



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Информационных технологий и систем безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(Бакалавр)

На тему Разработка модели управления пожарной безопасностью на подвижном подводном объекте

Исполнитель Вольнская Елена Валерьевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Бурлов Вячеслав Георгиевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

доктор технических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Бурлов Вячеслав Георгиевич  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Санкт–Петербург  
2023

СОДЕРЖАНИЕ	
ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПОДВИЖНОМ ПОДВОДНОМ ОБЪЕКТЕ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СРЕДЫ.....	5
1.1. Характеристика особенностей функционирования пожарной безопасности на подводном аппарате .....	5
1.2. Анализ угроз для функционирования подводного аппарата в области пожарной безопасности .....	7
1.3. Анализ возможностей подходов для обеспечения безопасности .....	10
1.4. Выбор и обоснование методологии решения задачи .....	14
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПОДВИЖНОМ ПОДВОДНОМ ОБЪЕКТЕ.....	18
2.1 Общий подход к разработке модели обеспечения пожарной безопасности на подвижном подводном объекте.....	18
2.2 Выбор и обоснование основных соотношений модели обеспечения пожарной безопасности на подвижном подводном объекте .....	23
2.3 Механизмы связи элементов модели с показателем уровня обеспечения пожарной безопасности .....	27
2.4 Исследование возможностей модели для обеспечения пожарной безопасности.....	31
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕШЕНИЯ.....	33
3.1 Общий подход к разработке технологии обеспечения пожарной безопасности на подвижном подводном объекте.....	33
3.2 Основные соотношения технологии обеспечения пожарной безопасности подводного подвижного объекта .....	43
3.3. Анализ возможностей технологии обеспечения пожарной безопасности.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	55

## ВВЕДЕНИЕ

Динамика пожаров хорошо изучена во многих отраслях, в том числе в морской отрасли, где различные правила, рекомендации, технологии и инженерный опыт служат для снижения риска, связанного с пожарами. Однако пожары на подводных лодках представляют собой уникальные проблемы и продолжают представлять серьезную опасность для операций подводных лодок и самих подводников.

Условия на подводных лодках практически не оставляют места для ошибок. Небольшие помещения, заполненные техническим оборудованием, и тот факт, что оно большую часть времени работает под водой, создают особую рабочую среду.

Пожарную безопасность на борту подводных лодок можно разделить на структурную и организационную пожарную безопасность. Структурная пожарная безопасность включает в себя пассивные системы пожарной безопасности, активную систему пожарной безопасности и материалов на подводной лодке, в то время как организационная пожарная безопасность касается того, как организован экипаж и как он действует для предотвращения пожаров и борьбы с ними. Это разделение означает, что наличие обученной команды и эффективных процедур так же важно, как и наличие эффективных систем, зон возгорания и аварийного оборудования в правильном месте. Пожарная безопасность на борту подводных лодок развивалась на протяжении многих лет и будет продолжать развиваться.

Провести оценку риска для населения и окружающей среды невозможно. Необходимо разрабатывать новые способы расчета показателя безопасности, основывающиеся на базовых законах предметной области, а не на статистике.

Отсюда вытекает следующая глобальная задача – обеспечить безопасность отдельного человека и всего экипажа в целом в условиях неопределенности неизвестности, возникающей на подвижном подводном объекте.

В данной работе предлагается рассмотреть деятельность экипажа подводного подвижного объекта для того, чтобы разработать технологию обеспечения пожарной безопасности в условиях деструктивного воздействия среды.

Актуальность заключается в том, что в последние десятилетия растет количество подводных аппаратов и обеспечение пожарной безопасности является одним из аспектов работы данных устройств. Благодаря разработке модели управления пожарной безопасностью можно снизить время от возникновения возгорания до его нейтрализации на подводном аппарате.

Целью данной работы является разработка модели управления пожарной безопасностью для подводного подвижного объекта.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- изучение современного состояния пожарной безопасности;
- анализ существующих моделей и подходов для обеспечения безопасности;
- разработка математической модели управленческих решений.

Объект исследования – пожарная безопасность

Предмет исследования – модель управления пожарной безопасности

# ГЛАВА 1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПОДВИЖНОМ ПОДВОДНОМ ОБЪЕКТЕ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СРЕДЫ

## 1.1. Характеристика особенностей функционирования пожарной безопасности на подводном аппарате

Как и любая другая деятельность, эксплуатация подводного аппарата имеет ряд своих характерных особенностей. Важно определить их для каждого этапа, чтобы в дальнейшем учитывать их при построении моделей.

Работа подводного аппарата состоит из следующих пунктов [3,6]:

- проверка технического состояния аппарата, загрузка боеприпасов и провизии, подготовка экипажа.
- спуск аппарата под воду с помощью балластных цистерн;
- реагирование на внештатную ситуацию, например, пожар;
- перемещение подводного аппарата на заданную глубину и курс;
- контроль и управление работой систем жизнеобеспечения, систем связи и других;
- подъем аппарата на поверхность.
- завершение миссии, техническое обслуживание и ремонт аппарата.

Реагирование на внештатную ситуацию является одним из самых важных в области временных показателей. Чем быстрее экипаж среагирует и предотвратит или ликвидирует возгорание, тем больше шансов спасти людей и обеспечить жизнеспособность аппарата с минимальным ущербом.

Во время проверки технического состояния аппарата необходимо наиболее точно при наличии выявить неисправность с целью предотвращения внештатной ситуации [3].

В результате проведения проверки принимается решение о дальнейших действиях, при которых будет устранена неисправность [2]. Поэтому очень

важно, чтобы полученные сведения были достоверными и своевременно полученными.

Далее начинается приведение сил и средств в состояние готовности, которая включает в себя проверку и подготовку систем пожаротушения, а также проведение тренировок экипажа по действиям в случае возникновения пожара на борту объекта. Кроме того, проводятся проверки электрических систем и оборудования на предмет возможных источников возгорания [1]. Важно также обеспечить наличие необходимых средств пожаротушения и обучить экипаж их использованию. Все эти меры помогают обеспечить безопасность подводного аппарата и ее экипажа в случае возникновения пожара на борту.

Одним из этапов обучения экипажа действиям при возникновении угрозы пожарной безопасности, является отработка мероприятий при поступлении сигнала «аварийная тревога».

При любом возгорании или признаках возгорания на подводном аппарате подается сигнал «аварийная тревога», который представляет собой 25-30 коротких звонков [4]. После чего экипаж разбегается по своим отсекам, и на переборках всех отсеков, смежных с аварийным, подводники создают «рубежи обороны», закрывая переборочную дверь, клапана по системе вентиляции и клапана других систем, чтобы полностью изолировать смежные отсеки от проникновения угарных газов из аварийного. Экипаж полностью герметизируют переборку своего отсека. Те, кого закрыли в аварийном отсеке, ищут, где горит, и тушат огонь. Покинуть отсек без разрешения Центрального поста никто не позволит, по причине того, что от дыма могут погибнуть другие люди в соседних неаварийных отсеках. За свой отсек каждый отвечает сам [2].

Кроме того, из-за пожара температура в помещении повышается, а в каждом отсеке на подводном аппарате проходят трубопроводы, где соседствуют несовместимые среды — скажем, масло и кислород, гидравлическая жидкость и пар - и, если огонь повредит эти трубопроводы в отсеке, тот может необратимо пострадать, а допустить этого никак нельзя [5].

В среднем на эвакуацию и изоляцию отсека уходит 120 секунд. Однако оно может зависеть от многих факторов, таких как размеры лодки, количество и расположение отсеков, наличие специального оборудования для эвакуации и т.д. В среднем, процесс эвакуации и изоляции отсека может занять от нескольких минут до нескольких часов. Однако, в случае серьезной аварии или пожара на борту лодки, время для эвакуации и изоляции отсека может быть критически мало. Поэтому важно проводить регулярные тренировки и обучение экипажа по действиям в экстренных ситуациях, чтобы минимизировать риски для жизни и здоровья экипажа [2].

Многочисленные тренировки позволяют экипажу запомнить все причины возникновения, развития и способы предотвращения пожара. Член экипажа в совершенстве знает устройство и работу систем пожаротушения, расположение щитов, механизмов, клапанов в своем отсеке. Помнит, с какого щита подается электропитание на насос или другой механизм, чтобы при необходимости снять с него электропитание. Умеет использовать все средства пожаротушения в отсеке и знает, что чем лучше гасить [2].

Таким образом, экипаж обязан уметь рассчитать необходимое оптимальное количество сил и средств на борьбу с возгоранием.

Для более полной характеристики пожарной безопасности подводного аппарата необходимо проанализировать возникающие угрозы. Это позволит понять, сколько реально времени затрачивается на данную работу. А также в последствие можно будет установить необходимые действия по обеспечению пожарной безопасности.

## 1.2. Анализ угроз для функционирования подводного аппарата в области пожарной безопасности

При выполнении работы подводный аппарат подвергается воздействию множества факторов, влияющих на исход его функционирования. От того, насколько эффективны действия членов экипажа по обнаружению и

ликвидации возгорания, а также выполнения требований пожарной безопасности, зависят количество жертв и размер материального ущерба [8].

Несмотря на то, что экипаж подводного аппарата проходит специальную подготовку, как физическую, так и психологическую, осознание своей ответственности за функционирование аппарата, а также риска для собственной жизни и здоровья оказывает достаточно сильное воздействие на решения, принимаемые во время возникновения внештатной ситуации [7,8]. Незнание требований пожарной безопасности, а также неправильная эксплуатация приборов и выполнение работ в состоянии алкогольного опьянения могут повлечь за собой ошибки, которые будут стоить человеческих жизней и работы подводного аппарата.

Помимо указанных необходимо также учитывать факторы технической неисправности. Электрические системы и оборудование на подводной лодке играют ключевую роль в ее работе и безопасности [6]. Они обеспечивают работу систем жизнеобеспечения, связи, навигации, оружия и других важных систем. Поэтому любая неисправность или сбой в работе электрических систем может привести к серьезным последствиям.

Для того чтобы избежать таких ситуаций, необходимо строго соблюдать правила эксплуатации и технического обслуживания электрических систем и оборудования на подводной лодке. Это включает в себя регулярную проверку и обслуживание электрооборудования, замену изношенных деталей, контроль за состоянием проводки и изоляции, а также соблюдение правил безопасности при работе с электричеством.

Особое внимание следует уделить предотвращению перегрузок, коротких замыканий и возникновению искр. Для этого необходимо правильно распределять нагрузку на электрические системы, использовать качественные материалы и оборудование, а также соблюдать правила эксплуатации и технического обслуживания.

В случае обнаружения неисправностей или сбоев в работе электрических систем и оборудования на подводной лодке, необходимо незамедлительно



принимать меры по их устранению. Это может включать в себя ремонт или замену деталей, перераспределение нагрузки на другие системы, а также проведение дополнительных проверок и обслуживания.

Таким образом, строгое соблюдение правил эксплуатации и технического обслуживания электрических систем и оборудования на подводной лодке является необходимым условием для ее безопасной и эффективной работы.

В условиях деструктивного воздействия среды экипаж оказывается ограничен во времени принятия решения, величина которого изменяется в зависимости от количества воздействующих факторов. Поэтому важным является выбор методологии, способной обеспечить гарантированное достижение цели, т. е. необходимо гарантированно обеспечить требуемый уровень безопасности подводного аппарата.

Целью обеспечения пожарной безопасности подводного аппарата является сохранение как функционирования этого аппарата, так и жизни экипажа. Другими словами, чем безопаснее условия труда, тем дольше экипаж способен осуществлять трудовую деятельность.

Условия труда представляют собой совокупность факторов производственной среды и трудового процесса. Ликвидация пожара относится к категории экстремальных условий труда [9]. При анализе пожарной безопасности подводного аппарата, необходимо учитывать угрозы, возникающие вследствие деструктивного воздействия среды. Таковыми являются человеческий фактор, техническая неисправность, а также экономические ошибки. Всё перечисленное оказывает влияние на результат ликвидации очага возгорания [3].

Ещё одной главной угрозой возникновения возгорания могут стать члены экипажа. Нарушение правил пожарной безопасности и требований руководящих документов по обеспечению пожарной безопасности на подводных аппаратах, может привести к потере аппарата и как следствие гибели экипажа. Выполнение работ по устранению возгорания предполагает

риск, но надо понимать, что есть такой уровень риска, который мы можем допустить в той или иной ситуации.

Деструктивное воздействие среды на подводный аппарат предполагает, что при его функционировании в любой момент времени может возникнуть новая угроза или даже несколько. Как только экипаж приступил к выполнению задач на аппарате, он должен понимать, что в процессе обязательно столкнется хотя бы с одной угрозой. Это объясняется разрушительным действием пожара на обстановку.

Для разработки технологии управления пожарной безопасности на подводном аппарате в условиях деструктивного воздействия среды необходимо выбрать такую методологию решения, чтобы она учитывала тот факт, что угрозы в процессе деятельности возникают со случайными промежутками времени. Также важно соблюдать целостность системы и не нарушать взаимосвязь её элементов.

### 1.3. Анализ возможностей подходов для обеспечения безопасности

Термин «пожарная безопасность» представляет собой с точки зрения тактической подготовки комплекс управленческих решений и ОТД, направленных на обеспечение безопасности экипажа и подводного аппарата [10]. При этом экипаж, принимая решение, зачастую идет на риск, т.е. действует наудачу, надеясь на благополучный исход. С точки зрения безопасности понятие «риск» означает вероятность реализации опасного события или явления [10].

Проведение мероприятий, направленных на снижение риска, не гарантирует достижение цели управления, т.е. обеспечения безопасности. А количественная мера риска (вероятность) [11] не является точной оценкой угрозы работы подводного, т.к. основывается на статистических данных, уже произошедших, аварий.

Необходимо понимать, что, находясь возле очага возгорания, экипаж сам управляет своей безопасностью. Основой управления является решение. В научной работе А.В. Андреева, В.Г. Бурлова, Ф.А. Гомазова приводится базовая модель управленческого решения, основанная на принципе трехкомпонентности познания, принципе целостности мира и принципе познаваемости мира. Данная модель позволяет управлять процессами обеспечения безопасности за счет сокращения времени идентификации проблемы и её нейтрализации [12,13].

Указанная модель основана на синтезном подходе, учитывающем базовые закономерности предметной области. Оценка риска предполагает подход на основе анализа статистических данных, что может привести к несоответствию ожидаемого и полученного результатов [14].

В работе обеспечения пожарной безопасности подводного объекта ошибка может привести к серьезным последствиям (человеческие жертвы, материальный ущерб). Модель, построенная с помощью синтезного подхода, гарантирует достижение цели – обеспечение безопасности объекта, – поэтому его необходимо использовать в качестве подхода для разработки технологии обеспечения безопасности подводного аппарата в условиях деструктивного воздействия среды.

Также при управлении пожарной безопасности подводного аппарата важно учесть, какие процессы осуществляются, и что в большей мере сказывается на результат. Для того, чтобы учесть многообразие работ, выполняемых для обеспечения пожарной безопасности подводного аппарата, и их сложные взаимосвязи, можно применить сетевые модели (рис.1.1).

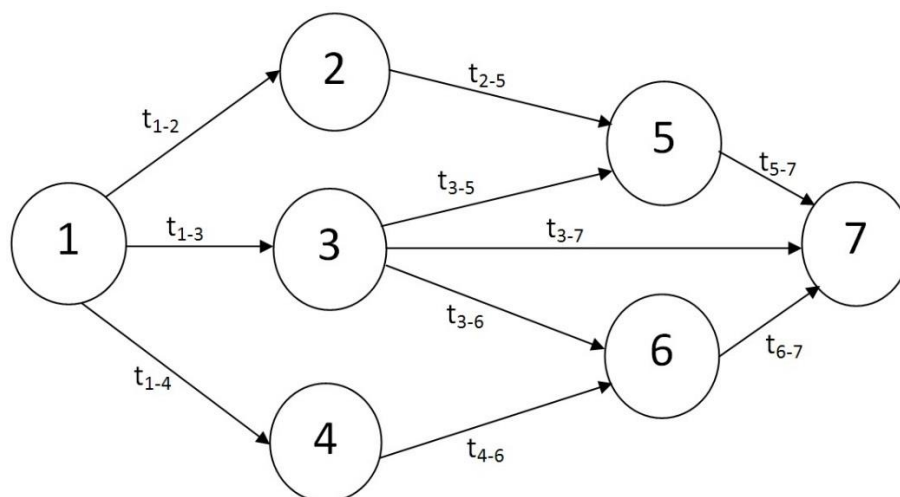


Рисунок 1.1 - Пример сетевой модели

Сетевая модель представляет собой последовательность действий, которые взаимосвязаны между собой. Основными элементами сетевой модели являются события, работы и пути. Под событием понимают состояние, при котором достигнут определенный результат, то есть итог работы. Работа – это действие, выполняемое за определенный период для достижения цели. В качестве пути понимается цепочка событий, связанных между собой работами [15].

Главной задачей сетевого планирования является выявление критических путей. Критическим является такой путь, при котором все работы, лежащие на данном пути, не имеют резервного времени.

Расчет критического пути осуществляется следующим образом [16]:

- определяется раннее начало работы, как значение времени самого продолжительного пути от исходного события до указанного:

$$t_{i-j}^{p.n.} = \max \sum t_{h-i} \quad (1.1)$$

- рассчитывается раннее окончание работы:

$$t_{i-j}^{p.o.} = t_{i-j}^{p.n.} + t_{i-j} \quad (1.2)$$

где  $t_{i-j}$  – продолжительность данной работы;

- определяется позднее окончание работ, как максимальное значение из ранних окончаний работ, которые входят в завершающие событие:

$$t_{i-j}^{п.о.} = \max t_{i-j}^{п.о.} = \max \sum t_{i-j} = t_{кр} \quad (1.3)$$

где  $t_{кр}$  – время критического пути;

- определяется позднее начало работ:

$$t_{i-j}^{п.н.} = t_{i-j}^{п.о.} - t_{i-j} \quad (1.4)$$

- расчет общего (полного) резерва времени работы (показывает возможное увеличение времени работы или перенос её начала на более поздний срок без нарушения критического пути):

$$R_{i-j} = \begin{cases} t_{i-j}^{п.н.} - t_{i-j}^{п.н.} \\ t_{i-j}^{п.о.} - t_{i-j}^{п.о.} \end{cases} \quad (1.5)$$

- расчет частного (свободного) резерва времени работы (показывает возможное увеличение продолжительности работы или перенос её начала без изменения раннего начала последующих работ):

$$r_{i-j} = t_{i-j}^{п.н.} - t_{i-j}^{п.о.} \quad (1.6)$$

Критический путь состоит из работ, которые не имеют ни частного, ни общего резервов времени. Расчеты удобнее производить с помощью табличного метода. Также можно воспользоваться специальными программами для расчета и построения сетевых моделей.

Сетевые модели позволяют учесть все процессы, выполняемые для обеспечения пожарной безопасности на подводном объекте при реализации предназначения. Благодаря им можно отследить наиболее значимые работы, которые сократят время на устранение очага возгорания. Также, сетевые модели достаточно наглядно отображают последовательность действий для пожарного обеспечения. В случае необходимости можно расширять сетевые

модели, чтобы в качестве работ выступали простейшие функционалы. Тогда расчеты и построенные модели будут наиболее точными.

Однако, использование только сетевых моделей не гарантирует адекватности разработанной в последствие технологии. Для этого необходимо выбрать методологию решения.

#### 1.4. Выбор и обоснование методологии решения задачи

При выборе методологии необходимо учитывать, насколько адекватно результаты модели будут отражать свойства объекта и его процессов.

На данный момент можно выделить три основных подхода:

- детерминистический;
- вероятностный;
- аналитический.

Однако данные подходы обладают некоторыми недостатками. Так, в детерминистическом подходе все составляющие рассматриваются отдельно. В результате могут возникнуть излишние требования для них. У вероятностного подхода наблюдается сильная зависимость от информационной обеспеченности, что не подходит для варианта постоянно изменяющейся обстановки на пожаре. Аналитический метод не подходит для работы со сложными системами. А в случае с обеспечением пожарной безопасности на подводном аппарате, как уже было сказано, важно учесть каждый процесс вплоть до простейших функционалов.

Для исключения негативных результатов управления пожарной безопасностью, лучше всего использовать естественно-научный подход к организации безопасности.

Данный подход позволяет, используя аксиоматический метод, исключить противоречия в используемых суждениях и выводах. Объективность метода объясняется тем, что в процессе обеспечения пожарной безопасности на

подводном аппарате участвует экипаж и его сознание, окружающая обстановка и, так называемая, всеобщая связь, позволяющая осуществлять познание [17].

Также важно отметить, что экипаж формирует решение на трех уровнях представления обстановки. Неосознанно формируются условие существования процесса, причинно-следственные связи и условия их реализации. В этом выражается принцип трехкомпонентности познания [18]:

- компонент А (методология) – абстрактное представление – условие существования;
- компонент В (методы) – абстрактно-конкретное представление – причинно-следственные связи;
- компонент С (технологии, алгоритмы) – конкретное представление.

Другими словами, экипаж, как и любой человек, вырабатывает решение на трех уровнях представления обстановки:

- абстрактный – экипаж формирует так называемое условие существования процесса, который необходимо выполнить;
- абстрактно-конкретный – происходит формирование причинно-следственных связей;
- конкретный – экипаж формирует необходимые условия для реализации причинно-следственных связей.

Гарантированное достижение цели возможно только в том случае, когда известно условие существования процесса.

Для обеспечения адекватности разрабатываемой модели необходимо учитывать базовые закономерности предметной области. Процесс обеспечения пожарной безопасности является сложной системой, поэтому в качестве базового закона выбирается закон сохранения целостности объекта, через который реализуется принцип целостности мира.

Ещё одним принципом, который используется в естественно-научном подходе, является принцип познаваемости мира. Он реализуется с помощью таких методов, как:

- декомпозиция;
- абстрагирование;
- агрегирование.

Этот принцип позволяет достичь цели познания, т.е. установить причинно-следственную связь и базовые законы [19].

Выбранный подход к обеспечению безопасности позволит в дальнейшем разработать адекватную модель обеспечения пожарной безопасности подводного аппарата, которая даст возможность гарантированно достигать необходимого уровня безопасности для сохранения объекта способности выполнять своё предназначение.

Главной целью обеспечения пожарной безопасности подводного аппарата является создание таких условий, при которых аппарат будет выполнять своё предназначение. При появлении опасности возможны срывы работы, которые могут повлечь за собой более серьезные последствия.

Подход, выбранный в данной работе, позволяет гарантированно достигнуть цели обеспечения пожарной безопасности подводного аппарата, то есть создать необходимые условия работы с требуемым уровнем безопасности, при котором он будет способен выполнять своё предназначение. Это является его главным преимуществом перед существующими подходами, основанными на анализе, такими как риск-ориентированный подход, применяемый для оценки профессиональных рисков при обеспечении пожарной безопасности.

Важным является не просто констатировать факт существования опасности, а определить какими должны быть условия работы, чтобы подводный аппарат смог выполнять свои функции. Это возможно сделать, применяя выбранный в работе подход, основанный на системной интеграции основных процессов.



Выбранная методология обеспечивает гарантированное достижение необходимого уровня пожарной безопасности подводного объекта.

В условиях борьбы за преимущество на мировой арене страны стремятся, в первую очередь, стать лидерами в области инновационных, прорывных технологий [29]. Ведь именно они решают дальнейшую судьбу страны. Любая новая технология, принося пользу обществу, несет в себе определенные угрозы. Внедрение прорывных технологий на производствах, в строительстве и в целом в жизнь людей, порой может привести к ЧС планетарного масштаба.

В современной науке в основном используют подходы на основе анализа, поэтому данная работа дает совершенно другое, новое направление в развитии обеспечения пожарной безопасности не только подводного аппарата, но и любого другого объекта.

#### Выводы по Главе 1

Основными угрозами, возникающими при обеспечении пожарной безопасности на подводном объекте, являются человеческий фактор, техническая неисправность и экономические ошибки.

Для того чтобы учесть все перечисленные факторы деструктивного воздействия среды, необходимо выбрать методологию, позволяющую строить адекватные математические модели. ЕНП и ЗСЦО удовлетворяют данному требованию. В качестве подхода к построению моделей необходимо применить подход на основе синтеза. Тогда станет возможным их разработка с наперед заданными свойствами.

Сетевые модели можно использовать для описания порядка действий экипажа при возгорании подводного аппарата. Данный вид моделей позволяет анализировать времена для каждого процесса и определять критический путь, на котором лежат работы без резервов времени. На основе полученных данных можно разработать рекомендации по совершенствованию системы обеспечения пожарной безопасности на подводном объекте.

## ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПОДВИЖНОМ ПОДВОДНОМ ОБЪЕКТЕ

Подводные подвижные объекты (ППО) отличаются своей многофункциональностью. Существуют как объекты, деятельность которых обеспечивает безопасность государственных границ, так и объекты функционирование которых связано со сбором проб мирового океана, экологический мониторинг и т.д. Работа таких аппаратов является чрезвычайно важной в условиях современного мира. По причине того, что от качества выполненных работ может зависеть степень изученности мирового океана, а также целостность государственных границ. Важной задачей является сохранение способности ППО осуществлять функционирование в штатном режиме и выполнять свое предназначение.

Эта сторона вопроса связана с устранением угроз. Если обнаружена угроза целостности ППО, а также жизни и здоровью экипажа ППО, продолжение работы невозможно. Необходимо ликвидировать угрозу для возвращения аппарата в штатный режим работы.

### 2.1 Общий подход к разработке модели обеспечения пожарной безопасности на подвижном подводном объекте

Для обеспечения штатного функционирования ППО, основной системы обеспечения пожарной безопасности, является решение экипажа. Основополагающим аспектом любого решения является модель [21]. В данном случае модель – это представление (описание), соответствующее функционированию экипажа ППО, с помощью которой, можно получить характеристики рассматриваемой деятельности. Исходя из рассмотренных аспектов сделаем вывод, что принятие решения является моделью процесса ,

которой придерживается экипаж ППО, для обеспечения пожарной безопасности на объекте.

Процесс – объект, находящийся в действии, при фиксированном предназначении [22]. Для создания корректно функционирующей модели необходимо использовать закон сохранения целостности, который гласит, что повтор связей свойств объекта и его действий при фиксированном предназначении, который проявляется во время их одновременной трансформации [23,24].

Использование естественнонаучного (ЕНП) подхода является одним из немаловажных условий достижения поставленной цели обеспечения пожарной безопасности. Для реализации ЕНП необходимо соблюдать три основных принципа, а именно:

- принцип трехкомпонентности познания;
- принцип целостности мира (ЗСЦО);
- принцип познаваемости мира [27].

Деятельность экипажа ППО, которая направлена на обеспечение пожарной безопасности, основывается на трех следующих компонентах:

- «объект»;
- «действие»;
- «предназначение»;

Основой вышеизложенных компонентов являются три уровня познания: абстрактном, абстрактно- конкретном и конкретном. На рисунке 2.1 представлена взаимосвязь компонентов в понятии «управленческое решение» (УР).

Базовыми взаимосвязанными элементами УР, которые расположены на технологическом уровне являются: обстановка, решение и информационно-аналитическая работа.

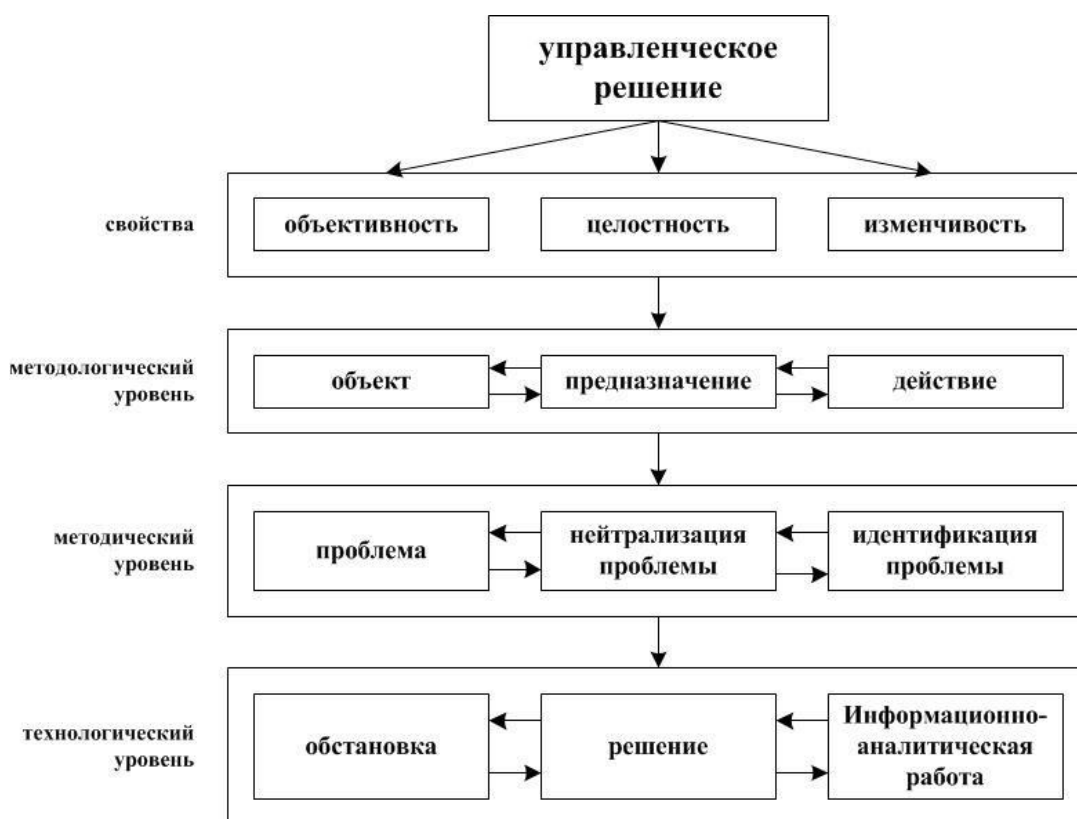


Рисунок 2.1 - Схема понятия «управленческое решение»

Обстановка – совокупность факторов, которые включают условия функционирования ППО в различных режимах работы в условиях повышенной нагрузки. Принято выделять следующие характеристики обстановки:

- $\Delta t_{\text{уп}}$  – среднее время образования угрозы;
- $\Delta t_{\text{ид}}$  – среднее время идентификации угрозы;
- $\Delta t_{\text{нп}}$  – среднее время нейтрализации угрозы.

Понятие информационно-аналитическая работа подразумевает под собой мониторинг функционирования объекта. Управленческое решение представляет из себя процесс обеспечения условий реализации предназначения ППО, направленной на достижения цели управления.

Разработка модели решения является следующим этапом после рассмотрения понятия «управленческое решение», представленного на рисунке 2.1. В современной науке принято выделять 2 подхода, которые изложены в работах Г.Х. Гуда и Р.Э. Макола, направленных на построение модели:

- основанный на анализе;
- основанный на синтезе [25,26].

Условием использования подхода, основанного на анализе, при проектировании модели, является то, что его выполнение возможно исключительно при предсказании поведения модели, опираясь на набор определенных взаимосвязанных составляющих. Критерием же подхода основанного на синтезе при проектировании модели осуществимо при подборе элементов системы, которые будут отвечать заданным характеристикам, необходимым для их реализации.[25]

Подход, основанный на синтезе, гарантирует возможность формировать процессы с заданными характеристиками, а в аналитическом подходе данное условие не представляется возможным. Исходя из этого, в данном исследовании необходимо использовать синтетический подход.

Академиком АН СССР П.К. Анохина был разработан принцип, который представлен в работе «Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем». Данный принцип выглядит следующим образом: решение может формироваться по схеме «возбуждение»-«распознавание»-«реакция на обстановку» [26]. На этапе формализации представленные процессы целиком отвечают составляющим УР. Опираясь на это, лимитирующим фактором при обеспечении пожарной безопасности является время, по причине того, что временные характеристики являются невозможным ресурсом.

Понятие «решение» должно быть разложено на составляющие с использованием метода декомпозиции. На следующем этапе необходимо применить метод абстрагирования, где каждая из характеристика будет представлена в следующем виде: принимаем обстановку за  $\Delta t_{\text{ин}}$ , информационно-аналитическая работа за  $\Delta t_{\text{ин}}$  и решение за  $\Delta t_{\text{реш}}$ .

Базовые этапы синтеза модели решения изображены на рисунке 2.2. На рисунке 2.3 изображена диаграмма проявления базовых элементов формирования модели управленческого решения, которая представляет собой соотношение временных характеристик .

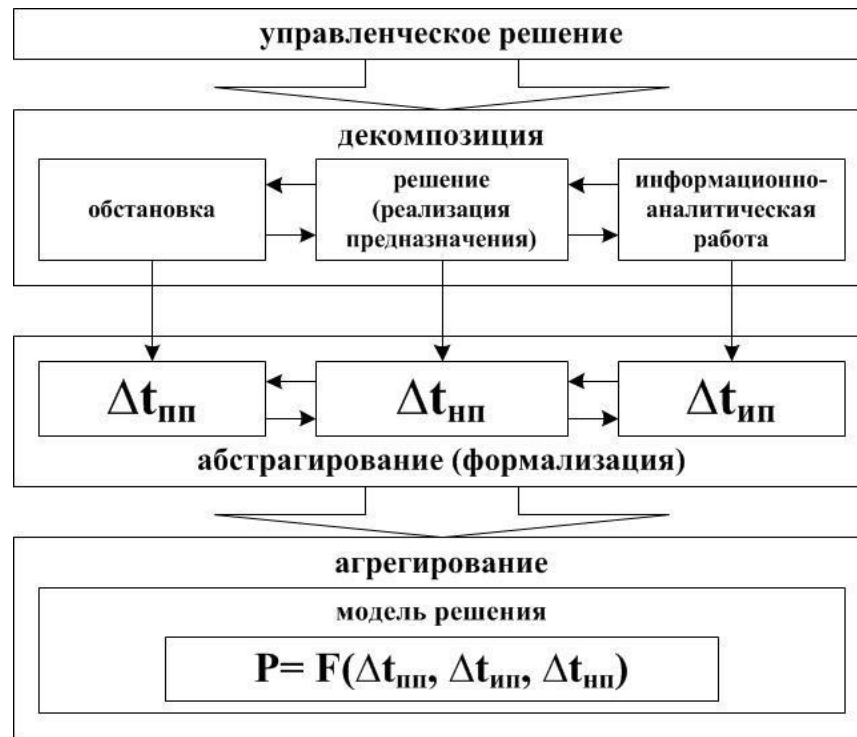


Рисунок 2.2 - Структурная схема синтеза математической модели решения

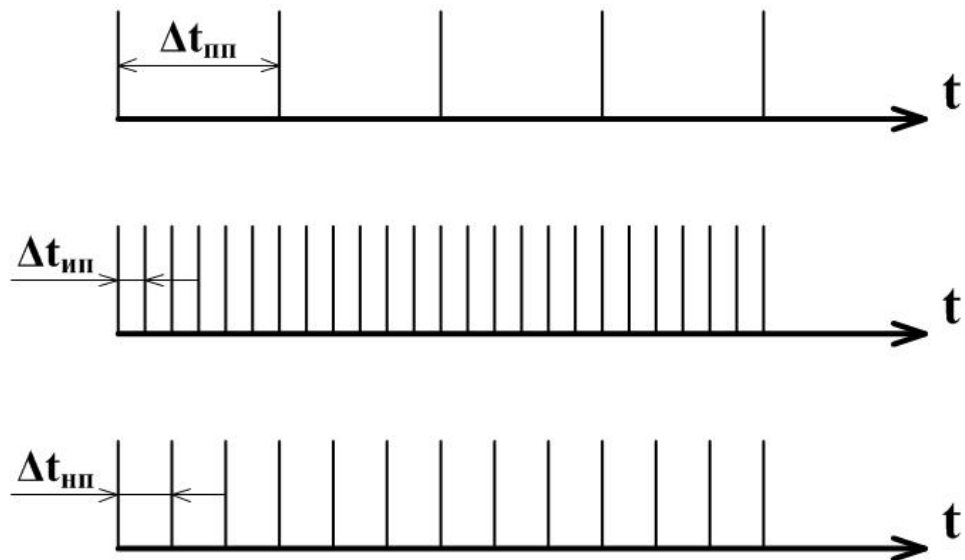


Рисунок 2.3 - Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели управленческого решения

Необходимым условием существования процесса обеспечения пожарной безопасности на ППО в условиях возрастающей нагрузки является математическая модель (рис.2.1):

$$P = F(\Delta t_{пп}, \Delta t_{ип}, \Delta t_{нп}) \quad (2.1)$$

## 2.2 Выбор и обоснование основных соотношений модели обеспечения пожарной безопасности на подвижном подводном объекте

Угрозы, возникающие в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО, с интенсивностью  $\lambda$  оказывают воздействие. С использованием информационно-аналитической работы экипаж ППО идентифицирует угрозы, интенсивность которых составляет  $v_1$ . Задействование имеющихся ресурсов начинается в процессе идентификации. Следующим этапом экипаж ППО нейтрализует угрозы, с интенсивностью  $v_2$ , используя имеющиеся ресурсы. После нейтрализации угрозы экипаж продолжает работать в штатном режиме, до тех пор, пока не возникнет новая угроза.

Структурная схема управления деятельностью экипажа ППО изображена на рисунке 2.4

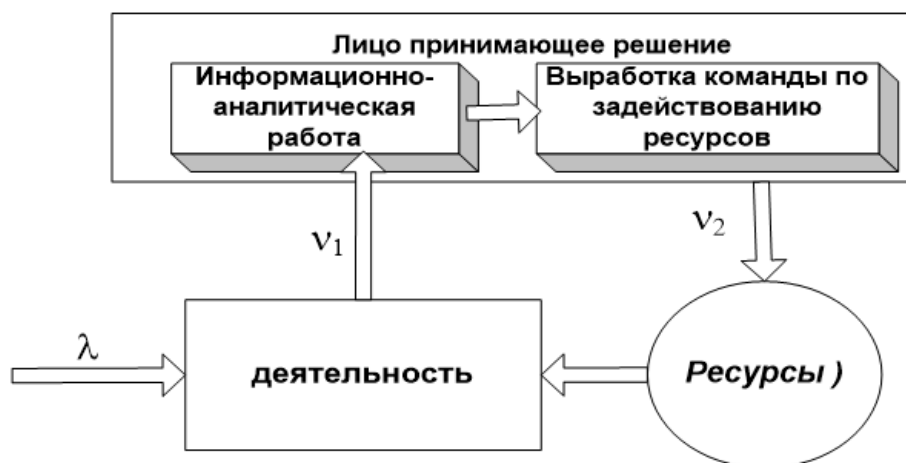


Рисунок 2.4 - Структурная схема управления деятельностью

При выполнении работы по обеспечению пожарной безопасности экипаж ППО осуществляет две функции с точки зрения обеспечения собственной безопасности: идентификация проблемы (угрозы) и её нейтрализация. Таким образом, он может находиться в одном из следующих состояний:

$A_{00}$  – экипаж ППО не идентифицирует и не нейтрализует угрозу;

$A_{10}$  – экипаж ППО идентифицирует, но не нейтрализует угрозу;

$A_{01}$  – экипаж ППО не идентифицирует, но нейтрализует угрозу;

$A_{11}$  – экипаж ППО идентифицирует и нейтрализует угрозу.

Учитывая особенности полученной модели, вводятся вероятности нахождения в состояниях  $P_1, P_2, P_3, P_4$ , соответственно. Процесс формирования решения рассматривается как непрерывные цепи Маркова, так как невозможно учесть с помощью данного подхода его динамику [28]. На рисунке 2.5 представлена характеристика переходов в системе (решение ЛПР).

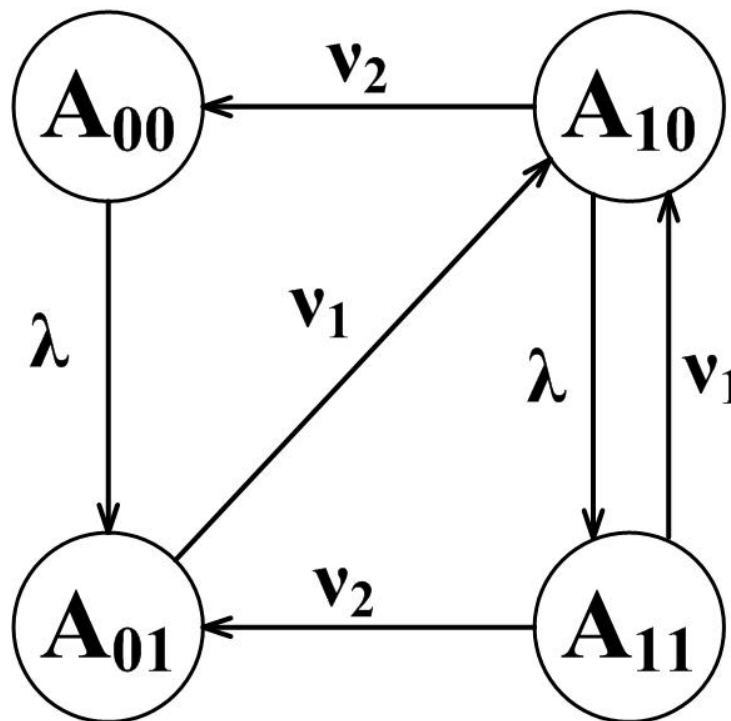


Рисунок 2.5 - Граф состояний, процесса формирования управленческого решения

Состояние  $A_{00}$  является начальным. При появлении угрозы с интенсивностью  $\lambda$  система переходит в состояние  $A_{01}$ . Затем в процессе идентификации угрозы с интенсивностью  $v_1$  происходит переход в состояние  $A_{10}$ . После чего система в результате нейтрализации угрозы переходит в состояние  $A_{00}$  с интенсивностью  $v_2$ . При этом могут возникнуть ситуации, когда в процессе нейтрализации появляется ещё одна проблема, и система из состояния  $A_{10}$  переходит с интенсивностью  $\lambda$  в состояние  $A_{11}$ . В случае если угроза устраняется, а для идентификации новой появившейся угрозы



необходимо ещё время, система переходит в состояние  $A_{01}$ . Либо при распознании новой угрозы система переходит обратно в состояние  $A_{10}$ .

Для того чтобы описать математически указанные процессы, необходимо ввести некоторые допущения:

- процесс реализации предназначения экипажа ППО формируется на основе его решения, схема формирования которого рассматривается в форме информационно-управляющей системы;
- значения времени между моментами появления проблем являются случайными величинами;
- факты появления проблем образуют поток, близкий к потоку Пуассона;
- случайной величиной также является время, затрачиваемое на обработку данных о появлении проблемы;
- полученные данные о проявившихся проблемах распределяются в последствие между выделенными ресурсами, которые решают целевые задачи по управлению процессом пожарной безопасностью;
- рассматривается такой случай, при котором время пребывания фактов появления проблем в области действия экипажа ППО достаточно ограничено и соизмеряется со временем, необходимым для идентификации, обработки данных и принятия решений по действиям, направленным на устранение этих проблем;
- система считается подготовленной для решения задач по идентификации и нейтрализации угроз;
- данная разрабатываемая система нужна для проведения оценки

возможностей системы управления безопасностью на ППО в условиях деструктивного воздействия среды.

Перечисленные допущения позволяют использовать систему дифференциальных уравнений Колмогорова [29]. Для данного графа (рис.2.5) она будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}P_{00}(t) = -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)v_2 \\ \frac{d}{dt}P_{01}(t) = -P_{01}(t)(\lambda + v_2) + P_{11}(t)v_1 + P_{10}(t)v_1 \\ \frac{d}{dt}P_{10}(t) = P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v_1 + P_{11}(t)v_2 \\ \frac{d}{dt}P_{11}(t) = P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v_1 + v_2) \end{cases} \quad (2.2)$$

Для системы вводится ограничение – сумма всех вероятностей должна быть равна единице [42]:

$$P_{00}(t) + P_{01}(t) + P_{10}(t) + P_{11}(t) = 1 \quad (2.3)$$

Также предполагается, что процесс является стационарным, в результате чего система дифференциальных уравнений преобразуется в систему линейных, однородных алгебраических уравнений, связанных между собой соотношением (2.3):

$$\begin{cases} -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)v_2 = 0 \\ -P_{01}(t)(\lambda + v_2) + P_{11}(t)v_1 + P_{10}(t)v_1 = 0 \\ P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v_1 + P_{11}(t)v_2 = 0 \\ P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v_1 + v_2) = 0 \\ P_{00}(t) + P_{01}(t) + P_{10}(t) + P_{11}(t) = 1 \end{cases} \quad (2.4)$$

Таким образом, (2.4) является системой линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных  $P_{00}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{11}$ , которые связаны соотношением (2.3).

Решая данную систему, получают следующие выражения для  $P_{00}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{11}$ :

$$P_{00} = \frac{v_1 v_2}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2} \quad (2.5)$$

$$P_{10} = \frac{\lambda v_2 (\lambda + v_1 + v_2)}{(v_1 + v_2)[\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2]} \quad (2.6)$$

$$P_{01} = \frac{\lambda v_1}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2} \quad (2.7)$$

$$P_{11} = \frac{\lambda v_1}{(v_1 + v_2)[(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2]} \quad (2.8)$$

Из соотношений (2.5) – (2.8) наиболее значимым для процесса обеспечения безопасности является (2.5). Оно связывает три параметра ( $\lambda$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ) и определяет вероятность нейтрализации и идентификации проблемы. Также оно является системообразующим фактором создания системы управления процессом обеспечения безопасности на ППО в условиях деструктивного воздействия среды.

### 2.3 Механизмы связи элементов модели с показателем уровня обеспечения пожарной безопасности

Для обеспечения пожарной безопасности на ППО, в процессе работы экипаж должен выполнять действия, осуществление которых возможно исключительно при наличии возможностей и должном информационном обеспечении.

Принято выделять четыре базовых состояний:

- состояние «S<sub>1</sub>»;
- состояние «S<sub>2</sub>»;
- состояние «S<sub>3</sub>»;
- состояние «S<sub>4</sub>».

Состояние «S<sub>1</sub>» - начальное, при котором экипаж ППО штатно выполняет работу. Переход в состояния «S<sub>2</sub>» осуществляется в момент функционирования и при выполнении поставленных задач. Состояние «S<sub>2</sub>» подразумевает то, что угроза пожарной безопасности ликвидирована.

При учете нагрузки может возникнуть следующие виды угроз:

- штатные, не выходящие за рамки имеющихся данных;
- внештатные, для решения которых имеющихся данных недостаточно и возникает необходимость подключать информационные ресурсы. В таком случае экипаж ППО переходит в состояние «S<sub>3</sub>».

Состояние «S<sub>4</sub>» подразумевает под собой выполнение аналитической работы с использованием информационных ресурсов. В результате аналитической деятельности создается новый план действия для возникшей ситуации. Если решение проблемы оказалось успешным с допустимыми затратами времени, то происходит переход с состояние «S<sub>2</sub>», что означает – угроза пожарной безопасности ликвидирована. В противном случае, если результат деятельности аналитической работы не оказал должного воздействия происходит срыв и возвращение в состояние «S<sub>3</sub>». Момент перехода из одного состояния в другое может характеризоваться определенной частотой, значение которой обратно пропорционально среднему значению времени.

Для каждого перехода определены свое среднее время и частота:

- $\Delta t_{пп}$  – среднее время проявления проблемы,  $\lambda$  – частота появления проблемы:

$$\lambda = 1/\Delta t_{пп} \quad (2.9)$$

- $\Delta t_{ип}$  – среднее время идентификации проблемы,  $\nu_1$  – частота идентификации проблемы:

$$\nu_1 = 1/\Delta t_{ип} \quad (2.10)$$

- $\Delta t_{нп}$  – среднее время нейтрализации проблемы,  $\nu_2$  – частота нейтрализации проблемы:

$$\nu_2 = 1/\Delta t_{нп} \quad (2.11)$$

- $T_{э}$  – среднее время реализации предназначения экипажа ППО,  $\zeta^+$  – частота реализации предназначения экипажа ППО:

$$\zeta^+ = 1/T_{э} \quad (2.12)$$

- $\zeta^-$  – частота срыва деятельности ППО.

Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения с учетом целевого процесса изображена на рисунке 2.6.

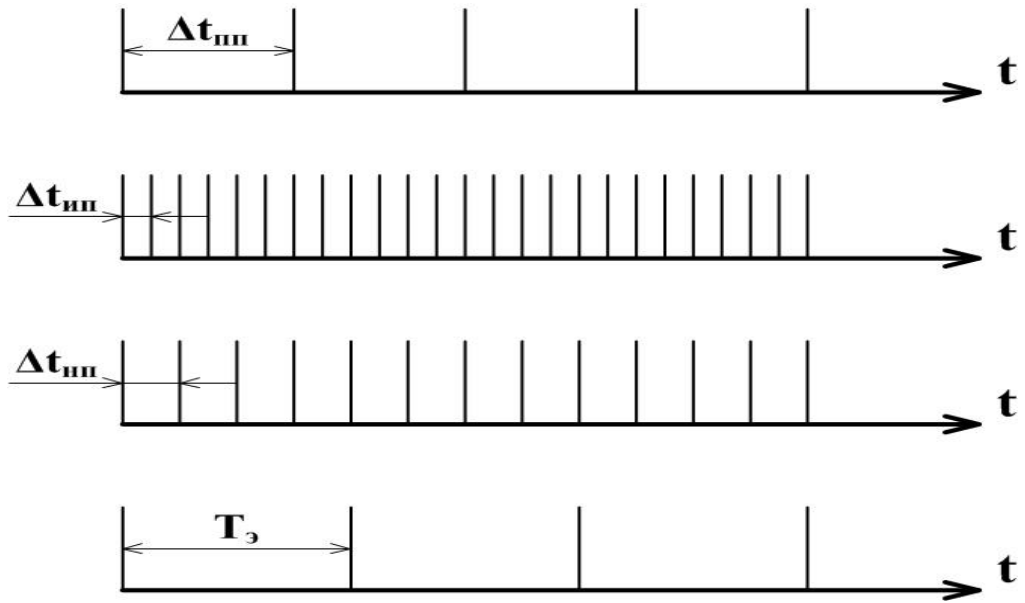


Рисунок 2.6 - Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения с учетом целевого процесса

Граф состояний формирования управленческого решения с учетом целевого процесса изображен на рисунке 2.7

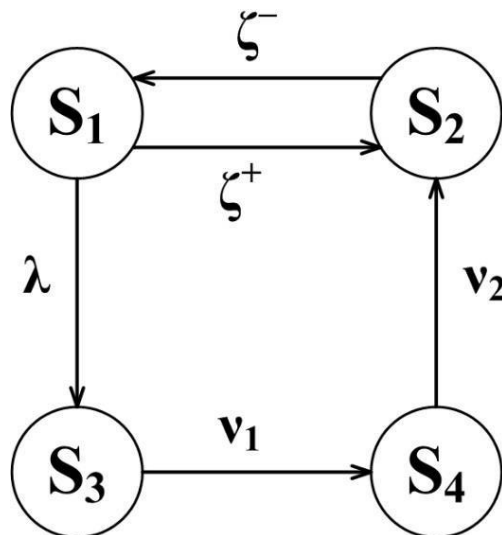


Рисунок 2.7 - Граф состояний для процесса формирования управленческого решения с учетом целевого процесса

Для указанного графа составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена с учетом допущений, принятых в предыдущем параграфе:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\zeta^+ + \lambda) \cdot P_1(t) + \zeta^- \cdot P_2(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \zeta^+ \cdot P_1(t) - \zeta^- \cdot P_2(t) + \nu_2 \cdot P_4(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda \cdot P_1(t) - \nu_1 \cdot P_3(t), \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \nu_1 \cdot P_3(t) - \nu_2 \cdot P_4(t). \end{cases} \quad (2.13)$$

Для расчета вероятностей необходимо представить (2.13) в виде системы линейных алгебраических уравнений с учетом условия, что сумма всех вероятностей равна единице:

$$\begin{cases} 0 = -(\zeta^+ + \lambda) \cdot P_1 + \zeta^- \cdot P_2 \\ 0 = \zeta^+ \cdot P_1 - \zeta^- \cdot P_2 + \nu_2 \cdot P_4 \\ 0 = \lambda \cdot P_1 - \nu_1 \cdot P_3 \\ 0 = \nu_1 \cdot P_3 - \nu_2 \cdot P_4 \\ 1 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \end{cases} \quad (2.14)$$

Решение системы (2.14) будет следующим:

$$P_1 = \frac{\zeta^- \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}{\lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_1 + \lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_2 + \lambda \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^+ \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^- \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}. \quad (2.15)$$

$$P_2 = \frac{\lambda \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^+ \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}{\lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_1 + \lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_2 + \lambda \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^+ \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^- \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}. \quad (2.16)$$

$$P_3 = \frac{\lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_2}{\lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_1 + \lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_2 + \lambda \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^+ \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^- \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}, \quad (2.17)$$

$$P_4 = \frac{\lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_1}{\lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_1 + \lambda \cdot \zeta^- \cdot \nu_2 + \lambda \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^+ \cdot \nu_1 \cdot \nu_2 + \zeta^- \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}. \quad (2.18)$$

Решение  $P_2$  показывает вероятность состояния  $S_2$ . Исходя из этого показателя, можно определить показатель эффективности модели управления решениями.

#### 2.4 Исследование возможностей модели для обеспечения пожарной безопасности

Для определения требуемых характеристик при обеспечении пожарной безопасности на ППО используется условие существования процесса, которое предоставляет возможность их определения с учетом сложившейся обстановки. Основным условием является наличие известных конечных вероятностей.

$$P_2 = F(\zeta^+, \zeta^-, \lambda, \nu_1, \nu_2) \quad (2.19)$$

Выполнение условия существования процесса управления обеспечения пожарной безопасности на ППО гарантирует достижения цели обеспечения безопасности.

Допустимый уровень безопасности может быть обеспечен исключительно в том случае, если:

$$\nu_1 \geq 8 \cdot \lambda, \nu_2 \geq 8 \cdot \lambda \quad (2.20)$$

При соблюдении данного неравенства показатель  $P_2$  будет больше или равен 0,8. Приведенное условие выступает гарантией допустимого уровня при обеспечении безопасности жизнедеятельности.

В условиях прогрессирующей нагрузки вышеуказанное условие позволяет реализовать успешное управление процесса обеспечения пожарной безопасности. Условие 2.20 является обязательным для исполнения, в противном случае необходимо разработать комплекс мероприятий, которые будут направлены на изменение среднего времени идентификации и

нейтрализации проблемы, данный цикл будет повторяться, пока не будет достигнуто данное условие.

При разработке модели важным фактором является соотношение всех используемых элементов. Для достижения в одном из элементов требуемого уровня, может возникнуть необходимость изменить другой элемент. Вот почему для обеспечения пожарной безопасности необходим тщательный анализ деятельности экипажа ППО. Наиболее подходящие характеристики должны быть рассмотрены с учетом адекватности, наличия ресурсов, экономической эффективности и возможностей. Внедрение современных технологий, способных обработать большой массив данных за малый промежуток времени, является обязательным для достижения данного результата.

#### Выводы по Главе 2

Полученные модели управленческого решения с учетом и без учета целевого процесса позволяют оценить показатель пожарной безопасности количественно. Также можно осуществлять управление, задавая требуемый уровень показателя безопасности и частоты срывов (уровень риска, который является допустимым в рассматриваемой ситуации) с целью получения необходимых значений времени идентификации и нейтрализации проблемы. На основе полученных данных в дальнейшем можно корректировать процесс организации управления пожарной безопасности.

Модель управленческого решения экипажа с учетом целевого процесса является условием существования обеспечения пожарной безопасности. Тем самым, гарантируется достижение цели обеспечения пожарной безопасности ППО – своевременное идентификация и нейтрализация угроз.

Разработанные модели основываются на ЕНП и ЗСЦО, следовательно, удовлетворяют требованию адекватности. На их основе можно разработать технологию обеспечения управлением пожарной безопасности ППО в условиях деструктивного воздействия среды.



## ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕШЕНИЯ

### 3.1 Общий подход к разработке технологии обеспечения пожарной безопасности на подвижном подводном объекте

Процесс управления пожарной на ППО довольно сложен. Для этого необходимо разработать технологии, т.е. научиться преобразовывать информацию и деятельность лица, принимающего решение (ЛПР).

Для начала управления процессом, направленного на обеспечение пожарной безопасности, необходимо создать сетевые модели, которые соотносятся для каждого перехода графа.

Целевой процесс обеспечения пожарной безопасности при осуществлении деятельности на ППО состоит из:

- 6 событий (табл. 3.1)
- 5 работ (табл. 3.2).

Таблица 3.1

События целевого процесса обеспечения пожарной безопасности на ППО

№	Имя события
1	Экипаж ППО находится на рабочем месте
2	Экипаж ППО получает информацию о возникновении возгорания
3	Экипаж ППО используют средства индивидуальной защиты
4	Экипаж ППО покидает и изолирует отсек, где произошло возгорание
5	Включение системы пожаротушения
6	Источник возгорания ликвидирован

Составлена автором самостоятельно.

Таблица 3.2

## Работы целевого процесса обеспечения пожарной безопасности на ППО

Шифр	Имя работы	Длительность работы, сек
1-2	сбор информации о возникновение возгорания	15
2-3	Использование средств индивидуальной защиты	10
3-4	Эвакуация и изоляция отсеков на ППО	120
4-5	Включение системы пожаротушения	10
5-6	Система пожаротушения устранила очаг возгорания	60

Составлена автором самостоятельно

Для визуализации данного процесса воспользуемся сетевой моделью (рис. 3.1)

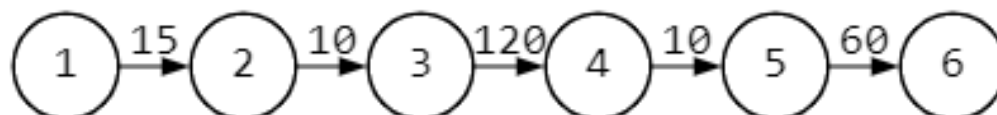


Рисунок 3.1 - Сетевая модель целевого процесса обеспечения пожарной безопасности на ППО

В процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО, экипаж сталкивается с различными угрозами: неисправность счетчика сброса СВ, неисправность счетчика забора вод, внеплановое отключение очистных сооружений, блокирование места сброса сточных вод, неисправность очистных сооружений, сброс сточных вод без стадии очистки – таблица 3.3.

Таблица 3.3

События, вызывающие образование угрозы в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО .

№	Имя события
1	Обнаружение угрозы пожарной безопасности на ППО
2	Человеческий фактор

3	Техническая неисправность
4	В следствие экономических последствий
5	Нахождение на рабочем месте в состоянии алкогольного опьянения
6	Нарушение правил пожарной безопасности
7	Неправильная эксплуатация технических средств
8	Перегрев двигательной установки
9	Неисправность проводки
10	Использование низкокачественных приборов и материалов
11	Сбой в работе, обеспечивающей пожарную безопасность

Составлена автором самостоятельно

Переход состояний из S1 в S3 связан с образованием угрозы и вызывает срывы в работе ППО из-за антропогенного воздействия различного характера ставящих под угрозу работу объекта. Угрозы, вызывающие срывы в работе образуются в определенной промежуток времени с соответствующим промежутком (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Перечисление возможных образований угроз в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО

Шифр	Имя работы	Длительность работы, с
1	2	3
1-2	Угроза появляется в следствии человеческого фактора	0
1-3	Угроза появляется в следствии технической неисправности	0
1-4	Угроза появляется из за экономических последствий	0

Продолжение таблицы 3.4

2-5	Человек из за потери координации движения не исполнял свои должностные обязанности	300
2-6	Человек нарушил правила пожарной безопасности	30
2-7	Человек неправильно эксплуатировал технические средства	60
3-8	Работа двигателя на предельной мощности	900
3-9	Возникновение перегрузок системы электропитания	10
4-10	Производитель решил сэкономить и купил дешевые приборы и материалы	900
5-11	Угроза вызванная неисполнением должностных обязанностей сотрудником в состоянии алкогольного опьянения	0
6-11	Возникновение угрозы вызванная нарушением правил пожарной безопасности	0
7-11	Возникновение угрозы вызванная неправильной эксплуатацией технических средств	15
8-11	Возникновение угрозы из за перегрева двигателя	400
9-11	Возникновение угрозы из за неисправной системы электроснабжения	10
10-11	Возникновение угрозы из за использование некачественных материалов и приборов	800

Составлена по [30]

Процесс образования угрозы представим в виде сетевой модели ( рис.3.2)

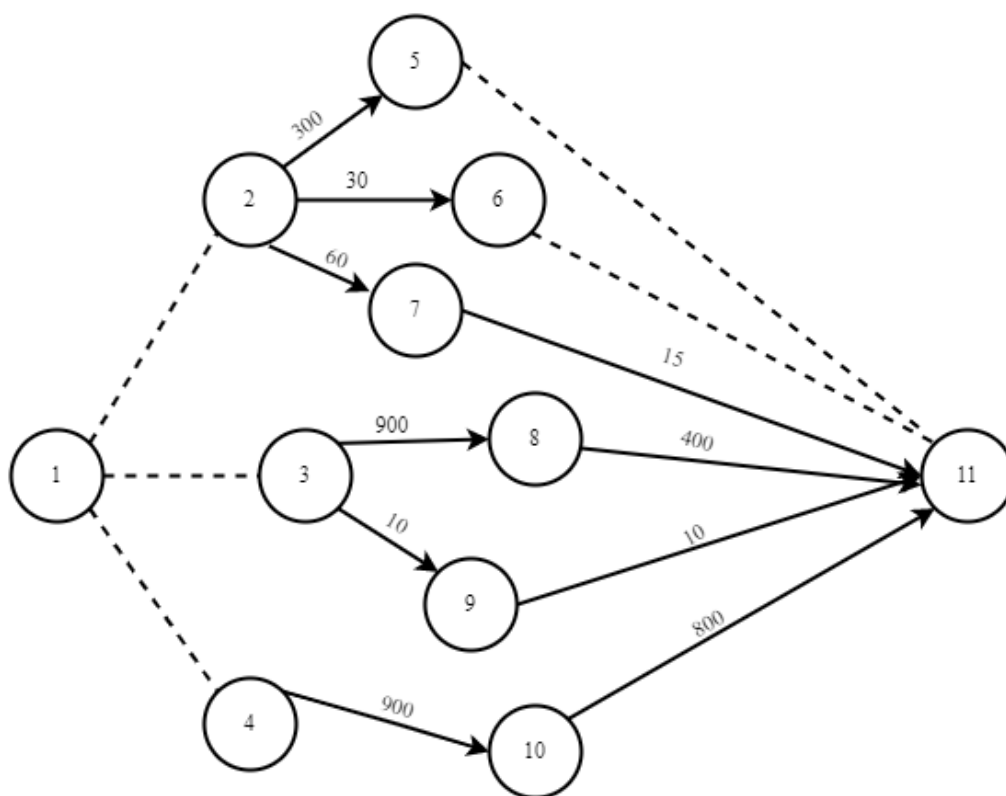


Рисунок 3.2 - Сетевая модель процесса формирования угроз обеспечения пожарной безопасности на ППО

Продолжение функционирования ППО возможно только после идентифицирования проблемы («S3» - «S4»). Указанный мониторинг следует проводить с упором на угрозы, которые приведены выше. В таблице 3.5 приведены базовые этапы проверки, которые должен осуществлять экипаж на объекте в рассмотренном случае.

Таблица 3.5.

Мониторинг, включающий перечень событий в процессе деятельности эколога в сфере водопользования

№	Имя события
1	Начало мониторинга пожарной безопасности на ППО
2	Проверка влияния человеческого фактора

3	Проверка техники на неисправность
4	Проверка экономических ошибок
5	Проверка экипажа на состояние алкогольного опьянения
6	Проверка соблюдения правил пожарной безопасности
7	Проверка соблюдения правил эксплуатации технических средств
8	Проверка двигательной установки
9	Проверка проводки на неисправность
10	Проверка приборов и материалов на качество
11	Составление отчета о проведении мониторинга обеспечения пожарной безопасности на ППО

Составлена автором самостоятельно

Успешное продолжение работы зависит от точного и успешного выполнения мониторинга. В таблице 3.6 приведены затраты времени, которые соответствуют каждому из этапов.

Таблица. 3.6

Работы по мониторингу в процессе деятельности обеспечения пожарной безопасности на ППО

Шифр	Имя работы	Длительность работы, с
1	2	3
1-2	проведение проверки влияния человеческого фактора	0
1-3	проведение проверки техники на неисправность	0
1-4	Проведение проверки экономических ошибок	0

2-5	проведение проверки экипажа на состояние алкогольного опьянения	5
2-6	проведение проверки знания экипажа пожарной безопасности	60
2-7	проведение проверки соблюдение правил эксплуатации технических средств	60
3-8	проведение проверки двигательной установки	30
3-9	проведение проверки системы электроснабжения	15
4-10	проведение проверки приборов и материалов на качество	60
5-11	Составление отчета о проведении мониторинга состояния экипажа	20
6-11	Составление отчета о проведении мониторинга знаний экипажа пожарной безопасности	20
7-11	Составление отчета о проведении мониторинга эксплуатации технических средств	20
8-11	Составление отчета о проведение мониторинга двигательной установки	20
9-11	Составление отчета о проведение мониторинга системы электроснабжения	20
10-11	Составление отчета о проведение мониторинга приборов и материалов	20

Составлена по [30]

Процесс мониторинга представлен в виде сетевой модели (рис.3.3)

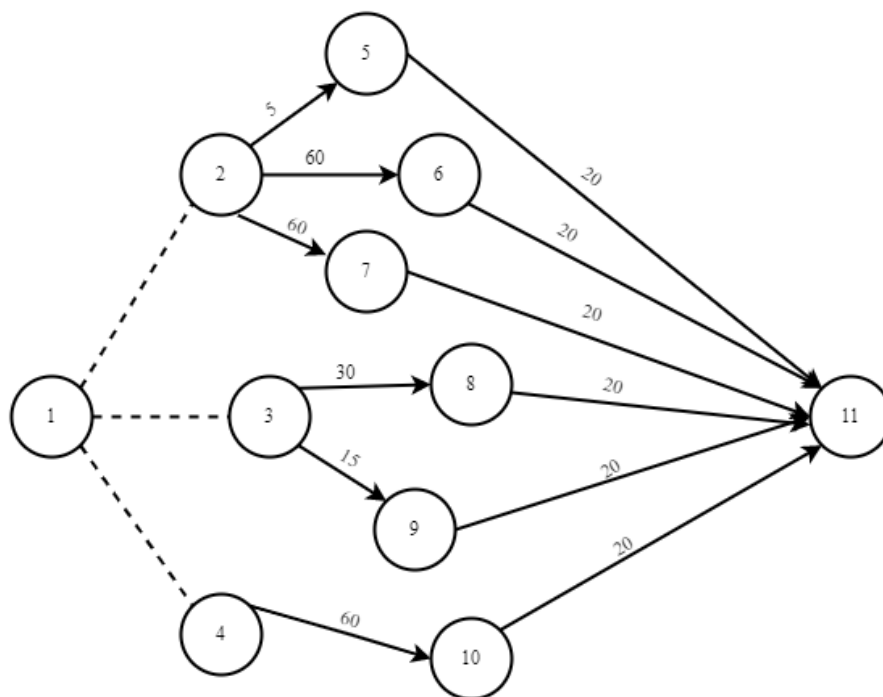


Рисунок 3.3 - Сетевая модель процесса мониторинга обеспечения пожарной безопасности на ППО

Мониторинг позволяет сформировать актуальный план действий, отвечающий параметрам ситуации. В окончании данного процесса происходит нейтрализация проблемы. Таблица 3.7 отражает основные шаги, направленные на нейтрализацию проблемы.

Таблица 3.7

Перечень событий нейтрализации угрозы в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО

№	Имя события
1	начало устранения выявленных угроз в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО
2	устранение проблем, связанных с человеческим фактором
3	устранение проблем с неисправностью техники
4	устранение проблем, связанных с экономическими ошибками



5	устранение проблем, связанных с экипажем
6	устранение проблем, связанных с соблюдением правил пожарной безопасностью
7	устранение проблем, связанных с эксплуатацией технических средств
8	устранение проблем, связанных с двигательной установкой
9	устранение проблем, связанных с системой энергоснабжения
10	устранение проблем, связанных с дешевизной приборов и материалов
11	Составление отчета об устранении выявленных угроз в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО

Составлено по: [30]

Результаты нейтрализации проблем напрямую связаны с тем, насколько быстро экипаж ППО может решать возникающие проблемы. Немало важным фактом является их профессиональная подготовка и навыки. Работы, направленные на нейтрализацию угроз, и их время отражены в таблице 3.8.

Таблица 3.8

Перечень работ нейтрализации угрозы в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО

Шифр	Имя работы	Длительность работы, с
1	2	3
1-2	устранение угрозы, связанные с человеческим фактором	0
1-3	устранение угрозы из-за неисправности техники	0

1-4	устранение угрозы из-за проблем, связанных с экономическими ошибками	0
2-5	устранение угрозы из-за плохого самочувствия экипажа	900
2-6	устранение угрозы из-за незнания правил пожарной безопасности	300
2-7	устранение угрозы из-за неправильной эксплуатации технических средств	750
3-8	Устранение угрозы из-за перегрева двигательной установки	600
3-9	устранение угрозы из-за сбоя системы энергоснабжения	60
4-10	устранение угрозы из-за некачественных приборов и материалов	450
5-11	составление отчета об устранении выявленных угроз из-за проблем со здоровьем экипажа	20
6-11	составление отчета об устранении выявленных угроз из-за незнания правил пожарной безопасности	20
7-11	составление отчета об устранении выявленных угроз из-за неправильной эксплуатации технических средств	20
8-11	составление отчета об устранении выявленных угроз из-за перегрева двигательной системы	20
9-11	составление отчета об устранении выявленных угроз из-за сбоя системы энергоснабжения	20
10-11	составление отчета об устранении выявленных угроз из-за некачественных приборов и материалов	20

Составлена по [30]

Сетевая модель процесса нейтрализации угрозы представлена на рисунке 3.4

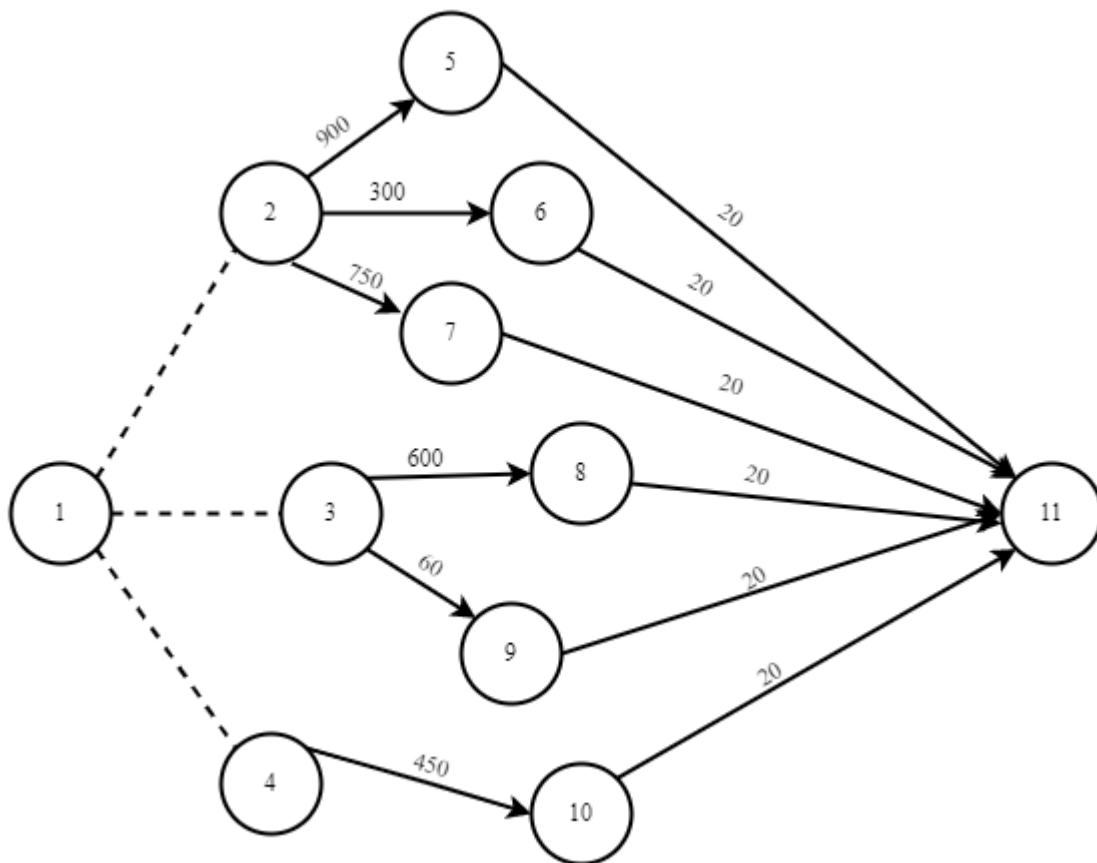


Рисунок 3.4 - Сетевая модель нейтрализации угрозы обеспечения пожарной безопасности на ППО

### 3.2 Основные соотношения технологии обеспечения пожарной безопасности подводного подвижного объекта

Учесть четыре основных перехода можно с помощью сетевых моделей, определив время, за которое совершает каждый переход. При использовании сетевого моделирования принято использовать понятие «критический путь» - полный и максимальный по продолжительности. Данный путь имеет одну очень важную характеристику – время, затраченное на выполнение всей работы.

В 2009 году Сидорович В.В. создал программное обеспечение для расчета сетевых графиков «GraphMaker», на основе которого были проведены расчеты, разработанных сетевых моделей. Результаты представлены в таблице 3.9, таблице 3.10, таблице 3.11, и таблице 3.12.

Таблица 3.9

Результаты расчетов сетевой модели целевого процесса обеспечения пожарной безопасности на ППО

№	Количество работ	Шифр	Длина	Раннее начало	Раннее окончание	Позднее начало	Позднее окончание	Общие резервы	Частные резервы
1	0	1-2	15	0	15	0	15	0	0
2	1	2-3	10	15	25	15	25	0	0
3	1	3-4	120	25	145	25	145	0	0
4	1	4-5	10	145	155	145	155	0	0
5	1	5-6	60	155	215	155	215	0	0

Рассчитано по: [15], [16].

Таблица 3.10

Результаты расчетов сетевой модели образования угрозы в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО

№	Количество работ	Шифр	Длина	Раннее начало	Раннее окончание	Позднее начало	Позднее окончание	Общие резервы	Частные резервы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1-2	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1-3	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 3.10

3	0	1-4	0	0	0	0	0	0	0
4	1	2-5	300	0	300	0	300	0	0
5	1	2-6	30	0	30	0	30	0	0
6	1	2-7	60	0	60	0	60	0	0
7	1	3-8	900	0	900	0	900	0	0
8	1	3-9	10	0	10	0	10	0	0
9	1	4-10	900	0	900	0	900	0	0
10	1	5-11	0	300	300	300	300	0	0
11	1	6-11	0	30	30	30	30	0	0
12	1	7-11	15	60	75	60	75	0	0
13	1	8-11	400	900	1300	900	1300	0	0
14	1	9-11	10	10	20	10	20	0	0
15	1	10-11	800	900	1700	900	1700	0	0

Рассчитано по: [15], [16].

Таблица 3.11

Результаты расчетов сетевой модели мониторинга в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО

№	Количество работ	Шифр	Длина	Раннее начало	Раннее окончание	Позднее начало	Позднее окончание	Общие резервы	Частные резервы
1	0	1-2	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1-3	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1-4	0	0	0	0	0	0	0
4	1	2-5	5	0	5	0	5	0	0
5	1	2-6	60	0	60	0	60	0	0
6	1	2-7	60	0	60	0	60	0	0
7	1	3-8	30	0	30	0	30	0	0
8	1	3-9	15	0	15	0	15	0	0

Продолжение таблицы 3.11

9	1	4-10	60	0	60	0	60	0	0
10	1	5-11	20	5	25	5	25	0	0
11	1	6-11	20	60	80	60	80	0	0
12	1	7-11	20	60	80	60	80	0	0
13	1	8-11	20	30	50	30	50	0	0
14	1	9-11	20	15	35	15	35	0	0
15	1	10-11	20	60	80	60	80	0	0

Рассчитано по: [15], [16].

Таблица 3.12

Результаты расчетов сетевой модели нейтрализации угрозы в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО

№	Количество работ	Шифр	Длина	Раннее начало	Раннее окончание	Позднее начало	Позднее окончание	Общие резервы	Частные резервы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1-2	0	0	0	0	600	600	0
2	0	1-3	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1-4	0	0	0	0	0	0	0
4	1	2-5	900	0	900	0	900	0	0
5	1	2-6	300	0	300	0	300	0	0
6	1	2-7	750	0	750	0	750	0	0
7	1	3-8	600	0	600	0	600	0	0
8	1	3-9	60	0	60	0	60	0	0
9	1	4-10	450	0	450	0	450	0	0
10	1	5-11	20	900	920	900	920	0	0
11	1	6-11	20	300	320	300	320	0	0
12	1	7-12	20	750	770	750	770	0	0
13	1	8-13	20	600	620	600	620	0	0
14	1	9-19	20	60	80	60	80	0	0
15	1	10-19	20	450	470	450	470	0	0

Рассчитано по: [15], [16].

Также с помощью программы «GraphMaker» был рассчитан критический путь для каждой сетевой модели:

- критический путь целевого процесса – 215 с;
- критический путь образования угрозы – 1700 с;
- критический путь мониторинга – 80 с;
- критический путь нейтрализации угрозы – 470 с.

Необходимо проверить соблюдение условия, что в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО обязательно возникает хотя бы одна угроза, т.е. целевой процесс должен протекать дольше, чем образование угрозы. Если угроза образуется дольше, чем происходит целевой процесс, то такая угроза является незначимой.

В данном случае критический путь образования угрозы превышает критический путь целевого процесса в 8 раз. Следовательно, необходимо провести повторный анализ сетевой модели образования угрозы с целью выявления путей со временем меньшим, чем критический путь целевого процесса. В процессе анализа были выявлены следующие пути:

- 1-2-6-11, время – 20 с;
- 1-2-7-11, время – 75 с;
- 1-3-9-11, время – 90 с.

Для продолжения расчетов необходимо удостовериться, что в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО возникает хотя бы одна угроза. Это обозначает, что целевой процесс протекает дольше, чем процесс образования угрозы. Ведь если время образования угрозы превосходит время целевого процесса, то такую угрозу можно считать незначительной.

Полученные значения являются средними временами реализации предназначения обеспечения пожарной безопасности на ППО ( $T_3$ ), образования угрозы ( $\Delta t_{\text{уп}}$ ), идентификации угрозы ( $\Delta t_{\text{ип}}$ ) и нейтрализации угрозы ( $\Delta t_{\text{нп}}$ ) соответственно. По формулам (2.9) – (2.12) можно рассчитать частоты переходов:

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t_{\text{пп}}} = \frac{1}{1700} = 0,0006 \quad (3.1)$$

$$v_1 = \frac{1}{\Delta t_{\text{ип}}} = \frac{1}{80} = 0,0125 \quad (3.2)$$

$$v_2 = \frac{1}{\Delta t_{\text{нп}}} = \frac{1}{470} = 0,0021 \quad (3.3)$$

$$\zeta^+ = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{215} = 0,0046 \quad (3.4)$$

Данные значения используются для расчета показателя пожарной безопасности по формуле (2.16). Для упрощения расчетов можно ввести два коэффициента:

$$\alpha = \lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \zeta^+ \cdot v_1 \cdot v_2 \quad (3.5)$$

$$\beta = \lambda \cdot v_1 + \lambda \cdot v_2 + v_1 \cdot v_2 \quad (3.6)$$

Теперь выражение (2.16) можно преобразовать, используя введенные коэффициенты:

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \zeta^+ \cdot v_1 \cdot v_2}{\lambda \cdot \zeta^- \cdot v_1 + \lambda \cdot \zeta^- \cdot v_2 + \lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \zeta^+ \cdot v_1 \cdot v_2 + \zeta^- \cdot v_1 \cdot v_2} \\ &= \frac{\lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \zeta^+ \cdot v_1 \cdot v_2}{\zeta^- \cdot (\lambda \cdot v_1 + \lambda \cdot v_2 + v_1 \cdot v_2) + \lambda \cdot v_1 \cdot v_2 + \zeta^+ \cdot v_1 \cdot v_2} \\ &= \frac{\alpha}{\zeta^- \cdot \beta + \alpha} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Таким образом, получается следующее соотношение:

$$P_2 = \frac{\alpha}{\zeta^- \cdot \beta + \alpha} \quad (3.8)$$

Полученная математическая модель является основой технологии управления пожарной безопасности ППО в условиях деструктивного воздействия. Задавая необходимое значение показателя безопасности и частоты срывов, можно управлять деятельностью экипажа по обеспечению пожарной безопасности путем решения обратной задачи.



### 3.3. Анализ возможностей технологии обеспечения пожарной безопасности

Вероятность того, что каждая угроза, возникающая в процессе обеспечения пожарной безопасности на ППО, будет идентифицирована и нейтрализована при определенной частоте предотвращения возгорания и частоте срыва, является показателем пожарной безопасности.

Соотношение (3.8) является уравнением с несколькими неизвестными. Если задать определенные частоты появления угрозы, её идентификации и нейтрализации, а также реализации предназначения пожарной безопасности на ППО, то можно, задав требуемый уровень показателя безопасности, перейти к уравнению с одной неизвестной:

$$P_2 = F(\zeta^-, \zeta^+, \lambda, \nu_1, \nu_2) \quad (3.9)$$

Исходя из полученной частоты срыва можно судить об эффективности деятельности управления пожарной безопасностью ППО.

Соотношение (3.9) является условием существования процесса деятельности управления пожарной безопасностью. Следовательно, задавая конечные вероятности, можно определить необходимые характеристики обстановки. При этом данные характеристики будут удовлетворять условию существования процесса, а значит, являются гарантией достижения цели деятельности управления пожарной безопасностью – функционирование ППО в штатном режиме.

Для удобства расчета можно выразить частоту срыва через показатель безопасности:

$$\zeta^- = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \left( \frac{1}{P_2} - 1 \right) \quad (3.10)$$

Тогда:

- при  $P_2 = 0,5$   $\zeta^- = 0,0009$ ;
- при  $P_2 = 0,6$   $\zeta^- = 0,0006$ ;
- при  $P_2 = 0,7$   $\zeta^- = 0,0004$ ;
- при  $P_2 = 0,8$   $\zeta^- = 0,0002$ ;
- при  $P_2 = 0,9$   $\zeta^- = 0,0001$ .

Можно построить график зависимости частоты срыва от показателя безопасности (рис.3.5).

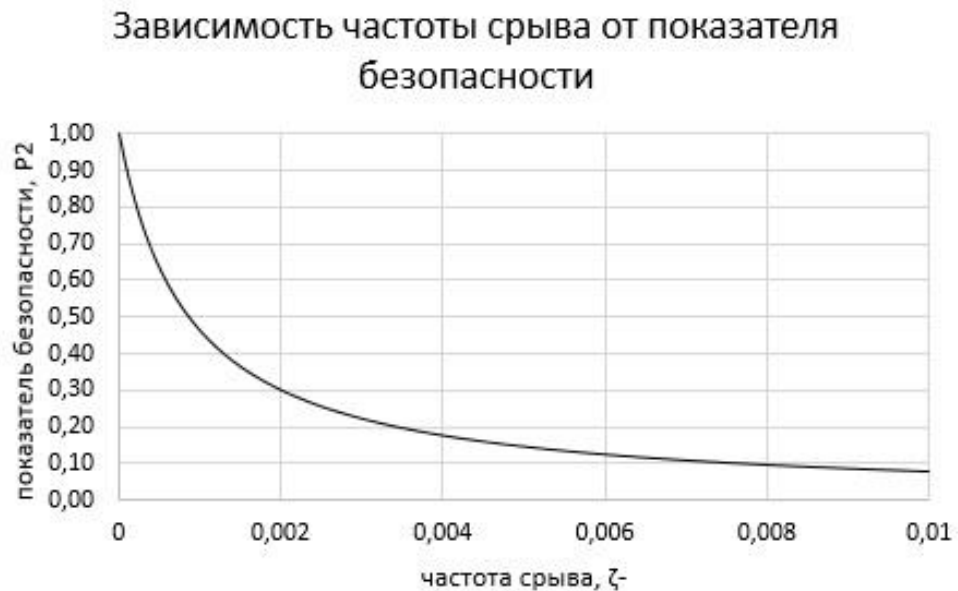


Рисунок 3.5 - Зависимость частоты срыва от показателя безопасности

При этом было выявлено, что:

- при постоянных: среднем времени образования угрозы и частоте срыва – показатель безопасности зависит от среднего времени идентификации угрозы также, как и от среднего времени нейтрализации;
- при постоянных: среднем времени образования угрозы, среднем времени идентификации угрозы, среднем времени нейтрализации угрозы и частоте срыва – при увеличении времени целевого процесса, показатель безопасности уменьшается и наоборот;
- при постоянных: времени целевого процесса, среднем времени идентификации угрозы, среднем времени нейтрализации угрозы и частоте срыва – при увеличении времени целевого процесса, показатель безопасности уменьшается и наоборот;

срыва – в случае увеличения времени образования угрозы, показатель безопасности увеличивается.

Допустимым уровнем показателя безопасности является значение 0,8. Для достижения данного уровня необходимо выполнить следующее условие:

$$v_1 \geq 8 \cdot \lambda, v_2 \geq 8 \cdot \lambda \quad (3.11)$$

или

$$\Delta t_{ип} \leq \frac{\Delta t_{пп}}{8}, \Delta t_{нп} \leq \frac{\Delta t_{пп}}{8} \quad (3.12)$$

В данном случае, имеются следующие условия:

- $v_1 = 2,08 \cdot \lambda, \Delta t_{ип} = \frac{\Delta t_{пп}}{2,08};$  (3.13)

- $v_2 = 0,35 \cdot \lambda, \Delta t_{нп} = \frac{\Delta t_{пп}}{0,35};$  (3.14)

Следовательно,  $v_1$  необходимо увеличить в 3,85 раза, а  $v_2$  – в 22,86 раза. Для этого нужно уменьшить среднее время идентификации угрозы ( $\Delta t_{ип}$ ) в 3,85 раза, а среднее время нейтрализации угрозы ( $\Delta t_{нп}$ ) – в 22,86 раза. В этом случае при заданных среднем времени появления проблемы, среднем времени реализации предназначения управление пожарной безопасностью на ППО и частоте срывов будет обеспечиваться уровень показателя безопасности 0,84, что соответствует допустимому значению.

В результате становится возможным, задавая требуемый уровень безопасности и допустимую частоту срыва, при заданном среднем времени реализации обеспечения пожарной безопасности на ППО и среднем времени появления проблемы, находить необходимые значения средних времен идентификации проблемы и её нейтрализации.

Для того, чтобы определить, какое время необходимо изменять, нужно обратиться к сетевым моделям, где были отмечены критические пути. Именно те работы, которые лежат на критическом пути, имеют наибольшее значение, поэтому необходимо разрабатывать мероприятия по сокращению времени на их выполнение. В результате изменений времен может быть определен новый

критический путь. В этом случае необходимо осуществлять подробный анализ сетевых моделей для разработки наиболее эффективных мероприятий.

Таким образом, разработанная технология позволяет управлять процессом обеспечения пожарной безопасности на ППО для гарантированного достижения цели деятельности.

### Выводы по Главе 3

Разработанные сетевые модели для основных процессов деятельности экипажа ППО позволяют отобразить порядок действий при управлении пожарной безопасности на объекте. Их можно интегрировать в модель управленческого решения с учетом целевого процесса с целью разработки технологии обеспечения управления пожарной безопасности на ППО в условиях деструктивного воздействия среды.

Данная технология позволяет управлять процессом обеспечения пожарной безопасности на ППО. Для этого необходимо задать требуемый уровень показателя безопасности и допустимой частоты срывов. С помощью математических моделей производится расчет средних времен идентификации и нейтрализации угроз. На основе полученных данных принимается решение о корректировке плана действий с помощью сетевых моделей.

В условиях поставленной задачи показатель безопасности равен 0,48, для его увеличения до уровня равного или большего 0,8 необходимо изменить время идентификации проблемы в 3,85 раза, а время нейтрализации угрозы в 22,86 раза.

Таким образом, можно гарантированно обеспечить требуемый уровень показателя пожарной безопасности на ППО, в результате чего, объект сможет реализовать свое предназначение.

Для дальнейшего совершенствования полученной технологии необходимо будет использовать технологии больших данных и машинного обучения. Это обуславливается тем, что расширение моделей повлечет за собой появление необходимости обработки и анализа большого количества информации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы была разработана модель управления пожарной безопасностью на подвижном подводном объекте, что являлось целью данной работы. Для этого были выполнены основные задачи исследования:

- изучение современного состояния пожарной безопасности;
- анализ существующих моделей и подходов;
- разработка математической модели управленческих решений.

Поставленные задачи в данной работе были выполнены в полном объеме, однако дальнейшие исследования в данной теме должны быть продолжены по причине научной новизны, теоретической и практической значимости. Данная выпускная квалификационная работа содержит научно-исследовательскую работу по совершенствованию системы обеспечения пожарной безопасности в условиях деструктивного воздействия среды.

Были выявлены особенности деятельности экипажа по обеспечению пожарной безопасности ППО. Также были разработаны математические модели управленческих решений, сетевые модели основных процессов деятельности по обеспечению пожарной безопасности на ППО и технология обеспечения пожарной безопасности в опасных условиях. При разработке модели было соблюдено условие адекватности, что позволяет гарантировать достижение цели обеспечения пожарной безопасности.

Методология, выбранная в данной работе, выявила условие существования процесса деятельности экипажа, что при дальнейшей разработке дало возможность создать адекватные модели. Полученная технология обеспечения пожарной безопасности в условиях деструктивного воздействия среды может стать совершеннее. Для этого необходимо расширить управленческие модели и разбить сетевые модели до простейших функционалов.

Главный вывод проведенной работы заключается в том, что люди гибнут не из-за того что не умеют бороться с пожарами, а потому что им не хватает времени на распознавание угрозы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bekaev A.A., Stokov P.I., Koval'chuk A.Yu. New fire extinguishing method / Russian Engineering research / New York: Allerton Press, 2012, Vol. 32, №1, p.p. 75-77
2. Патент РФ на изобретение №2484862 С1 (опубл. 20.06.13) «Способ защиты объекта от пожарной опасности» (авторы: Бекаев А.А., Максимов Ю.В., Соковиков В.К., Строков П.И., Ковальчук А.Ю.)
3. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под ред. М.Д. Агеева. – С.: Наука, 2005. 398 с.
4. Корабельный устав Военно-морского флота Российской Федерации. Указ президента РФ от 31.07.2022 №511 «Об утверждении Корабельного устава ВМФ (статья 61 Корабельного устава ВМФ)
5. Dawson L., Deary V., Amy F. The psychological and social aspects of a physical rehabilitation programme for fire service personnel //International Journal of Therapy and Rehabilitation. – 2014. – Т. 21. – №. 5. – С. 232-239.
6. В.В. Беломорец «Дальний поход», Выпуск №10 «Вопросы проектирования подводных лодок». ЦКБ МТ «Рубин». СПб, 1996 г.
7. «Как устроена служба на подводной лодке» URL: <https://kak-eto-sdelano.livejournal.com/546712.html> Дата обращения: 08.02.2023
8. «Чем опасна служба на подводной лодке» URL: <https://fishermanboat.ru/chem-opasna-sluzhba-na-podvodnoy-lodke/> Дата обращения 14.02.2023
9. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.002-2014 «Система стандартов безопасности труда. Термины и определения» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 октября 2015 г. № 1570-ст).
10. Ефремов С. В. Опасные технологии и производства. Техногенные опасности: учебное пособие. – 2008.
11. Барков А. Н., Попов В. М., Шульга Л. В. Анализ существующих математических подходов к оценке профессионального риска //Известия Юго-

Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – №. 2-3. – С. 296-300

12. Андреев А. В., Бурлов В. Г., Гомазов Ф. А. Технология управления процессами обеспечения безопасности трудовой деятельности //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т. 7. – №. 4. – С. 276-281

13.Burlov V., Andreev A., Gomazov F. Mathematical model of human decision-a methodological basis for the realization of the human factor in safety management //Procedia Computer Science. – 2018. – Т. 145. – С. 112-117.

14. Андреев А. В., Бурлов В.Г., Бызов А.П., Гомазов Ф.А. Методологический подход к оценке эффективности управления охраной труда на производстве //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8. – №. 1. – С. 191-196.

15.Попов А. М., Сотников В. Н. Экономико-математические методы и модели //М.: Юрайт. – 2011. – Т. 479.

16.Спиридонов Э.С., Телятникова Н. А. Сетевое планирование в строительстве: Учебное пособие, М.: РУТ (МИИТ), 2018. – 75 с.

17.Burlov V., Andreev A., Gomazov F. Development of a model for the management of environmental safety of the region, taking into account of the GIS capacity //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 193. – С. 02038.

18.Burlov V., Gomazov F. Method of mathematical justification for using 3D zebra crossing //Transportation research procedia. – 2018. – Т. 36. – С. 95-102.

19.Burlov V., Grachev M. Development of a mathematical model of traffic safety management with account for opportunities of web technologies //Transportation Research Procedia. – 2017. – Т. 20. – С. 100-106.

20.Федорец А. Г. Системный анализ сущности и структуры" риска" в сфере обеспечения безопасности труда //Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3. – №. 1. – С. 15-23



- 21.Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем //Принципы системной организации функций.–М.: Наука. – 1973. – С. 5-61.
- 22.Бурлов В. Г. О концепции гарантированного управления устойчивым развитием Арктической зоны на основе решения обратной задачи
- 23.Anokhin P.K. Systemic mechanisms Higher nervous activity Science.
- 24.Burlov V.G. 1 The concept of security of an information-computing system in conditions of hardware distraction Fundamental research in technological universities Volume 2. Part 1. National security pp. 226-249 St. Petersburg, St. Petersburg State Technical University, 2004
- 25.Бурлов В.Г. (2004). О философии информационной войны. В кн. «Фундаментальные исследования в технических университетах». Том 2. Часть 1. Национальная безопасность, стр. 132-148, – СПб. С-ПбГТУ, 2004.
- 26.Бурлов В.Г. (2004)1 Концепция безопасности информационно-вычислительной системы в условиях разрушения программно-аппаратной среды. В кн. «Фундаментальные исследования в технических университетах». Том 2. Часть 2. Национальная безопасность, стр. 226-249, – СПб. СПбГТУ, 2004
- 27.Burlov V., Gomazov F. Method of mathematical justification for using 3D zebra crossing //Transportation research procedia. – 2018. – Т. 36. – С. 95-102.
- 28.Georgievich V. B. Information Warfare: Modeling a Decision Makers Processes //European Conference on Cyber Warfare and Security. – Academic Conferences International Limited, 2018. – С. 66-X.
- 29.Бурлов В. Г. О концепции гарантированного управления устойчивым развитием Арктической зоны на основе решения обратной задачи //Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2015. – №. 2. – С. 99-111.
30. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»