

На правах рукописи



Рябцев Николай Алексеевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
В СИСТЕМЕ ОХРАННО-ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ
КЛАССИФИЦИРОВАННЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (технические науки, отрасль – промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре пожарной автоматики ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России».

Научный руководитель: **Членов Анатолий Николаевич,**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры пожарной автоматики
Академии Государственной противопожарной
службы МЧС России, Заслуженный работник
высшей школы Российской Федерации

Официальные оппоненты: **Козьминых Сергей Игоревич,**
доктор технических наук,
заместитель начальника кафедры информационной
безопасности Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации

Серезевский Алексей Вадимович,
кандидат технических наук,
заместитель начальника кафедры специальных
информационных технологий учебно-научного
комплекса информационных технологий
Московского университета МВД России
имени В.Я. Кикотя

Ведущая организация: Федеральное государственное казенное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский институт Министерства внутренних дел
Российской Федерации»

Защита состоится «03» февраля 2021 года в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д.205.002.01 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/a80/a8081fdb59601d6ec802d7e4bfac5222.pdf>.

Автореферат разослан «18» ноября 2020 года.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направить в Академию Государственной противопожарной службы МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень проработанности темы исследования

Безопасность промышленных объектов нефтяной и газовой промышленности является одним из основных условий успешного функционирования и развития нефтегазового комплекса. Достижение безопасности предполагает, прежде всего, безаварийную работу технологического оборудования, пожарную безопасность, а также противокриминальную и антитеррористическую защиту промышленных объектов.

Важность формирования эффективной системы безопасности подтверждено Распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 мая 2017 № 928-р, (ред. от 10 сентября 2019 г.) в котором утвержден перечень объектов, подлежащих обязательной охране войсками национальной гвардии Российской Федерации. В этом перечне в качестве приоритетных, указаны промышленные объекты ОАО «Грознефтегаз» в Чеченской Республике и ОАО «РН Ингушнефть» в Республике Ингушетия.

К одним из наиболее уязвимых относятся потенциально опасные промышленные объекты нефтегазодобычи, особенность которых состоит не только в большом количестве технологических установок, представляющих повышенную опасность, но и в наличии значительной территории, где эксплуатируется такое оборудование. В связи с этим цехи добычи нефти и газа (ЦДНГ) и их комплексной подготовки подлежат надежной защите с помощью автоматизированных интегрированных систем на основе эффективных средств охранно-пожарной сигнализации.

Вместе с тем существенную проблему представляет формирование системы охранно-пожарной сигнализации, в полной мере соответствующей характеру технологического процесса и условиям его реализации на промышленном объекте. Особенность современного этапа развития техники состоит в том, что при видимом насыщении рынка охранными извещателями и модулями, они зачастую не отвечают требованиям эффективности, надежности и живучести для применения на потенциально опасных и критически важных промышленных объектах.

С введением системы классификации автоматических средств обнаружения, для охраны особо важных объектов необходимы извещатели, обладающие дополнительными специальными функциями и структурой формируемых ими извещений. Поскольку при этом неизбежно возрастают стоимостные параметры системы сбора и обработки данных, возникает проблема выбора составляющих ее технических средств.

Следовательно, в условиях значительного повышения технической оснащенности и подготовленности лиц, совершающих противоправные действия криминальной и террористической направленности, активно противодействующих нормальному функционированию систем охранно-пожарной сигнализации, требуются исследования, разработка и производство новых видов извещателей с повышенной эффективностью обнаружения, а также рекомендаций по выбору оптимального состава модульных структур сбора и обработки данных.

Информационной базой для исследований в данной области может служить вневедомственная охрана Росгвардии, имеющая возможность получения достовер-

ных данных о функционировании систем централизованной охраны около 2-х миллионов объектов различного назначения. При этом более 95% объектов оборудовано системами охранно-пожарной сигнализации.

Вопросам повышения эффективности систем охраны и пожарной безопасности объектов посвящено значительное количество научных исследований. Широко известны в данной области работы Топольского Н.Г., Шепитько Г.Е., Бутузова С.Ю., Членова А.Н., Зарубина В.С., Волхонского Н.Н., Козьминых С.И., Крахмалева А.К., Зайцева А.Г., Климова А.В., Серезевского А.В., Буцынской Т.А., *Pigott S., Walker Ph.* и ряда других ученых в России и за рубежом.

Вместе с тем, интенсивное развитие электронной техники и технологий с учетом напряженной криминогенной обстановки требует постоянного совершенствования научно-технического обеспечения формирования систем безопасности объектов.

Таким образом, острая необходимость в совершенствовании системы охранно-пожарной сигнализации промышленного объекта на основе классифицированных извещателей с повышенной эффективностью обнаружения определяет актуальность темы диссертации.

Объект исследования – автоматизированные интегрированные системы безопасности потенциально опасных промышленных объектов, на примере цехов добычи нефти и газа.

Предмет исследования – система охранно-пожарной сигнализации потенциально опасного промышленного объекта.

Цель – совершенствование автоматизации сбора и обработки данных в системе охранно-пожарной сигнализации потенциально опасного промышленного объекта на основе классифицированных извещателей с повышенной эффективностью обнаружения.

Практическая реализация данной цели вносит значительный вклад в повышение безопасности предприятий нефтяной и газовой промышленности.

Задачи исследования

1. Провести анализ современного состояния безопасности и основных задач совершенствования системы охраны и пожарной безопасности потенциально опасного промышленного объекта.

2. Провести анализ параметров эффективности обнаружения проникновения нарушителя, надежности и живучести централизованной охранно-пожарной сигнализации на этапе эксплуатации.

3. Разработать математическую модель и методику оценки эффективности обнаружения несанкционированного проникновения на охраняемый объект.

4. Разработать предложения по оптимальному проектированию модулей сбора и обработки данных, а также их эффективному применению в системе охранно-пожарной сигнализации потенциально опасного промышленного объекта.

Работа выполнена в соответствии с:

- Концепцией развития вневедомственной охраны войск национальной гвардии Российской Федерации на период 2018 – 2021 годов и далее до 2025 года, утвержденной приказом Росгвардии от 7 марта 2018 года № 72;

- Планами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Академии ГПС МЧС России и ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии на 2015 – 2019 гг.

Методы исследований

Для решения поставленных задач использованы методы теории вероятностей и математической статистики, кластерный анализ, методы математического моделирования и анализа, эксперимент.

Научная новизна работы заключается в:

1. Разработке комплексного показателя, характеризующего уровень безопасности объекта от угроз криминального проникновения нарушителя, пожара и техногенной аварии, учитывающего взаимное влияние систем безопасности и управления технологическим процессом промышленного предприятия.

2. Разработке математической модели, определяющей риск несанкционированного проникновения на охраняемый промышленный объект, и методики ее применения при проектировании системы охранно-пожарной сигнализации для снижения опасности совершения противоправных действий и их последствий для людей, технологического оборудования и материальных ценностей.

3. Разработке методики оптимального проектирования модулей сбора и обработки данных на основе метода динамического программирования, обеспечивающей минимизацию затрат на расширение функциональных возможностей разрабатываемых технических средств.

Достоверность научных результатов и выводов, приведенных в диссертации, подтверждается применением современных апробированных методов исследования, значительным объемом данных для статистического анализа, практическими результатами испытаний и применения разработанных технических средств.

Апробация результатов работы

Основные результаты работы были доложены и получили одобрение на 10 научно-практических конференциях:

Международной научно-технической конференции «Системы безопасности», Москва, Академия ГПС МЧС России, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 гг.;

Научно-практической конференции «Технические средства охраны для обеспечения комплексной безопасности объектов и территорий государства: проблемы и перспективы развития», Москва, «Интерполитех», 2016, 2017, 2018 гг.;

Одиннадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов», Пенза, НИКИРЭТ, 2016 г.;

Восьмой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности», Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019 г.

Теоретическая значимость

Разработаны математические модели и предложены научно обоснованные методики, расширяющие методологическую основу проектирования систем охранно-пожарной сигнализации в составе автоматизированной системы управления промышленного производства.

Практическая ценность и значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов на этапах разработки, проектирования и эксплуатации технических средств и систем охранно-пожарной сигнализации для оптимизации функциональной структуры, тактико-технических характеристик и стоимости, повышения их эффективности, надежности и живучести.

С целью формирования технического обеспечения сбора и обработки данных в автоматизированной системе охранно-пожарной сигнализации промышленного объекта:

1. Разработан и защищен патентом Российской Федерации на полезную модель магнитоконтактный охранный извещатель с повышенной защитой от саботажа путем установки сторонних магнитов с внешней или внутренней стороны блокируемой строительной конструкции.

2. Разработан и внедрен в серийное производство комплекс модернизированных извещателей, обладающих повышенными тактико-техническими характеристиками для применения в составе систем охранно-пожарной сигнализации на потенциально опасных и критически важных промышленных объектах.

3. Разработаны нормативно-технические и методические документы по выбору и применению классифицированных технических средств сбора и обработки данных в системе охранно-пожарной сигнализации в зависимости от степени важности и уровня потенциальной опасности защищаемых объектов.

Реализация результатов работы

Результаты диссертационной работы использованы:

- в научных исследованиях ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии и Академии ГПС МЧС России по совершенствованию систем охраны и пожарной безопасности важных объектов;

- в учебном процессе Академии ГПС МЧС России при подготовке магистерских диссертаций, а также в ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии при организации дополнительного профессионального образования и повышении квалификации военнослужащих (сотрудников) Росгвардии;

- при разработке и внедрении в серийное производство на базе предприятия ЗАО «РИЭЛТА» извещателей с повышенной эффективностью обнаружения;

- при разработке нормативно-технических и методических документов, обеспечивающих качественное проектирование и эксплуатацию систем охранно-пожарной сигнализации объектов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплексный показатель уровня безопасности объекта от угроз криминального проникновения нарушителя, пожара и техногенной аварии, учитывающий взаимное влияние систем безопасности и управления технологическим процессом промышленного предприятия.

2. Математическая модель, определяющая риск несанкционированного проникновения на охраняемый промышленный объект, и методика ее применения для снижения опасности совершения противоправных действий и их последствий для людей, технологического оборудования и материальных ценностей.

3. Методика оптимального проектирования модулей сбора и обработки данных на основе метода динамического программирования, обеспечивающая минимизацию затрат на расширение функциональных возможностей разрабатываемых технических средств.

Публикации

По тематике диссертации опубликовано 25 работ, в том числе 9 научных статей из перечня изданий, рекомендованных ВАК, 15 докладов на конференциях, 1 патент Российской Федерации на полезную модель, 6 работ опубликовано без соавторов.

Личный вклад автора

В работах, опубликованных в соавторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений, списка литературы из 105 наименований и 4 приложений. Общий объем диссертации составляет 189 страниц машинописного текста, включая 29 таблиц и 39 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность и степень проработанности проблемы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи, изложены методология, новизна, теоретическая и практическая значимость проведенного исследования, обоснована достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, приведены сведения об апробации результатов работы.

В первом разделе «Состояние и основные задачи совершенствования сбора и обработки данных в автоматизированной системе централизованной охраны промышленного объекта» на примере цеха добычи нефти и газа определены особенности технологического процесса добычи и комплексной подготовки нефтепродуктов, дана характеристика объектов, находящихся на его территории и нуждающихся в комплексной охране и защите от несанкционированных проникновений и террористических атак. Показано, что такие объекты подлежат надежной защите с помощью автоматизированной интегрированной системы безопасности на основе эффективных средств сигнализации.

Проведена оценка уровня безопасности промышленного объекта от возможных характерных угроз, создаваемых в результате проникновения нарушителя, пожара и (или) техногенной аварии (рисунок 1).

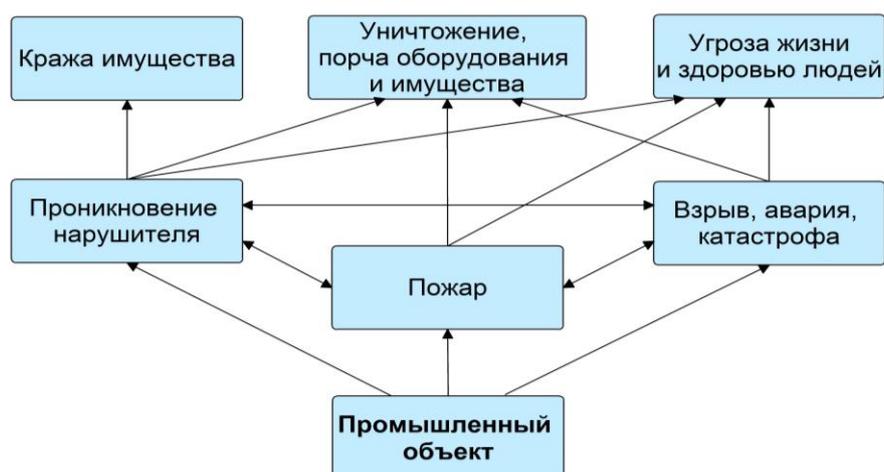


Рисунок 1 – Дерево вероятных угроз промышленному объекту

Комплексный показатель уровня безопасности промышленного объекта представлен в виде аддитивной свертки частных показателей безопасности B_i .

$$U(B_i) = \sum_{i=1}^3 \alpha_i B_i > 0, \text{ при } B_i > 0, \quad (1)$$

где i – вид опасности промышленному объекту ($i = 1$ – пожар; $i = 2$ – проникновение нарушителя; $i = 3$ – техногенная опасность); α_i – весовые коэффициенты;

$$B_i = K_{зпi} O_{ди} - O_i;$$

$O_{ди}$ – допустимый уровень опасности; $K_{зпi}$ – коэффициент запаса; O_i – уровень опасности возникновения пожара, проникновения на охраняемый объект нарушителя или возникновения техногенной опасности.

Положительное влияние систем сигнализации на уровень безопасности учтено в коэффициентах, входящих в соответствующие O_i и детально рассмотренных в диссертации. Оно определяется качеством средств сбора и обработки данных и дополнительными факторами, способствующими эффективному обнаружению тревожной ситуации.

Особенностью введенного показателя является учет комплексного характера возникающих угроз и их проявлений, а также взаимного влияния систем безопасности и управления технологическим процессом.

При совместном функционировании систем пожарной и охранной сигнализации, а также систем контроля технологических параметров АСУТП необходимо учитывать особенности производства, виды и способы обнаружения проникновения и пожара, варианты организации безопасного функционирования защищаемого объекта. Конкретное значение частных показателей и коэффициентов, входящих в выражение (1) может быть получено с использованием метода Гретенера на основе экспертных оценок.

В работе на практическом примере показано, что, в частности, при обеспечении безопасности объектов централизованной охраной достигается существенное увеличение и пожарной безопасности объекта.

Таким образом, качественный уровень системы охраны, влияя на уровень безопасности производства, пожарную безопасность объекта, непосредственно связан с качеством функционирования АСУТП предприятия. Поэтому на примере ЦДНГ можно утверждать, что система охраны, так же, как и противопожарной защиты, являются необходимыми элементами, обеспечивающими нормальное функционирование АСУТП промышленного объекта.

В диссертации представлен рациональный вариант формирования АСУ охраны и пожарной безопасности в составе интегрированной АСУ ЦДНГ. Рассмотрены: обобщенная структура интегрированной АСУ ЦДНГ, функциональная структура и функциональные задачи системы, организационная структура и обобщенная структура технических средств.

Система безопасности на промышленном предприятии строится как централизованная, включающая, кроме охранной и пожарной сигнализации, видеонаблюдения, контроля и управления доступом, также дополнительные подсистемы.

Основу системы охранно-пожарной сигнализации (ОПС) составляют технические средства сбора и обработки данных – датчики, извещатели и модули обнаружения. К началу исследований соискателя была введена классификация автоматических охранных извещателей как по функциональной оснащенности, так и по уровню

защиты от внешних факторов. Однако требования к техническим характеристикам для конкретных видов средств обнаружения отсутствовали. Анализ показал, что, несмотря на значительное наполнение рынка извещателями различных видов, для потенциально опасных и критически важных промышленных объектов наблюдается их существенный недостаток.

Во втором разделе – «Анализ показателей эффективности, надежности и живучести централизованной охранно-пожарной сигнализации на этапе эксплуатации» рассмотрены результаты проведенных статистических и экспериментальных исследований показателей эксплуатации централизованной охранно-пожарной сигнализации на объектах вневедомственной охраны Росгвардии.

Такие объекты классифицированы по важности и степени потенциальной опасности и объединены в группы А и Б. Для категорированных объектов введены общие требования к системе охраны, в частности, по количеству формируемых рубежей сигнализации. Промышленные объекты особой важности, к которым относится ЦДНГ, входят в группу А.

В качестве основных показателей были рассмотрены:

- количественная оценка основных причин снижения надежности функционирования систем ОПС;
- оценка относительного количества и причин ложных сигналов тревоги (ЛСТ), характеризующая устойчивость функционирования ОПС;
- характеристика устойчивости противодействию нарушителю эффективному функционированию ОПС.

Исследованию предшествовал статистический анализ способов проникновения нарушителей на категорированные объекты.

На рисунке 2 представлено относительное количество попыток проникновения на объекты, обнаруживаемые системой сигнализации при преодолении нарушителем формируемых рубежей. Учитывая, что многорубежной сигнализацией оборудуются объекты высоких категорий значимости А, можно утверждать, что данные объекты относительно чаще, чем объекты категорий Б подвергаются криминальным посягательствам.

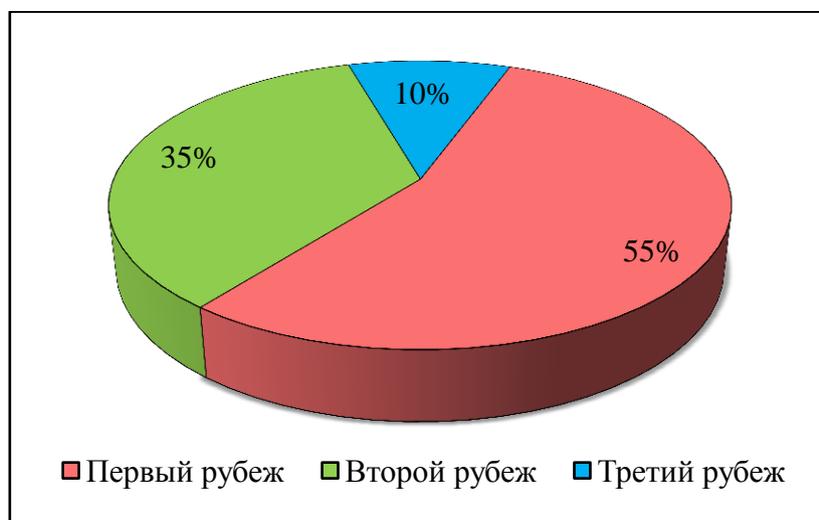


Рисунок 2 – Относительное количество попыток проникновения через рубежи сигнализации

Основное количество составляют несанкционированные проникновения в здания или помещения. Как правило, в более 80% случаев, они осуществляются через наиболее уязвимые места – окна или входные двери. Наиболее распространенным способом проникновения на охраняемую территорию вне зависимости от категории объекта является преодоление ограждения путем перелеза. Относительная его доля составляет около 32% от общего количества попыток.

Статистический анализ неустойчивой работы ОПС показал, что основными причинами ЛСТ являются человеческий фактор, отклонение параметров электропитания и линий связи, связанные с некачественным уровнем организации централизованной охраны.

В ходе работы был проведен анализ количества случаев саботажа технических средств обнаружения (ТСО) в зависимости от его способа и категории охраняемого объекта (рисунок 3). Анализ свидетельствует, что попытки саботажа ТСО на объектах высоких категорий значимости происходят практически в десять раз чаще, чем на объектах низших категорий.

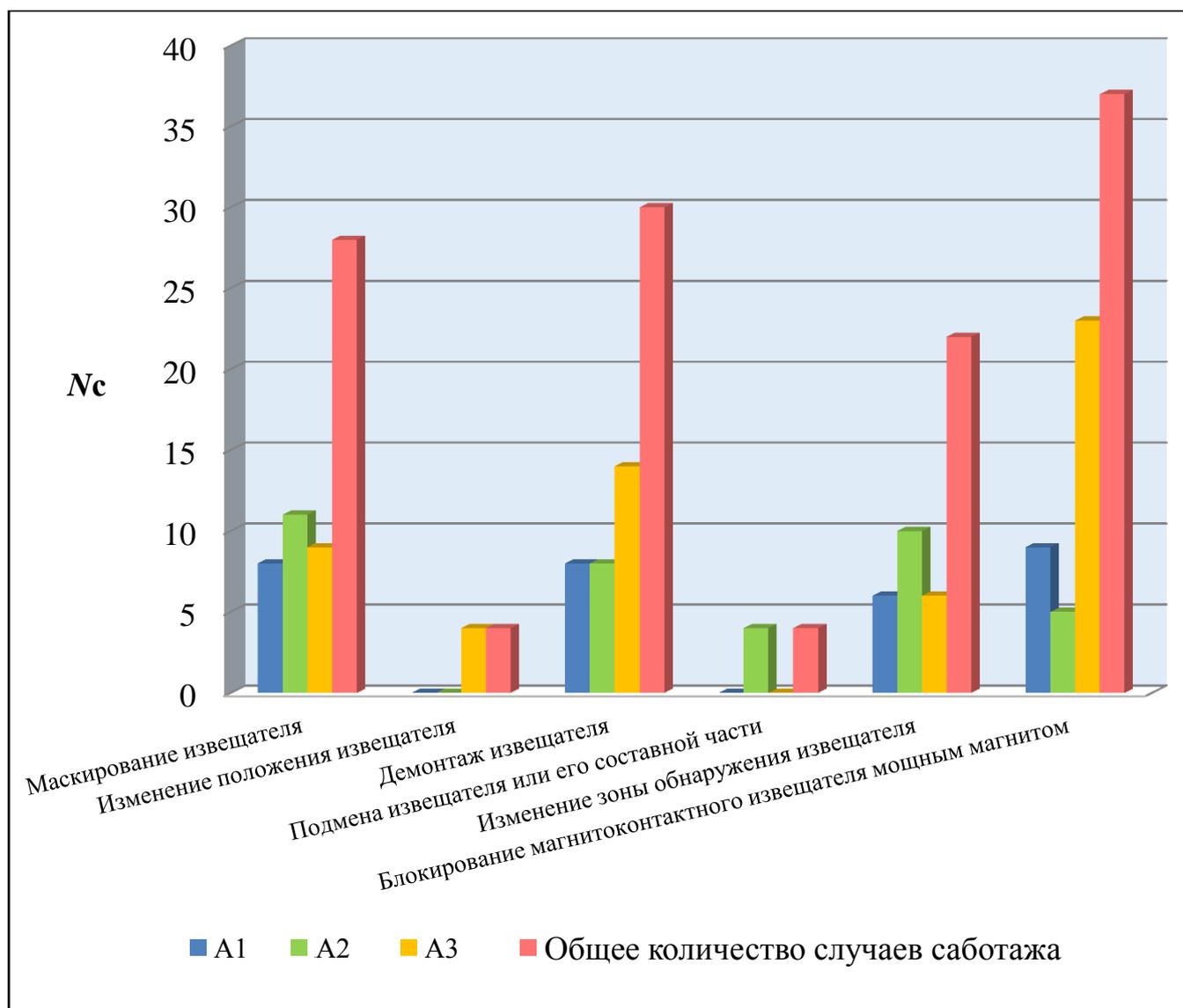


Рисунок 3 – Количество случаев саботажа ТСО

Саботажу способствует то, что многие ТСО не могут устанавливаться скрытно и, в то время, когда объект не находится под охраной, к ним возможен доступ посторонних лиц. Таким образом, для успешного пресечения проникновения нарушителя необходимо не только «раннее» обнаружение попытки проникновения, но и «сверхраннее» обнаружение подготовки к нему путем саботажа.

При детальном рассмотрении случаев саботажа извещателей (N_c) для помещений необходимо отметить, что их основную часть (54% от общего количества) составляют случаи блокирования магнитоcontactных извещателей сторонним магнитом, а также демонтаж извещателей.

Для средств обнаружения, а также видеонаблюдения устанавливаемых на открытых площадках и периметре территории объекта характерным является нарушение их работоспособности путем внешнего криминального воздействия. Соответствующие экспериментальные исследования показали, что наиболее опасными являются дистанционные механические воздействия с помощью оружия и оптических излучателей (для оптико-электронных технических средств и видеокамер).

В третьем разделе «Формализованный анализ модульной системы сбора и обработки данных» представлены результаты формирования математической модели и критериев эффективности обнаружения несанкционированного проникновения на охраняемый объект.

В диссертации введен новый параметр – риск несанкционированного проникновения $Q_{\text{нп}}^M$, который представляет собой количественную меру возможности реализации опасности совершения противоправных действий на объекте защиты M и их последствий для людей и материальных ценностей.

Рассмотрена разработанная методика проектирования системы сигнализации, обеспечивающая гарантированную защиту объекта по критерию соответствия риска несанкционированного проникновения нормативно установленному $Q_{\text{нп}}^H$.

$$P_{\text{нп}} (1 - P_{\text{эо}}) (1 - P_{\text{дп}}) \leq Q_{\text{нп}}^H, \quad (2)$$

где $P_{\text{нп}}$ – вероятность попытки несанкционированного проникновения на охраняемый объект; $P_{\text{эо}}$ – вероятность эффективного обнаружения несанкционированного проникновения системой охранной сигнализации; $P_{\text{дп}}$ – вероятность обнаружения несанкционированного проникновения дополнительными подсистемами в составе системы охраны (охранного телевидения, контроля и управления доступом и др.).

Количественный пример реализации условия (2) для конкретных выбранных значений параметров графически представлен на рисунке 4.

Из рисунка 4 следует, что выполнение неравенства (2) возможно для ряда объектов при наличии только охранной сигнализации ($P_{\text{дп}} = 0$). В данном случае необходимым и достаточным условием защиты объекта является формирование эффективной системы ОПС.

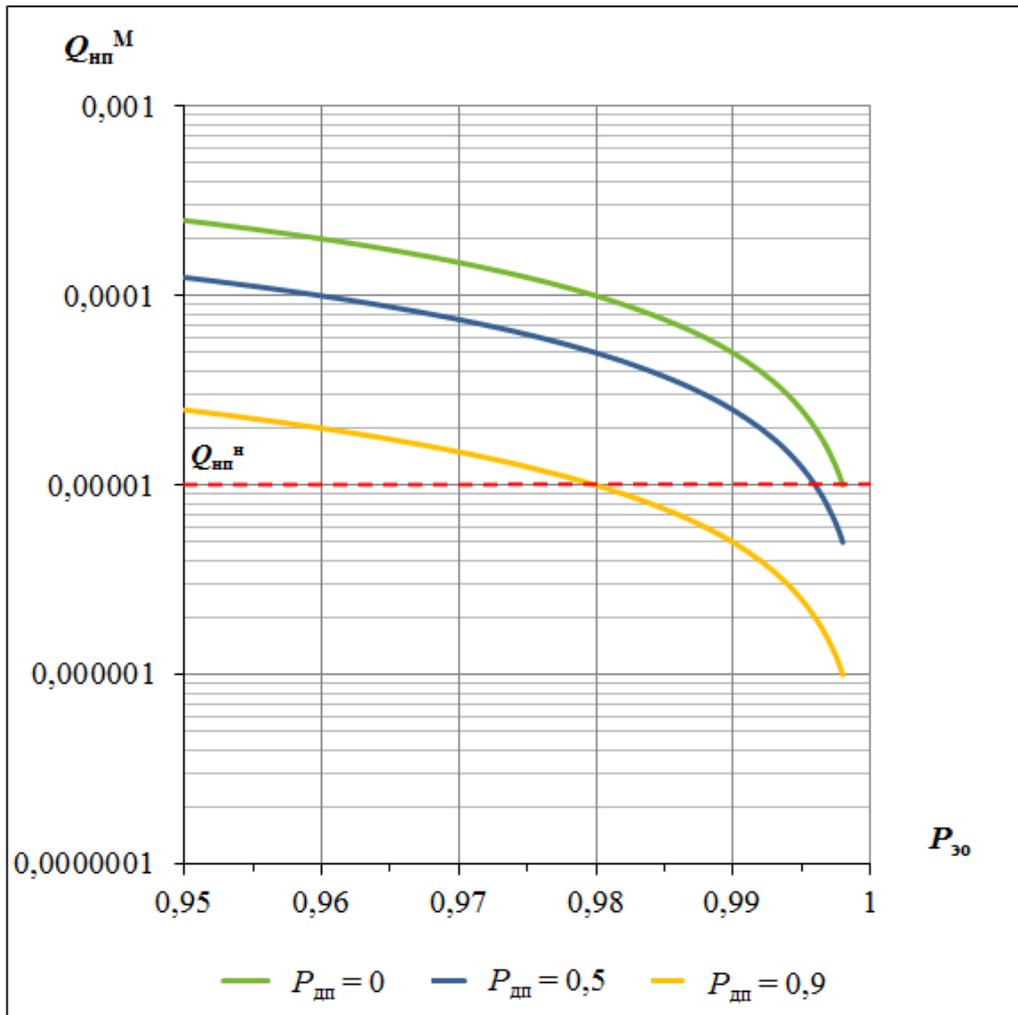


Рисунок 4 – Зависимость риска несанкционированного проникновения от вероятности эффективного обнаружения $P_{эо}$

В этом случае из неравенства (2) следует:

$$P_{эо} \geq 1 - Q_{нп}^H / P_{дп}. \quad (3)$$

Для $P_{эо}$ термин «эффективный» характеризует вероятность обнаружения с учетом комплекса воздействующих внутренних и внешних факторов. С учетом полученных ранее данных о результатах эксплуатации ОПС, выражение для $P_{эо}$ будет определяться произведением вероятностей исправного состояния ТСО на период обнаружения, достоверного обнаружения нарушителя и отсутствия саботажа.

Выражение для $P_{эо}$ в диссертации получено в виде:

$$P_{эо} = \frac{T_{но}}{T_{но} + T_{в}} e^{-\frac{t_{н}}{T_{но}}} (1 - e^{-g_0 t_{до}}) \prod_{j=1}^m g_j, \quad (4)$$

где $T_{но}$ – среднее время наработки на отказ; $T_{в}$ – среднее время восстановления; $t_{н}$ – время наблюдения; $t_{до}$ – время достоверного обнаружения цели исправным извещателем; g_0 – мгновенная плотность вероятности обнаружения; m – количество вариантов саботажа; g_j – относительное количество обнаруженных попыток саботажа данного вида (j).

Обобщенный алгоритм последовательности реализуемых действий при проектировании оптимальной системы сигнализации по критерию (2) представлен на рисунке 5.

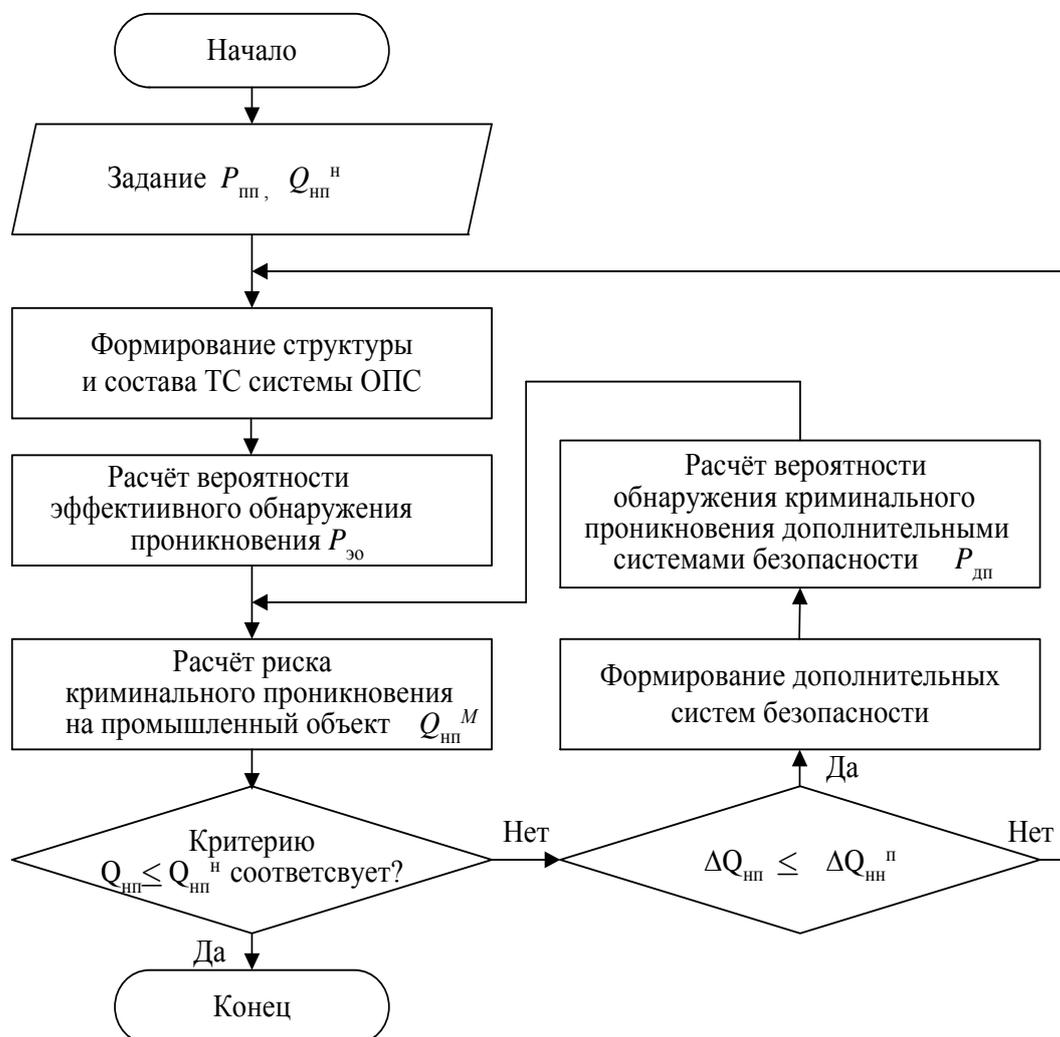


Рисунок 5 – Обобщенный алгоритм проектирования системы охранно-пожарной сигнализации

После задания параметров $P_{пп}$ и $Q_{пп}^н$ в соответствии с требованиями нормативных документов формируется структура и состав технических средств обнаружения на охраняемом объекте, определяется расчетное значение вероятности эффективного обнаружения НП, а затем - риска $Q_{пп}$.

Если полученное значение риска удовлетворяет условию $Q_{пп} \leq Q_{пп}^н$, принятая структура и состав технических средств системы сигнализации считается удовлетворительным и данный этап проектирования заканчивается. Если неравенство не выполняется, в формируемую систему вносят изменения, направленные на увеличение $P_{эо}$. При этом фиксируется достигнутое приращение $\Delta Q_{пп}$. Процесс совершенствования проектируемой системы продолжается до тех пор, пока приращение $\Delta Q_{пп}$ не становится ниже установленного предельно допустимого уровня или оно становится экономически нецелесообразным. В этом случае рассматривает-

ся возможность увеличения $Q_{\text{нп}}$ за счет дополнительных подсистем, включаемых в систему безопасности.

Выбор (проектирование) оптимального модуля обнаружения может быть реализован по критерию достижения максимума вероятности эффективного обнаружения.

$$P_{\text{эoi}}(t) \rightarrow \max, i = 1, \dots, r, \quad (5)$$

где r – количество рассматриваемых вариантов выбираемого модуля обнаружения.

В связи с ограничениями для проектирования, связанными с необходимостью учета затрат на изготовление и техническую эксплуатацию средств обнаружения, предложено для нахождения оптимального варианта последовательности применяемых способов повышения вероятности эффективного обнаружения использовать метод динамического программирования.

Оптимальная последовательность в соответствии с принципом Беллмана должна предусматривать применение способов повышения $P_{\text{эoi}}(t)$ в порядке не возрастания удельного приращения стоимости применения i -го способа при условии использования предыдущего ($i - 1$) способа. Последовательность используемых способов будет оптимальной, если суммарные удельные затраты на модернизацию модуля будут минимальными.

$$S_y = \frac{S_0}{P_{\text{эо0}}(t)} + \frac{\Delta S_1}{\Delta P_{\text{эо1}}(t)} + \dots + \frac{\Delta S_i + S_{i,i-1}}{\Delta P_{\text{эoi}}(t)} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $S_0, P_{\text{эо0}}(t)$ – соответственно начальное значение затрат и вероятность эффективного обнаружения «исходного» технического средства; $\Delta S_i, \Delta P_{\text{эoi}}(t)$ – соответственно затраты на использование в «исходном» техническом средстве i -го способа повышения вероятности эффективного обнаружения и достигаемое при этом приращение этой вероятности.

$$S_{i,i-1} = \Delta S_{i,1} + \Delta S_{i,2} + \Delta S_{i,i-1}, \quad (7)$$

где $\Delta S_{i,i-1}$ – дополнительные к S_i затраты на использование в модуле i -го способа повышения вероятности эффективного обнаружения, если до этого был использован ($i - 1$) способ, $i = 1, 2, \dots$.

Практическая возможность применения данной методики в работе подтверждена на примере модернизации звукового извещателя обнаружения разрушения остекленных конструкций серии «Стекло».

Оптимальная организация защиты объекта заключается не только в обеспечении надежности и эффективности ТСО, соответствии их тактико-технических характеристик определенным видам криминальных воздействий, архитектурным и иным особенностям объекта, но также и в достижении оптимального баланса между этими параметрами и экономической эффективностью оборудования и эксплуатации ОПС.

Для этого необходимо определить баланс между категорией объектов, объединенных по их значимости, уровню прогнозируемого ущерба и дополнительными требованиями к основной функции назначения и защищенностью ТСО, сгруппированными по значимости с учетом их удельной стоимости.

В работе для решения данной задачи использован агломеративный алгоритм метода иерархической кластеризации. В результате построена сводная таблица,

отражающая взаимосвязь между объектами, принимаемыми под централизованную охрану, и требуемой функциональной оснащённостью ТСО ОПС.

Результаты анализа являются основой для разработки практических рекомендаций по оборудованию промышленных объектов нефтегазового комплекса классифицированными извещателями охранной сигнализации.

В четвертом разделе «Научно-техническое и методическое обеспечение сбора и обработки данных в автоматизированной системе охранно-пожарной сигнализации промышленного объекта» представлены практические результаты по реализации выполненных в работе теоретических разработок, направленных на совершенствование автоматизации ОПС промышленного объекта.

В целях противодействия современным угрозам необходимо совершенствование существующих ТСО, разработка и применение новых перспективных путей обнаружения и нейтрализации различных преступных воздействий, широкое внедрение их в охране промышленных объектов силами вневедомственной охраны Росгвардии, а также структур различной ведомственной принадлежности.

Наиболее актуально совершенствование ТСО (извещателей и модулей) первого рубежа сигнализации, устанавливаемых на пути наиболее вероятного проникновения нарушителей. К одному из основных видов таких средств относятся магнито-контактные извещатели.

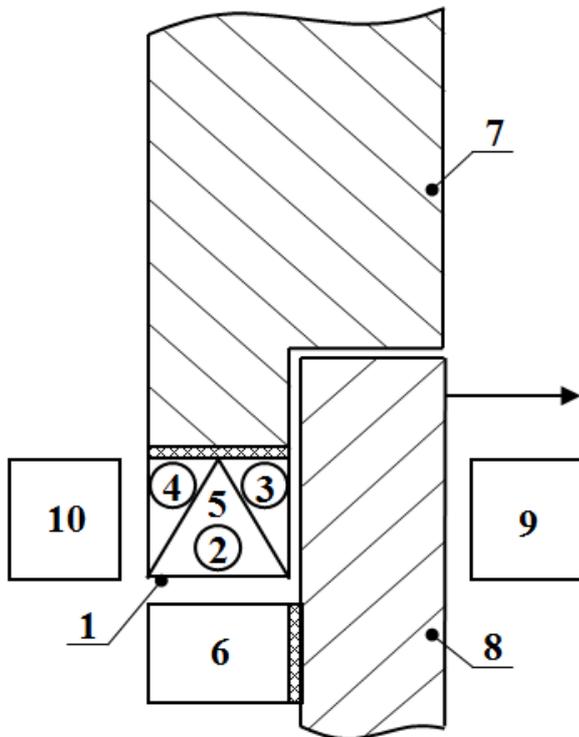
Данные извещатели широко применяются в системах охранно-пожарной сигнализации. На рынке представлено более 30 типов данных ТСО. При этом практически все имеющиеся извещатели данного вида удовлетворяют лишь требованиям первого и второго классов по функциональной оснащённости и защищённости. На объектах особой важности или повышенной опасности целесообразно применять ТСО третьего и четвертого классов, обладающих встроенными средствами защиты от криминальных воздействий, нарушающих их работоспособность, и имеющих контроль параметров функционирования.

Общим недостатком магнитоcontactных извещателей является возможность их саботажа внешним магнитным полем, создаваемым сторонним магнитом, при котором происходит потеря работоспособности извещателя, не обнаруживаемая системой сигнализации. Такой способ саботажа известен и уже применялся на охраняемых объектах при совершении крупных краж.

Поэтому необходимо создание новых надежных ТСО данного вида. Разработанная соискателем конструкция извещателя предусматривает размещение в корпусе исполнительного элемента первого и второго антисаботажных магнитоуправляемых датчиков и магнитного экрана. Это позволяет обнаружить магнитное поле, создаваемое сторонним магнитом, установленным как с внутренней, так и внешней стороны охраняемой строительной конструкции, и сформировать в систему сигнализации отдельные тревожные извещения. Вариант установки предлагаемого устройства на дверной конструкции показан (в разрезе) на рисунке 6.

Разработанный извещатель устанавливают со стороны охраняемого помещения, при этом исполнительный элемент 1 размещают на неподвижной части строительной конструкции 7, управляющий элемент 6 – на подвижной части 8. Стрелкой

показано направление перемещения строительной конструкции 8 при открывании. На рисунке 6 условно показано возможное размещение с целью саботажа внешнего стороннего магнита 9 и внутреннего стороннего магнита 10, наличие которых обнаруживается извещателем.



- 1 – исполнительный элемент;
- 2 – рабочий магнитоуправляемый датчик;
- 3 – первый антисаботажный магнитоуправляемый датчик;
- 4 – второй антисаботажный магнитоуправляемый датчик;
- 5 – магнитный экран;
- 6 – управляющий элемент;
- 7 – неподвижная часть строительной конструкции;
- 8 – подвижная часть строительной конструкции;
- 9 – внешний сторонний магнит;
- 10 – внутренний сторонний магнит

Рисунок 6 – Вариант установки магнитоконтактного извещателя и варианты обнаруживаемого саботажа

На основе обоснованных направлений повышения эффективности, надежности и живучести ОПС при непосредственном участии соискателя разработан и модернизирован комплекс технических средств обнаружения для применения на потенциально опасных и критически важных промышленных объектах. Сводная характеристика разработанных извещателей приведена в таблице 1.

В процессе выполнения диссертационной работы реализовано введение требований классификации в межгосударственный и национальные стандарты на конкретные типы ТСО, утвержденные и введенные в действие Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии, как при пересмотре существующих стандартов, так и при разработке новых (таблица 2).

Проведенная в диссертации оценка уровня автоматизации ОПС, основанная на методике моделирования и оценки степени автоматизации АСУТП предприятия нефтегазодобычи, показала увеличение коэффициента автоматизации, достигаемое за счет внедрения разработанных в диссертации способов совершенствования технических средств сбора и обработки данных на (20 – 40) %.

Таблица 1 – Разработанные в результате исследований извещатели для применения на потенциально опасных промышленных объектах

№ п/п	Условное обозначение, год начала серийного выпуска и внешний вид	Физический принцип и зона обнаружения	Основная улучшенная характеристика
1.	ИО102-55 «Кенар», 2014  ИО102-55/1 «Кенар-М», 2017	Магнитоконтактный точечный	Устойчивость к внешним воздействи- ющим факторам
2.	ИО102-49, 2018 	Магнитоуправляемый точечный	Повышенная информативность и надежность передачи извещений
3.	ИО329-19 «Астра-618», 2017 	Звуковой поверхностный	Повышенная информативность и надежность передачи извещений
4.	ИО329-18 «Стекло-5», 2017 	Звуковой поверхностный	Повышенная информативность и надежность передачи извещений
5.	ИО329-10 «Стекло-4», 2018 	Звуковой поверхностный	Устойчивость к внешним воздействи- ющим факторам
6.	ИО409-30 «Фотон-16», 2017  ИО209-27 «Фотон-16А», 2017 ИО309-14 «Фотон-16Б», 2017	Оптико-электронный объемный Оптико-электронный линейный Оптико-электронный поверхностный	Устойчивость к внешним воздействи- ющим факторам

При непосредственном участии соискателя проведена разработка нормативно-технических и методических документов (НТД) по производству и применению классифицированных извещателей в модульных системах ОПС.

В диссертации представлены разработанные в процессе исследований и проектной деятельности предложения по формированию ОПС ЦДНГ, подверженных криминальной и террористической опасности. При этом учтена потенциальная пожарная опасность ЦДНГ и меры по обеспечению взрывопожарозащиты сбора и обработки данных.

Таблица 2 – Разработанные при непосредственном участии соискателя нормативно-технические и методические документы

№ п/п	Наименование документа (результат)	Краткая характеристика
1.	ГОСТ Р 52435 – 2015 Технические средства охранной сигнализации. Классификация. Общие технические требования и методы испытаний. (Разработка изменений)	Стандарт устанавливает классификацию основных видов ТСО, общие технические требования и методы испытаний ТСО, предназначенных для работы в системах охранно-пожарной, тревожной и охранной сигнализации, интегрированных системах безопасности.
2.	ГОСТ 34025 – 2016 Извещатели охранные поверхностные звуковые для блокировки остекленных конструкций помещений. Общие технические требования и методы испытаний. (Разработка документа)	Стандарт устанавливает классификацию, функциональные требования к извещателям, требования, обеспечивающие безопасную эксплуатацию и совместимость извещателей с другими ТСО, а также методы испытаний на соответствие установленным требованиям.
3.	ГОСТ Р 54832 – 2011 Извещатели охранные точечные магнито-контактные. Общие технические требования и методы испытаний. (Разработка изменений)	Стандарт распространяется на вновь разрабатываемые и модернизируемые извещатели охранные точечные магнито-контактные, предназначенные для работы в системах тревожной сигнализации, устанавливаемые в помещениях, в т.ч. хранилища ценностей.
4.	Р 78.36.044 – 2014 Методическое пособие по выбору и применению охранных поверхностных звуковых извещателей для блокировки остекленных конструкций закрытых помещений. (Разработка документа)	В пособии раскрыты вопросы выбора, приобретения, проектирования, монтажа, эксплуатации и обслуживания ТСО тревожной и охранной сигнализации, средств инженерно-технической укреплённости на объектах, охраняемых или передаваемых под охрану подразделениям вневедомственной охраны Росгвардии.
5.	Р 069 – 2017 Рекомендации по выбору и применению средств обнаружения проникновения в зависимости от степени важности и опасности охраняемых объектов. (Разработка документа)	В документе приведены обоснованные рекомендации по выбору конкретных видов, классов и типов ТСО, в зависимости от степени важности, значимости и потенциальной опасности охраняемых объектов. Даны предложения по эффективному применению ТСО, выбору режимов функционирования, регулировке, защите от несанкционированного вмешательства и внешних воздействий.
6.	Единые требования к системам передачи извещений, объектовым техническим средствам охраны и охранным сигнально-противоугонным устройствам автотранспортных средств, предназначенным для применения в подразделениях вневедомственной охраны Росгвардии. (Разработка изменений)	В документе определены технические требования к ТСО и сигнально-противоугонным устройствам, предназначенным для применения в пунктах централизованной охраны, на охраняемых или принимаемых под централизованную охрану объектах, местах хранения имущества граждан, а также на автотранспортных средствах.

В приложениях к диссертации приведены:

- акты внедрения результатов диссертационной работы (приложение 1);
- патент Российской Федерации на устройство «Охранный магнитоконтактный извещатель» (приложение 2);
- расчетные материалы кластерного анализа параметров технических средств систем охранно-пожарной сигнализации и объектов, принимаемых под централизованную охрану (приложение 3);
- технические характеристики разработанных в результате исследований извещателей с повышенной эффективностью обнаружения для применения на потенциально опасных промышленных объектах (приложение 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты, выводы и предложения, полученные в диссертационной работе, сводятся к следующему:

1. Проведен анализ современного состояния безопасности и основных задач совершенствования системы охраны и пожарной безопасности потенциально опасного промышленного объекта на примере цеха добычи нефти и газа.

Сформирован комплексный показатель безопасности промышленного объекта от угроз криминального проникновения нарушителя, пожара и техногенной аварии. Особенностью данного показателя является учет комплексного характера возникающих угроз и их проявлений, а также взаимного влияния систем безопасности и управления технологическим процессом.

Использование полученной математической модели позволяет планировать и проводить оценку влияния проводимых мероприятий на уровень безопасности объекта.

2. В результате проведенного статистического и экспериментального исследования параметров эффективности обнаружения, надежности и живучести автоматизированной системы централизованной охранно-пожарной сигнализации на этапе эксплуатации определены задачи совершенствования сбора и обработки данных, учитывающие необходимость дифференцированного подхода для обеспечения противокриминальной и антитеррористической защиты объектов различных категорий значимости.

3. Разработана математическая модель, определяющая риск несанкционированного проникновения на охраняемый промышленный объект.

Разработана методика проектирования системы сигнализации по критерию соответствия риска несанкционированного проникновения нормативно установленному.

Получено математическое выражение для количественной оценки вероятности эффективного обнаружения несанкционированного проникновения, обеспечивающее практическую реализацию разработанной методики.

4. С целью достижения максимальной вероятности эффективного обнаружения разработана методика оптимального проектирования модулей сбора и обработки данных на основе метода динамического программирования, обеспечивающая

минимизацию затрат на расширение функциональных возможностей разрабатываемых технических средств.

5. Разработаны научно-обоснованные предложения по выбору модулей обнаружения при формировании системы охранно-пожарной сигнализации, которые являются основой для практических рекомендаций по оборудованию промышленных объектов нефтегазового комплекса классифицированными извещателями.

6. Разработан и модернизирован ряд извещателей, внедренных в серийное производство для применения на потенциально опасных и критически важных промышленных предприятиях.

7. Разработаны нормативно-технические и методические документы по производству классифицированных извещателей, составляющие основу для их применения в модульных системах охранно-пожарной сигнализации на потенциально опасных и критически важных объектах.

Таким образом, в результате комплекса теоретических и научно-технических работ, выполненных в рамках диссертации, обеспечено достижение поставленной цели – совершенствование автоматизации сбора и обработки данных в системе охранно-пожарной сигнализации потенциально опасного промышленного объекта на основе классифицированных извещателей с повышенной эффективностью обнаружения.

Практическая реализация данной цели вносит значительный вклад в повышение безопасности предприятий нефтяной и газовой промышленности.

Основное содержание диссертации и результаты исследования отражены в следующих публикациях автора

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации:

1. Рябцев, Н.А. Риск проникновения нарушителя на охраняемый промышленный объект [электронный ресурс] / А.Н. Членов, Н.А. Рябцев, Т.А. Буцынская // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2019. - № 2 (84). - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-2/06-02-19.ttb.pdf>.
2. Рябцев, Н.А. Оптимизация проектирования охранной сигнализации на основе показателя вероятности эффективного обнаружения проникновения нарушителя [электронный ресурс] / А.Н. Членов, Н.А. Рябцев, Т.А. Буцынская // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2019. - № 3 (85). - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-3/03-03-19.ttb.pdf>.
3. Рябцев, Н.А. Обобщенная оценка уровня безопасности промышленного объекта / А.Н. Членов, Т.А. Буцынская, Н.А. Рябцев // Научный журнал «Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация». - № 2-19. - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2019. - С. 5-8.
4. Рябцев, Н.А. Взрывобезопасные извещатели тревожной сигнализации [электронный ресурс] / А.Н. Членов, А.В. Климов, Н.А. Рябцев, Т.А. Буцынская // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2017. - № 3 (73). - С. 1-5. - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-3/33-03-17.ttb.pdf>.
5. Рябцев, Н.А. Защита систем охранного телевидения от внешнего криминального воздействия [электронный ресурс] / А.А. Михайлов, А.В. Котельников, Н.А. Рябцев, Ю.И. Дронов, Л.В. Паникова // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2016. - № 3 (67). - С. 296-302. - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/04-03-16.ttb.pdf>.
6. Рябцев, Н.А. Анализ способов нейтрализации тревожной сигнализации систем охраны категорированных объектов [электронный ресурс] / А.Н. Членов, Н.А. Рябцев, А.Н. Федин // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2017. - № 3 (73). - С. 1-9. - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-3/34-03-17.ttb.pdf>.
7. Рябцев, Н.А. Перспективы развития средств обнаружения несанкционированного проникновения в помещения и хранилища ценностей [электронный ресурс] / А.В. Климов, Н.А. Рябцев, А.Н. Федин // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2016. - № 4 (68). - С. 1-7. - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/29-04-16.ttb.pdf>.
8. Рябцев, Н.А. О вероятности обнаружения нарушителя системой тревожной сигнализации [электронный ресурс] / Н.А. Рябцев, Т.А. Буцынская // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2017. - № 1 (71). - С. 1-5. - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-1/28-01-17.ttb.pdf>.
9. Рябцев, Н.А. Современные аспекты организации охраны объектов и имущества различных категорий [электронный ресурс] / А.В. Климов, Н.А. Рябцев, А.Н. Федин, С.В. Климова, О.Г. Точилова // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». - 2017. - № 2 (72). - С. 1-8. - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/22-02-17.ttb.pdf>.

Патент Российской Федерации на полезную модель:

10. Рябцев, Н.А. Охранный магнитоконтактный извещатель: МПК G08B 13/08 Патент на полезную модель №189504 Рос. Федерация; заявл. 26.11.2018; опубл. 24.05.2019 / А.Н. Членов, Н.А. Рябцев, Т.А. Буцынская.

Научные доклады:

11. Рябцев, Н.А. Раннее обнаружение нарушителя системой охранной сигнализации / А.Н. Членов, Н.А. Рябцев // Материалы двадцать четвертой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2015». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2015. - С. 276-278.

12. Рябцев, Н.А. Основные направления развития и новейшие разработки средств обнаружения проникновения для противокриминальной защиты объектов и имущества / Н.А. Рябцев // В кн.: Сборник материалов деловой программы XX международной выставки средств обеспечения безопасности государства «Интерполитех-2016»: материалы научно-практической конференции «Технические средства охраны для обеспечения комплексной безопасности объектов и территорий государства: проблемы и перспективы развития». - М. - 2016. - С. 334-336.

13. Рябцев, Н.А. Основные тенденции развития охранных извещателей для защиты объектов особой важности / А.Р. Фамильнов, Н.А. Рябцев, А.Н. Федин, О.Г. Точилова, В.А. Козлов // Материалы двадцать пятой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2016. - С. 368-371.

14. Рябцев, Н.А. Комплексный показатель технической эффективности системы тревожной сигнализации / Т.А. Буцынская, В.А. Николаев, Н.А. Рябцев // Материалы двадцать пятой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2016. - С. 386-387.

15. Рябцев, Н.А. Условие повышения надежности системы тревожной сигнализации объекта особой важности / В.А. Николаев, Н.А. Рябцев // Материалы двадцать пятой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2016. - С. 390-391.

16. Рябцев, Н.А. Основные факторы, определяющие направления развития средств обнаружения несанкционированного проникновения на объекты высоких категорий значимости / А.Г. Зайцев, А.В. Климов, Н.А. Рябцев // Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов: Материалы одиннадцатой Всероссийской научно-технической конференции. - Пенза: Изд-во «Март». - 2016. - С. 55-59.

17. Рябцев, Н.А. Оптимизация формирования системы безопасности критически важного объекта / Н.А. Рябцев // Материалы двадцать шестой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2017». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2017. - С. 342-345.

18. Рябцев, Н.А. Пути повышения функциональной надежности технических средств тревожной сигнализации для объектов высокой категории значимости / А.Н. Членов, А.В. Климов, Н.А. Рябцев // Материалы двадцать шестой междуна-

ной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2017». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2017. - С. 311-314.

19. Рябцев, Н.А. Анализ причин неустойчивой работы систем охранно-пожарной сигнализации / Т.А. Буцынская, Н.А. Рябцев // Материалы двадцать седьмой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2018». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2018. - С. 212-215.

20. Рябцев, Н.А. Магнитоконтактный извещатель / Н.А. Рябцев, Т.А. Буцынская // Материалы VIII-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2019». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2019. - С. 175-179.

21. Рябцев, Н.А. Способы проникновения нарушителей на промышленные объекты / Н.А. Рябцев // Материалы VIII-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2019». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2019. - С. 137-140.

22. Рябцев, Н.А. Особенности формирования систем тревожной сигнализации потенциально опасных объектов / Н.А. Рябцев // Материалы двадцать седьмой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2018». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2018. - С. 216-219.

23. Рябцев, Н.А. Тенденции повышения функциональной надежности средств обнаружения проникновения, предназначенных для блокировки инженерных средств физической защиты критически важных объектов / Н.А. Рябцев // В кн.: Сборник материалов деловой программы XXI международной выставки средств обеспечения безопасности государства «Интерполитех-2017»: материалы научно-практической конференции «Технические средства охраны для обеспечения комплексной безопасности объектов и территорий государства: проблемы и перспективы развития». - М. - 2017. - С. 147-148.

24. Рябцев, Н.А. Оценка эффективности обнаружения тревожной ситуации на охраняемом объекте / Н.А. Рябцев, Т.А. Буцынская // Материалы двадцать восьмой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2019». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2019. - С. 262-264.

25. Рябцев, Н.А. Оптимизация состава технических средств охранной сигнализации на основе кластерного анализа / Н.А. Рябцев // Материалы двадцать восьмой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2019». - М.: Академия ГПС МЧС России. - 2019. - С. 265-269.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АСУ – автоматизированная система управления;
АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;
ГОСТ – межгосударственный стандарт;
ГОСТ Р – национальный стандарт Российской Федерации;
ЛСТ – ложный сигнал тревоги;
НИКИРЭТ – научно-исследовательский и конструкторский институт радио-электронной техники;
НИЦ – научно-исследовательский центр;
НТД – нормативно-технический документ;
ОПС – система охранно-пожарной сигнализации;
ТСО – техническое средство охраны (обнаружения);
ЦДНГ – цех добычи нефти и газа.

Подписано в печать «06» ноября 2020 г. Формат 60×90
1/16. Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Заказ № 342.

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.