

На правах рукописи



ГВОЗДЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ
КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ**

Специальность: **05.26.03** – «Промышленная и пожарная безопасность
(технические науки)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2022 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук» (ИМАШ РАН). Адрес 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4.

- Научный консультант:** **Матвиенко Юрий Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук», заведующий отделом.
- Официальные оппоненты:** **Порошин Александр Алексеевич**, доктор технических наук, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, научно-исследовательский центр организационно-управленческих проблем пожарной безопасности, главный научный сотрудник.
- Берман Александр Фишелевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук», главный научный сотрудник.
- Неганов Дмитрий Александрович**, доктор технических наук, ООО НИИ Транснефть, первый заместитель генерального директора.
- Ведущая организация:** ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России.

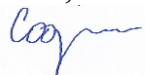
Защита состоится «___» _____ 2022 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 355.001.01 при ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ) по адресу: 105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14. Тел. (495) 620-47-47; e-mail: toxi@safety.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (<http://disser.safety.ru>), а также на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<http://vak.ed.gov.ru>).

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения) направлять по адресу: 105082, г. Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 14, Софину А.С. Копии отзывов можно присылать на e-mail: toxi@safety.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



А.С. Софин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы исследований. Важное место в системе безопасного и надежного развития России и обеспечения её энергетической безопасности занимают производственные предприятия нефтегазового комплекса (далее – НГК). Эти предприятия относятся к классу открытых систем, крайне сложных для оценки и управления. Их неизолированность, а также специфичность в функционировании каждого из производственных процессов (добычи, переработки, транспортировки, хранения углеводородов) осложняется не только угрозами воздействия на предприятия НГК природных опасностей (землетрясений, наводнений, ураганов и т. д.), но и угрозами опасностей техногенного характера (аварий и пожаров). Воздействие этих опасностей нередко приводит к ущербам (как непосредственно жизни и здоровью персонала предприятий и/или третьим лицам, так и материальным или экономическим потерям). На величину ущерба в значительной степени влияет наличие на многих предприятиях НГК России участков (площадок) опасных производственных объектов (далее – ОПО), отнесенных ко второму или третьему классам опасности по утвержденным классификационным признакам, изложенным в приложении 1 Федерального закона от 21.07.1997г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Результаты анализа статистики возникновения опасностей техногенного характера (аварий, пожаров, взрывов, ущерба здоровью и гибели персонала) в сочетании с оценкой результатов контрольно-надзорной деятельности, эффективности работы и взаимодействия служб поддерживающих качественное функционирование техносферной безопасности, уровнем деятельности персонала по исполнению принятых обязательных для исполнения на предприятиях отрасли требований, подтверждают актуальность развития комплексного адаптивного подхода к обеспечению безопасности ОПО НГК. До настоящего времени не имеет окончательного решения и задача сбалансированного и результативного функционирования отраслевых подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда), относящихся к элементам системы комплексной безопасности (далее – СКБ) промышленных предприятий.

Очевидно, что стабилизация обстановки в (промышленной и пожарной безопасности, охране труда) на предприятиях НГК, рассматриваемая в виде снижения (исключения) опасностей техногенного характера сможет наступить только тогда, когда будет сделан упор на проведение предупредительных профилактических мероприятий специалистами служб, участвующих в обеспечении качественного функционирования рассматриваемых подсистем, входящих в СКБ предприятий. Необходимость развития межатраслевого подхода к проблеме обеспечения комплексной безопасности (далее – КБ) на предприятиях НГК, требует разработки единого методологического подхода к исследованию не только надежности, безопасности, живучести функционирования физических объектов, но и развития теоретических основ и специального математического обеспечения управления и организационно-технического обеспечения СКБ.

Выполненные ранее исследования свидетельствуют о том, что проблемы обеспечения КБ промышленных предприятий сложны и многогранны, их решение

требует рассмотрения в виде системы взаимодействующих между собой отраслевых подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т. д.), которые наделены свойствами адаптивности к преодолению возникающих опасностей (аварий и пожаров). Представленные выше обстоятельства характеризуются высокой степенью актуальности, имеют непосредственное отношение к объекту и предмету настоящего диссертационного исследования, требуют детального углубленного изучения механизма функционирования отраслевых подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т. д.), входящих в СКБ промышленных предприятий.

Степень научной разработанности проблемы. Значительный вклад в исследование и решение проблем в области промышленной и пожарной безопасности для предприятий, имеющих участки (площадки) ОПО, внесли К.В. Фролов, Н.А. Махутов, Ю.Г. Матвиенко, Е.В. Кловач, С.Н. Буйновский, В.И. Сидоров, А.С. Печеркин, А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, Н.Г. Топольский, Н.А. Акимов, А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Д.М. Гордиенко, А.А. Порошин и другие отечественные исследователи. Среди зарубежных исследователей стоит выделить работы Х. Кумамото, Э. Хенли и Р. Биллингтона. Теоретические и методологические основы развития и совершенствования КБ на промышленных предприятиях, имеющих участки (площадки) ОПО систематизированы и обобщены в многотомном труде «Безопасность России», изданном под руководством академика РАН К.В. Фролова и члена-корреспондента РАН Н.А. Махутова.

Вклад в развитие техносферной безопасности на предприятиях НГК внесли Г.Э. Одишария, В.С. Сафонов, А.А. Швыряев, исследования связанные с обеспечением безопасности с точки зрения устойчивости функционирования объектов НГК представлены в работах Ю.Н. Руденко, Н.П. Бусленко, И.А. Ушакова, логико-вероятностный подход к анализу надежности и безопасности развивали И.А. Рябинин, Е. Д. Соложенцев и А. С. Можаяев. Методы решения задач обеспечения безопасности, учитывающие особенности структурной связности объектов критической инфраструктуры и важности работы конкретного объекта для смежных систем и подсистем НГК развивали Н.Н. Радаев, В.В. Лесных, Н.Н. Жигирев, А.В. Бочков. Общие подходы описывающие результаты решения организационно-управленческих задач на энергетических предприятиях представлены в работах А.Ф. Бермана, М.В. Корнякова, Л.В. Массель и других исследователей.

Вместе с тем изменения, которые произошли в жизни нашего государства в последние годы, межведомственный и межрегиональный характер проблем КБ с целью их решения требуют применения системного и комплексного подхода как на уровне предприятий, так и на межотраслевом (межведомственном) уровне государственного управления. Это может быть осуществлено посредством разработки и реализации структурированной модели СКБ предприятия, отображающей свойства ее адаптивности к особенностям функционирования находящихся в ее содержании подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т. д.), построенной на основе научно-обоснованной методологии для предприятий НГК России.

Рост количества и технической сложности ОПО на предприятиях НГК России приводит к росту трудозатрат персонала (специалистов, участвующих в обеспечении функционирования СКБ) предприятия, силами которых реализуется одна из важных функций управления – контроль, играющий ключевую роль в минимизации рисков возникновения опасностей техногенного характера. Проведение превентивных предупредительных профилактических мероприятий для рассматриваемой категории специалистов становится проблематичным из-за наличия следующих объективных противоречий:

- с одной стороны, возникает необходимость в качественном исполнении множества разработанных и утвержденных требований для поддержания подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т. д.), входящих в СКБ предприятия, на требуемом уровне;

- с другой стороны, статистика представляет подтверждающие факты о нанесении ущербов (безвозвратных и санитарных потерь персонала и третьих лиц, материального и экономического) объектам защиты.

С целью преодоления указанного противоречия в настоящее время ведется активный поиск новых форм и методов управления СКБ на предприятиях ОПО, вариантов его структурной и организационной оптимизации.

Как показали исследования, одним из наиболее реальных и экономически обоснованных направлений в повышении качества и эффективности управления СКБ на предприятиях ОПО является комплексная адаптация параметров их основных компонентов к сложившимся условиям, способность системы к перестраиванию для преодоления воздействий. Сущностью подобного процесса адаптации является поддержание значений основных параметров функционирования подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т. д.) в заданных пределах. Одним из важных проявлений реакции различных систем управления на возникающие процессы воздействий является признак адаптивности, т.е. способность системы сохранять внутреннее функциональное предназначение неизменным в условиях широкого диапазона изменений как во внутренней, так и во внешней среде.

Особенностью известных современных механизмов адаптации является то, что их реализация осуществляется главным образом на основе использования внутрисистемных ресурсов (материальных, экономических, временных, трудовых, информационных и т.д.). Однако в условиях ресурсных ограничений функционирования СКБ на предприятии ОПО, выделения ресурса для обеспечения безопасности отдельными затратными статьями, курируемыми отраслевыми подсистемами (промышленной и пожарной безопасностью, охраной труда и т. д.), использование современных механизмов адаптации становится чрезвычайно затруднительным вследствие дефицита и не всегда удовлетворительного качества ресурсного обеспечения, интенсивного физического и морального старения используемого оборудования.

Все это подтверждает актуальность решения крупной научной проблемы совершенствования и развития эффективности управления СКБ на предприятии

ОПО, ее поддержания на требуемом уровне в условиях динамичного изменения параметров среды функционирования подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т. д.).

К настоящему времени как научные, так и практические аспекты, связанные с обеспечением КБ предприятий, исследованы недостаточно, а наличие значительного числа публикаций не позволяет говорить об исчерпывающей изученности проблемы в рассматриваемой области.

Анализ состояния проблемы позволил сформулировать **общую концепцию исследования**: выявление мест (точек), относящихся к зонам с высоким показателем возникновения опасностей техногенного характера (аварий и пожаров).

Научная гипотеза: принята в виде следующих предположений: опасные факторы наличествуют постоянно, однако их причина, характер и показатель величины воздействия могут изменяться в зависимости от конкретных обстоятельств; доказана высокая вероятность влияния друг на друга подсистем (промышленной и пожарной безопасности); нормальным функционированием предприятия НГК России считается его устойчивое состояние по отношению к воздействующим опасным факторам от аварий или пожаров, которые уравниваются реагированием адаптивной СКБ созданной на предприятии.

Вероятность выхода предприятия НГК России из устойчивого состояния может быть реализована в следующих случаях: либо из-за возникновения сверхуровневых расчетных воздействующих значений от опасностей (аварий или пожаров), либо из-за снижения защитных свойств системы.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы состоит в развитии и обобщении теоретических основ и практических методов анализа, оценки и управления безопасным и устойчивым функционированием системы *комплексной безопасности* предприятий НГК России, которая наделена свойствами адаптивности к противостоянию возникших опасностей техногенного характера (аварий и пожаров).

Для достижения цели диссертационного исследования потребовалось решить ряд взаимосвязанных **задач**:

1. Провести анализ существующих подходов к обеспечению КБ на предприятиях НГК России.

2. Разработать концептуальные основы и описать процессы с использованием механизмов опережающего адаптивного управления СКБ на предприятии ОПО в условиях динамического изменения параметров среды, воздействующей на объекты защиты.

3. Сформировать модели, способные оценивать показатели весовых коэффициентов влияния для всех элементов (мероприятий, ставших причинами опасностей), имеющих собственный показатель нанесения ущерба который варьируется от минимальных до максимальных критических значений.

4. Проанализировать возможности методов, используемых для проведения оценки состояния подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и т. д.), входящих в СКБ предприятия, обосновать выбор именно тех методов, с помощью которых будет получен адекватный результат.

5. Разработать методику оценки состояния КБ на предприятиях НГК России, с помощью которой лицо, принимающее решение (далее – ЛПР), будет обеспечено информацией о наличии факторов способных привести к опасности (аварии и пожару).

6. Разработать программу, с помощью которой будет обеспечено получение результатов оценки состояния КБ на предприятиях НГК России, порядок и последовательность получения которых описаны в методике.

7. Разработать концепцию по созданию информационно-управляющей системы «Профессиональный консультант» для персонала (специалистов, участвующих в функционировании СКБ) предприятий НГК России, способную указать на те места (точки) элементов, оказывающих влияние на возникновение опасности (аварии и пожара), которым необходима ресурсно-обеспечивающая подпитка для устойчивого функционирования предприятия.

8. Разработать концепцию построения и практические рекомендации по использованию единой интеллектуальной автоматизированной системы, которая способна адаптироваться под сложившиеся условия внутренней и внешней среды.

Допущения и ограничения в исследовании наделены следующими характеристиками, в виде:

- *утверждения того*, что основное число реализованных опасностей на предприятиях НГК России обусловлено ошибочными, недостаточными, неквалифицированными, несвоевременными или несанкционированными действиями персонала;

- *допущения того*, что основная причина возникновения опасностей заключается в наличии недоработок (ошибок) персонала предприятия (*исходных иницирующих событий*), которые обладают свойством нарастать и переходить к возникновению функциональных отказов (*промежуточных событий*). Далее, в случае выхода за пределы запаса устойчивого функционирования подсистемы, наносить ущерб другим взаимодействующим подсистемам безопасности (*конечное событие*);

- *внесения ограничений* при рассмотрении в содержании КБ предприятий *только трех* взаимодействующих между собой ведомственных (отраслевых) подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда), причем третья подсистема (охрана труда) будет рассматриваться только с точки зрения нанесенного ущерба (безвозвратные и санитарные потери персонала) при воздействии опасностей (аварий и пожаров);

- *внесения ограничений* при рассмотрении причинно-следственных факторных связей по влиянию *промежуточных событий*, которые перерастают в *конечные события* и имеют предпосылки повторяться через определенный промежуток времени.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.26.03 – промышленная и пожарная безопасность (по отраслям): п. 1. Исследование методов и практики государственного надзора в области промышленной и пожарной безопасности; п. 2. Разработка систем информационного обеспечения, управления и государственного надзора в области промышленной и по-

жарной безопасности; п. 6. Исследование и разработка средств и методов, обеспечивающих снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов, предупреждения пожаров и аварий, тушения пожаров.

Объект исследования: процесс обеспечения и ситуационного управления безопасным и устойчивым функционированием СКБ предприятий НГК России в условиях повседневной деятельности.

Предмет исследования: теоретические положения и практические методы, алгоритмы и информационные технологии анализа и оценки управления, обеспечивающие комплексную поддержку принятия решений при прогнозировании и выявлении факторов влияющих на возникновение опасностей (аварий и пожаров), снижение которых обеспечивается ресурсной поддержкой подсистем (промышленной и пожарной безопасности), входящих в СКБ предприятий НГК России.

Научная новизна выполненного исследования состоит в получении следующих новых научных результатов:

- впервые на основе теоретических исследований сформулировано понятие «адаптивная система комплексной безопасности предприятий нефтегазового комплекса России»;

- на основе теоретических и прикладных исследований разработана методология синтеза адаптивной СКБ, суть которой заключается в обоснованном применении совокупности методов позволяющих представить результат оценки состоянии подсистем (промышленной и пожарной безопасности), что позволяет поддерживать данную систему на требуемом уровне за счет рациональных ресурсных вложений в те точки (места), которые имеют высокие показатели нанесения ущерба при возникновении опасностей (аварий и пожаров);

- на основе результатов анализа статистики возникновения опасностей (аварий и пожаров) на предприятиях НГК России разработаны иерархическая и графовая модели, обосновано совместное их использование для получения адекватного результата оценки состоянии подсистем (промышленной и пожарной безопасности);

- разработана методика оценки состояния КБ на предприятиях НГК России, позволяющая получить результаты оценки, формирование которых осуществлялось с учетом веса влияния невыполненных мероприятий взятых из действующей нормативно-правовой документации (далее НПД), а также учитывался показатель частоты их неисполнения за рассматриваемый период;

- предложена к использованию информационно-управляющая система «профессиональный консультант», предназначенная для персонала (специалистов подсистем (служб), участвующих в обеспечении промышленной и пожарной безопасности предприятия), которая способна представить перечень проводимых мероприятий (в виде управляющих предписаний) при обработке статистических отчетов об опасностях (авариях и пожарах) представляемых Ростехнадзором и МЧС России. Учтена возможность встраивания технической системы «профессиональный консультант» в действующие используемые на предприятиях НГК России технические системы, ее совместного использования с другими перспективными техническими системами построенными на основе технологий искусственного интеллекта и анализа больших данных.

Практическая значимость работы. При выполнении диссертации были получены следующие практические результаты:

- проведена комплексная оценка влияния факторов-причин на факторы-следствия приводящие к возникновению опасностей (аварий и пожаров), что позволило спланировать мероприятия по их снижению (исключению) в дочерней компании ПАО «Мосэнерго» имеющей участки (площадки) ОПО 2 и 3 классов опасности, входящей в структуру ПАО «Газпром»;

- основные научные положения, выводы и рекомендации внедрены в учебный процесс на кафедре «Комплексной безопасности в строительстве» Национального исследовательского Московского государственного строительного Университета (НИУ МГСУ), а также на кафедре «Пожарной безопасности» ФГБВОУ ВО Академии гражданской защиты МЧС России;

- получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Калькулятор оценки мероприятий промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России», позволяющей определить результат с точки зрения веса влияния опасностей (аварий и пожаров) на состояние подсистем (промышленной и пожарной безопасности) входящих в СКБ предприятий НГК России.

Методология и методы исследования. При выполнении работы применена методология системного анализа, использованы методы математической статистики, математического моделирования, теории принятия решений, множителей Лагранжа, анализа иерархий на основе попарных сравнений, байесовских сетей доверия, решения прямых и обратных задач.

Основные положения, выносимые на защиту. Автором развиты теоретические основы создания и совершенствования средств оценки состояния СКБ на предприятиях НГК России, разработана научная основа по ранжированию показателей влияния на возникновение аварий и пожаров. Развита методология прогнозирования опасностей (аварий и пожаров), нанесения ущерба от их возникновения применительно к задачам управления и устойчивого развития СКБ на предприятиях НГК России. Разработано прикладное программное обеспечение, к нему соответствующий базовый алгоритм.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Обоснование выбора системного анализа для исследования проблем промышленной и пожарной безопасности на предприятиях НГК России, методов для их решения.

2. Результаты анализа отчетов об авариях и пожарах на предприятиях НГК России за период 2014–2020 гг.

3. Иерархическая модель, построенная на основе метода анализа иерархий и попарных сравнений (далее – МАИ), использование которой позволило получить весовые коэффициенты влияния для каждого рассматриваемого мероприятия, ставшего причиной возникновения опасности (аварии и пожара).

4. Графовая модель, построенная на основе метода байесовских сетей доверия (далее – БСД) для получения показателей в виде частотной вероятности возникновения опасностей (аварий и пожаров), реализация которых произошла из-за недоработок (ошибок) персонала, участвующего в обеспечении промышленной и

пожарной безопасности на предприятиях НГК России.

5. Методика оценки состояния промышленной и пожарной безопасности на предприятиях НГК России, в ее содержательной части обоснована необходимость комплексного использования МАИ и БСД, применение которых позволяет получить в том числе следующие результаты:

- показатель весового коэффициента влияния, закрепленный за мероприятием, ставшим причиной нанесения ущерба от опасности (аварии и пожара);
- показатель вероятности возникновения опасности (аварии и пожара), который рассматривается в дополнение к весовому коэффициенту влияния и закреплен за мероприятием, ставшим причиной нанесения ущерба от опасности (аварии и пожара).

6. Концептуальная модель информационно-управляющей системы «Профессиональный консультант», предназначенная для использования персоналом (специалистами, задействованными в обеспечении КБ) на предприятиях НГК России.

Достоверность и обоснованность научных результатов обеспечивается корректностью выбора условий и исходных данных для построения моделей, факторным анализом значимости параметров моделей, проверкой разработанных методов, моделей и программных средств на практике с обобщением практического опыта используемого при обеспечении персоналом предприятия ПАО «Мосэнерго», который непосредственно участвовал в обеспечении (промышленной и пожарной безопасности, охране труда) на предприятии.

Результаты исследований использованы:

- при оценке факторов влияющих на возникновение опасностей (аварий и пожаров) на предприятии ПАО «Мосэнерго» входящем в структуру ПАО «Газпрома, планировании мероприятий по их снижению (исключению) с учетом важности рейтинговых весовых показателей;
- в учебном процессе Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) при подготовке специалистов техносферной безопасности;
- в учебном процессе ФГБВОУ ВО Академии гражданской защиты МЧС России при подготовке специалистов техносферной безопасности.

Достоверность использования результатов исследования по указанным выше направлениям подтверждена соответствующими документами.

Личный вклад автора. Теоретические, методологические и экспериментальные результаты исследований, представленные в работе, получены непосредственно автором. Решение задач, связанных с безопасностью СКБ промышленных предприятий, с точки зрения надежности функционирования на них физических объектов (элементов (блоков) технологического оборудования, используемого в производственном процессе), осуществлялось совместно с научным консультантом Ю.Г. Матвиенко. Разработка программного средства, предназначенного для оценки мероприятий промышленной и пожарной безопасности на предприятиях НГК России, и его практическая апробация реализованы совместно с сотрудниками Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ).

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на следующих мероприятиях:

- Международная научно-техническая конференция «Системы безопасности». ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России» (Москва, 2017 г.);
- Международная научно-практическая конференция. ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России» (г. Химки, 2017–2019 гг.);
- Международная конференция по наукам и приложениям, поддерживающим принятие решений (DASA'20, Бахрейн, 2020 г.);
- Международная научная конференция по развитию гражданского строительства «Строительство, формирование жизненной среды» (FORM-2020, Москва, 2020 г.);
- Международная научная конференция «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании» (IPICSE-2020, Москва, 2020 г.);
- Международная научная конференция по развитию гражданского строительства «Строительство, формирование жизненной среды» (FORM-2021, Москва, 2021 г.);
- Научно-технический семинар ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России» (г. Химки, 2019 г.);
- Совещание ученого совета ЗАО НТЦ ПБ (Москва, 2021 г.);
- Совещание научно-технического совета отдела прочности, живучести ИМАШ РАН (Москва, 2021 г.).

Публикации. По теме исследования опубликовано 47 различных работ, отражающих основные положения исследования, в том числе – 2 монографии, 4 учебных и учебно-методических пособия, 15 публикаций в перечне рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и приложения. Основное содержание работы изложено на 317 страницах машинописного текста, включая 15 табл., 99 рис., 4 приложения. Список используемых источников включает 248 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, рассмотрены ключевые проблемы обеспечения безопасности на предприятиях НГК России, обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цель и задачи исследования, раскрывается основное содержание работы, ее научная новизна и практическая значимость, апробация результатов исследований, приведена информация о структуре и объеме работы. Выражаю слова благодарности основоположнику комплексной безопасности в области прочности, повышения ресурса высоконагруженных машин и объектов новой техники, эксплуатируемых в экстремальных условиях, члену-корреспонденту АН СССР, члену-корреспонденту РАН д.т.н. Н.А. Махутову, д.т.н. Ю.Г. Матвиенко, д.т.н. Р.С. Ахметханову, д.т.н. С.Н. Буйновскому, д.т.н. М.В. Лисанову, д.т.н. А.И. Гражданкину за оказанную консультативную помощь и поддержку при работе над диссертацией.

В первой главе с системных позиций проанализированы объект и предмет исследования. Основное внимание автором уделено безопасности как свойству системы (объекта) выполнять свои функции без нанесения ущерба обслуживающему персоналу, окружающей среде и пр. Показано, что поддержание и развитие СКБ на предприятии заключается в умении находить баланс при перераспределении имеющихся ресурсов (материальных, экономических, трудовых, временных, информационных и т.д.), находящихся в распоряжении ее органа управления.

Представлен результат анализа методологических аспектов исследования проблем промышленной и пожарной безопасности. Обосновывается тезис о том, что обстановка с возникновением аварий и пожаров на предприятиях НГК России во многом зависит от качественного решения задач по профилактике и выявлению отклонений от требований установленных в НПД, что позволяет говорить о выполнении комплекса предупредительных мероприятий позволяющих минимизировать (исключить) условия для возникновения аварий и пожаров.

При проведении исследований с точки зрения причин возникновения совместных аварий и пожаров на предприятиях НГК России рассмотрены:

- сведения об авариях за период 2014–2020гг., расследование которых проводил Ростехнадзор (рис. 1);
- сведения о пожарах за период 2014–2020гг., представленные в виде карточек учета пожаров от ФГБУ ВНИИПО МЧС России¹ (рис. 2).

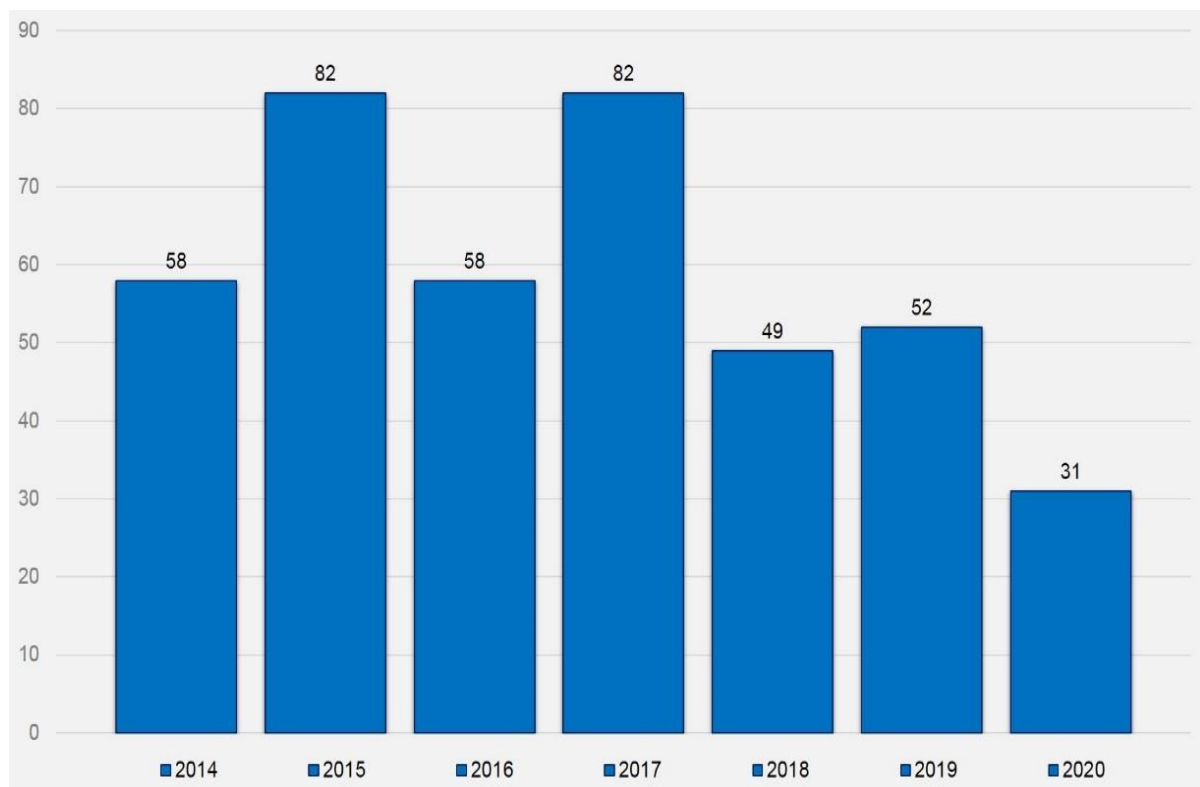


Рис. 1. Статистика аварий на предприятиях НГК России за период 2014–2020 гг.

¹ Информационные письма от начальника ФГБУ ВНИИПО МЧС России от 15.12.2020 № ИГ-117-2212-11-6 и от 21.06.2021 г. № ИГ-117-793-11-6 «О представлении карточек учета пожаров».

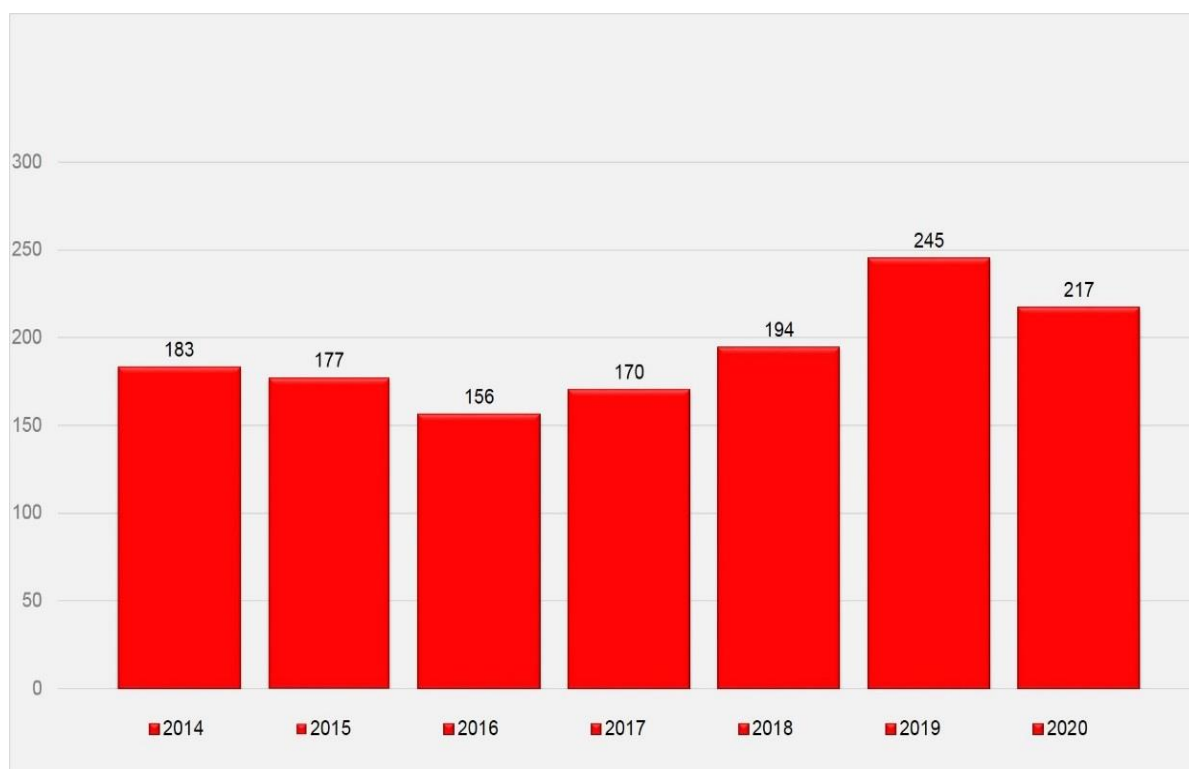


Рис. 2. Статистика пожаров на предприятиях НГК России за период 2014–2020 гг.

На основании исходных данных по авариям и пожарам проводилась выборка именно тех предприятий НГК России, на которых в день возникновения аварии происходил пожар. Статистика совместно происшедших аварий и пожаров на предприятиях НГК России приведена на рис. 3.

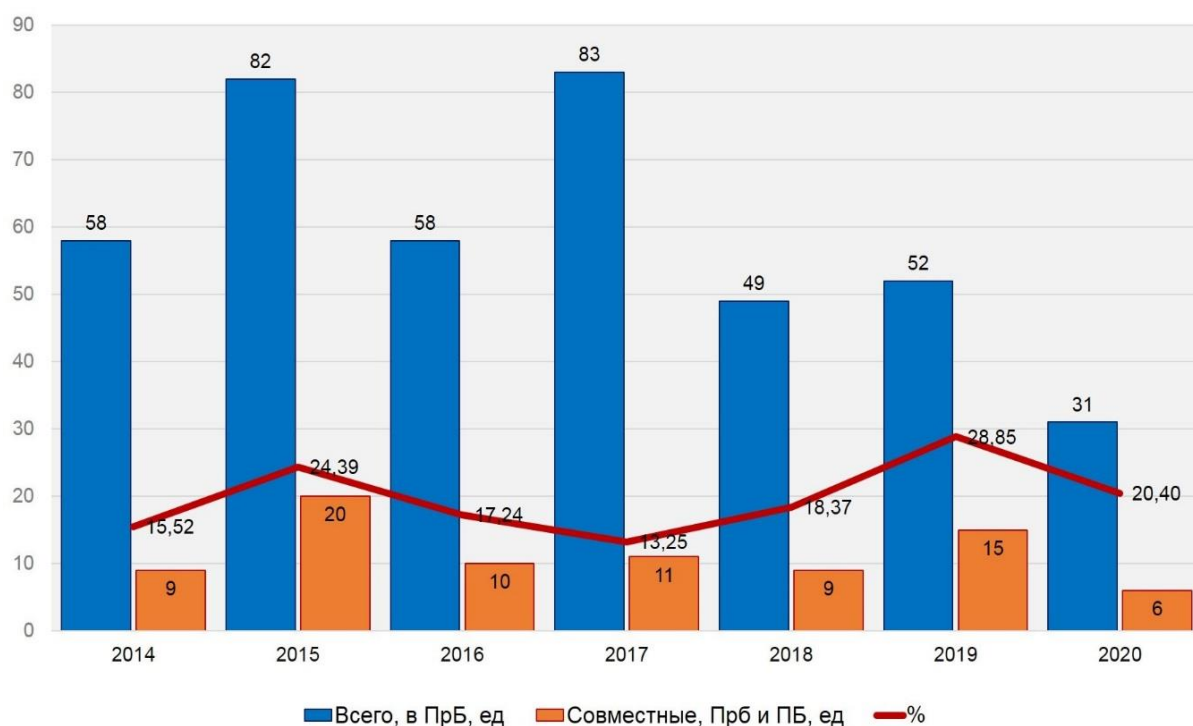


Рис. 3. Доля совместных аварий и пожаров на предприятиях НГК России за период 2014–2020 гг.

На основе исследования представленных статистических данных (см. рис. 3) сделаны следующие выводы:

- средняя доля просуммированных по годам всех совместных опасностей (аварии и пожары) – около 20 % в год;
- средний экономический ущерб от совместных опасностей (аварии и пожары) – примерно 40 % общего ущерба в год, т.е. около 1,5 млрд руб.;
- средний уровень санитарных и безвозвратных потерь персонала на предприятиях НГК России составляет около 38 %, примерно 300 чел. за год.

На основе использования результатов анализа показана и методически описана организационная структура КБ и входящих в нее отдельных подсистем промышленной и пожарной безопасности. Показана модель СКБ предприятия (рис. 4), которая характеризуется наличием полей, имеющих пробелы (поля № 1), и областей пересечений (поля № 2).

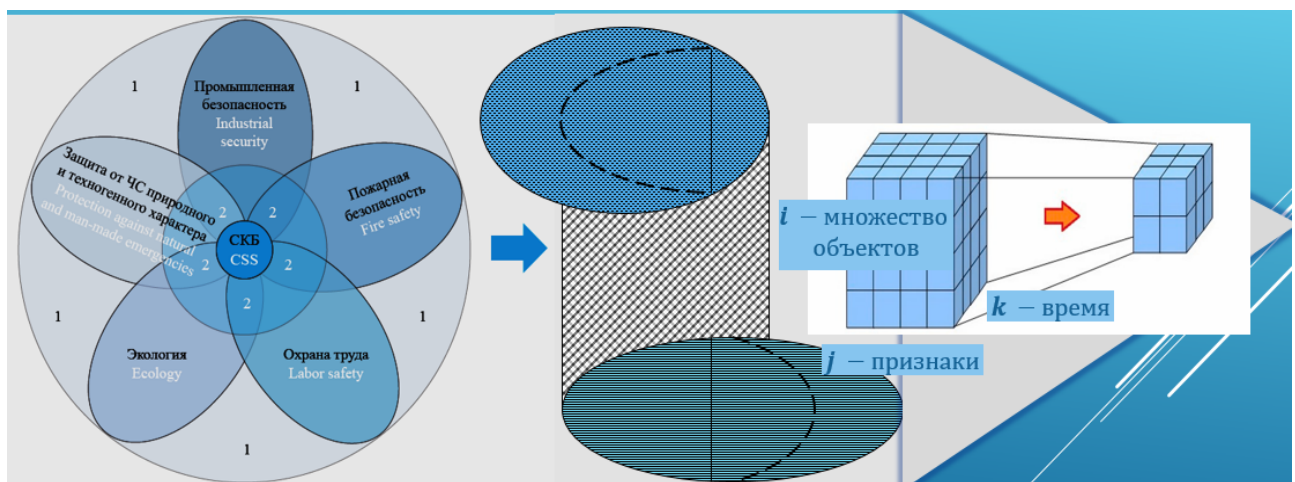


Рис. 4. Существующая и перспективная оптимизационная модели КБ предприятий

Проведенный анализ статистики возникновения опасностей техногенного характера указывает на наличие опасностей, которые отнесены к прочим (около 20 % от общего количества), имеющих принадлежность к полям № 1, которые возникают *из-за нечеткого взаимодействия между ведомственными (отраслевыми) подсистемами*. Области пересечений № 2 характеризуются *избыточным дублированием* требований со стороны отраслевых подсистем, *перенасыщены* в исполнении организационных и технических задач ряда отраслевых направлений. *Сделаны выводы о том, что* возникновение опасностей в виде вторичных факторов, рассматриваемых как ЧС, требует сосредоточения внимания в области изучения среды взаимодействия между ведомственными (отраслевыми) подсистемами. Прогнозируемая оптимизационная модель (рис. 4) представлена в виде куба данных, в содержании которого рассматривается множество объектов, их признаки, временные характеристики с точки зрения анализа исходных данных и их синтеза для проведения оптимизации модели.

В диссертационном исследовании сделан упор на решении проблем в направлении – организационно-технические мероприятия (рис. 5), в котором с точки зрения глубины проводимого исследования ключевая роль отведена основному ресурсу – персоналу, исполняющему трудовые обязанности на предприятии.



Рис. 5. Структурные блоки, обеспечивающие безопасность функционирования предприятия ОПО

В главе представлена постановка проблемы по рациональному распределению ресурса, предназначенного для обеспечения КБ на предприятии НГК России. Пусть для снижения воздействующих опасностей, повышения надежности функционирования КБ предприятия имеем ограниченный ресурс, равный общему показателю S , включающему в свое содержание частичные S_n адресные ресурсные вложения в ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия, запишем выражение в виде:

$$S = \sum_{n=1}^N S_n .$$

Решалась следующая проблема: как общий ресурс S , выделяемый для устойчивого функционирования КБ предприятия НГК России, распределить таким образом по элементам ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в ее содержание (промышленной и пожарной безопасности), чтобы получить наибольший прирост устойчивости КБ предприятия в рамках ограничений

$$\sum_{n=1}^N S_n < S,$$

с учетом монотонного возрастания функции F . Увеличивая значение любой из переменных так, чтобы неравенство перешло в равенство, можно увеличить итоговое значение P – устойчивость КБ предприятия. Следовательно, для получения наилучшего показателя P нужно произвести распределение ресурса в элементы (места, точки) ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, от самого высокого влияющего показателя к самому низкому.

Имеем математическую задачу по нахождению наибольшего значения функции

$$P = F(S_1, S_2, \dots, S_N), \quad (1)$$

при следующих ограничениях на ее переменные:

$$S_1 + S_2 + \dots + S_N = S, \quad (2)$$

с соблюдением условий ограничений на ее переменные:

$$S_1 \geq 0, \quad S_2 \geq 0, \quad \dots, \quad S_N \geq 0. \quad (3)$$

Приведено формализованное описание физического представления в пространстве в виде рационального распределения ресурса, предназначенного для обеспечения КБ в условиях ограничений. В пространстве N измерений параметров $S_1, S_2, \dots, S_N$ ограничения (2; 3) рассматриваются как равномерно свешиваемые от центральной точки $M(S_1, S_2, \dots, S_N)$ веса (грузы), относящиеся к параметрам $S_1, S_2, \dots, S_N$, которые прилегают к боковой поверхности физического объекта – цилиндра (рис. 6).

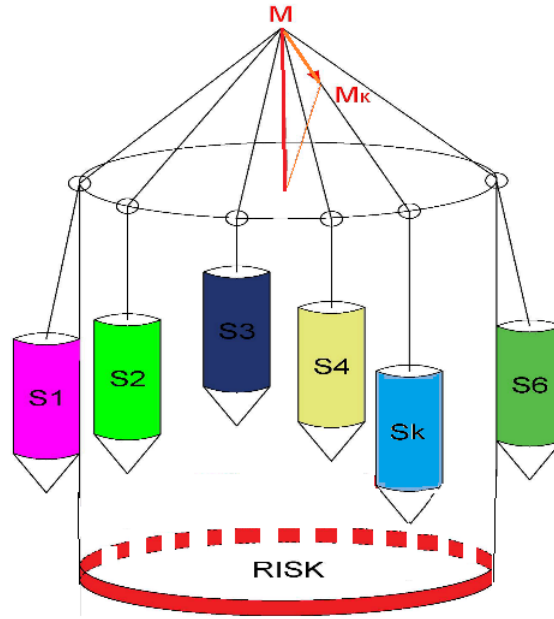


Рис. 6. Физический смысл в представлении состояния устойчивости функционирования ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия

Наибольшее значение функции F в силу ее монотонности находится на поверхности свешенных вниз линий, поддерживающих веса (грузы). Наибольшее значение функции F может находиться в вершине цилиндра M_k , в которой все координаты кроме одной k -й равны нулю, а нулевая координата $S_k = S$. В этой точке выполняется равенство $dP = E_k \Delta S$, где E_k – это значимость вклада в k -й элемент, рассчитываемая для точки с вершиной, отложенной от поверхности цилиндра M_k . Наибольшее значение функции F имеет вектор напряженности в сторону той свешенной вниз линии, вес (груз) которой имеет наименьшее расстояние от линии риска.

В целях эффективного использования ресурсной базы предприятия для нахождения точки, в которой достигается наибольшее значение функции F из (1), воспользуемся методом множителей Лагранжа и сведем задачу нахождения условного экстремума для функции F к задаче нахождения безусловного экстремума для функции Лагранжа

$$L(S_1, S_2, \dots, S_N, \Lambda) = F(S_1, S_2, \dots, S_N) + \Lambda \left(S - \sum_{n=1}^N S_n \right), \quad (4)$$

где Λ – множитель Лагранжа. Необходимое условие экстремума для функции Лагранжа имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial S_n} = \frac{\partial F}{\partial S_n}(S_1, S_2, \dots, S_N) - \Lambda = E_n - \Lambda = 0 & (n=1, 2, \dots, N) \\ \frac{\partial L}{\partial S_n} = S - \sum_{n=1}^N S_n \end{cases} . \quad (5)$$

Пусть функция Лагранжа L имеет экстремум в точке $M(S_1, S_2, \dots, S_N)$. Тогда из первых соотношений в необходимом условии экстремума (11) получим тот рассчитываемый показатель, с помощью которого значимость всех элементов в точке экстремума есть константа

$$E_N = (\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \dots, \tilde{P}_N) = \tilde{\Lambda}, \quad (6)$$

где $\tilde{P}_N = \varphi(\tilde{S}_N)$.

Из представленного соотношения (5) следует, что скорость изменения устойчивости функционирования элемента, входящего в ведомственное (отраслевое) направление, входящее в КБ предприятия, обратно пропорциональна его значимости $\varphi'_n(\tilde{S}_n) = \tilde{\Lambda} / \xi_n(\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \dots, \tilde{P}_N)$, т. е. чем больше значимость элемента, тем меньше скорость изменения устойчивости. Из свойств функции $\varphi'_n(\tilde{S}_n)$ следует, что скорость изменения устойчивости убывает прямо пропорционально потребности вкладам в элементы ведомственных (отраслевых) направлений $(S_1, S_2, \dots, S_N)$, входящих в КБ предприятия.

Вывод: чем больше значимость элемента с точки зрения безопасности, тем больше вложений в этот элемент требуется для достижения оптимума вложений.

В случае если для некоторого значения n равенство $E_n = \Lambda$ невозможно, то следует считать, что $S_n = 0$. В этом случае в системе уравнений (5) следует отказаться от использования уравнения $\partial L / \partial S_n$, что указывает на отсутствие необходимости вкладывать ресурс в n -й элемент ведомственных (отраслевых) направлений. Если таких элементов в КБ предприятия будет несколько, то количество уравнений, представленных системой уравнений (5), на количество этих элементов уменьшится.

Отмечен смысл множителя Лагранжа Λ , вкладываемого в виде ресурса в элементы ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, представленный формулой (4). При увеличении вклада в элементы подсистем, входящих в КБ предприятия $(S \text{ на } dS)$, экстремальная точка из точки $M(S_1, S_2, \dots, S_N)$ переместится в точку $M'(S_1 + dS_1, S_2 + dS_2, \dots, S_N + dS_N)$. В силу выполнения ограничения (5) выполнено следующее соотношение

$$dS = \sum_{n=1}^N E_n \cdot \quad (7)$$

Из выражения (7) для дифференциала устойчивости функционирования КБ предприятия, получено

$$dP = \sum_{n=1}^N E_n dS_n = \Lambda \sum_{n=1}^N dS_n = \Lambda dS. \quad (8)$$

Здесь при осуществлении преобразования учтены соотношения (5) и (6), которые выполнены в экстремальной точке.

Из полученного в формуле (8) соотношения следует: $dP = \Lambda dS$, что подтверждает смысл в использовании множителя Лагранжа, который является коэффициентом пропорциональности между приращением ресурсного вклада в элементы ведомственных (отраслевых) направлений $(S_1, S_2, \dots, S_N)$ и приращением в целом устойчивости КБ предприятия dP . Будем называть величину Λ – коэффициентом эффективности вклада ресурса в устойчивость КБ предприятия. Отсюда следует: если считать устойчивость функционирования предприятия P_n одним из важнейших показателей безопасности системы, то с помощью ее смогут быть определены показатели весовых коэффициентов влияющих на КБ предприятия в виде

$$R_{KB} = 1 - P_n. \quad (9)$$

Вывод: представленный обосновывающий подход по использованию метода множителей Лагранжа позволил его использовать не обособленно, а в виде научно-методического аппарата, в содержание которого вошли другие современные численные методы, используемые для получения научных результатов имеющих важное прикладное практическое значение.

Во второй главе представлено обоснование о специфических признаках исследуемого объекта (рассмотрения комплексной безопасности с точки зрения управления) возникла необходимость во введении нового понятия – *адаптивная система комплексной безопасности предприятий нефтегазового комплекса России, которая рассматривается как система, состоящая из ведомственных (отраслевых) подсистем (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда), способная перестраиваться для преодоления опасностей (аварий и пожаров), сохранять внутреннее функциональное предназначение неизменным в условиях ограничений обеспечения ресурсом.*

В главе обоснована актуальность рассмотрения вопросов, связанных с обеспечением требуемого уровня безопасности на предприятиях ОПО, представлены проблемы, требующие дальнейших решений. Результаты проведения исследований позволяют сделать вывод о необходимости развития и совершенствования методологии решения проблем обеспечения промышленной и пожарной безопасности, основанной на использовании методов математического моделирования и оптимального управления, применения современных информационных технологий.

В третьей главе рассмотрен человеческий ресурс в виде трудового потенциала, в содержание которого входит персонал предприятия (службы промышленной и пожарной безопасности, структурные подразделения и пр.), т.е. конкретные физические лица, которые по своим трудовым обязанностям участвуют в процессе поддержания созданной на предприятии СКБ на требуемом уровне. При этом человек (персонал предприятия) выступает в триединой роли: в виде источника опасности, ее жертвы, регулятора в создании барьеров, препятствующих возникновению и реализации опасности.

При рассмотрении современных подходов, используемых для оценки влияния человеческого фактора на состояние КБ на предприятии, представлено обосно-

ванное утверждение о том, что основная причина возникновения опасностей заключается в наличии недоработок (*ошибок, исходных событий*), которые имеют свойство нарастать и приводить к возникновению *отказов (функциональных отказов)* в управлении СКБ предприятия (*промежуточное событие*) и при определенных условиях могут быть реализованы в виде опасностей, наносящих *повреждение (ущерб)* техногенному пространству (*конечное событие*). Пространство последовательного нарастания событий представлено на рис. 7.

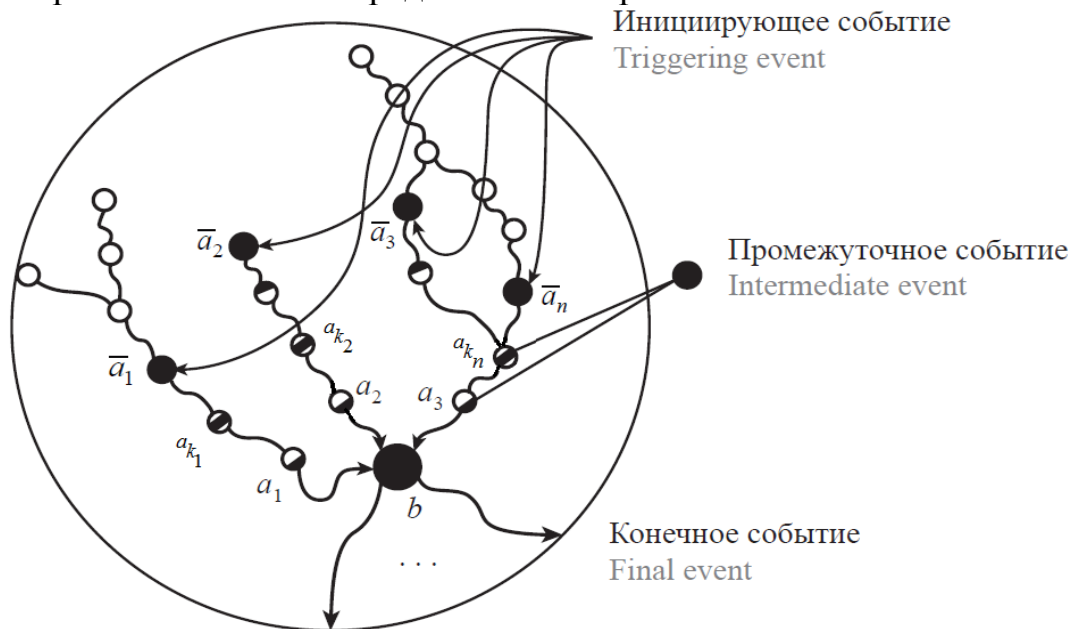


Рис. 7. Последовательное нарастание событий, приводящих к реализованным опасностям

В исследовании отмечено, что созданные на предприятии службы (структурные подразделения) по обеспечению ведомственных (отраслевых) направлений, входящих в КБ предприятия, являются проводниками в исполнении утвержденных требований НПД, а для обеспечения устойчивого функционирования КБ предприятий НГК России они нуждаются в качественном организационном взаимодействии между собой.

Представленный в работе анализ возникновения опасностей на предприятиях НГК России, связанных с влиянием работающего персонала служб (структурных подразделений) на обеспечивающие ими подсистемы, входящие в КБ предприятия, позволил сделать выводы о том, что в данном направлении уже проведены серьезные исследования, рассматриваемые в виде укрупненных исследовательских направлений, отличие представленной научной работы заключается в том, что в ней впервые разработано новое научное направление, связанное с влиянием персонала служб (структурных подразделений) на ведомственные (отраслевые) направления, входящие в КБ предприятия.

В главе отмечено, что важным средством управления мероприятиями, направленными на исключение (минимизацию) условий возникновения пожаров на предприятии ОПО, является проведение профилактики, реализуемой посредством функций контроля и надзора, с помощью которых осуществляется проверка законности и целесообразности исполнения правовых, организационных и организационно-технических мероприятий, что позволяет поддерживать СКБ, созданную

на предприятии, на требуемом уровне. На рис. 8 представлена многоуровневая стратификационная модель анализа возникновения *исходных и промежуточных* событий, приводящих к опасностям (авариям и пожарам), с помощью которой появляется возможность на каждом из представленных уровней управления определить наиболее вероятные причины (недоработки, пробелы), выявляемые посредством применения функций контроля и надзора.



Рис. 8. Структура модели возникновения и нарастания событий, приводящих к опасностям (авариям и пожарам)

На основе анализа практики управления КБ на предприятиях НГК России, т. е. реализации задач ее управления с применением контрольно-надзорных функций, в работе представлены два математических выражения (*существующего и оптимизационного*), показанных в виде:

$$\left. \begin{aligned} S &\Rightarrow S_{(1-N)} \sum_{1}^n M_{(OT)} [1-n] \\ S &\Rightarrow S_{(1-N)} \sum_{1}^n M_{(OT)} [\lambda_1; \lambda_2 \dots \lambda_n] \end{aligned} \right\} R = const, \quad (10)$$

где S – СКБ предприятия;

$S_{(1-N)}$ – подсистемы, входящие в содержание СКБ предприятия;

$M_{(OT)} [1-n]$ – перечень организационно-технических мероприятий (в виде общего списка), требующих внесения корректирующих воздействий от органа управления;

$M_{(OT)} [\lambda_1; \lambda_2 \dots \lambda_n]$ – перечень организационно-технических мероприятий (представленный в виде ранжированного списка, имеющего индивидуальный весовой

коэффициент влияния), требующих внесения корректирующих воздействий от органа управления.

Для сформированной модели (10) установлен факт наличия ограничений в ресурсной обеспеченности СКБ, т.е. ограниченных возможностей предприятия в покрытии запроса на обеспечение ресурсом, запрашиваемым руководителями служб (отделов) – кураторов направлений промышленной и пожарной безопасности. В выражении, показанном в нижней части, подтверждается факт целесообразного использования ресурса, предназначенного для обеспечения СКБ предприятия, здесь соблюдаются условия рациональности его направления именно в те места (точки), которые имеют высокие показатели влияния на возникновение опасности (аварии или пожара).

В главе сделаны выводы о том, что в оптимизационной модели (10) выступает основной характеризующий элемент λ , который представляет собой величину, имеющую индивидуальный весовой коэффициент влияния, рассматриваемый в виде аргументированной величины вклада ресурса в ту или иную подсистему безопасности.

В четвертой главе показаны авторские разработки иерархической и графовой моделей, основная цель которых – оценка состояния СКБ на предприятиях НГК России. В главе изложена позиция автора о методологии *адаптивного управления* на предприятиях НГК России, реализуемой в условиях неопределенностей, которая способна приспособиться для решения широкого класса задач. Сформулировано утверждение об эффективности использования идей *адаптации к управлению СКБ на предприятиях НГК России*, которая зависит от структуры используемых функций отдельными (ведомственными, отраслевыми) подсистемами промышленной и пожарной безопасности, что позволяет органу управления СКБ на предприятии выявить те скрытые резервы, которые ранее ему не были известны. Целевая функция органа управления СКБ на предприятии НГК России определяется экономической значимостью вклада E ресурсного обеспечения (6), предназначенного для поддержания любой из подсистем (промышленной или пожарной безопасности), и имеет вид:

$$E_n = E(P_1, \dots, P_N), \quad (11)$$

где E_n – общий объем ресурсного обеспечения, выделяемого для СКБ предприятия;

$P_1, \dots, P_N$ – доля от общего объема ресурсного обеспечения подсистемам безопасности, входящим в содержание СКБ предприятия. Допускалось условие для показателя доли ресурсного обеспечения, предназначенного подсистеме безопасности P_i , при $i=1-N$, которое определялось величиной влияния персонала (специалистов, обеспечивающих функционирование подсистем промышленной или пожарной безопасности) x_i , их количеством L_i , тогда

$$P_i \leq f_i(x_i, L_i) \quad (12)$$

В данном выражении функция f стала представлять собой характеризующий вид научной гипотезы, сформулированной для ограниченных условий использова-

ния ресурсного обеспечения для подсистем промышленной или пожарной безопасности, считалось целесообразным использовать производственную функцию (функцию полезности) Кобба – Дугласа, записанную в виде:

$$P_i = \alpha_i x_i^{k_i} L_i^{1-k_i}, k_i \in [0,1], i = 1, \dots, N, \quad (13)$$

где α_i , x_i и k_i – некоторые неизвестные характеристики участвующие в расчетах по созданию запаса устойчивого функционирования подсистем промышленной и пожарной безопасности. Учитывая тот факт, что ключевую роль в поддержании рассматриваемых подсистем играет персонал (специалисты промышленной и пожарной безопасности), возникает необходимость учитывать затраты предприятия на оплату их труда за выполнение трудовых обязанностей, обозначаемые через ω_i . Тогда объем ресурсного обеспечения представляет вид:

$$E_i = c_i P_i - \omega_i L_i, \quad (14)$$

где c_i – фиксированный объем выделяемого ресурсного обеспечения для подсистем безопасности. Полагая, что одна из подсистем (промышленная или пожарная безопасность) максимизирует свой показатель запаса ее устойчивого функционирования (например, она стремится его максимизировать в течение каждого года), тогда

$$\frac{\partial E_i}{\partial L_i} = (1 - k_i) c_i \alpha_i (x_i + \lambda_i)^{k_i} L_i^{-k_i} - \omega_i = 0, \quad (15)$$

что позволяет определить требуемое количество специалистов для обеспечения подсистем промышленной и пожарной безопасности

$$L_i = \left[\frac{c_i \alpha_i (1 - k_i)}{\omega_i} \right]^{1/k_i} (x_i + \lambda_i), \quad (16)$$

где λ_i – величина, рассматриваемая в виде аргументированного вклада ресурса в ту или иную подсистему промышленной или пожарной безопасности. Зная расчетное значение L_i , появляется возможность в определении величины запаса устойчивости функционирования подсистемы $P_i(1)$ (например, промышленной безопасности) для преодоления опасностей техногенного характера (аварий и пожаров) в виде

$$P_i(1) = \alpha_i (x_i + \lambda_i(1)) \left[\frac{c_i \alpha_i (1 - k_i)}{\omega_i} \right]^{(1-k_i)/k_i}. \quad (17)$$

При возникновении условий когда органу управления СКБ на предприятии ОПО неизвестны 2 параметра, не только эффективность вклада ресурсного обеспечения в подсистему промышленной или пожарной безопасности, но и величины x_i . Тогда равенство (17) будет связывать две неизвестные величины α_i и x_i . Это позволяет на следующем шаге вычислить

$$P_i(2) = \alpha_i (x_i + \lambda_i(2)) \left[\frac{c_i \alpha_i (1 - k_i)}{\omega_i} \right]^{(1-k_i)/k_i}, \quad (18)$$

где сравниваемые значения, полученные с применением формул (17) и (18), позволяют использовать аддитивный характер функционала. Схема адаптивного управления может быть усложнена при отыскании $\lambda_i(1)$ и $\lambda_i(2)$, затем после их максимизации итоговое выражение принимает вид:

$$\sum_{i=1}^N c_i [P_i(1) + P_i(2)], \quad (19)$$

Таким образом, представленное теоретическое обоснование о целесообразности применения адаптивного управления СКБ на предприятии НГК России наглядно подтверждает факт о перспективности его использования для анализа весьма широкого спектра проблем принятия решений в условиях неопределенности.

При обосновании выбора методов, используемых для проведения оценки состояния СКБ на предприятиях НГК России, в главе показана схемная реализация во взаимодействии, где КБ предприятий НГК России в каждый момент времени i характеризуется некоторыми состояниями x_i , управление которыми осуществляется с помощью мероприятий u_i (рис. 9).



Рис. 9. Взаимодействие управляющего объекта с СКБ предприятия

Общий вид структуры оценки состояния СКБ приведен на рис. 10.

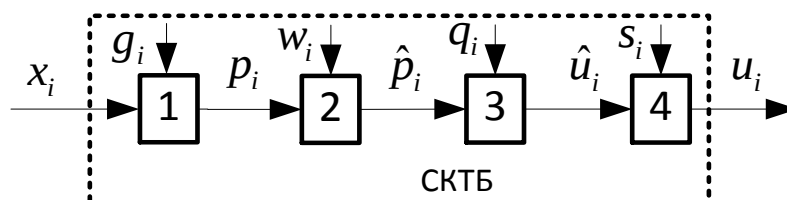


Рис. 10. Общий вид структуры последовательной оценки состояния СКБ

Представлена последовательность реализации задач управления СКБ с учетом временных показателей i :

1. На основании информации о состоянии комплексной безопасности x_i по фиксированным статистическим результатам произошедших за временной интервал событий, рассматриваемых как ЧС (при задействовании двух и более отраслевых подсистем) g_i , требуется определить *локальные показатели* влияния на возникновение опасности (аварии или пожара) для тех отраслевых подсистем, которыми опасность была инициирована p_i .

2. На основании информации о показателях оцениваемых элементов p_i и характеризующей их информации w_i , рассматриваемой с точки зрения причинно-следственных связей, требуется определить способ *оценки глобального показателя*

весовых коэффициентов, влияющих на подсистемы промышленной и пожарной безопасности $\hat{p}_i$.

3. На основании информации об оценке глобального показателя весовых коэффициентов, влияющих на подсистемы промышленной и пожарной безопасности $\hat{p}_i$, и результатов выявленных отклонений q_i от требований, утвержденных отраслевым направлением безопасности (листы контроля, чек-листы), необходимо произвести сопоставление мероприятий по устранению выявленных отклонений $\hat{u}_i$, которым присвоен собственный уровень (ранг) с точки зрения величины воздействия опасности (аварии или пожара) на объекты защиты предприятия НГК России.

4. На основании информации об оценке показателей элементов $\hat{p}_i$ в отраслевых подсистемах промышленной и пожарной безопасности и сопоставления их между собой в виде проранжированных мероприятий $\hat{u}_i$, и существующих на предприятии ограничений в ресурсном S_i обеспечении СКБ (финансовые и материальные средства, персонал, выполняющий трудовые обязанности) требуется определить перечень мероприятий u_i , которые будут реализованы в запланированный на предприятии НГК России период с учетом их физической реализуемости.

Представлено обоснованное утверждение о том, что представленному выше описанию во многом отвечает метод анализа иерархий (далее – МАИ), который представляет собой методологическую основу для решения задач выбора альтернатив посредством их многофакторного рейтингования (рис. 11).

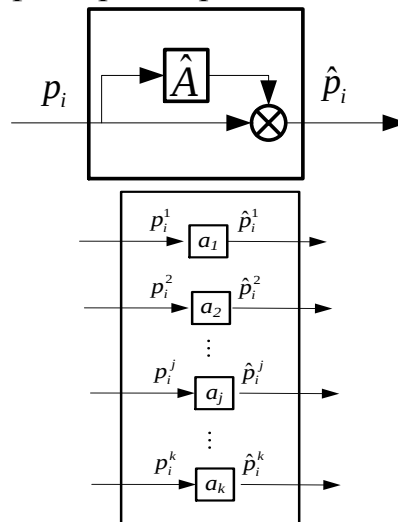


Рис. 11. Статический алгоритм ранжирования мероприятий, ставших причинами возникновения аварий или пожаров

Представлены достоинства в применении МАИ, однако представленный к рассмотрению метод способен решить задачу в блоках 2 и 3, но ограничен возможностью рассмотреть остальные блоки (например, 1 и 4), представленных на рис. 10.

Для решения задачи в такой постановке был использован подход, основанный на использовании логико-вероятностных модельных представлений, с его применимостью через определение показателей причинно-следственных связей, приводящих к возникновению опасностей (аварий и пожаров) в СКБ на предприятии НГК России (рис. 12).

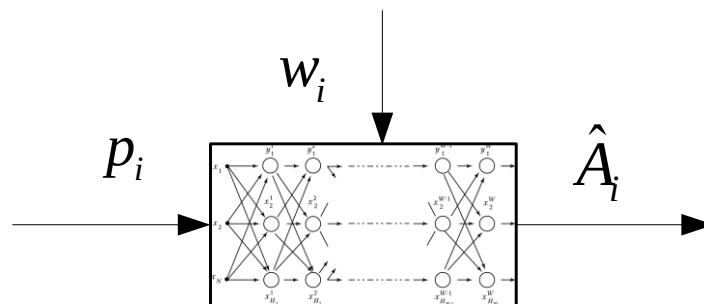


Рис. 12. Схема определения причинно-следственных связей по возникновению опасностей (аварий и пожаров) в СКБ на предприятиях НГК России

Рассмотрение вопросов, связанных с влиянием объектов (узловых точек) друг на друга (рис. 12), является естественным алгоритмом деятельности органа управления в СКБ на предприятии НГК России. Персонал предприятия, задействованный в обеспечении функционирования его СКБ, рассматривает связи между факторами взаимного влияния друг на друга (x и y) посредством z , т.е. в трехмерном измерении, что потребовало строить интуитивно понятную модель исследуемой предметной области. Такую возможность в моделировании вероятностных событий, связанных с возникновением опасностей (аварий и пожаров) имеют Байесовские сети доверия (далее – БСД), нашедшие применение в диссертационном исследовании. При совместном использовании (МАИ и БСД) была обеспечена статичность блоков (1–4) (рис. 11), а на выходе, в динамике, появилась возможность рассмотреть различные сочетания при возникновении опасностей (аварий и пожаров) и величины ущерба от таких воздействий.

Представлена авторская разработка иерархической модели оценки состояния КБ на предприятии НГК России (рис. 13), позволяющая проанализировать все мероприятия, ставшие причинами возникновения опасности (аварии и пожара), представленные опасности рассмотреть с точки зрения нанесения ущерба объектам защиты (персоналу, зданиям, сооружениям, оборудованию, имуществу и т.д.).

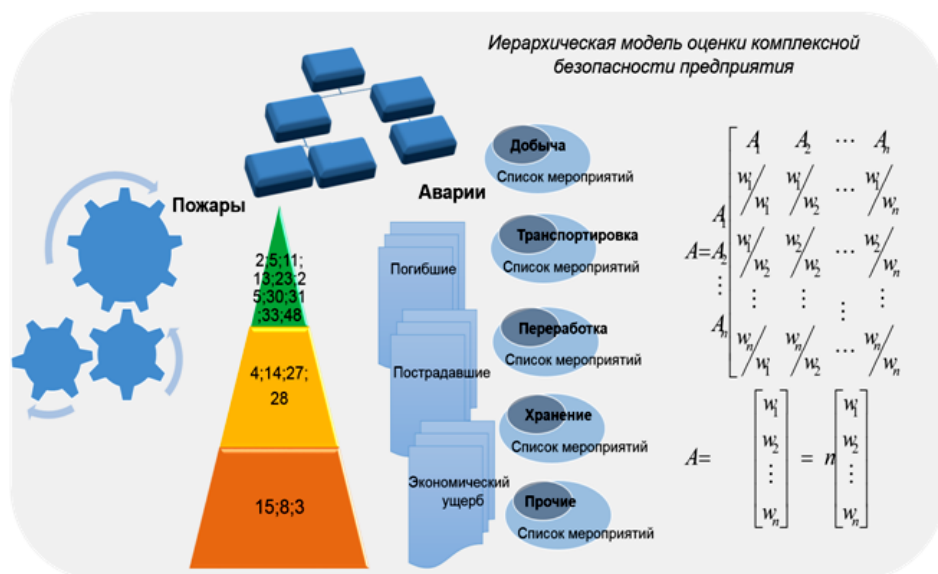


Рис. 13. Иерархическая модель оценки состояния комплексной безопасности на предприятии НГК России

В содержании модели (рис. 13) показана матричная форма получения требуемого результата, имеющая непосредственное отношение к МАИ, позволяющая получать весовой коэффициент влияния для каждого рассматриваемого мероприятия. Однако иерархическая модель оценки КБ предприятия НГК России не способна представить адекватные обоснованные результаты весовых коэффициентов влияния, так как были выявлены те причинные мероприятия, которые брались из разных отчетов по авариям, но имели одинаковый результат весового коэффициента влияния.

С целью получения адекватных показателей влияния для каждого мероприятия, подлежащего оцениванию, возникла необходимость дополнительно рассматривать все проранжированные с применением МАИ мероприятия с точки зрения вероятности их возникновения. Для этого потребовалось использовать графовую модель оценки КБ предприятия НГК России, построенную на основе БСД (рис. 14), которая относится к классу вероятностных графических моделей.

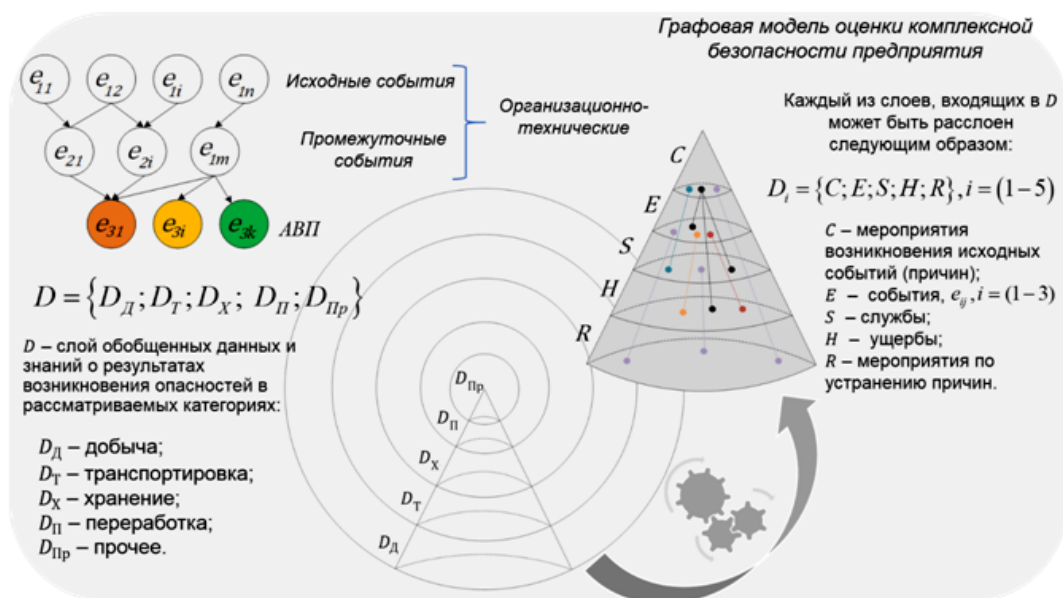


Рис. 14. Графовая модель оценки состояния комплексной безопасности на предприятии НГК России

Базовой опорой в содержании представленной модели (рис. 14) рассматривалась фрактальная стратифицированная модель (ФС-модель), составляющая основу одного из подходов к структурированию знаний. Особенностью использования ФС-модели является то, что она может представлять различные категории знаний предметной области, такие как факты, понятия, взаимосвязи, оценки, правила, эвристики и др. ФС-модель с точки зрения вероятности возникновения опасного события позволяет получить адекватные результаты оценки состояния КБ на предприятиях НГК России.

Применительно к решению задач по оценке КБ на предприятии НГК России сформировано утверждение о том, что неудовлетворительный контроль или его отсутствие со стороны ответственных должностных лиц, или исполнение трудовых функций неквалифицированным персоналом способствует нарастанию количества нарушений, в том числе при проведении работ повышенной опасности, которые

ускоряют процесс реализации различных опасностей (аварий и пожаров). Структура влияния в виде сети показана на рис. 15.

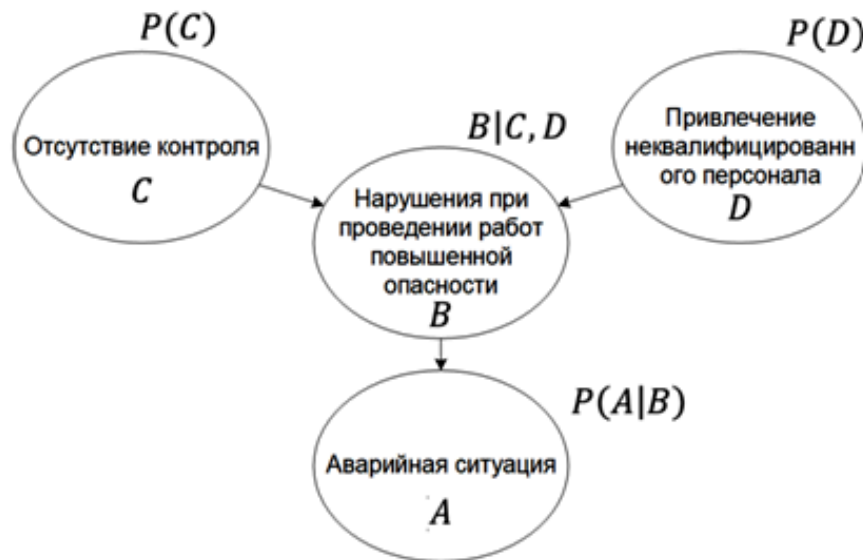


Рис. 15. Структура графа возникновения аварийной ситуации

Вероятности событий в виде отсутствия контроля и привлечения неквалифицированного персонала являются безусловными, остальные – условные, совместное распределение вероятностей данной БСД рассматриваются в виде $P(A, B, C, D) = P(A|B)P(B|C, D)P(D)P(C)$.

В главе представлена постановка задачи (с применением иерархической и графовой моделей) для разработки методики оценки КБ на предприятиях НГК России. Рассмотрены особенности разработки мероприятий, входящих в содержание методики оценки КБ на предприятиях НГК России, учтены особенности применения иерархической и графовой моделей.

В пятой главе диссертационного исследования представлена разработанная автором методика оценки состояния комплексной безопасности на предприятиях НГК России, в содержании которой были использованы методы (МАИ и БСД), которые стали базовой основой содержания рассмотренных ранее иерархической и графовой моделей.

При подготовке исходных данных для проведения дальнейших расчетов с применением иерархической модели для оценки КБ на предприятиях НГК России возникла необходимость в рассмотрении функционала F , связывающего вероятность P возникновения неблагоприятного события и математическое ожидание ущерба U от этого i -го неблагоприятного события объекта и его элемента

$$R = F_R \{U, P\} = \sum_i [F_{Ri}(U_i P_i)], \quad (20)$$

где R – результат оценки рисков;

i – виды неблагоприятных событий.

В представленных моделях с целью определения зависимости, связывающей вероятность возникновения опасности P и математическое ожидание ущерба U от

этого неблагоприятного i -го события объекта (его элемента), использовались нормированные коэффициенты q , которые определялись на основе привязки к ущербам, показанным в отчетах по авариям на предприятиях НГК России. При таком подходе использовалась конкретная привязка к функционированию их конкретных видов технологического процесса производства (*добычи, переработки, хранения, транспортировки, прочее*).

Общий ущерб U рассчитывался через сумму ущербов, относящихся к видам его составляющих процессов производства $U_{(д,п,х,т,пр)}$, наносимых объектам защиты техносферы (персоналу, материальным средствам и оборудованию), оцениваемый по двум показателям: экономическому – в рублях (условных единицах) и человеческим потерям (санитарным и безвозвратным) (табл. 1).

$$U = F_U \{U_{д}, U_{п}, U_{х}, U_{т}, U_{пр}\} = \sum_i \left[F_{U_{(д,п,х,т,пр)}} (U_{д}, U_{п}, U_{х}, U_{т}, U_{пр}) \right] \cdot q_{(0,1-1)} \quad (21)$$

Таблица 1

**Результаты использования нормированного коэффициента q от ущерба (руб.)
и человеческих потерь (погибших, пострадавших) (ед.)**

q	Погибшие, ед.	Пострад. ед.	Ущерб (тыс. руб.)	q	Ущерб (тыс. руб.)	q	Ущерб (тыс. руб.)
$q = 1$	8	32	620,0	$q = 0,6$	957 000	$q = 0,2$	357,394
	6	2	14 500,0		809 450		344,46
	4	13	4,2		631 449		273
	4		2500,0		560 000		248,975
	3	6	21,2	$q = 0,5$	400 000,0		240
$q = 0,9$	2		11 501		347 900,0	$q = 0,1$	228
	2				220 000,0		216,611
	1	5	1359,50		209 900,0		200
	1	2	387 000		133 587,0		199
	1	1	79 390		132 400,0		198
	1	1			123 416,0		162
	1		10 180		68 682,6		39,6
	1		5050		32 391,0		10
	1		1633,85		23 800,0		
	1		1122,27		16 770,0		
	1		364		15 196,0		
	1		25		14 243,0		
	1				5904,5		
	1				5333,2		
$q = 0,8$		18		$q = 0,4$	4925		
		11	206 000,0		3644		
		3			3265		
$q = 0,7$		2	158,0		2829		
		2			2820		
		1	8000,0	$q = 0,3$	1551,97		
		1	1466,0		897,788		
		1	250,0		800		

q	Погибшие, ед.	Пострад. ед.	Ущерб (тыс. руб.)	q	Ущерб (тыс. руб.)	q	Ущерб (тыс. руб.)
		1	194,0		664,4		
		1	29,0	$q = 0,2$	458,3		
		1	6,9		360		

Последующие действия были направлены на получение коэффициента ущерба q , с помощью которого определялся вес нанесенного ущерба предприятию НГК России от реализованной опасности (аварии и пожара). Для более точной оценки коэффициенту q присваивались числовые значения от 1 до 0 с интервалом в 0,1, при этом чем больше значение q , тем больше нанесенный ущерб.

Особенность представления коэффициентов ущерба q , показатели которых ограничены пределами числовых значений, показаны в диссертационном исследовании в виде графиков. В работе представлена математическая постановка задачи, которая была сформулирована следующим образом. Потребовалось найти выходной параметр в виде аналитического показателя A на основе определяющих его факторов $a_1, a_2, \dots, a_n$, т.е. функцию

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (22)$$

с помощью которой воспроизводились данные характеристики влияния аргументов на исследуемую функцию.

Далее потребовались характеристическое описание блоков и их приведение к однозначному взаимному соответствию в виде матрицы, обозначенной через A , расписанной поэлементно, которая выглядит следующим образом:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}, \text{ где} \quad (23)$$

$w_1, \dots, w_n$ имеют отношение к весам, рассчитываемым в виде натуральных чисел (от 1 до 9), представляющих точное числовое значение;

n – общее число рассматриваемых в выборке альтернатив, имеющих отношение к рангу матрицы.

Расчетные значения, полученные с применением иерархической модели, построенной на основе МАИ для всех оцениваемых мероприятий, представлены в диссертационном исследовании (см. приложение 1).

Получение результатов оценки состояния КБ на предприятиях НГК России с применением графовой модели, построенной на основе БСД, осуществлялось в последовательных реализуемых этапах.

На *первом этапе* выделялись информационные слои исследуемой области:

$$D = \{D_d; D_t; D_x; D_{\Pi}; D_{\Pi p}\}, \quad (24)$$

где D – слой обобщенных данных и знаний о результатах возникновения опасностей в рассматриваемых категориях (*добыча* – D_d ; *транспортировка* – D_t ; *хранение* – D_x ; *переработка* – D_{Π} ; *прочее* – $D_{\Pi p}$). Далее каждый из представленных слоев, входящих в D был расслоен следующим образом:

$$D_i = \{C; E; S; H; R\}, \quad i = [1-5], \quad (25)$$

где C – слой данных и знаний о мероприятиях возникновения исходных событий (причин); E – слой данных и знаний о событиях; S – слой служб (структурных подразделений); H – слой данных и знаний об ущербах; R – слой данных и знаний о мероприятиях по устранению причин; i – соответствует категориям (*добыча*, *транспортировка*, *хранение*, *переработка*, *прочее*).

На *втором этапе* элементы из кортежа (формула 25) разбивались на составляющие, рассматривались в виде

$$C = \{C_C; C_{\Pi p}; C_H\}, \quad (26)$$

где C_C – слой нарушений служб; $C_{\Pi p}$ – слой нарушений персонала; C_H – слой недоделок (ошибок) персонала, которые привели к возникновению опасности.

$$E = \{E_{OT}; E_{ABП}\}, \quad (27)$$

где E_{OT} – слой, соответствующий человеческому фактору (организационно-технические события); $E_{ABП}$ – слой, соответствующий авариям, взрывам, пожарам.

$$S = \{S_{\Pi pБ}; S_{\PiБ}; S_{OT}; S_{СП}\}, \quad (28)$$

где $S_{\Pi pБ}$ – слой данных и знаний о службах промышленной безопасности; $S_{\PiБ}$ – слой данных и знаний о службах пожарной безопасности; S_{OT} – слой данных и знаний о службах охраны труда; $S_{СП}$ – слой данных и знаний о структурных подразделениях, выполняющих задачи по обеспечению функционирования технологического процесса.

$$H = \{H_{\Pi}; H_{\Pi c}; H_{\mathcal{O}}\}, \quad (29)$$

где H_{Π} – слой данных и знаний о погибших; $H_{\Pi c}$ – слой данных и знаний о пострадавших; $H_{\mathcal{O}}$ – слой, соответствующий экономическому ущербу.

$$R = \{R_{\Pi p}; R_{\Pi p}\}, \quad (30)$$

где $R_{\Pi p}$ – слой данных и знаний о перспективных мероприятиях; $R_{\Pi p}$ – слой данных и знаний о прогнозных мероприятиях.

На *третьем этапе* задавались отображения для каждого слоя (26)–(30), (см. таблицу 3).

Слой и отображения

Слой	Наименование	Обозначение	Используемые методы
C	Слой мероприятий возникновения исходных событий (причин)	$F_E^C : C \rightarrow E$	Методы системного подхода; методы построения топологии байесовских сетей доверия
		$F_S^C : C \rightarrow S$	Метод анализа иерархий (анализ данных; этап определения показателя связи службы с обеспечиваемой ей подсистемой безопасности)
		$F_H^C : C \rightarrow H$	Метод анализа иерархий (анализ данных; определение коэффициента ущерба)
E	Слой событий	$F_H^E : E \rightarrow H$	Аппарат байесовских сетей доверия (проведение вероятностного эксперимента); методы построения когнитивных карт
S	Слой служб	$F_C^S : S \rightarrow C$	Метод анализа иерархий (синтез данных; определение показателя влияния служб)
H	Слой ущербов	$F_C^H : H \rightarrow C$	Метод анализа иерархий (синтез данных, распределение коэффициента ущерба)
R	Слой мероприятий по устранению причин	$F_C^R : R \rightarrow C$	Метод анализа иерархий; методы построения когнитивных карт
		$F_S^R : R \rightarrow S$	Метод анализа иерархий (синтез данных; определение показателя влияния служб)
		$F_E^R : R \rightarrow E$	Метод анализа иерархий; методы построения когнитивных карт

Схема (рис. 16) представляет собой систему в виде вероятностной графовой модели для оценки состояния КБ на предприятии НГК России.

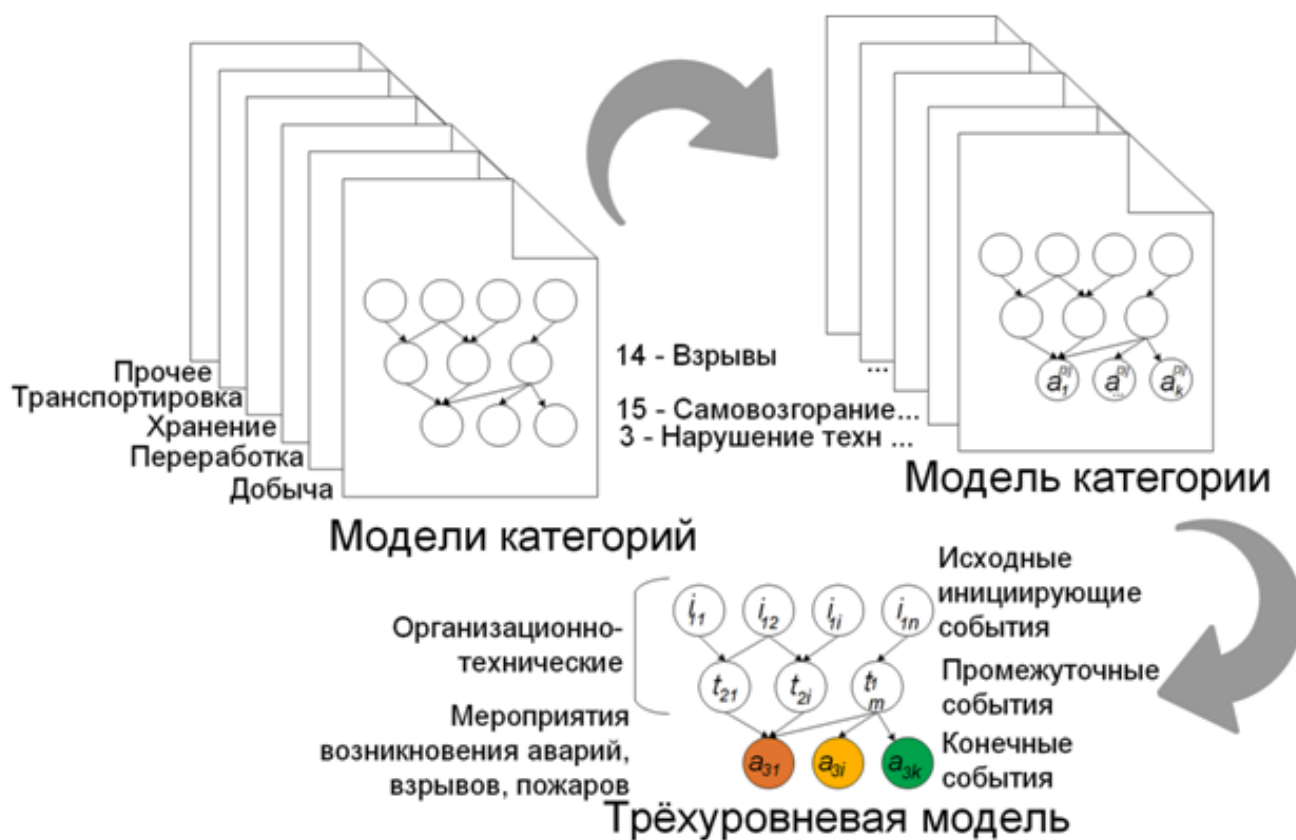


Рис. 16. Структура системы вероятностных графовых моделей для оценки состояния КБ на предприятии НГК России

При проведении вычислительного эксперимента для исследуемых мероприятий определялся показатель апостериорной вероятности возникновения аварий, причинами которых явились взрывы при транспортировке. Условия вероятностного моделирования приведены в выражениях (31)–(35).

$$\wp^*(a_1) = P(a_1 | Parents(a_1); i_1 = true) = 0,325. \quad (31)$$

$$\wp^*(a_2) = P(a_2 | Parents(a_2); i_2 = true) = 0,051. \quad (32)$$

$$\wp^*(a_3) = P(a_3 | Parents(a_3); i_3 = true) = 0,143. \quad (33)$$

$$\wp^*(a_4) = P(a_4 | Parents(a_4); i_4 = true; i_5 = true) = 0,089. \quad (34)$$

$$\wp^*(a_5) = P(a_5 | Parents(a_5); i_4 = true; i_6 = true) = 0,123. \quad (35)$$

Моделирование выполнялось с помощью программного обеспечения Netica (демонстрационная версия). Отображение структурного взаимодействия блоков, полученного с применением программного обеспечения Netica, представлено на рис. 17.

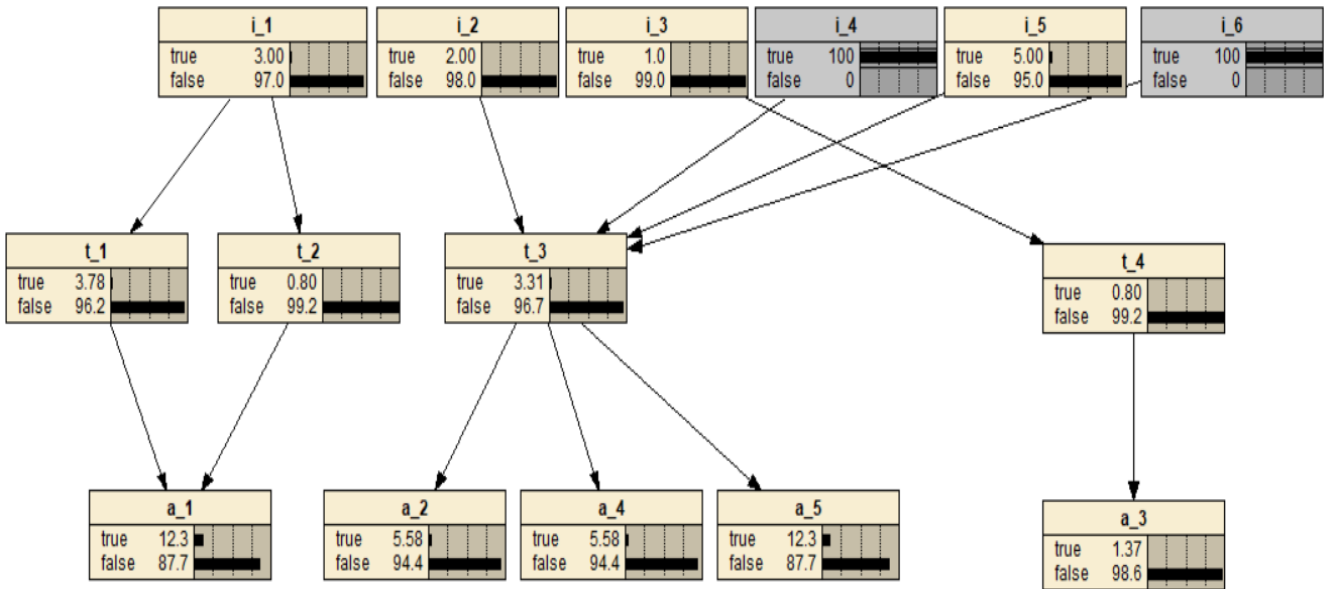


Рис. 17. Пример расчета для мероприятия, причиной которого стал взрыв при транспортировке

Результаты и условия вероятностного моделирования мероприятий возникновения аварий, причиной которых стал разряд статического электричества при хранении, приведены в выражениях (36)–(39).

$$\wp^*(a_6) = P(a_6 | Parents(a_6); i_4 = true; i_7 = true; i_8 = true) = 0,040. \quad (36)$$

$$\wp^*(a_7) = P(a_7 | Parents(a_7); i_7 = true) = 0,021. \quad (37)$$

$$\wp^*(a_8) = P(a_8 | Parents(a_8); i_7 = true) = 0,266. \quad (38)$$

$$\wp^*(a_9) = P(a_9 | Parents(a_9); i_6 = true; i_9 = true) = 0,037. \quad (39)$$

Отображение структурного взаимодействия блоков, полученного с применением программного обеспечения Netica, представлено на рис. 18.

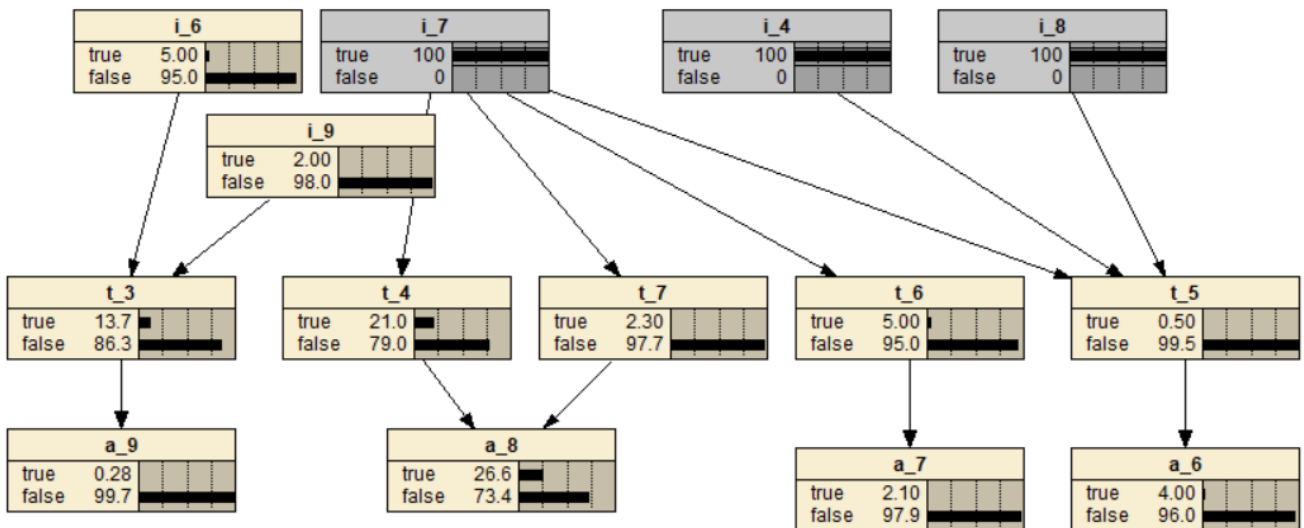


Рис. 18. Пример расчета для мероприятия, причиной которого стал разряд статического электричества при хранении (переработке)

Каждое из мероприятий множества A сопоставлялось с перечнем мероприятий (приложение 1 диссертационного исследования), затем отражалось на тепловой карте с учетом особенностей: для оси ординат – показатель апостериорной вероятности возникновения опасности; для оси абсцисс – весовой показатель влияния с учетом коэффициента ущерба q . На рис. 19 и 20 приведены тепловые карты для выполненного вычислительного эксперимента.

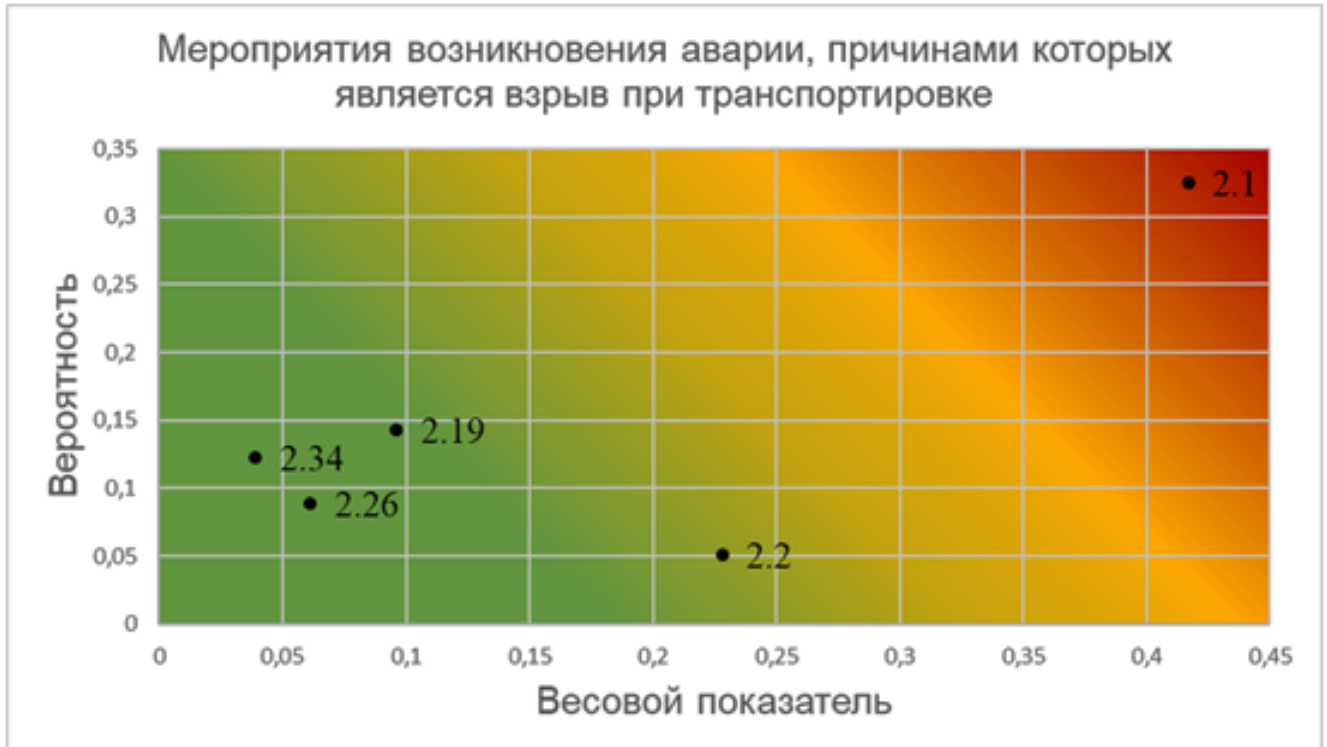


Рис. 19. Тепловая карта мероприятий возникновения аварий, причинами которых является взрыв при транспортировке

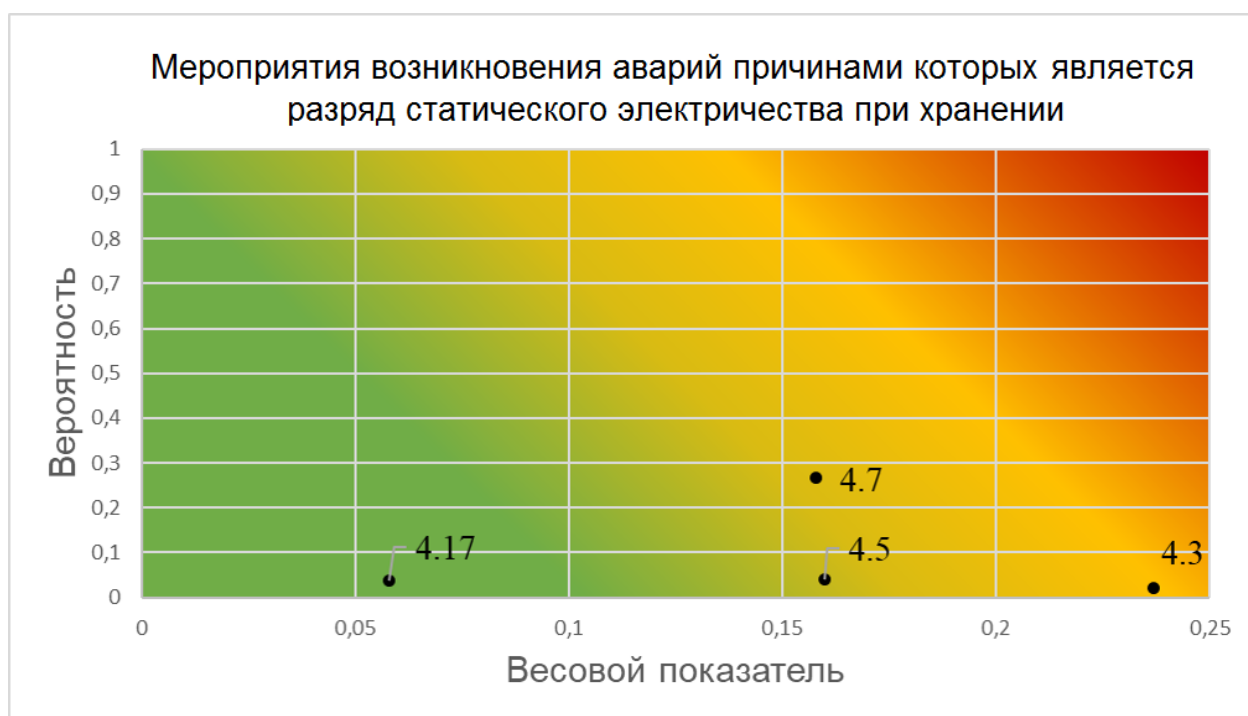


Рис. 20. Тепловая карта мероприятий возникновения аварий, причинами которых является разряд статического электричества при хранении

Изложенный в содержании главы материал, обладает следующими новыми принципиально важными характеристиками позволяющими получить новые знания, рассматриваемые с точки зрения: получения результата-эффекта, характерного для решения задач на практике; отличия полученного научного результата от известных (опубликованных); соответствия объективной реальности причинно-следственным связям, исследуемым в предметной области, связанной с управлением СКБ на предприятиях НГК России; значимости, его применимости в практических исследованиях и разработках.

Шестая глава содержит перечень предложений, направленных на совершенствование и развитие КБ на предприятиях НГК России.

В ходе проведения исследования разработана программа «Калькулятор оценки мероприятий промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России», с помощью которой обрабатывались данные статистики опасностей (аварий и пожаров) на предприятиях, подконтрольных Ростехнадзору (в том числе НГК России).

Разработаны предложения по перспективному организационному управлению КБ на предприятиях НГК РФ, суть которых заключается в следующем: в настоящее время система управления предприятиями НГК России обеспечена в основном программным комплексом технических систем SAP (в адаптированном переводе – «Системный аналитик и разработка ПО»), способным предлагать пользователям комплекс решений для выстраивания общего информационного пространства предприятия в соответствующих базах (данных и знаний), эффективного планирования ресурсов на нем и организации рабочих процессов и рабочих мест (рис. 21).

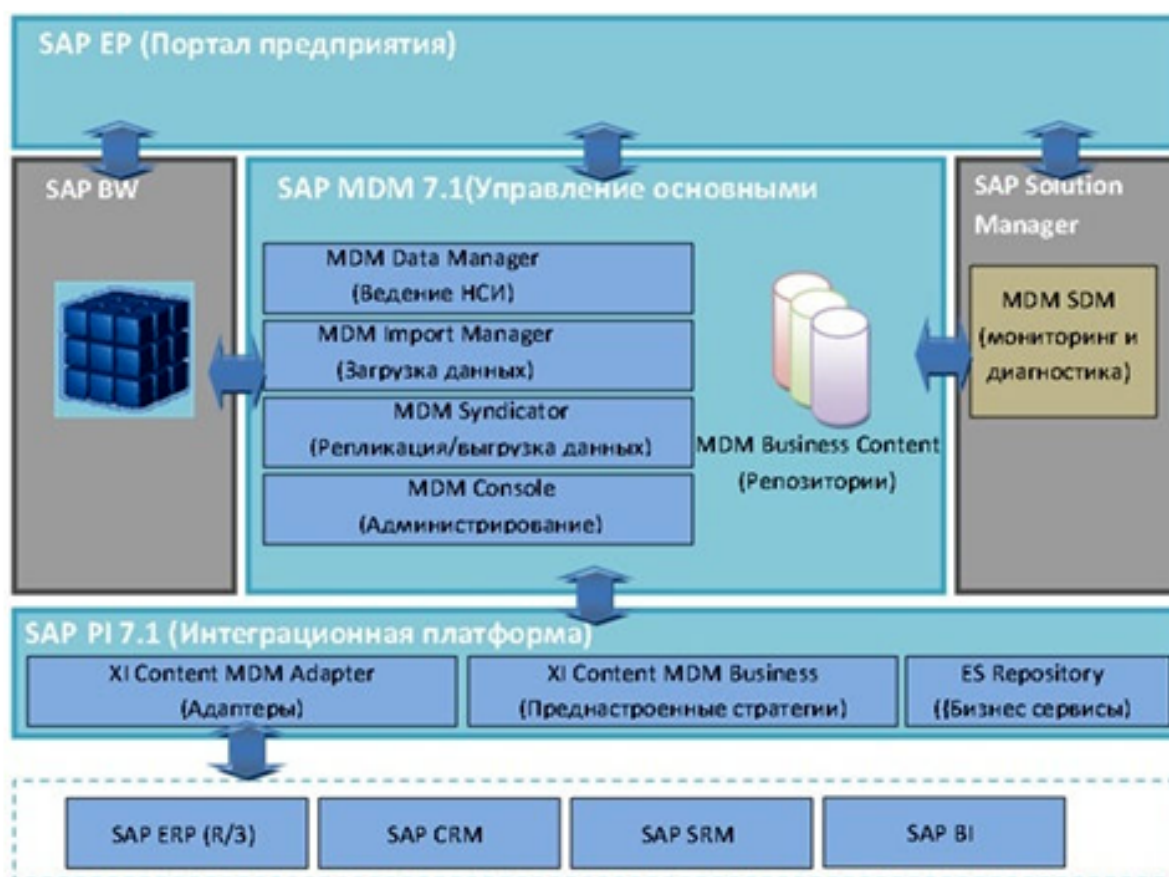


Рис. 21. Структурное содержание блоков программного обеспечения SAP

Автор диссертационного исследования, имея опыт работы на крупных предприятиях Москвы (ПАО «Мосводоканал», ПАО «Мосэнерго») в должности главного специалиста сектора техносферной безопасности, сформировал твердое убеждение о том, что функционирование программного обеспечения SAP (рис. 21) может быть усовершенствовано за счет встраивания в его контур информационно-управляющей системы «Профессиональный консультант» (далее – ИУС «Профессиональный консультант»). Программа будет способна обрабатывать большой массив внешних данных статистики реализованных опасностей (аварий и пожаров), формировать списки рисков с учетом веса влияния (иерархическая модель), показателя вероятности возникновения (графовая модель), частоты возникновения событий по данным статистики, давать рекомендации пользователям по планированию перспективных действий в виде управляющих предписаний.

В структуре и содержании ИУС «Профессиональный консультант» предложено использовать продуктивные в последнее время положительно зарекомендовавшие себя машинообучаемые системы, позволяющие с использованием экспертных оценок обрабатывать структурированные и неструктурированные данные огромных объемов и значительного многообразия, на их основе строить устойчивые и адекватные модели. Одним из вариантов, наиболее подходящих для решения представленных выше задач, является применение кластера программно-аппаратных комплексов, способных проводить анализ и обработку множества данных (далее – *BigData*). Новизной структуры предлагаемой к использованию системы является разработка и применение двух инфоботов (*№ 1* и *№ 2*), где *инфобот № 1* будет

осуществлять сбор информации из базы внешних данных и поддерживать в рабочем состоянии технологию по корректировке (поддержке) целевой иерархической базы знаний (рис. 22).

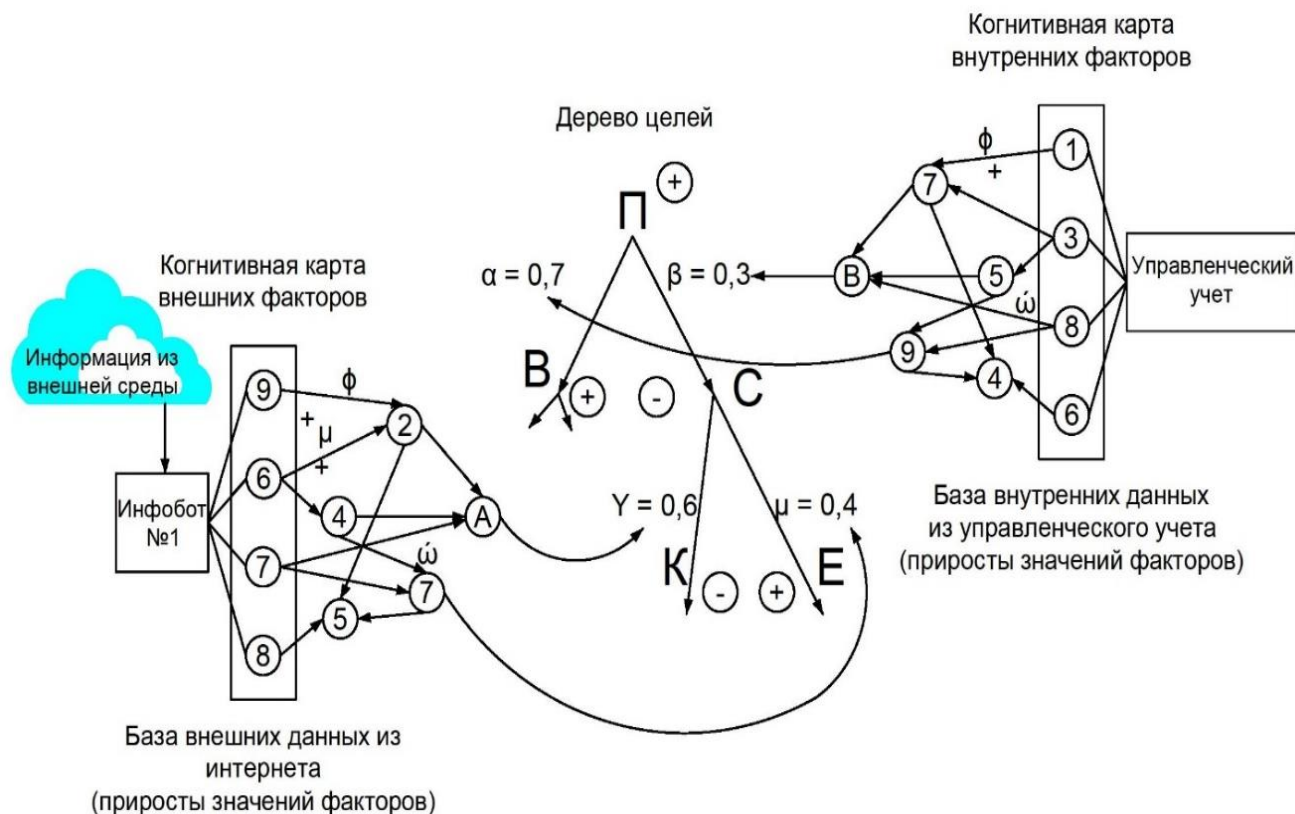


Рис. 22. Структурное содержание инфобота № 1, дерево целей + две когнитивные карты

Инфобот № 2 будет осуществлять преобразование информации для формирования управляющих предписаний (рис. 23).

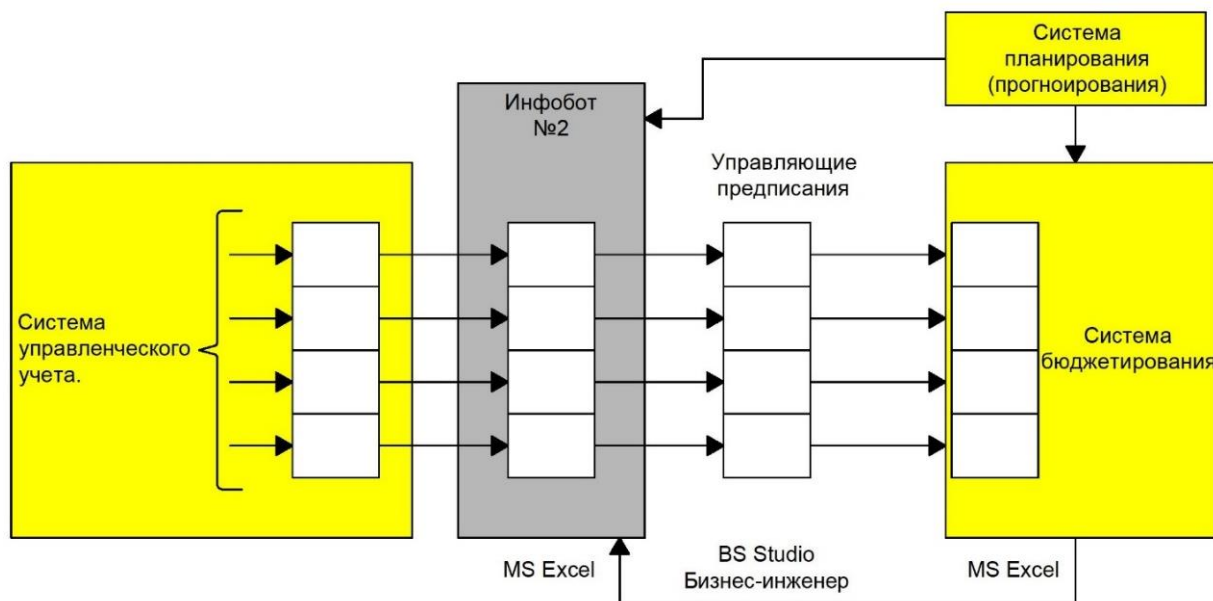


Рис. 23. Схема межпрограммного интерфейса инфобота № 2 в рамках информационной инфраструктуры предприятия

Организация работы инфоботов в составе с предлагаемой к использованию технологии с искусственным интеллектом представлена структурой дальнейшего использования когнитивной карты (см. рис. 24).

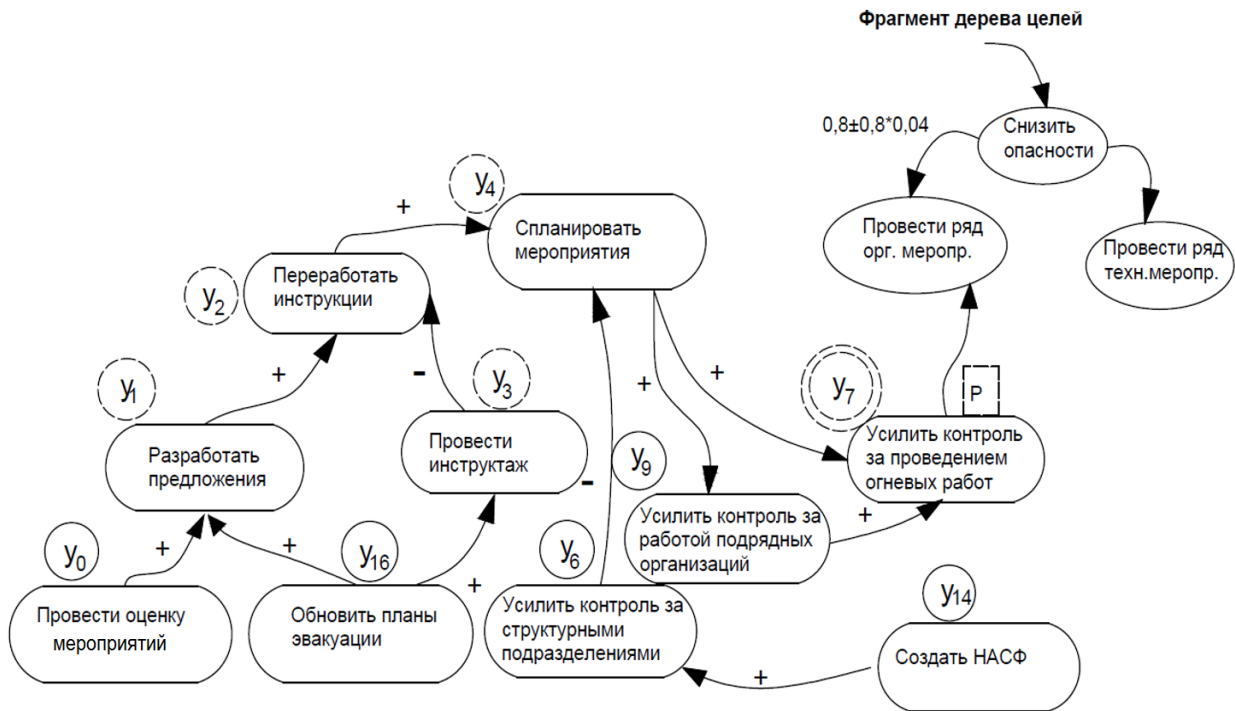


Рис. 24. Графическое представление связи когнитивной карты и фрагмента дерева целей

На рис. 24 факторы ($y_1 - y_7$) являются внутренними (промежуточными), их графическое представление указывает на зависимость влияния между показателем требуемого уровня безопасности функционирования СКБ на предприятии НГК России и качественным распределением ресурса, предназначенного для ее обеспечения, где алгоритмы по рациональному распределению ресурса находятся в базе знаний.

Суммарное влияние на i -й фактор-следствие всех непосредственно связанных с ним факторов-причин рассчитывается по формуле для входных факторов:

$$y_i(t+1) = y_i(t) + \sum_{i=1}^n (y_{i-1}(t) - y_{i-1}(t-1)) \cdot \omega_{i,i-1}, \quad (40)$$

для промежуточных факторов:

$$y_i(t+1) = y_i(t) + \sum_{i=1}^n (y_{i-1}(t+1) - y_{i-1}(t)) \cdot \omega_{i,i-1}, \quad (41)$$

где $y_i(t+1)$, $y_i(t)$, $y_i(t+1)$ – значения фактора-следствия в узле i в различные периоды времени ($t \pm 1$); $\omega_{i,i-1}$ – вес влияния i -го фактора-причины на фактор-следствие $i-1$; n – количество факторов-причин, влияющих на фактор-следствие.

В диссертационном исследовании показана последовательность проведения расчетов факторов, их графического отображения в содержании когнитивных карт. В качестве примера рассматривается последовательность проведения расчетной части, но уже с учетом особенностей, связанных с конкретной ориентацией на управление КБ безопасностью предприятия НГК России, с возможностью осуществлять корректировку приоритетности целей с помощью когнитивной карты.

Формулы, используемые для расчета управляющих предписаний, и их результаты приведены в табл. 4. Отмечено, всякая когнитивная модель всегда является динамической, так как факторы в ней рассматриваются в качестве переменных, принимающих значения в различные периоды времени на числовой или лингвистической шкале.

Таблица 4

Расчетные формулы для обеспечения факторов, используемых в когнитивных картах

Формула расчета	Формула расчета	Результат
$y_1(t+1) = y_1(t) + (y_0(t) - y_0(t-1))\omega_{0,1} + (y_{16}(t) - y_{16}(t-1))\omega_{16,1}$	Для входных факторов	0,86
$y_3(t+1) = y_3(t) + (y_{16}(t) - y_{16}(t-1))\omega_{16,3}$		0,36
$y_6(t+1) = y_6(t) + (y_{14}(t) - y_{14}(t-1))\omega_{14,3}$		0,52
$y_2(t+1) = y_2(t) + (y_1(t+1) - y_1(t))\omega_{1,2} - (y_3(t+1) - y_3(t))\omega_{3,2}$	Для промежуточных факторов	0,30
$y_4(t+1) = y_4(t) + (y_2(t+1) - y_2(t))\omega_{2,4} - (y_6(t+1) - y_6(t))\omega_{6,4}$		0,36
$y_9(t+1) = y_9(t) + (y_4(t+1) - y_4(t))\omega_{4,9} + (y_{14}(t) - y_{14}(t-1))\omega_{14,9}$		0,26
$y_7(t+1) = y_7(t) + (y_4(t+1) - y_4(t))\omega_{4,7} + (y_9(t+1) - y_9(t))\omega_{9,7}$		0,44

На рис. 25 результаты расчетов иллюстрируются графически.

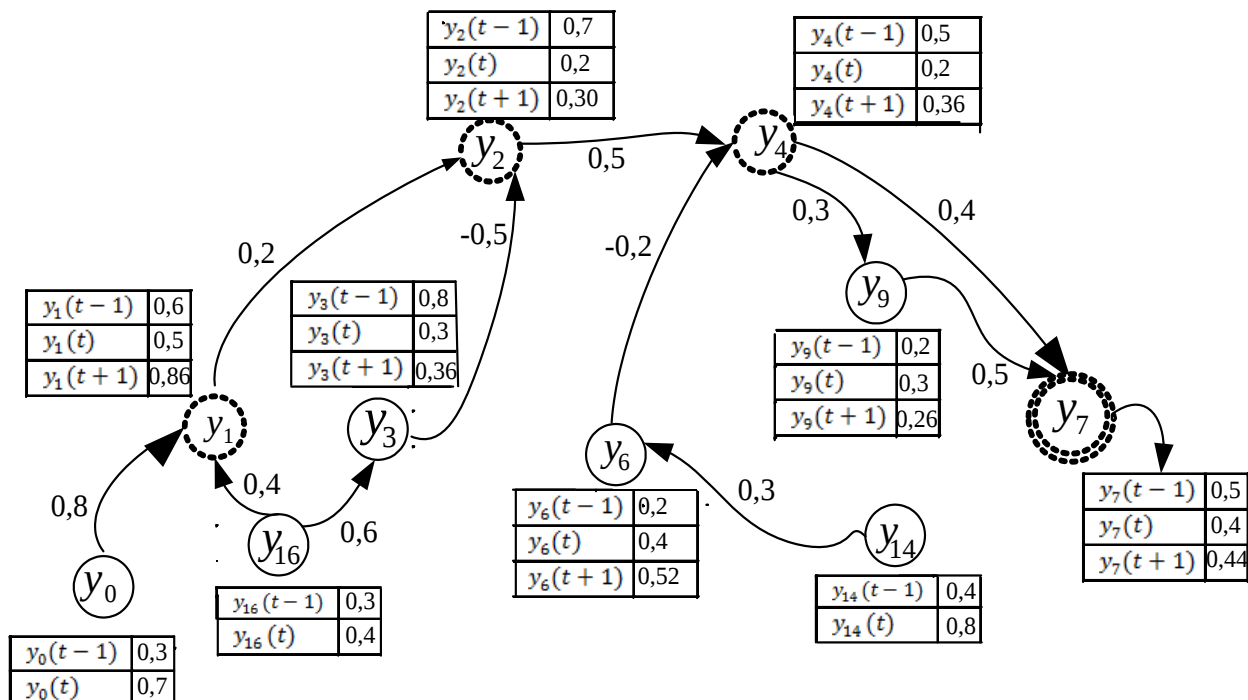


Рис. 25. Графическое представление когнитивной карты с результатами расчетов

Фрагмент расчетов в MS Excel с входными данными представлен на рис. 26, а веса факторов — на рис. 27.

Расчет по оптимизации ресурсных вложений предназначенных для снижения опасностей (аварий и пожаров) в последующий период				
Показатели влияния факторов за период				
Наименование показателя	$t - 1$	t	$t + 1$	Запас
Входные				
Y_0	0,3	0,7		
Y_{16}	0,3	0,4		
Y_{14}	0,4	0,8		
Промежуточные				
Y_1	0,6	0,5	0,86	
Y_3	0,8	0,3	0,36	
Y_6	0,2	0,4	0,52	
Y_2	0,7	0,2	0,3	
Y_4	0,5	0,2	0,36	
Y_9	0,2	0,3	0,26	
Результирующий Y_7	0,5	0,4	0,44	0,06

Рис. 26. Результаты расчетов значений влияющих факторов, отображаемых в когнитивной карте

Вес влияния фактора-причины на фактор-следствие	
$Y_0 \rightarrow Y_1$	0,8
$Y_{16} \rightarrow Y_1$	0,4
$Y_{16} \rightarrow Y_3$	0,6
$Y_{14} \rightarrow Y_6$	0,3
$Y_3 \rightarrow Y_2$	0,5
$Y_6 \rightarrow Y_4$	0,2
$Y_4 \rightarrow Y_9$	0,3
$Y_4 \rightarrow Y_7$	0,4
$Y_9 \rightarrow Y_7$	0,5
$Y_1 \rightarrow Y_2$	0,2
$Y_2 \rightarrow Y_4$	0,5

Рис. 27. Веса значений факторов, отображаемых в когнитивной карте

Наглядно подтверждается факт снижения ресурса, выделяемого для представленного (рис. 26) результирующего показателя за периоды $(t - 1)$ и t при их сравнении. Предложен рациональный вариант ресурсного обеспечения КБ на предприятии НГК России для результирующего фактора на период $t + 1$, этот показатель равен 0,44, оставшийся ресурсный имеющийся запас (объемом около 0,06), может быть адресно направлен в те точки (места), которые имеют высокие рискованные показатели.

Представлена авторская разработка по оптимизации мероприятий, направленных на достижение эффекта при ресурсном обеспечении СКБ на предприятиях НГК России. Задача оптимального управления КБ сводилась к решению серии за-

дач с прогнозируемыми показателями, относящимися к линейному программированию (далее – ЛП). Использование результатов весовых показателей, полученных с помощью ЛП, позволило выявить скрытые резервы и направить их адресно именно в те места (узловые точки), которые имеют высокий показатель влияния.

На рис. 28 показаны компоненты (блоки) и факторы, взаимодействующие в КБ предприятий НГК России. Эффективность измеряется тем, как распределяется ресурсное обеспечение КБ предприятия, тесно ли оно связано с факторами возникновения опасности.

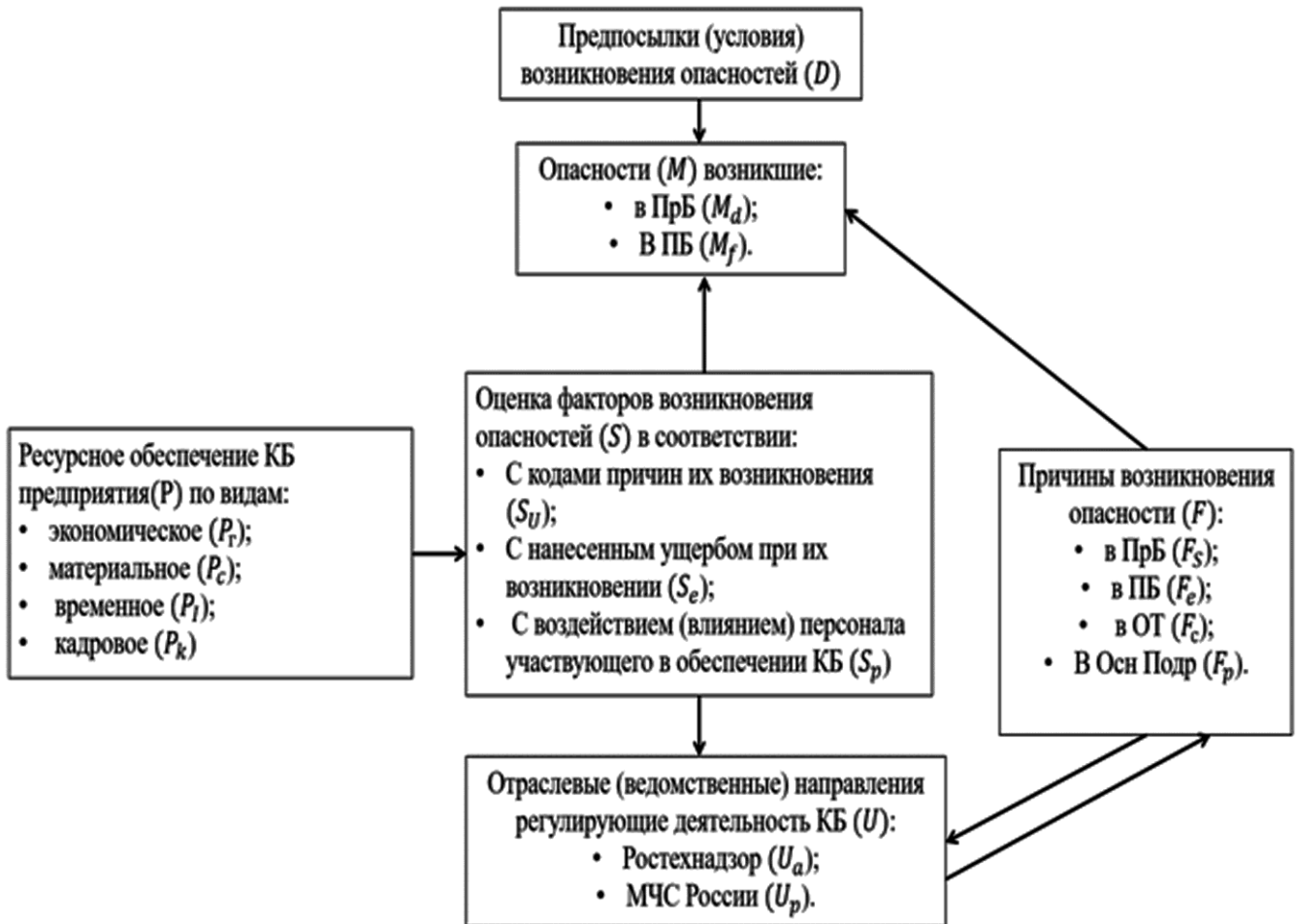


Рис. 28. Объединение всех компонентов сети

Представленные на рис. 28 результаты позволяют сделать следующие выводы:

- блочный столбец M представляет собой ведущие факторы при рассмотрении причинно-следственной связи возникновения опасностей (аварий и пожаров);
- блочный столбец S подтверждает приоритетный показатель зависимости ресурсного обеспечения КБ от оценки уровня опасностей (аварий и пожаров), зафиксированных в статистических отчетах ведомственных (отраслевых) подсистем;
- блочные столбцы U и F указывают на явно выраженный приоритет отраслевых (ведомственных) подсистем промышленной и пожарной безопасности при рассмотрении причинно-следственных связей влияющих на возникновение опасностей (аварий и пожаров), что в очередной раз подтверждает необходимость в проведении дальнейших исследований в КБ предприятий НГК России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют сформулировать ряд обобщающих выводов и предложений.

1. Проведенный анализ показал, что на предприятиях НГК России весьма высока потенциальная угроза возникновения опасностей (аварий и пожаров) на участках (площадках) ОПО, идет сложный процесс взаимодействия между отдельными ведомственными (отраслевыми) подсистемами промышленной и пожарной безопасности, которые характеризуются наличием факторов взаимного их влияния друг на друга. В результате исследований установлено, что в настоящее время пока не существует полностью юридически и организационно сформированной адаптивной системы комплексной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса, именуемой в представленной работе как СКБ, в то же время имеются и автономно функционируют основные подсистемы и блоки этой сложной системы, например, такие как промышленная и пожарная безопасность.

Сформулирована концептуальная основа и описание процессов с использованием механизмов опережающего адаптивного управления СКБ на предприятиях НГК России, в которой с учетом ограничений предложено оптимизировать ресурс, выделяемый для устойчивого функционирования КБ на предприятиях НГК России, таким образом, чтобы его использование ведомственными (отраслевыми) подсистемами позволило получить наибольший прирост устойчивости КБ предприятия в рассматриваемых условиях ограничений. В диссертации поставлены и решены задачи, позволяющие рационально распределять ресурс таким образом, чтобы он направлялся в первую очередь в те места (узловые точки), которые имеют высокие показатели по нанесению ущерба от аварий и пожаров.

2. Представлена постановка и решение крупной научной проблемы – развитие теории и методологии управления СКБ на предприятиях НГК России и методов ее реализации, имеющей важное значение для развития экономики России. Суть проблемы заключается в том, что существуют ограничения в ресурсном обеспечении СКБ на предприятиях, а также ужесточается федеральное законодательство в области ответственности лиц, принимающих решение (ЛПР), на предприятиях НГК России за недопущение возникновения ЧС, поэтому требуется разработка и внедрение наукоемкой методологии по стратегическому планированию и рациональному распределению ресурсов (материальных, экономических, трудовых, временных, информационных и т.д.), а также разработка методов, способных определить уровень отклонения от заданного целевого направления. Это позволит выработать обоснованное управляющее решение ЛПР, на основе имеющейся информации о состоянии существующей СКБ, созданной на предприятии, что важно для обеспечения устойчивого функционирования предприятий, имеющих участки (площадки) ОПО, подобных НГК России. Поддержание на требуемом уровне СКБ на предприятиях НГК России во многом зависит от деятельности контрольно-надзорных органов по обеспечению функционирования промышленной и пожарной безопасности, т.е. от проведения ими предупредительно-профилактических мероприятий. Впервые разработана математическая модель, применение которой позволило создать синтезирующую методологию, использование которой позволяет

объединить различные факты приводящие к авариям и пожарам (уложить их в единую схему), установить причинно-следственные связи и закономерность их наступления (весь арсенал практически полезных методов приспособить к новой системе знаний). В виде частного признака для существующей модели управления СКБ, рассматривается ее поддержка за счет выделения ресурса в соответствии с установленными требованиями НПД в области промышленной и пожарной безопасности, исполняемыми органом управления СКБ на основе интуитивных соображений. Частный же признак, заложенный в содержание перспективной (оптимизационной) модели, характеризуется свойством целесообразности при использовании ресурса для обеспечения СКБ предприятия, т.е. с соблюдением условия рациональности его направления в те места (узловые точки), которые имеют высокий показатель нанесения ущерба от аварий и пожаров. Представленный автором подход подтверждает выполнение п. 1 области исследования по паспорту специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (по отраслям).

3. Обоснована и продемонстрирована необходимость применения системного подхода для решения проблем КБ предприятий. Приведены изложенные в различных документах понятия для системы комплексной безопасности, но ввиду того, что рассматриваемые понятия не отвечают специфическим признакам исследуемого объекта (рассмотрения СКБ с точки зрения ее управления на предприятиях НГК России), автором впервые введено сформулированное понятие *адаптивная система комплексной безопасности предприятий нефтегазового комплекса России*.

4. Впервые обосновано и продемонстрировано использование нового модифицированного набора методов, применение которых позволило получить адекватный результат оценки состояния СКБ, созданной на предприятии НГК России.

Представлено авторское обоснование в оригинальности выбора метода множителей Лагранжа, относящегося к категории классических, предназначенного для решения задач математического программирования (в частности выпуклого), который применен при постановке общей проблемы и нашел свое усовершенствование в его использовании не обособленно, а в виде аппарата, взаимодействующего с другими современными численными методами, позволяющими решать частные задачи, а именно:

- методом анализа иерархий (МАИ), отличительными признаками которого является замкнутая логическая конструкция, обеспечивающая последовательность решения многофакторных задач с построением иерархических структур, позволяющая получить по каждому оцениваемому элементу, влияющему на возникновение опасностей (аварий и пожаров);

- методом байесовских сетей доверия (БСД), оригинальность применения которых заключается в адаптации полученных ранее результирующих показателей влияния на возникновение опасностей (аварий и пожаров), к получению адекватного результата рассчитанного с точки зрения их частоты реализации за оцениваемый промежуток времени.

5. Предложены новые отличающиеся от существующих признаки научной новизны модели, способные оценивать показатели весовых коэффициентов влияния для всех элементов (мероприятий, ставших причинами опасностей), обладающие следующими особенностями:

- иерархическая модель, позволяющая проанализировать все мероприятия, ставшие причинами возникновения опасности, а также рассмотреть их с точки зрения нанесения ущерба объектам защиты (персоналу, зданиям, сооружениям, оборудованию, имуществу и т.д.). Определить для каждого мероприятия собственный уровень его влияния на возникновение опасностей, величина которого варьируется от минимальных до максимальных критических значений;

- графовая модель, основным содержанием которой является ФС-модель, обладающая рядом преимуществ, в числе которых визуальное представление знаний исследователей, интуитивно понятное представление основных понятий и взаимосвязей исследуемой предметной области, отражение причинно-следственных связей с возможностью формализовать решаемые задачи. Особенностью использования модели является адаптация полученных расчетных показателей весовых коэффициентов влияния для всех мероприятий, ставших причинами опасностей (иерархическая модель) к дальнейшему рассмотрению событий по возникновению опасностей (аварий и пожаров) с точки зрения их частоты реализации за оцениваемый промежуток времени, что говорит об адекватности получения результата в проведенном исследовании.

6. Разработана методика оценки состояния СКБ на предприятиях НГК России, позволяющая органу управления быстро и объективно установить уровень напряженности ситуации по различным оцененным показателям элементов ставших причинами опасностей, тем самым выработать систему мероприятий в рамках проведения оптимизации в данной системе, наметить направления по адресной отправке ресурсного обеспечения в те места (узловые точки), которые имеют высокие показатели влияния на возникновение аварий или пожаров. Ключевая идея, заложенная в содержание методики, состоит в том, что в ней представлены оригинальные научные идеи по ранжированию мероприятий, ставших причинами возникновения опасностей, с расчетом показателя веса их влияния.

Для практического применения предложенной методикой вычислительной схемы агрегирования показателей элементов (мероприятий, ставших причинами опасностей) с учетом их весового коэффициента влияния разработана программа «Калькулятор оценки мероприятий промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России», которая представляет собой универсальную инструментальную систему, позволяющую решать специализированные задачи, содержащую все необходимые средства: первоначальная обработка данных; безинтерактивное проведение расчетов; вывод и сохранение результатов вычислений; настройка и управление режимами работы.

Разработанная автором программа «Калькулятор оценки мероприятий промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России» прошла успешную апробацию на предприятии ПАО «Мосэнерго», входящем в структуру ПАО «Газпром», акт о внедрении результатов научного исследо-

вания представлен в приложении 4, что подтверждает выполнение п.2 области исследования по паспорту специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (по отраслям).

7. Разработаны предложения для перспективного использования автоматизированных информационно-управляющих и автоматизированных советующих систем в контурах управления безопасностью и устойчивостью функционирования предприятий НГК России. Приведено доказательство того, что в настоящее время на рассматриваемых предприятиях в основном используется программный комплекс SAP, предназначенный для эффективного планирования ресурсов, имеющий существенный недостаток в том, что для него пока не разработаны для установки «программные» инструменты – элементы будущей информационно-управляющей системы, наделенные возможностью выстраивания из них каскада модулей для облегчения принятия решений ЛПР и разработки гибкой системы мониторинга.

Сформулированные автором предложения в полном объеме соответствуют требованиям концепции и «дорожной карте» развития информатизации и роботизации в нефтегазовой отрасли России.

8. Разработаны научные основы создания и предложены пути совершенствования СКБ на предприятиях НГК России. В частности, применение когнитивных карт, строящихся на основе ФС моделей, со знаковым отображением входо-выходных характеристик, влияющих на содержание управляющих предписаний, позволяет учитывать следующие факторные особенности: рассмотрение организационно-технических мероприятий по предупреждению опасностей; рассмотрение причинно-следственных связей возникновения опасностей; учет ущерба от реализации опасностей (аварий и пожаров). Предложено учитывать особенности функционирования технологического процесса (добыча, транспортировка, переработка, хранение) при рассмотрении статистики опасностей аварий и пожаров для уточнения весовых показателей влияния для всех элементов (мероприятий, ставших причинами опасностей).

Автором решена научная проблема, имеющая важное значение для развития экономики России, суть которой заключается в том, что автор решает частные оптимизационные задачи по выявлению скрытых ресурсных резервов, имеющихся на предприятии, для их дальнейшего применения в конкретных местах (узловых точках) подсистем промышленной и пожарной безопасности, имеющих высокие показатели влияния на возникновение опасностей (аварий и пожаров).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Монография, учебное и учебно-методическое пособия:

1. Гвоздев Е.В. Моделирование системы оценки и планирования мероприятий пожарной безопасности для территориально распределенных крупных организаций: монография / Е.В. Гвоздев, С.Ю. Бутузов, А.А. Рыженко; ред. Е.В. Гвоздев. – Химки: АГЗ МЧС России, 2017. – 162 с.

2. Гвоздев Е.В. Информационно-методическое обеспечение комплексной безопасности предприятий: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / Е.В. Гвоздев; Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – Москва: МИСИ-МГСУ, 2020. – эл. опт. диск. – ISBN978-

5-7264-2259-6.

3. Гвоздев Е.В. Пожарная безопасность технологических процессов: учебно-методическое пособие / Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т., каф. комплексной безопасности в строительстве; Е.В. Гвоздев, Ф.А. Портнов. – М.: МИСИ-МГСУ, 2021. – on-line (Техносферная безопасность). – ISBN978-5-7264-2899-4 (сетевое). – ISBN978-5-7264-2900-7 (локальное).

Статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук:

4. Гвоздев, Е.В. Формирование рациональной структуры и состава отдела пожарной безопасности предприятия / Е.В. Гвоздев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 2 (54). – С. 28.

5. Гвоздев, Е.В. Об эффективности управления системой обеспечения пожарной безопасности на предприятии / Е.В. Гвоздев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 3 (55). – С. 25.

6. Гвоздев, Е.В. О методике оценки состояния пожарной безопасности на предприятии ОАО «Мосводоканал» / Е.В. Гвоздев, А.В. Рыбаков // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2014. – № 3 (22). – С. 68–80.

7. Гвоздев, Е.В. Разработка концептуальной модели управления системой пожарной безопасности предприятия / Е.В. Гвоздев // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 2(60). – С. 236–239.

8. Гвоздев, Е.В. Формализованная модель оценки надежности функционирования тепловых электрических станций / Е.В. Гвоздев, С.Ю. Бутузов, Т.Г. Сулима, С.Б. Арифджанов // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28. – № 2. – С. 47–56. – DOI 10.18322/PVB.2019.28.02.47-56.

9. Гвоздев, Е.В. Комплексная оценка риска на предприятиях жизнеобеспечения, имеющих опасные производственные объекты / Е.В. Гвоздев, Ю.Г. Матвиенко // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 10. – С. 69–78. – DOI 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78.

10. Гвоздев, Е.В. Оценка риска возникновения опасностей в техносфере на примере предприятия по жизнеобеспечению региона / Е. В. Гвоздев, Т. Г. Сулима // Технологии гражданской безопасности. – 2019. – Т. 16. – № 4 (62). – С. 50–56. – DOI 10.54234/CST.19968493.2019.16.4.62.9.50.

11. Gvozdev, E. On the probability determination of the reliability of a technosphere object under hazardous influence / E. Gvozdev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 23, Construction - The Formation of Living Environment, 55 GiaiPhong Road, Hanoi, 23–26 сентября 2020 года. – 55 GiaiPhong Road, Hanoi, 2020. – P. 052043. – DOI 10.1088/1757-899X/869/5/052043.

12. Gvozdev, E., Cherkina, V. The Modern Strategy to the Process of Managing Complex Security of the Enterprise on the Basis of Rational Centralization. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019, Volume-9, Issue-1 P. 4614–4620. DOI: 10.35940/ijitee.A4944.119119.

13. Гвоздев, Е.В. Методология синтеза адаптивной системы комплексной безопасности на предприятии жизнеобеспечения населения региона / Е. В. Гвоздев

// Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – Т. 29. – № 2. – С. 6–16. – DOI 10.18322/PVB.2020.29.02.6-16.

14. Gvozdev, E. Methodology of human factor influence on complex safety of enterprises. 2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application, DASA 2020. P. 157–162, 9317246 <https://doi.org/10.1109/DASA51403.2020.9317246>

15. Гвоздев, Е.В. Методология анализа показателей влияния человеческого фактора на комплексную безопасность электроэнергетических предприятий / Е.В. Гвоздев, Е.Б. Грибанова, Ю.Г. Матвиенко // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 12. – С. 38–43. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-12-38-43.

16. Гвоздев, Е.В. К обеспечению комплексной безопасности предприятий, имеющих опасные производственные объекты / Е.В. Гвоздев, Ю.Г. Матвиенко // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2020. – № 2. – С. 72-81. – DOI 10.36535/0869-4176-2020-02-9.

17. Гвоздев, Е.В. Методология синтеза адаптивной системы комплексной безопасности на предприятии жизнеобеспечения населения региона / Е.В. Гвоздев // Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – Т. 29. – № 2. – С. 6–16. – DOI 10.18322/PVB.2020.29.02.6-16.

18. Gvozdev, E. Visualization and diagnostics of reliability of the object with changing the functioning conditions / E. Gvozdev // E3S Web of Conferences: 24, Moscow, 22–24 апреля 2021 года. – Moscow, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202126302009.

19. Gvozdev, E. The influence of the human factor on the safety of operation of the industrial buildings and structures / E. Gvozdev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 7, Tashkent, 11–14 ноября 2020 года. – Tashkent, 2021. – P. 012031. – DOI 10.1088/1757-899X/1030/1/012031.

20. Гвоздев, Е.В. Информационно-управляющая система обеспечения промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России / Е.В. Гвоздев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2021. – № 3 (40). – С. 13–23.

21. Гвоздев, Е.В. О методике оценки состояния промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России / Е. В. Гвоздев, Ю. Г. Матвиенко // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 11. – С. 7–12. – DOI 10.24000/0409-2961-2021-11-7-12.

22. Гвоздев, Е.В. Об оценке состояния комплексной безопасности промышленных предприятий / Е.В. Гвоздев, Ю.Г. Матвиенко // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 4 (94). – С. 76–95. – DOI 10.25257/TTS.2021.4.94.76-95.

23. Гвоздев, Е.В. Об оценке состояния комплексной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 1. С. 49–64. DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.01.49-64.

Прочие публикации по теме исследования:

24. Бутузов, С.Ю. Формирование экспертной группы для расчёта норм затрат труда инженеров пожарной безопасности на предприятии / С.Ю. Бутузов, Е.В. Гвоздев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 1 (53). – С. 21.

25. *Матюшин, А.В.* Моделирование деятельности специалистов по управлению системой пожарной безопасности предприятия / А.В. Матюшин, Е.В. Гвоздев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 6 (58). – С. 29.
26. *Гвоздев, Е.В.* Моделирование системы оценки объектов по определенным факторам / Е.В. Гвоздев, А.А. Рыженко // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы XVI Международной научно-методической конференции, Воронеж, 11–12 февраля 2016 года / под редакцией Н.А. Тюкачева – Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2016. – С. 139–144.
27. *Гвоздев, Е.В.* Инновационный подход к оценке уровня обеспечения пожарной безопасности на предприятии жилищно-коммунального типа / Е.В. Гвоздев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2. – № 1 (5). – С. 119–125.
28. *Гвоздев, Е.В.* Формирование рациональной структуры и состава отдела, участвующего в обеспечении пожарной безопасности на предприятии / Е.В. Гвоздев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2. – № 2 (6). – С. 91–97.
29. *Гвоздев, Е.В.* Обоснование централизованного управления комплексной безопасностью объектов защиты техносферы / Е.В. Гвоздев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2. – № 4 (8). – С. 97–107.
30. *Гвоздев, Е.В.* Сценарно-процессный подход в представлении поведения производственного объекта для предупреждения и ликвидации опасностей в техносфере / Е.В. Гвоздев // Техносферная безопасность, проблемы и перспективы : Сборник трудов I Международной научно-практической конференции, Химки, 23 ноября 2017 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2018. – С. 25–29.
31. *Гвоздев, Е.В.* Разработка алгоритма отклонения от нормы для обнаружения опасности технической системой управления безопасностью на предприятии / Е.В. Гвоздев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 3. – № 2(10). – С. 25–34. – DOI 10.21285/2500-1582-2018-2-25-34.
32. *Гвоздев, Е.В.* Разработка метода обнаружения и агрегирования показателей опасностей, воздействующих на объекты защиты предприятия и окружающую среду / Е.В. Гвоздев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 3. – № 3(11). – С. 69–81. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-3-69-81.
33. *Гвоздев, Е.В.* Анализ надежности функционирования системы комплексной техносферной безопасности предприятия на основе вероятностей деструктивного воздействия и его преодоления подсистемой безопасности / Е.В. Гвоздев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 3. – № 4 (12). – С. 51–66. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-4-51-66.
34. *Гвоздев, Е.В.* Обоснование подхода в централизованном управлении комплексной безопасностью объектов защиты предприятия / Е.В. Гвоздев, С.М. Ляшенко // Техносферная безопасность, проблемы и перспективы: сборник трудов I Международной научно-практической конференции. Химки, 23 ноября 2017 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2018. – С. 22–25.
35. *Гвоздев, Е.В.* Методический подход к управлению риском в техносфере: на примере предприятия по жизнеобеспечению региона / Е.В. Гвоздев, М.А. Литвинова, Ю.Г. Матвиенко, В.И. Мухин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2019. – № 5. – С. 4–14. – DOI 10.36535/0869-4176-2019-05-1.

36. Гвоздев, Е.В. О вероятностном определении надежности объекта техносферы при опасных воздействиях / Е.В. Гвоздев // Научная жизнь. – 2020. – Т.15. – № 6 (106). – С. 809-818. – DOI 10.35679/1991-9476-2020-15-6-809-818.

37. Гвоздев, Е.В. Методология анализа показателей влияния человеческого фактора на комплексную безопасность промышленных предприятий / Е.В. Гвоздев, Ю.Г. Матвиенко // Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ – 2020): сборник трудов V Международной научно-технической конференции в дистанционном формате, Москва, 27–29 октября 2020 года. – М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2020. – С. 82–85.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

38. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660029 Российская Федерация. Информационно-аналитическая система работы с персоналом в организации жилищно-коммунального типа: № 2015616248: заявл. 07.07.2015: опубл. 20.10.2015 / Е.В. Гвоздев, А.А. Рыженко, С.Ю. Бутузов.

39. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022614215 Российская Федерация. Калькулятор оценки промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России: № 2022613341: заявл. 28.02.2022: опубл. 17.03.2022 / Е.В. Гвоздев, Б.С. Садовский, Н.Р. Руппа, П.А. Бутовченко.