыми в эксплуатации и не адаптируемыми к практическому применению по мере изменения условий и возникновения новых потребностей в моделировании процессов в жизненном цикле систем. Возможности существующих Интернет-технологий не используются для прогнозирования рисков. В результате упускаются практические эффекты от адекватного применения накапливаемой оперативной информации для выявления скрытых закономерностей в функционировании систем, из-за этого управление системными процессами не может быть признано рациональным. Тем самым объективно подтверждена **актуальность** тематики диссертационных исследований.

Настоящая работа посвящена решению **научной задачи** прогнозирования техногенных рисков нарушения целостности систем различного функционального назначения с использованием Интернет-технологии. Это соответствует положениям пп. 5 и 9 паспорта специальности 05.13.17 (п.5 - разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения, п.9 - разработка новых Интернет-технологий, включая средства анализа информации, приобретения знаний и интеллектуализации бизнес-процессов).

В рамках диссертационного исследования рассматриваются сложные системы с повторяемыми процессами функционирования, периодически контролируемым состоянием и возможностями восстановления нарушаемой целостности для выполнения функций согласно назначению. **Объектами исследований** являются модели анализа данных для извлечения закономерностей в процессах возникновения и реализации угроз, контроля, мониторинга и восстановления целостности систем различного функционального назначения.

**Целью** исследований является разработка методики прогнозирования техногенных рисков для оценки, сравнительного анализа и выработки научно обоснованных организационно-технических решений по управлению системными процессами.

**Направления диссертационных исследований:**

- анализ нормативно-методической и научно-технической информации о процессах функционирования систем. Постановка научной задачи;
- выбор и разработка методов и моделей для прогнозирования техногенных рисков с повышенной точностью;
- разработка методики прогнозирования техногенных рисков с использованием Интернет-технологии;
- оценка, сравнительный анализ и выработка научно обоснованных организационно-технических решений по управлению системными процессами (на примерах систем хранения продукции, противоаварийной защиты, диспетчерского управления, непрерывного производства, инженерного обеспечения, информационных систем).

**Основными результатами, выносимыми на защиту,** являются:

- 1) методы повышения точности прогнозирования рисков для выбранных базовых моделей; теоремы о существовании расчетных рисков, зависящих от различных длительностей диагностики и восстановления целостности, при итерационном использовании базовых моделей;
- 2) модернизированные модели опасного воздействия на сложную систему с повышенным уровнем точности прогнозирования;
- 3) комбинированная модель периодического контроля и мониторинга состояний с плановыми и внеплановыми ремонтами в непрерывном производстве;
- 4) реализация модернизированных моделей с использованием Интернет-технологии удаленного прогнозирования техногенных рисков;
- 5) методика прогнозирования техногенных рисков, позволяющая:
  - выявить качественно новые закономерности в зависимостях рисков от характеристик угроз и реализуемых процессов контроля, мониторинга и

восстановления нарушаемой целостности в сложных системах;

обосновывать уровни допустимых рисков по «прецедентному принципу»;

повысить точность прогноза с расширением границ применимости полученных результатов на системы различного функционального назначения.

Место и роль работы для развития существующей концепции управления рисками, включая вклад в теоретические основы информатики, отражены на рис. 1.

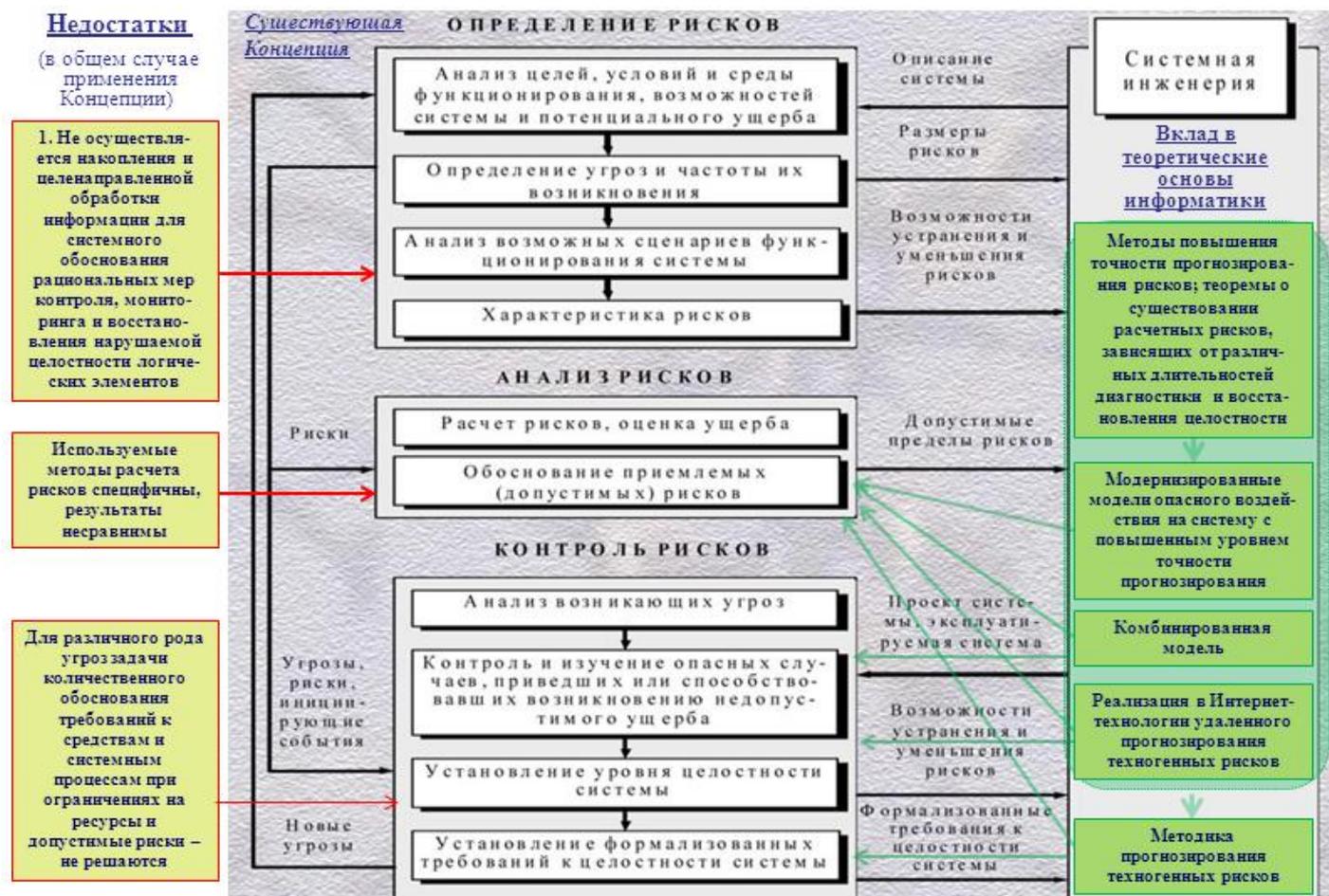


Рис. 1 Место и роль работы для развития существующей концепции управления рисками

### Научная новизна и теоретическая значимость работы в том, что:

• разработаны три метода повышения точности прогнозирования рисков, позволяющие в отличие от существующих учесть особенности функционирования составных элементов сложной системы, в т.ч. различного рода угрозы, возможные меры периодического контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности, дифференцированные по элементам системы;

• доказаны теоремы о существовании расчетных рисков при итерационном использовании базовых моделей опасного воздействия на систему с периодическим контролем и мониторингом, расширяющие границы их применимости за счет учета

различий в длительностях диагностики и восстановления нарушаемой целостности элементов системы;

- изучены взаимосвязи экономически приемлемого производственного процесса на предприятиях непрерывного производства с типовыми системными процессами контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности;

- на основе применения разработанных методов, сформулированных теорем, выявленных и изученных взаимосвязей системных процессов:

проведена модернизация базовых моделей опасного воздействия на сложную систему, позволившая повысить адекватность моделирования и степень научной обоснованности рекомендаций для выработки рациональных организационно-технических решений по управлению системными процессами;

изложены методические положения по эффективной комбинации модернизированных моделей, позволившие прогнозировать риски нарушения экономически приемлемого производственного процесса для предприятий непрерывного производства с учетом плановых и внеплановых (текущих) восстановлений целостности (ремонтных).

**Практическая ценность** работы состоит в том, что:

- разработанная методика была реализована при создании прототипа технологии прогноза качества и рисков, внедренного на ФГКУ комбината хранения нефтепродуктов «Монтаж» Росрезерва,

- разработанная в рамках Интернет-технологии модель противодействия нарушениям функциональной целостности на предприятии в условиях возникновения и активизации угроз была реализована в макете многокритериальной системы прогноза, оценки и управления рисками в условиях опасных природных и техногенных явлений, внедренном на Тугнуйской обогатительной фабрике;

- разработанные методические материалы в области прогноза рисков нарушения безопасности функционирования информационных систем реализованы ФГНУ «Центр информационных технологий и систем» (ФГНУ ЦИТиС) при подготовке отчета о НИР «3-Идея-КУРЗ», принятом заказчиком - войсковой частью 43753;

- путем решения многочисленных прикладных задач определены перспективы

практического использования предложенных моделей, методов, Интернет-технологии и методики для выработки научно обоснованных решений по управлению процессами контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности в интересах систем различного функционального назначения;

- представлены практические рекомендации по рациональному применению предложенной методики для обоснования допустимых рисков по «прецедентному принципу»;

- разработанные методические и программные решения внедрены в учебный процесс РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина и были использованы:

магистрами при выполнении лабораторных работ по направлению подготовки дипломированных специалистов «Информатика и вычислительная техника» (654600), специальность «Автоматизированные системы обработки информации и управления» (220200);

соискателем ученой степени кандидата технических наук при проведении расчетов по управлению рисками нарушения качества функционирования трубопроводного транспорта газа в условиях полуострова Ямал (на примере месторождения Бованенково - Ухта).

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов, выводов и рекомендаций обусловлена тем, что:

- в разработанной методике прогнозирования техногенных рисков корректно применены методы теории вероятностей и системного анализа, в качестве базовых использованы положительно зарекомендовавшие себя на практике математические модели опасного воздействия на сложные системы;

- при моделировании использованы проверяемые данные, факты и статистическая информация о системных процессах контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности с обоснованием подбора объектов анализа;

- получаемые результаты расчетов согласуются с опытными и статистическими данными в различных областях приложений (в т.ч. для систем хранения продукции, противоаварийной защиты, диспетчерского управления, непрерывного производства,

инженерного обеспечения, для информационных систем), включая результаты проведенных ранее исследований различных авторов;

- в частных случаях установлено совпадение полученных результатов с результатами применения методов оценки надежности функционирования систем, полученных из независимых источников.

### **Результаты работы реализованы:**

в отчетах о НИР, связанных: с разработкой прототипа технологии удаленного прогноза качества и рисков в системе управления государственными материальными резервами и ее опытной реализацией, что подтверждено актом реализации ФКГУ комбината «Монтаж» Росрезерва; с разработкой методики оценки эффективности применения автоматизированных систем управления системами инженерного обеспечения ИТС Банка России; с прогнозом рисков нарушения безопасности функционирования информационных систем, что подтверждено актом ФГНУ ЦИТиС;

в макете многокритериальной системы прогноза, оценки и управления рисками в условиях опасных природных и техногенных явлений, внедренном на Тугнуйской обогатительной фабрике, что подтверждено актом реализации;

в учебном процессе, что подтверждено актом реализации РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина.

**Апробация** работы осуществлялась на образцах сложных систем различного функционального назначения (в т.ч. систем хранения продукции, противоаварийной защиты, диспетчерского управления, непрерывного производства, инженерного обеспечения, информационных систем). Результаты работы докладывались на 2-й Научно-практической конференции «Актуальные проблемы системной и программной инженерии» (МЭСИ-2011г.), Международной научно-практической конференции «О проблемах обеспечения в современных условиях количественной и качественной сохранности материальных ценностей, поставляемых и закладываемых в государственный резерв» (НИИПХ-2011г.), Всероссийской межотраслевой конференции «Стандартизация, сертификация, обеспечение эффективности, качества и безопасности информационных технологий» (МИРЭА-2011, 2012гг.), IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития

нефтегазового комплекса России» (РГУ нефти и газа –2012г.), V Международной научно-технической конференции “Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами” (2012г.) и международных форумах по моделированию и обеспечению качества и безопасности систем в Китае, Польше и на Украине.

**Публикации.** Основные положения диссертационного исследования отражены в 19 публикациях общим объемом 13.5 печатных листов, из них 3.5 авторских, в т.ч. в монографии («Всеобщее управление качеством и 6 сигма. Раздел 7 – Некоторые прикладные методы для анализа и оптимизации системных процессов в управлении качеством») и в Американском журнале по исследованию операций («Прогнозирование и оптимизация системного качества и рисков на основе моделирования процессов»), изданных за рубежом. В журналах, рекомендованных ВАК – 5 публикаций общим объемом 2.5 печатных листа, из них 0.7 авторских. Имеется 6 авторских свидетельств Роспатента на программы для ЭВМ.

**Объем и структура диссертационной работы.** Работа состоит из введения, 4-х разделов и заключения. Содержание работы изложено на 150 листах, в т.ч. содержит 12 таблиц и 57 рисунков. Список используемых источников насчитывает 85 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Работа состоит из введения, 4-х разделов и заключения.

**В первом разделе** в результате анализа законодательных и нормативно-методических документов по обеспечению качества и безопасности функционирования систем в их жизненном цикле выявлены общие системные требования для обеспечения качества и безопасности.

Для развития сложившейся научно-практической концепции управления рисками сформулирована идея накопления и целенаправленной обработки информации об угрозах, возможных и реализуемых мерах контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности для управления процессами на основе прогнозирования рисков в жизненном цикле систем различного функционального назначения.

Научная задача поставлена таким образом, чтобы предлагаемая методика прогнозирования рисков обеспечивала оценку, сравнительный анализ и выработку

научно обоснованных организационно-технических решений по управлению системными процессами. Примерами возможного применения методики для оптимизации являются: обоснование параметров системных процессов, на которых достигим минимум затрат (на этапах создания) при ограничениях на допустимые риски или минимум интегрального риска (при эксплуатации системы) при задаваемых ограничениях – см. рис.2.



Оценки, сравнительный анализ процессов функционирования систем по основным показателям и научное обоснование рациональных мер контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности их логических элементов по выбранным критериям оптимизации

Рис. 2 Постановка задачи направлена на развитие существующей концепции управления рисками

Во втором разделе, посвященном выбору и разработке методов и моделей для прогнозирования техногенных рисков, установлена логическая идентичность процессов, связанных с угрозами, мерами контроля, мониторинга и восстановления целостности в приложении к системам, их подсистемам и составным элементам. В качестве интегральных показателей функционирования сложных систем выбраны: риск (вероятность) нарушения целостности (качества и/или безопасности

функционирования) в течение заданного периода времени для составных элементов и системы в целом – основной показатель; средняя наработка на нарушение целостности составных элементов и системы в целом; среднее время восстановления системы.

Исходными данными для каждого элемента определены: частота возникновения источника опасности; среднее время инициации с разрастанием опасности до нарушения целостности системы; время между окончанием предыдущей и началом очередной диагностики целостности системы; длительность диагностики; время восстановления нарушенной целостности системы; среднее время наработки оператора на ошибку при мониторинге; длительность прогнозного периода времени.

Предлагаемые методы повышения точности охватывают две базовые модели опасного воздействия на систему (см. рис. 3).

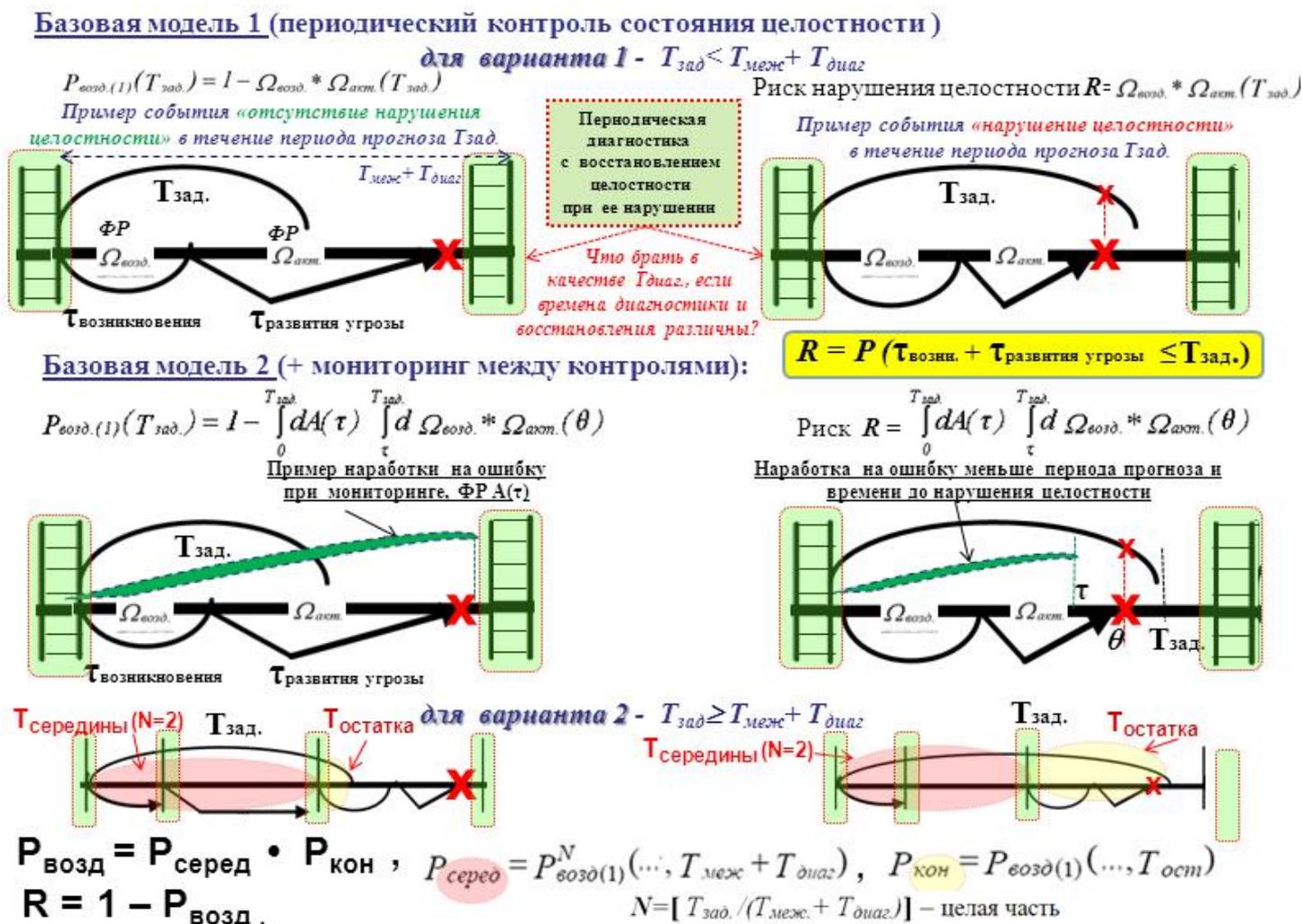


Рис. 3 Описание выбранных базовых моделей ( $\Omega_{возд.}(t)$  – функция распределения (ФР) времени между возникновениями источника опасности;  $\Omega_{акт.}(t)$  – ФР времени инициации источника опасности, приводящей к нарушению целостности системы;  $A(t)$  – ФР времени наработки оператора на ошибку при мониторинге)

Выявлены существующие ограничения и предположения, а также определены основные направления модернизации базовых моделей для решения научной задачи – см. табл.1.

Табл. 1 Направления модернизации базовых моделей

Существующие ограничения базовых моделей	Направления модернизации
<p>1. Комплексование осуществляется на уровне МОЖ, т.е. при логическом объединении по принципу «И»</p> $T_{\text{нар}} = 1/(1/T_{\text{нар1}} + 1/T_{\text{нар2}}),$ <p>а при объединении по принципу «ИЛИ»</p> $T_{\text{нар}} = T_{\text{нар1}} + T_{\text{нар2}} - 1/(1/T_{\text{нар1}} + 1/T_{\text{нар2}}).$ <p>Функция распределения наработки на нарушение целостности системы приближается экспоненциальным распределением.</p> <p>2. Среднее время восстановления целостности системы, состоящей из множества элементов, не учитывает возможные изменения во времени наработки элементов на нарушение целостности.</p> <p>3. В моделях не учитываются различия во временах диагностики и восстановления нарушаемой целостности по каждому элементу (они полагаются равными).</p> <p>4. Модель 1 не учитывает возможности мониторинга, а в модели 2 считается, что при обнаружении отклонений в процессе действенного мониторинга восстановление целостности осуществляется мгновенно. Самостоятельно ни одна из моделей не позволяет спрогнозировать риски нарушения экономически приемлемого производственного процесса на предприятии непрерывного производства с учетом текущих и плановых ремонтов</p>	<p>1. Функцию распределения наработки на нарушение целостности системы определять численно, исходя из составных функций распределений элементов, а не их МОЖ.</p> <p>2. При определении среднего времени восстановления целостности за систему, состоящую из множества элементов, учесть характер логического объединения («И» или «ИЛИ») и реальные возможности увеличения времени наработки элементов на нарушение целостности за счет рационального управления системными процессами.</p> <p>3. На основе вычисляемых рисков нарушения целостности учесть частоту мер отдельно диагностики (при отсутствии нарушений) и восстановления нарушаемой целостности по каждому элементу.</p> <p>4. На основе комбинации моделей предложить алгоритм прогнозирования рисков нарушения экономически приемлемого производственного процесса на предприятии непрерывного производства с учетом текущих и плановых ремонтов</p>

Разработанные три метода повышения точности прогнозирования рисков для выбранных базовых моделей опасного воздействия на сложную систему позволили учесть особенности функционирования составных элементов сложной системы, в т.ч. различного рода угрозы, возможные меры периодического контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности, дифференцированные по элементам системы. Методы включают:

- 1) метод 1, позволяющий использовать реальную функцию распределения риска

(получающуюся по расчетным формулам и строящуюся на сетке по точкам от 0 до  $\infty$  с учетом возможностей системного контроля, мониторинга и восстановления целостности), а не использовавшуюся ранее экспоненциальную аппроксимацию этого распределения;

2) метод 2, реализующий возможность поддержки и/или восстановления целостности по каждому из элементов, а не за систему в целом, как это применяется в базовых моделях;

3) метод 3, обеспечивающий повышение точности прогноза путем итерационного вычисления вероятностных весовых коэффициентов (через риск) для адекватного учета среднего времени контроля (когда нарушений целостности нет) и среднего времени восстановления целостности системы (в случае выявленного нарушения) по сравнению с применяемым сегодня учетом лишь одного параметра - среднего времени контроля или восстановления нарушенной целостности.

В теоретическую поддержку метода 3 сформулированы и доказаны две теоремы о существовании расчетного риска при итерационном использовании базовых моделей с технологиями периодического контроля и мониторинга с учетом различий в длительностях диагностики и восстановления нарушаемой целостности элементов системы. На основе применения разработанных методов повышения точности прогнозирования рисков и сформулированных теорем разработаны модернизированные модели 1 (для технологии с периодическим контролем) и 2 (для технологии мониторинга целостности между периодическими контролями) – см. рис. 4-5. Согласно многочисленным сравнениям точность прогнозных значений риска при прочих равных условиях повышается на десятки процентов, а средняя наработка на нарушение целостности – в разы.

### Модернизированная модель 1 (с периодическим контролем состояния целостности)

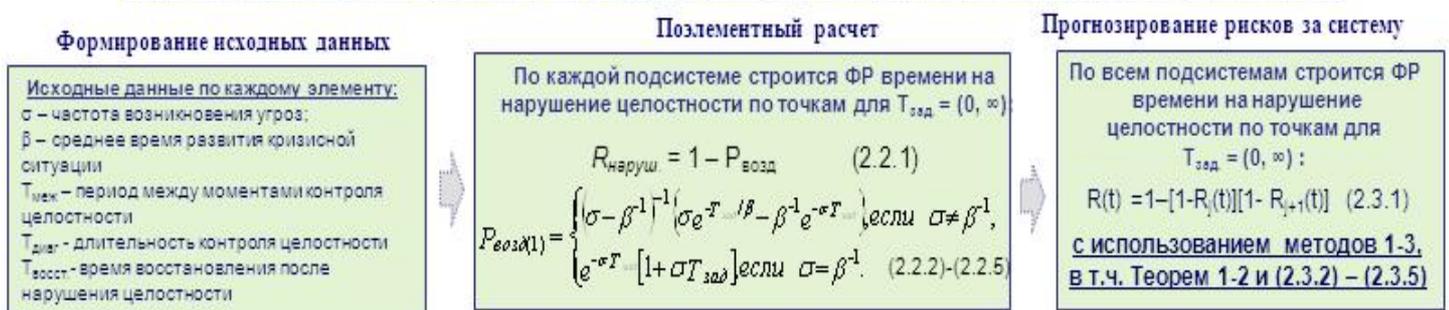


Рис. 4 Описание модернизированной модели 1 (ограничения и предположения 1-3 из табл. 1 сняты)

## Модернизированная модель 2 (+ мониторинг между контролями)

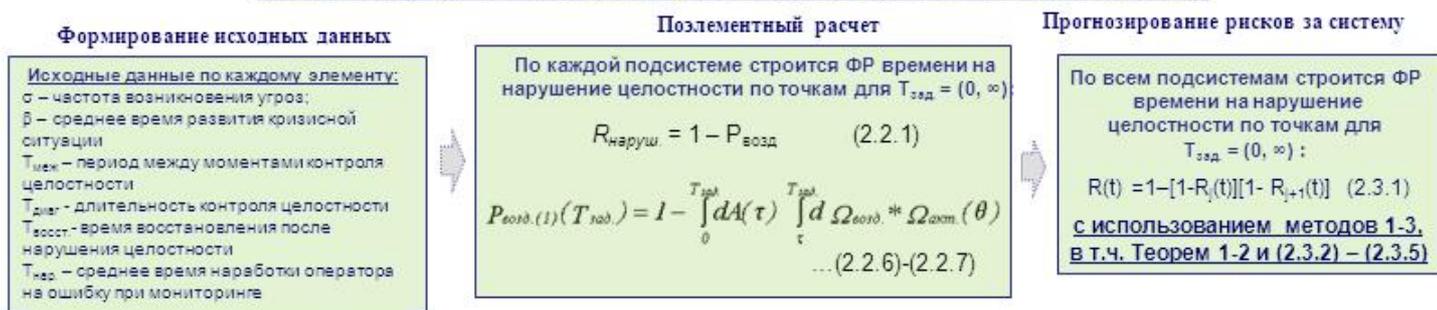


Рис. 5 Описание модернизированной модели 2 (ограничения и предположения 1-3 из табл. 1 сняты)

Предложенная комбинированная модель периодического контроля и мониторинга состояний позволяет в 3 этапа (см. рис. 6) прогнозировать риски нарушения экономически приемлемого производственного процесса для предприятий непрерывного производства с учетом плановых и внеплановых (текущих) восстановлений целостности (ремонт).

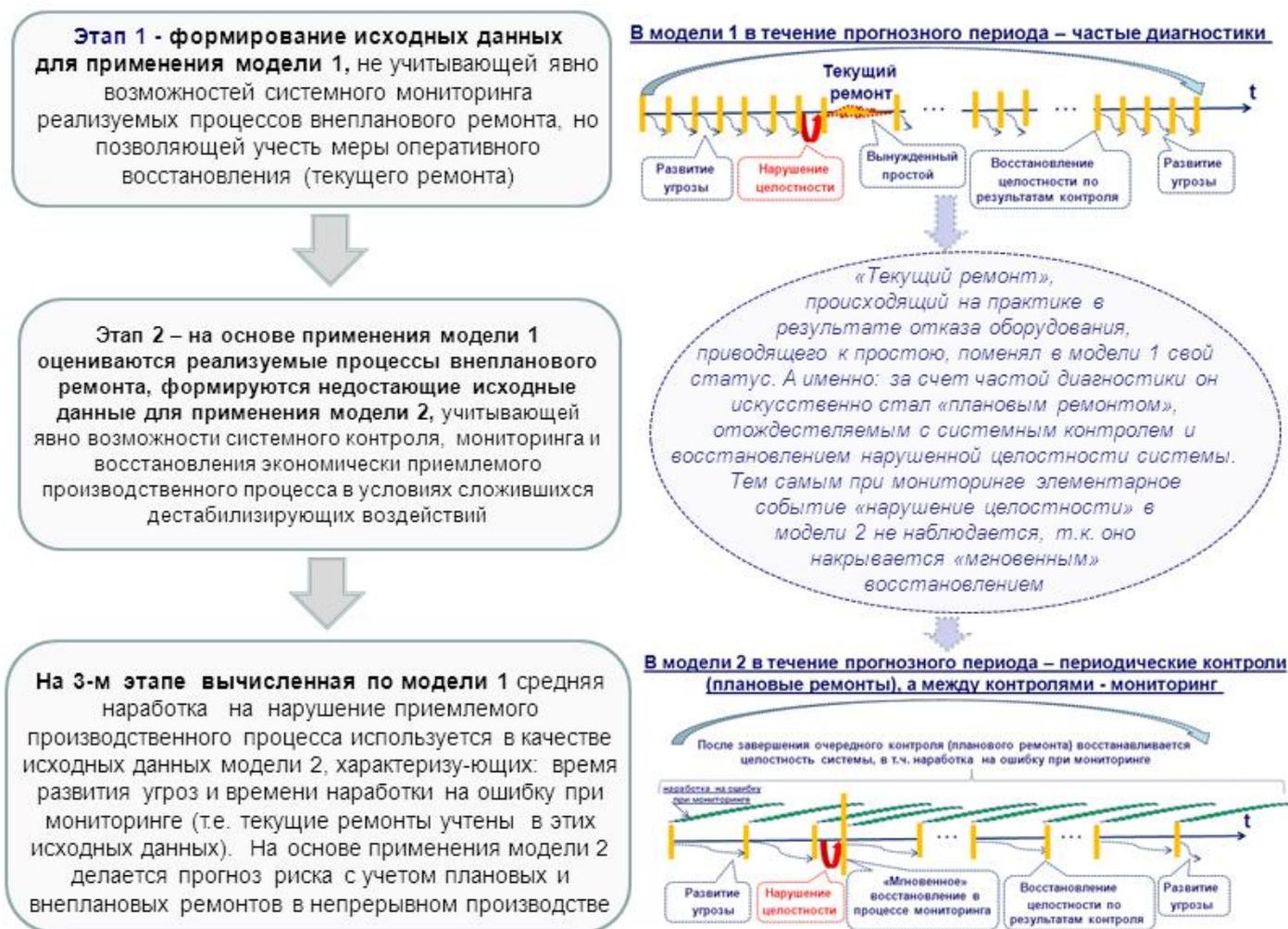


Рис. 6 Логика решения задачи прогноза риска в непрерывном производстве

**В третьем разделе разработана методика прогнозирования техногенных рисков с**

использованием Интернет-технологии. Суть предлагаемой Интернет-технологии заключается в оперативной обработке поступающих от пользователей запросов и оперативной выдаче им автоматически генерируемого аналитического отчета – см. рис. 7. Последовательность методических шагов разработанной методики прогнозирования техногенных рисков отражена на рис. 8.

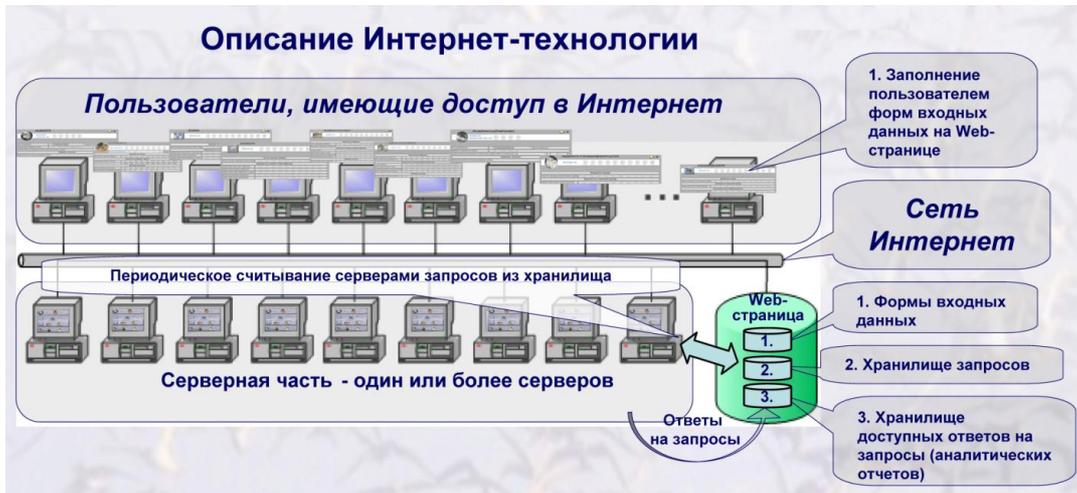
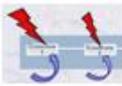


Рис. 7 Описание реализации прогнозирования рисков с использованием Интернет-технологии

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ

### Шаг 1. Определение логической структуры системы и модели угроз (вручную):

1) система в состоянии целостности, если «И» 1-й «И» 2-й элементы (подсистемы) находятся в этом состоянии, т.е. это – логика последовательного объединения -



2) если «ИЛИ» 1-й «ИЛИ» 2-й элементы (подсистемы) находятся в состоянии целостности, т.е. это – логика параллельного объединения -



### Шаг 2. Целенаправленная обработка накопленной информации об угрозах, возможных и реализуемых мерах контроля, мониторинга и восстановления целостности. Формирование исходных данных для моделирования (вручную, возможна реализация автоматического режима обработки данных от датчиков)

**Исходные данные для модели 1 по каждому элементу:**

- частота и среднее время развития критических ситуаций
- период между системными контролями
- длительность системного контроля и восстановления нарушенной целостности

**Исходные данные для модели 2 и комбинированной модели по каждому элементу:**

- частота и среднее время развития критических ситуаций
- период между системными контролями
- длительность системного контроля и восстановления нарушенной целостности
- средняя наработка на ошибку при мониторинге



### Шаг 3. Поэлементный расчет (программными моделями)

Построение ФР времени на нарушение целостности путем расчета в точках  $T_{зад}$  от 0 до  $\infty$  по всем элементам

$$R_{наруш.} = 1 - P_{возд} \quad (2.2.1)$$

$$P_{возд(1)} = \begin{cases} (\sigma - \beta^{-1})^{-1} (\sigma e^{-\sigma T} - \beta^{-1} e^{-\beta T}) & \text{если } \sigma \neq \beta^{-1}, \\ e^{-\sigma T} - [1 + \sigma T_{зад}] & \text{если } \sigma = \beta^{-1}. \end{cases} \quad (2.2.2)-(2.2.5)$$

$$P_{возд.(1)}(T_{зад}) = 1 - \int_0^{T_{зад}} dA(\tau) \int_0^{T_{зад}} d\Omega_{возд.} * \Omega_{авт.}(\theta) \quad \dots (2.2.6)-(2.2.7) \text{ и др.}$$

### Шаг 4. Прогнозирование рисков (программными моделями)

Построение ФР времени на нарушение целостности по точкам  $T_{зад}$  от 0 до  $\infty$  по всем подсистемам и системе в целом

$$R(t) = 1 - [1 - R_1(t)][1 - R_2(t)] \quad (2.3.1)$$

$$B(t) = B_1(t)B_2(t) \quad (2.3.2)$$

с использованием методов 1-3 (2.3.3) – (2.3.5)

Вычисление численными методами средних времен наработки на нарушение целостности  $T_{изр.}, T_{изр.}$

### Шаг 5. Автоматическая генерация отчета (программными моделями)

Сравнительный анализ системных процессов, извлечение закономерностей, обоснование рекомендаций для выработки рациональных организационно-технических решений по управлению системными процессами

Рис. 8 Последовательность основных шагов по применению методики

1. По примерам анализа системных процессов хранения зерна выявлено:

если условия хранения ежедневно способствуют возникновению рассадников насекомых, потеря качества хранимого зерна за год-два столь же вероятна, сколь и сохранение требуемого качества, что недопустимо. Если условия хранения не допускают возникновения рассадников насекомых чаще, чем раз в неделю, вероятность сохранения качества хранимого зерна за 3-6 лет в 3-5 раз превышает вероятность потери качества;

полученные значения риска могут быть определены как допустимые, а именно - риск нарушения качества хранимого зерна не должен превышать 0.25 для хранения зерна в течение 6 лет.

2. По примеру анализа системы хранения бензина А 76 выявлено: по существующим многолетним прецедентам отсутствия потерь качества при отгрузке бензина уровень риска нарушения норм качества 0.27 за 5 лет хранения может быть охарактеризован как допустимый (приблизительно такой же уровень риска свойственен и качеству хранимого зерна).

3. По примеру сравнения возможностей ручной реакции на опасные воздействия с возможностями автоматической противоаварийной защиты выявлено: за счет своевременной реакции на результаты периодического контроля процессов вероятность безопасного функционирования в течение 5 лет составляет 0.30. Последнее означает, что в этих процессах за 5 лет реально возникнет хотя бы одна потенциально опасная ситуация, требующая применения мер противоаварийной защиты. Риск наступления такой ситуации составляет около 0.70, что свидетельствует об острой необходимости разработки плана ликвидации аварийных ситуаций.

4. По примеру прогнозирования риска неконтролируемого развития ситуации со стороны диспетчера непрерывного производства выявлено - использование в качестве диспетчера специалиста средней квалификации допустимо лишь как исключение и лишь в течение короткого срока (несколько дней). Для устойчиво эффективного контроля и мониторинга ситуаций на предприятии рекомендуется целенаправленное укрепление диспетчерской службы только высококвалифицированными специалистами, наработка которых на ошибку составит не менее 1 года.

5. Для решения задач учета плановых и внеплановых восстановлений целостности в непрерывном производстве использована предложенная комбинированная модель мониторинга и периодического контроля технологического состояния производства. В результате прогноза рисков извлечены знания о регламенте планового ремонта: по сравнению с существующим вариантом ежесуточного планового ремонта при реализации системного контроля и необходимого планового ремонта 4 раза в сутки средняя наработка предприятия непрерывного производства на

простой возрастает в 2.46 раза, а риск нарушения экономически приемлемого производственного процесса за сутки снизится с уровня 0.424 до 0.199, т.е. сократится в 2.13 раза.

6. На примере оценки эффективности фрагмента АСУ системами инженерного обеспечения извлеченные знания позволили обосновать целесообразность автоматизации, а именно: наработка на отказ фрагмента системы инженерного обеспечения возрастает в 2.4 раза, а риски уменьшаются в 4-8 раз в результате рациональной организации процессов контроля, мониторинга и восстановления целостности фрагмента системы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации содержится решение актуальной научной задачи прогнозирования техногенных рисков нарушения целостности систем различного функционального назначения с использованием Интернет-технологии, имеющей существенное значение для развития и применения теоретических основ информатики. Получены следующие основные результаты.

1. Разработанные три метода повышения точности прогнозирования рисков для выбранных базовых моделей опасного воздействия на сложную систему позволили учесть особенности функционирования составных элементов сложной системы, в т.ч. различного рода угрозы, возможные меры периодического контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности, дифференцированные по элементам системы.

2. Сформулированы и доказаны теоремы о существовании расчетного риска при итерационном использовании базовых моделей опасного воздействия на сложную систему с технологиями периодического контроля и мониторинга с учетом различий в длительностях диагностики и восстановления нарушаемой целостности элементов системы. Применение теорем позволило расширить границы применимости базовых моделей на основе учета различий в длительностях диагностики и восстановления нарушаемой целостности элементов системы.

3. На основе применения разработанных методов повышения точности прогнозирования рисков и сформулированных теорем проведена модернизация двух базовых моделей опасного воздействия на сложную систему с технологиями периодического контроля и мониторинга. Предложенные модернизированные модели

позволили повысить степень научного обоснования мер контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности для логических элементов системы.

4. На основе изученных взаимосвязей экономически приемлемого производственного процесса на предприятиях непрерывного производства с типовыми системными процессами контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности предложена последовательная комбинация применения модернизированных моделей опасного воздействия на систему. Разработанная комбинированная модель позволяет прогнозировать риски нарушения экономически приемлемого производственного процесса для предприятий непрерывного производства с учетом плановых и внеплановых (текущих) восстановлений целостности (ремонтов).

5. Предложенная Интернет-технология удаленного прогнозирования техногенных рисков с использованием модернизированных моделей позволяет осуществлять оперативную обработку поступающих от удаленных пользователей запросов и выдачу им аналитического отчета с результатами расчетов в диапазоне изменения исходных данных  $-90\%$   $+100\%$ , анализом и сравнениями прогнозных рисков, выявлением закономерностей и логическим их объяснением, а также с обоснованными рекомендациями для выработки рациональных организационно-технических решений по управлению системными процессами.

6. Разработанная методика прогнозирования техногенных рисков с помощью Интернет-технологии обеспечивает понятность прогноза, расширяет доступность предложенных модернизированных моделей. Выявляемые точки локальных экстремумов риска с их абсолютными величинами являются возможными аргументами для целенаправленных упреждающих воздействий во времени с целью снижения риска или его удержания в допустимых пределах. Применение методики позволяет:

выявлять качественно новые закономерности в зависимостях рисков от характеристик угроз и реализуемых процессов контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности в сложных системах (что должно и может быть использовано для эффективного управления рисками);

обосновывать уровни допустимых рисков по «прецедентному принципу»;

повысить точность прогноза с расширением границ применимости полученных результатов на системы различного функционального назначения (в т.ч. на системы хранения продукции, противоаварийной защиты, диспетчерского управления, непрерывного производства, инженерного обеспечения, информационные системы).

7. Решение научной задачи, поддержанное предложенными методами повышения точности прогнозирования, модернизированными моделями, программными инструментариями, Интернет-технологией и методикой прогнозирования техногенных рисков, позволяет реализовать идею накопления и целенаправленной обработки информации об угрозах, возможных и реализуемых мерах контроля, мониторинга и восстановления нарушаемой целостности в жизненном цикле систем различного функционального назначения. За счет применения предложенной методики достижимы оценки, сравнительный анализ и выработка научно обоснованных организационно-технических решений по управлению системными процессами, что обогатило существующую научно-практическую концепцию управления рисками.

8. По результатам многочисленных расчетов при решении практических задач на примерах хранения зерна и бензина, сравнения потенциала ручной реакции на опасные воздействия с возможностями автоматической противоаварийной защиты, анализа уровня квалификации диспетчера и регламента планового ремонта в непрерывном производстве, оценки эффективности фрагмента АСУ системами инженерного обеспечения доказана перспективность применения предложенной методики для оценки, сравнительного анализа и выработки научно обоснованных организационно-технических решений по управлению системными процессами.

9. Результаты исследований реализованы в отчетах о НИР, связанных с разработкой прототипа технологии удаленного прогноза качества и рисков в системе управления государственными материальными резервами и ее опытной реализацией (подтверждено актом реализации ФКГУ комбината «Монтаж» Росрезерва), с разработкой методики оценки эффективности применения автоматизированных систем управления системами инженерного обеспечения ИТС Банка России [65], с прогнозом рисков нарушения безопасности функционирования информационных систем (подтверждено актом реализации ФГНУ ЦИТиС), а также в макете

многокритериальной системы прогноза, оценки и управления рисками в условиях опасных природных и техногенных явлений (подтверждено актом реализации Тугнуйской обогатительной фабрики), внедрены в учебный процесс (подтверждено актом реализации РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина).

10. Сформулированные рекомендации по рациональному применению методики нацелены на систематизированный анализ результатов моделирования и извлечение скрытых закономерностей в системных процессах контроля, мониторинга и восстановления целостности, а также на обоснование «допустимых» рисков.

### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Монография** (раздел 7): Andrey Kostogryzov, **Andrey Nistratov**, George Nistratov SOME APPLICABLE METHODS TO ANALYZE AND OPTIMIZE SYSTEM PROCESSES IN QUALITY MANAGEMENT. Total quality management and six sigma // InTech, 2012, ISBN979-953-307-778-8, 2012, pp. 127-196.

2. **Из перечня ВАК. Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А. Математическое моделирование стандартизованных процессов через Интернет для управления качеством и рисками // Информатизация и связь №3 – Москва: Изд-во АНО “Редакция журнала “Информатизация и связь” 2009, с. 29-39.

3. Костогрызов А.И., Нистратов Г.А., **Нистратов А.А.** Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле сложных систем // Труды Всеукраинской научной конференции „Системний аналіз. Інформатика. Управління” САІУ. 4-5 марта 2010, г. Запорожье, 2010г., с. 42-45.

4. **Нистратов А.А.** Интернет-технология вероятностного анализа рисков нарушения безопасности функционирования систем // Тезисы пятой научно-практической конференции “Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС’2010”, 21-25 июня 2010, Киев, с. 232-233

5. **Из перечня ВАК.** Попов В.М., Костогрызов А.И., П.В.Степанов, Нистратов Г.А., **Нистратов А.А.** Вероятностный прогноз нарушения безопасности функционирования типовой системы инженерного обеспечения предприятия. // Системы высокой доступности. – Москва: Изд-во «Радиотехника». - 2011г. №3. - стр. 48-60.

6. Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Тимченко А.Н. Системная инженерия - системные подходы // II Научно-практическая конференция “Актуальные проблемы системной и программной инженерии”, 25-26 мая 2011 г., с. 40-58.

7. Попов В.М., Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А. Виртуальный анализ качества и рисков через Интернет. // Системний аналіз. Інформатика. Управління: Труды 2-й Всеукраинской научно-практической конференции САІУ, Запоріжжя: КПУ, 10-11 березня 2011р. - стр. 116-117.

8. Popov V., Kostogryzov A., Krylov V., **Nistratov A.**, Nistratov G., Stepanov P. Mathematical models and applicable technologies to forecast, analyze and optimize quality and risks for complex systems. // Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Transportation Information and Safety ( ICTIS 2011,Wuhan, China ) June 30<sup>th</sup> ~July 2<sup>nd</sup> 2011. - p. 845-854

9. Костокрызов А.И., Нистратов Г.А., **Нистратов А.А.**, Тимченко А.Н. Инновационный подход к управлению качеством и рисками в системе государственного материального резерва // Сборник докладов международной научно-практической конференции “О проблемах обеспечения в современных условиях количественной и качественной сохранности материальных ценностей, поставляемых и закладываемых в государственный резерв”, часть 1, 05-06 сентября 2011 г., с. 356-370

10. Костокрызов А.И., Нистратов Г.Н., **Нистратов А.А.**, Тимченко А.Н. Методы и инструментари прогнозирования качества и рисков и примеры их практических приложений для управления эффективностью систем в информационном обществе // Сборник статей, тезисов докладов и материалов к конференции «Стандартизация, сертификация, обеспечение эффективности, качества и безопасности информационных технологий», 11-12 октября 2011, с. 7-19.

11. **Из перечня ВАК.** Костокрызов А.И. , Тимченко А.Н., Довбня А.Б., Бурцева А.Е., **Нистратов А.А.** , Нистратов Г.А., Степанов П.В. Управление рисками для обеспечения эффективности системы противоаварийной устойчивости опасных промышленных объектов. Часть 1. Общие положения // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности №3 – 2012, с. 21 – 35.

12. **Из перечня ВАК.** Костогрызов А.И. , Тимченко А.Н., Довбня А.Б., Бурцева А.Е., **Нистратов А.А.** , Нистратов Г.А., Степанов П.В. Управление рисками для обеспечения эффективности системы противоаварийной устойчивости опасных промышленных объектов. Часть 2. Стратегия и примеры // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности №5 – 2012, с. 18-28

13. **Из перечня ВАК.** Костогрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А., Попов В.М., Степанов П.В. Моделирование процессов функционирования поста контроля почтовой корреспонденции. // // Системы высокой доступности. – Москва: Изд-во «Радиотехника». - 2012г. №1, т.8. - стр. 22-32.

14. Костогрызов А.И. , Довбня А.Б., Бурцева А.Е., **Нистратов А.А.**, Тимченко А.Н. Задачи обеспечения эффективности системы противоаварийной устойчивости предприятий и подходы к их решению // Тезисы докладов IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России», 30.01 – 01.02.2012, Часть 2, с 108.

15. Костогрызов А.И., Бурцева А.Е., Григорьев Л.И., **Нистратов А.А.** Прогноз качества и рисков для сложных систем: методы, технологии, возможности, эффекты // Тезисы докладов V Международной научно-технической конференции “Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами”, 24-26 октября 2012 г., с.45

16. Довбня А.Б., Костогрызов А.И., Нистратов Г.А, **Нистратов А.А.**, Тимченко А.Н. Методический подход к оценке рисков для морской ледостойкой платформы // Труды 3-й Международной научно-практической конференции „Системний аналіз. Інформатика. Управління” (САІУ-2012), Запоріжжя: КПУ, 2012., с. 96-99.

17. Kostogryzov A., **Nistratov A.**, Nistratov G. Applicable Technologies to Forecast, Analyze and Optimize Reliability and Risks for Complex Systems // Proceedings of the 6<sup>st</sup> International Summer Safety and Reliability Seminar, Poland, 2-8 September, Volume 3, Number 1, 2012, pp. 1-14.

18. **Нистратов А.А.** Извлечение знаний о прогнозных уровнях рисков и рациональном управлении системными процессами// Труды 3-й Международной научно-практической конференции „Системний аналіз. Інформатика. Управління” (САІУ-2012), Запоріжжя: КПУ, 2013.

19. Grigoriev L., Kostogryzov A., Krylov V., **Nistratov A.**, Nistratov G. Prediction and optimization of system quality and risks on the base of modelling processes. American Journal of Operation Researches, Special Issue, Volume 1, 2013, pp. 217-244.

20. Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А., Нистратова Е.Н. Моделирование процессов в жизненном цикле систем "Моделирование процессов" - "ноу-хау" // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2006610219.

21. Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А. Комплекс для анализа и управления качеством и рисками при создании и эксплуатации автоматизированных систем // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2006610219.

22. Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А. и др. "Программно-инструментальный комплекс оценки качества функционирования информационных систем через Интернет «КОК-Интернет» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008612348.

23. Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А., Стойликович В. и др. "Программно-инструментальный комплекс сопровождения систем менеджмента качества «OPISys-КОК-Интернет»" // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008614525.

24. Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А., Нистратова Е.Н. Программно-вычислительный комплекс оценки качества производственных процессов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010614145.

25. Костокрызов А.И., **Нистратов А.А.**, Нистратов Г.А., Нистратова Е.Н. Комплекс для оценки качества информационных и административно-управленческих процессов при функционировании электронного правительства (КОК-ЭП)». // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617017.

**Личный вклад автора:** описание Интернет-технологии, методов комбинирования моделей, методики прогнозирования рисков – в работах 1, 2-4, 6-7, 9-12, 18; описание моделей угроз – в 16, 19; разработка интерфейса и удаленного доступа с помощью Интернет – в 1, 6-7, 20-25; подготовка расчетных примеров и интерпретация – 5, 8, 13-15, 17- 19.