



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Безопасность технологических процессов
и производств»

Учебное пособие

«Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ»

Автор
Омельченко Е.В.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Предназначено для подготовки бакалавров направления 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов и производств» всех форм обучения.

Содержит основные термины, определения в области производственной безопасности и требования, предъявляемые к расчету и выбору технологического оборудования систем обеспечения КУТ при проектировании рабочих зон.

Автор

к.т.н., доцент
кафедры «БТПиП»
Омельченко Е.В.



Оглавление

Введение	5
Тема 1. «Предупреждение возникновения несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве с помощью научных методов»	6
Тема 2. «Определение допустимых параметров, обеспечивающих производственную безопасность с помощью карт условий труда (КУТ)»	16
Тема 3. «Количественный метод управления профессиональными рисками на предприятии» [5].....	21
Тема 4. «Физический подход оценки уровня безопасности человека в эрготических системах» [7]	36
Тема 5. «Оценка безопасности человека в урбанизированной среде» [8].....	43
Тема 6. «Оценка безопасности системы человек-машина-среда параметрами риска»	45
Тема 7. «Управление профессиональными рисками на примере механообрабатывающего цеха» [10]	52
Тема 8. «Проверка соответствия требованиям безопасности технологического оборудования строительного предприятия – АБЗ»	61
8.1 Расчет безопасной ширины уступа площадок карьера	61
8.2 Расчет безопасных размеров параметров работы экскаваторов	62
8.3 Выбор и расчет дробильно-помольного оборудования с учетом безопасных требований производства асфальтобетона	65
8.4 Расчет безопасной работы машин для тонкого измельчения (помола) материала.....	67
Тема 9. «Обеспечение безопасности КРБ»	71



Литература..... 104

Приложения..... 106

Приложение 1 КАРТА УСЛОВИЙ ТРУДА (КУТ) НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ..... 106

Приложение 2 ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ..... 107

ВВЕДЕНИЕ

Человек, работая на промышленном предприятии, постоянно подвергается воздействию различных опасностей. Причинами опасных ситуаций на производстве могут быть несовершенство технологических процессов и оборудования, износ технологического оборудования и его отдельных деталей, использование в качестве сырья и материалов горючих, агрессивных и токсических веществ, некомпетентность и ошибочные действия производственного персонала и многие другие. В реальных производственных условиях часто возникают ситуации, когда здоровье, а иногда и жизнь человека, зависят только от его своевременных и грамотных действий.

Технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте, подлежат сертификации на соответствие требованиям промышленной безопасности.

Цель учебного пособия: приобретение студентами навыков выбора технологического оборудования с учетом требований производственной безопасности, овладение методикой проектирования систем обеспечения безопасности труда на производстве.

ТЕМА 1. «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ С ПОМОЩЬЮ НАУЧНЫХ МЕТОДОВ»

Общие сведения

Параметрами производственной среды, которые влияют на состояние здоровья человека, являются следующие факторы (около 100 видов):

- **физические факторы:** климатические параметры (температура, влажность, подвижность воздуха), электромагнитные поля различного волнового диапазона (ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное – тепловое, лазерное, микроволновое, радиочастотное, низкочастотное), статическое, электрическое и магнитное поля, ионизирующие излучения, шум, вибрация, ультразвук, аэрозоли раздражающего действия (пыли), освещенность (отсутствие естественного освещения, недостаточная освещенность);

- **химические факторы:** вредные вещества, в том числе биологической природы (антибиотики, витамины, гормоны, ферменты);

- **биологические факторы:** патогенные микроорганизмы, микроорганизмы-продуценты, препараты, содержащие живые клетки и споры микроорганизмов, белковые препараты.

По факторам производственной среды условия труда подразделяются на четыре класса (рисунок 1.1): **1-й класс** – оптимальные условия труда, **2-й класс** – допустимые условия труда; **3-й класс** – вредные условия труда; **4-й класс** – опасные (экстремальные) условия труда.

Работа в опасных (экстремальных) условиях труда (4-й класс) не допускается за исключением ликвидации аварий, проведения экстренных работ для предупреждения аварийных ситуаций. Работа должна проводиться с применением средств индивидуальной защиты и при строгом соблюдении режимов, регламентированных для таких работ.



Рисунок 1.1 Классификация условий труда по факторам производственной среды

К опасным (экстремальным) условиям труда можно отнести труд пожарных, горноспасателей, ликвидаторов аварии на АЭС. Экстремальные условия создаются, например, при превышении ПДК вредных веществ более чем в 20 раз, ПДУ шума – более чем на 50 дБ. Тяжелый и напряженный труд оказывает неблагоприятное влияние на состояние здоровья человека. Работа во вредных условиях должна осуществляться с применением средств индивидуальной защиты и при сокращении времени воздействия вредных производственных факторов (защита временем).

Вредные условия труда по степени превышения нормативов подразделяются на 4 степени вредности:

1-я степень – характеризуется такими отклонениями от допустимых норм, при которых возникают обратимые функциональные изменения и возникает риск развития заболевания;

2-я степень – характеризуется уровнями вредных факторов, которые могут вызвать стойкие функциональные нарушения, рост заболеваемости с временной потерей трудоспособности, появление начальных признаков профессиональных заболеваний;

3-я степень – характеризуется такими уровнями вредных факторов, при которых, как правило, развиваются профессиональные заболевания в легких формах в период трудовой деятельности;

4-я степень – условия производственной среды, при которых могут возникнуть выраженные формы профессиональных заболеваний, отмечаются высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Например, при превышении предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны до 3 раз создаются вредные условия труда 1-й степени; при превышении от 3 до 6 раз – 2-й степени; от 6 до 10 раз – 3-й степени; от 10 до 20 раз – 4-й степени; при превышении предельно допустимых уровней (ПДУ) шума до 10 дБ (децибел) – 1-я степень вредных условий труда; от 10 до 25 дБ – 2-я степень; от 25 до 40 дБ – 3-я степень; от 40 до 50 дБ – 4-я степень.

Трудовая деятельность человека должна осуществляться в допустимых условиях производственной среды. Однако при выполнении некоторых технологических процессов в настоящее время технически невозможно или экономически крайне затруднительно обеспечить непревышение норм для ряда факторов производственной среды.

При создании **проблеморазрешающей системы безопасности труда** для производственного объекта, необходимо, чтобы она имела большее разнообразие или была способна создать такое разнообразие. Система должна обладать возможностью изменять своё состояние в ответ на возможное возмущение; разнообразие возмущений требует соответствующего ему разнообразия возможных состояний. В противном случае такая система не сможет отвечать задачам управления, выдвигаемым внешней средой, и будет малоэффективной. Отсутствие или недостаточность разнообразия могут свидетельствовать о нарушении целостности подсистем, составляющих данную систему в соответствии с законом необходимости разнообразия Эшби.

Системность в обеспечении безопасности производственной деятельности требует последовательного решения следующих четырех задач:

- идентификация (выявление) опасностей и вредностей на каждом рабочем месте и в каждой технологической операции;
- исключение опасностей путем выбора менее опасных вариантов технологии и оборудования;

- защита от оставшихся опасностей и вредностей путем подбора наиболее эффективных средств коллективной и индивидуальной защиты, применения автоматизации и дистанционного управления;
- оценка возможных аварийных ситуаций, локализация и ликвидация опасностей и вредностей при авариях.

Безопасность — это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключено проявление опасностей, а уровень риска деятельности не превышает приемлемый уровень.

Невозможность достижения абсолютной производственной безопасности предопределило введение понятия приемлемого (допустимого) риска.

Уровень приемлемого риска определяется в результате учета всех обстоятельств — технических, технологических, социальных и рассчитывается в результате оптимизации затрат на инвестиции в техническую и социальную сферу производства.

Величина приемлемого риска зависит от: вида отрасли производства, профессии, вида негативного фактора. Для потенциально опасных отраслей производства (например, угольной промышленности), опасных профессий (горноспасателей, пожарных и т. д.) величина приемлемого риска выше, нежели для отраслей и профессий, где количество опасных факторов меньше и уровень вредных факторов ниже.

Безопасность производственного процесса — это свойство данного процесса сохранять его безопасное состояние при протекании в заданных режимах в течение установленного времени.

Безопасность человека в процессе производственной деятельности обеспечивается применением максимально безопасных вариантов технологических процессов, выбором или созданием максимально безопасных видов оборудования и средств защиты, максимально безопасными вариантами организационно-технических мероприятий и правил личного поведения.

В соответствии со стандартом безопасности труда опасные и вредные производственные факторы в зависимости от природы возникновения делят на 4 группы: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Потенциальная опасность — это скрытая от человека опасность, которая в определенных условиях реализуется в виде травм или заболеваний.

Совокупность условий взаимодействия человека и производственной среды, при которых потенциальные опасности превращаются в реальные, называются **обстоятельствами**, а непосредственные события, следствием которых стал несчастный случай или авария, — **причинами** несчастных случаев и аварий.

Несчастный случай на производстве — сложное причинно-следственное событие, являющееся результатом недостаточно четко проработанных решений технологов, конструкторов, проектировщиков, организаторов производства и ошибочных действий непосредственных исполнителей.

Опасности и вредности в производственной, так же как и в природной и бытовой сферах, локализованы в пространстве и времени. Потенциально они существуют независимо от человека. Зону действия опасных факторов называют опасной зоной, а средства, позволяющие исключить или уменьшить действие на человека опасностей и вредностей при его нахождении в опасной зоне, называют средствами защиты.

Вероятность превращения потенциальной опасности в реальную зависит от взаимного расположения в пространстве и времени человека и опасной зоны.

При этом возможны три основных варианта:

- зона действия опасностей не совпадает с местонахождением человека;
- зона действия опасностей частично совпадает с местонахождением человека;
- зона действия опасностей совпадает с местонахождением человека.

Риск как показатель опасности используют в общей оценке при проектировании систем обеспечения безопасности объектов.

Если за критерий возможных негативных последствий принять риск, определяемый вероятностью проявления опасности во время пребывания человека в опасной зоне, то в первом случае риск исключен полностью, так как человек не имеет контакта с опасностями; во втором случае риск повреждения здоровья человека возможен только в случае совпадения зоны действия опасностей по месту и по времени с местом пребывания человека или его органов; в третьем случае можно говорить о 100%-м риске повреждения здоровья человека. Во втором и в третьем случаях снизить уровень опасности, исключить или уменьшить риск можно, применяя специальные средства защиты, проводя организационные мероприятия и обучая персонал специальным приемам труда и правилам личного поведения. Количественно риск определяется как

отношение тех или иных нежелательных последствий в единицу времени к возможному числу событий.

Современное состояние общества, науки и производства, разработка прогрессивных средств защиты позволяют снизить риск гибели человека до уровня 10^{-6} —этот показатель, и принят за приемлемый риск.

Классификация опасных и вредных факторов облегчает и систематизирует их идентификацию. Категорирование работ по тяжести и напряженности труда накладывает определенные ограничения на параметры микроклимата и производственный шум. Категорирование зрительных работ по величине объектов по санитарным нормам требует соответственной величины санитарно-защитных зон для снижения негативного влияния предприятий на непромышленные зоны. Классификация помещений по опасности поражения током позволяет применить в соответствии с правилами устройства и правилами технической эксплуатации электроустановок соответствующее условиям эксплуатации электрооборудование и средства защиты от поражения током. Категорирование помещений по взрывопожарной опасности регламентирует выбор соответствующего класса огнестойкости зданий и сооружений, оборудования, этажность зданий и площадь этажа между противопожарными преградами, количество эвакуационных выходов и расстояние между ними, применение средств сигнализации и пожаротушения.

Стандартизация регламентирует на государственном уровне обязательные для выполнения требования, нормы и конкретные решения по обеспечению безопасности производственной деятельности (ССБТ).

Стремление получить данные для предвидения и возможного предупреждения несчастного случая вызвали в практике работы предприятий появление **монографического метода** анализа производственного травматизма, предусматривающего детальное исследование всего комплекса условий труда, в которых произошел несчастного случая: трудового и технологического процесса, рабочего места, основного и вспомогательного оборудования, средств защиты и т.д. Этот метод предусматривает широкое применение технических способов и средств исследования (испытание оборудования, измерение параметров производственной среды и др.). В результате появляется возможность выявить не только причины происшедшего несчастного случая, но и выявить потенциальные опасности в действующих и проектируемых производствах. На

основании этого метода вносятся изменения и усовершенствования технологических процессов с целью устранения опасных операций и общего улучшения условий труда.

Топографический метод изучения травматизма — это связывание причин несчастного случая с местом их происшествия. Все несчастного случая систематически наносятся условными знаками на планы цехов, в результате чего выявляются рабочие места и участки с повышенной опасностью, требующие тщательного обследования и принятия, предупредительных мер.

Экономический метод изучения травматизма — это определение потерь, вызванных производственным травматизмом, а также оценка социально-экономической эффективности мероприятий по предупреждению несчастного случая.

Наиболее полные и объективные результаты получают при комплексном сочетании рассмотренных методов.

Задача. Разработать научную основу планирования мероприятий по предупреждению несчастного случая и профессиональных заболеваний согласно схеме, показанной на рисунке 2 (на листе формата А2) и спрогнозировать безопасность труда на основании выявления зависимости травматизма и профессиональных заболеваний от производственных факторов.

Ход работы

Для выполнения задания необходимы многолетние статистические данные о травматизме и профессиональных заболеваниях по объектам.

Под **оптимальной системой**, к какой должна стремиться система БТ, понимается наилучшая в известном смысле система. Для того, чтобы среди возможных вариантов системы найти наилучший, необходим некоторый критерий, характеризующий эффективность достижения цели управления.

Этот критерий должен быть выражен в виде строгого математического показателя — **критерия оптимальности**, который бы однозначно характеризовал любой из возможных вариантов реализации системы. Каждому варианту исполнения системы в этом случае может быть поставлено в соответствие некоторое число. Наилучшим вариантом системы при этом следует считать тот, который даёт в зависимости от конкретной задачи и принятого критерия оптимальности минимальное или максимальное (в зависимости от цели управления) значение критерия. Таким образом, цель управления – это достижение экстремума критерия оптимальности.

Задача. На основании данных, представленных в таблице 1.1 определить вероятность возникновения в течение первого полугодия будущего года несчастных случаев в указанных группах. Дано: За время работы T , лет, в коллективных группах, N , шт, произошло n несчастных случая.

Ход работы

Вероятность безопасной работы P определяется по формуле:

$$P = (1 - T_3/NT)^n, \quad (1.1)$$

где T_3 – заданный промежуток времени, равный одному полугодю или двум кварталам;

Таблица 1.1 – Исходные данные

Параметр	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Время работы групп, лет	3,5	5	7,6	2,5	4	4,8	6,2	3
Количество коллективных групп, шт	3	4	5	6	4	5	3	6
Число НС за время работы, шт	3	4	5	3	4	5	3	4

N – число групп или объектов; T – период, за который были зафиксированы НС, квартал; n – число НС за время работы.

Вычисленное значение необходимо сравнить с вероятностью 0,95. В том случае, если вероятность безопасной работы меньше 0,95, то полной уверенности в безопасной работе за период T_3 нет.

Рекомендации для составления прогноза о безопасности труда

Система обеспечения безопасности на производстве – это адаптивная система (самоприспосабливающаяся система) – система, автоматически изменяющая алгоритмы своего функционирования и свою структуру с целью сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий; это сложная система, состоящая из множества взаимодействующих составляющих подсистем, вследствие чего сложная система приобретает новые свойства, которые отсутствуют на подсистемном уровне и не могут быть сведены к свойствам подсистемного уровня.

Существует три главных направления при проектировании систем обеспечения безопасности:

1. создание оптимальной физической среды, рассматривающей вопросы, связанные с анатомическими, антропометрическими, физиологическими и биомеханическими характеристиками человека, имеющими отношение к физическому труду. Наиболее актуальные проблемы включают рабочую позу, обработку материалов, расстройства опорно-двигательного аппарата, компоновку рабочего места, надежность и здоровье.

2. исследование психических процессов: восприятие, память, принятие решений, оказывающих влияние на взаимодействие между человеком и другими элементами системы. Соответствующие проблемы включают умственный труд, принятие решений, квалифицированное выполнение, взаимодействие человека и компьютера, акцент делается на подготовке и непрерывном обучении человека при проектировании социо-технической системы.

3. оптимизация социо-технических систем, включающих их организационные структуры и процессы управления. Проблемы включают рассмотрение системы связей между индивидуумами, управление групповыми ресурсами, разработку проектов, кооперацию, групповую работу и управление.

Исследование и проектирование систем "человек-коллектив", "человек – рабочая группа, экипаж, организация", "коллектив-машина", "человек-сеть", "коллектив-организация", "человек-сеть, сетевое сообщество" устанавливают взаимодействия на уровне рабочих мест и производственных задач. В эту сферу входят:

1. проектирование организаций;
2. планирование работ;
3. обитаемость рабочих помещений;
4. гигиена труда;
5. проектирование интерфейсов сетевых программных продуктов.

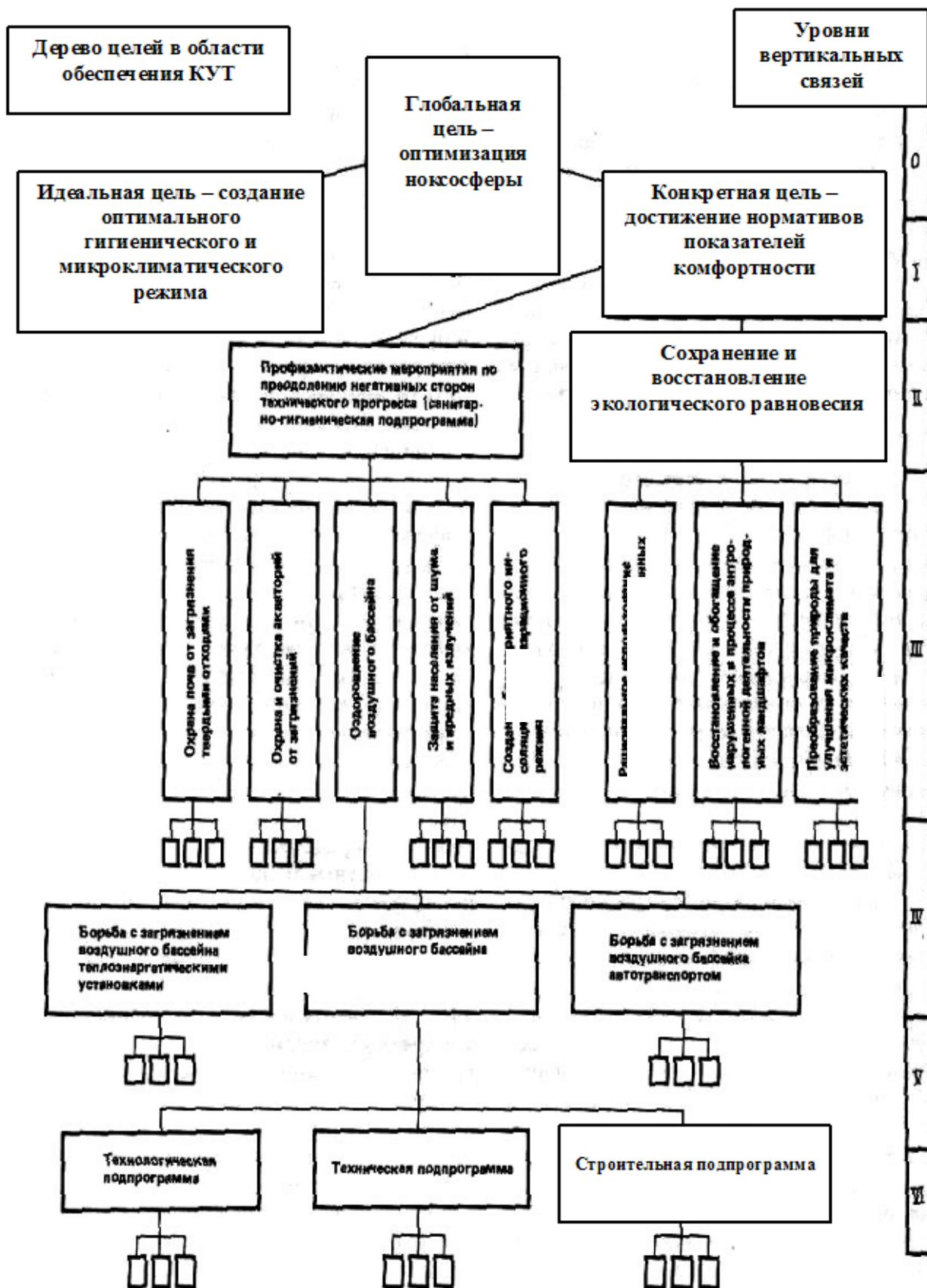


Рисунок 1.2 Дерево целей в области обеспечения безопасности на производстве

ТЕМА 2. «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПАРАМЕТРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ С ПОМОЩЬЮ КАРТ УСЛОВИЙ ТРУДА (КУТ)»

Общие сведения

Условия труда определяются совокупным воздействием различных параметров микроклимата X_i . Каждый из них определяет класс условий труда КЛУТ(X_i). Результирующий КЛУТ (РезКЛУТ) определяется в зависимости от условий работы. Условиями работы являются:

- рабочая поза (сидя или стоя),
- состав рабочего места;
- время (продолжительность) работы.

Результирующий КЛУТ определяется как наихудший класс по всем воздействующим параметрам микроклимата.

$$\text{РезКЛУТ} = \text{МАХ}_i \{ \text{КЛУТ}(X_i) \}, \quad (2.1)$$

причём перебор осуществляется по всем параметрам микроклимата X_i .

Среднесменная величина КЛУТ:

$$\langle \text{КЛУТ}(X_i) \rangle = (\sum_k \text{КЛУТ}(X_i) * \Delta T_k) / T. \quad (2.2)$$

Здесь суммируются значения КЛУТ(X_i), определяемые параметрами X_i , по интервалам времени ΔT_k , на которых вариации этих параметров не превышают допустимых значений; T – длительность рабочей смены ($T = \sum_k \Delta T_k$). Если результат использования этого соотношения дробный, он округляется до ближайшего большего целого.

Результирующий класс условий труда определяется тем же соотношением, что и для постоянных параметров микроклимата, с заменой классов условий труда по параметрам микроклимата X_i их средними значениями:

$$\text{РезКЛУТ} = \text{МАХ}_i \{ \langle \text{КЛУТ}(X_i) \rangle \}. \quad (2.3)$$

Классы условий труда устанавливаются на основании фактически измеренных параметров факторов рабочей среды и трудового процесса.

Например, для микроклимата в производственных условиях в качестве *факторов рабочей среды* выступают величины его параметров:

- температура воздуха, t_a , среднее по двум высотам измерений, °С;
- перепады температуры воздуха Δt_a по высоте, по времени, °С;
- температура поверхностей t_n (стены, ограждающие конструкции, экраны), °С;
- относительная влажность воздуха, ΔW , %;
- скорость движения воздуха V , среднее по двум высотам измерений, м/с;
- интенсивность теплового облучения I_R , среднее по трем высотам измерений; Вт/м²;
- индекс тепловой нагрузки среды ТНС, среднее по двум высотам измерений, °С.

Факторами условий труда являются:

- период (сезон) года (холодный или теплый);
- категории работы (по уровню энергозатрат);
- наличие или отсутствие источников лучистого тепла в рабочей зоне РЗ;
- если в РЗ существуют источники лучистого тепла, то при выполнении работ, связанных с существенным тепловым облучением, необходимо указать величину облучаемой поверхности тела работников.

В зависимости от совокупности факторов условий труда определяются границы параметров микроклимата, определяющих КУТ на обследуемом РМ (Приложение 1).

Применяя правила отношений к символическому представлению знаний о нормируемых параметрах, экспертные системы выносят суждения о классе условий труда. Программа может полностью взять на себя роль функций, выполнение которых обычно требует привлечения опыта человека-специалиста, или играть роль ассистента для специалиста, принимающего решение.

Результаты инструментального контроля оформляются протоколом инструментального контроля параметров микроклимата.

При оформлении протокола контроля в нем необходимо отразить показатели:

- температура наружного воздуха;
- температура наиболее холодного (теплого) месяца;

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

- параметры технологического процесса, оборудование и другие факторы, влияющие на микроклимат РМ (фазы технологического процесса, функционирование систем вентиляции и отопления, наличие источников ИК излучения и др.);
 - описание точек, выбранных с учетом технологического процесса;
 - расстояние от стен до РМ (больше 2 м, меньше 2 м и др.);
 - описание и продолжительность времени нахождения работника в течение смены;
 - площадь помещения и количество точек измерения;
 - категория работ (указать профессию, род деятельности);
 - среднесменные значения;
 - средние результаты всех измерений, выполненных не менее 3 раз в смену во всех точках, относящихся к РМ;
 - результаты сравнительных оценок данных измерений с нормативами.

Оценка и формирование сложной адаптированной системы микроклимата осуществляется с помощью приборов: термометра; психрометра; анемометра; актинометра; газоанализатора.

Задача. Произвести оценку условий труда по химическому фактору на основании Р.2.2.2006-05 и установить параметры, обеспечивающие безопасность труда.

Оценка условий труда по химическому фактору

При оценке условий труда наименования вредных веществ вносятся в графу 1 пункта 2 карты условий труда (КУТ) (Приложение 1). Класс условий труда устанавливается по максимальным разовым концентрациям вредных веществ (ПДК_{м.р.}). Допускается проводить оценку и по среднесменным концентрациям.

При оценке условий труда (определении класса вредности) следует обратить внимание на то, что:

1) если в воздухе рабочей зоны присутствуют несколько вредных веществ однонаправленного действия и они не превышают ПДК, то концентрацию каждого вещества делят на ПДК соответствующего вещества. Результаты складывают и полученную величину указывают в графе 4 карты. Если полученная величина превышает 1, то условия труда по химическому фактору считаются вредными и относятся к одному из классов (3.1, 3.2, 3.3, 3.4 или 4);

2) если одно вещество имеет несколько специфических эффектов (канцероген, аллерген и др.), оценка условий труда проводится по более высокой степени вредности.

Дано: концентрация химического вещества в воздухе рабочей зоны 1,3. Это вещество является канцерогеном и аллергеном. В качестве канцерогенного вещества его оценка соответствует классу 3.1, в качестве аллергена – классу 3.2. В итоге оценка составит 3.2. Определить класс условий труда для концентраций: 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,7; 2,0.

3) при работе с веществами, проникающими через кожные покровы и имеющими соответствующий гигиенический норматив, классы условий труда устанавливаются на основании графы 1 позиции 1 «Вредные вещества 1-4 классов опасности»;

4) при применении на рабочем месте вредных веществ, не имеющих ПДК, ОБУВ, методов их определения, принимается норматив для аналогов данного вещества. Для веществ 1-2 классов опасности, не имеющих норматива, устанавливается класс условий труда 3.3, для веществ 3-4 классов опасности – класс условий труда 3.1;

5) условия труда при воздействии вредных веществ «противоопухолевые средства, гормоны (эстрогены)» оцениваются классом 3.4, «наркотические анальгетики» – классом 3.2 только в случае лечения (проведение процедур по приготовлению растворов, введение их больным, утилизация) лекарственными средствами указанных веществ согласно приложению 6 к Инструкции, выполняемого медицинским персоналом;

6) при одновременном содержании на рабочем месте в воздухе рабочей зоны трех и более веществ с уровнями класса 3.1 условия труда оцениваются классом 3.2;

7) при одновременном содержании двух и более веществ с уровнями класса 3.2 или 3.3 условия труда оцениваются соответственно классами 3.3 и 3.4.

Дано: на рабочем месте электросварщика содержание оксида марганца превышает ПДК_{м.р.} в 1,2 раза (класс 3.1), оксида углерода – в 1,4 раза (класс 3.1) и оксида азота – в 1,3 раза (класс 3.1). Оценка условий труда по химическому фактору составит класс 3.2. Произвести оценку класса условий труда, если содержание оксида марганца превышает ПДК_{м.р.} соответственно в 0,5; 0,8; 1,3; 1,5; 1,8; 2,0 раза; оксида углерода – в 1,1; 1,3; 1,5; 1,7; 1,8; 2,1 раза и оксида азота – в 1,4; 1,6; 1,8; 1,95; 2,3; 2,5 раза.

8) итоговая оценка условий труда по химическому фактору устанавливается по химическому веществу, получившему наибольшую оценку и с учетом изложенного выше (трех и более факторов класса 3.1, двух и более факторов классов 3.2 и 3.3).

Задача. Произвести оценку интенсивности запаха для различных производств: аммиака, спирта, пива, минеральной воды, подсолнечного масла, асфальтобетона, молочных продуктов.

Оценка интенсивности запаха по шкале Райта:

1 балл – едва ощутимый запах (только чувствительные лица обнаруживают);

2 балла – слабый запах, не привлекающий внимания, но отмечается, если наблюдатели нацелены на его обнаружение;

3 балла – отчетливый, легко ощутимый запах;

4 балла – сильный по интенсивности, характеру, специфичности, обращает на себя внимание;

5 баллов – резко выраженный, невыносимый, исключающий возможность длительного пребывания в помещении.

Оценка не осуществляется, если запах отсутствует и не отмечается ни одним из наблюдателей.

Решение задач дает возможность дифференцировать рабочую зону по санитарно-гигиеническому критерию, что служит основанием для разработки схем планировочных ограничений, функционального зонирования, мероприятий по улучшению санитарно-гигиенических условий, а также даёт возможность сформулировать основные типологические требования к проектированию системы обеспечения безопасности с помощью КУТ.

ТЕМА 3. «КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ» [5]

Методика оценки профессионального риска согласно требованиям [5] должна быть простой и наглядной с возможностью применения руководителями и специалистами структурных подразделений предприятий; соответствовать требованиям воспроизводимости; результаты оценки рисков должны иметь количественное значение (в том числе использовать количественные шкалы и т.п.).

Существуют следующие количественные методики управления профессиональными рисками, действующие в настоящее время на зарубежных и отечественных промышленных производствах.

3.1. Метод вербальных функций (вербального описания) нежелательного события, ущерба, вероятности). Метод основан на вербальном описании последствий событий, которые привели к производственному травматизму или профзаболеваемости работников. Например, вербальное описание ущерба ставится в зависимость от случая получения малой, средней или высокой тяжести последствий опасной ситуации. Метод применяется для вербального описания вероятностей рассматриваемой опасности существенной, возможной, малой и т.д.

Преимущество — при оценке вероятности нежелательных событий и их последствий позволяет исключить субъективное мнение специалиста и, следовательно, определить более точные искомые значения, влияющие на повышение безопасности труда.

Недостаток — конечный результат данного метода направлен на минимизацию последствий какого либо исхода, а не на уменьшение вероятности наступления опасной ситуации, т.к. главной целью метода является анализ тяжести последствий при проявлении какого либо события. Метод применяется для вербального описания вероятностей рассматриваемой опасности (т.е. событий, которые уже произошли). Данная методика требует опыта работы специалиста в качестве эксперта, т.к. в основу методики заложена большая предварительная работа по оценке рисков. Следовательно, при оценке рисков существует большая вероятность пропустить существенные события, требующие вербального описания опасности, что приведет к искаженному конечному результату. На практике данный метод применяется, как правило, в сочетании с другими методами.

3.2. Косвенный метод оценки рисков на основе системы Элмери. Данный метод разработан и применяется в Финляндии. В основу системы заложено наблюдение за производственными условиями с использованием индекс Элмери, данное значение рассчитывается по формуле:

$$\text{инд.Элмери} = \frac{n. \text{"хорошо"}}{n. \text{"хорошо"} + n. \text{"плохо"}} \times 100\%$$

Индекс Элмери отражает отношение значений производственных факторов в процентах, влияющих на безопасность производственного процесса.

Преимущество — методика является наглядной и простой в применении. В процесс оценки рисков участвуют работники, что позволяет вовлекать и информировать о состоянии безопасности производственного процесса практически весь производственный персонал предприятия.

Недостаток — отсутствуют подгруппы и разграничение, разделяющие факторы производственного процесса, т.е. учтенный фактор производства как вредный при определенных условиях технологического процесса может быть опасным, приводящим к производственному травматизму. Следовательно «исчезает» критерий важности оценки риска, что приводит к невозможности определить «критические» риски, требующие немедленного реагирования (уменьшение влияния риска). Система Элмери констатирует имеющиеся на рабочих местах опасности с целью их наблюдения, а не выявляет их заранее, с целью предотвращения.

3.3. Анализ «видов и последствий отказов». Основу метода составляют следующие этапы: идентификация возможных отказов и их последствий, возникающих при работе оборудования; выявление главных причин появления возможных отказов; разработка первоначальных действий по ликвидации причин или предотвращению последствий отказов. Далее все необходимые данные заносятся в сводную таблицу, где наглядно отображена последовательность необходимых действий.

Преимущество — в отличие от двух предыдущих методов, предусмотрено рассмотрение каждого основного параметра, приводящего к аварии в отдельности, что позволяет более детально рассмотреть каждый из них.

Недостаток — в практическом применении методика рассчитана на руководителей производства, что исключает участие рядовых сотрудников. Достаточно трудоемкая, сформирована на субъективном методе эксперта, что в итоге приводит к различным результатам оценки рисков на производстве.

3.4. Статистический метод оценки профессиональных рисков. Для оценки рисков данный метод предлагает расчет показателя профессионального риска по формуле:

$$V_{н.с.} = n_{н.с.} / N_p, 1 / (\text{чел.} / \text{год})$$

$$K_{н.с.} = 1000 \cdot V_{н.с.}, 1 / (1000 \text{ чел.} / \text{год}),$$

где $n_{н.с.}$ — число несчастных случаев на производстве в год на предприятии (в отрасли, на территории);

N_p — численность персонала, подвергающегося рассматриваемому риску в оцениваемом году.

Преимущество — Оценка риска базируется на фактически накопленных данных, что позволяет получить наиболее достоверные показатели оценки рисков на производстве.

Недостаток — не применяется при оценке рисков редких событий. При недостаточном объеме необходимой достоверной информации практическое применение данного метода не представляется возможным.

3.5. Вероятностно — статистический метод. В основе данного метода лежит теоретическая оценка параметров риска и математические модели исследуемого риска. Как правило, методика применяется на крупных предприятиях с большой среднесписочной численностью сотрудников. В математический аппарат заложена функция распределение несчастных случаев на производстве и величина предполагаемого ущерба.

Преимущество — имеет возможность в практическом применении, если имеющийся объем статистических данных недостаточно полный и требует дополнительной информации, которая дополняет имеющиеся данные теоретическими гипотезами.

Недостаток — Достоверность итоговых значений, полученных при помощи данной методики ниже, чем при применении метода статистического анализа.

3.6. Косвенный метод оценки рисков на основе ранжирования уровня требований, предъявляемых к безопасности труда на производстве.

В основу данного подхода заложена «концепция абсолютной безопасности» т.е. предположение о возможности исключения всех случаев нанесения ущерба здоровью и жизни работника в случае выполнения государственных нормативных требований по охране труда в т.ч. требования локальных актов организации, положений и т.д. Следовательно, при выполнении всех требований безопасности исключается возможность проявления рисков. Каждой группе требований присваивается весовой коэффициент важности для расчета индекса безопасности, рассчитываемого по формуле:

$$I = \frac{K_1 n_{во} + K_2 n_{вв} + K_3 n_{вр}}{K_1 n_{оо} + K_2 n_{ов} + K_3 n_{оп}} \times 100\%$$

где $K_{1,2,3}$ — весовые коэффициенты, относящиеся к группам обязательной, важной, рекомендуемой;

$n_{ов,оп}$ — общее количество требований безопасности, относящиеся к группам важные и рекомендуемые;

$n_{во,вв,вр}$ — количество выполненных в полном объеме обязательных, важных и рекомендуемых требований безопасности.

Преимущество — Метод может быть использован для быстрой и обобщенной оценки рисков на рабочих местах, где не требуется точность результата оценки. Итоги работы используются для сравнительной оценки рисков на рабочих местах.

Недостаток — все весовые коэффициенты и группы требований охраны труда выбираются в зависимости от субъективного мнения специалиста, который должен быть экспертом. Результат работы может быть недостоверным, также не учитывается квалификация специалиста. Следуя из «концепции приемлемого риска» утверждение об исключении рисков на рабочих местах некорректно, т.к. риск является неотъемлемой характеристикой самой производственной деятельности.

3.7. Метод оценки рисков на основе матрицы «вероятность — ущерб». Основывается на разработанной матрице «вероятность — ущерб». На пересечении значений, выявленных

экспертом, находится количественная оценка риска рассматриваемой опасной ситуации.

Преимущество — метод очень простой в применении на практике и не требует специализированного обучения.

Недостаток — результат работы данного метода полностью зависит от личного опыта эксперта, проводившего работу по оценке риска. Выводы по оценке рисков скорее являются полезной информацией для обоснования первоначальных действий, а не самим решением по управлению рисками. Отсутствует расчет вероятности для конкретного рассматриваемого события, что не может быть использовано на травмоопасных промышленных производствах.

3.8. Метод логического анализа «дерева событий».

Используется для идентификации опасности от потенциальной опасности рассматриваемого объекта. Рассматривается конкретный сценарий аварии, полученные данные группируются на три области: идентифицированная опасность; возможные проявления опасности; ущерб здоровью работника. Далее строится графическое изображение наступления предполагаемого ущерба при конкретной ситуации.

Преимущество — может применяться в сочетании с методом вербальных функций (вербальным описанием нежелательного события, ущерба, вероятности), что позволит получить более достоверный результат.

Недостаток — Данный метод, также как методы анализа «дерева отказов», «вида и последствий отказов» в соответствии с руководством [10], разработаны на основании законодательных требований промышленной безопасности опасных производственных объектов. Предназначены для специалистов организаций проектировщиков, страховщиков и разработчиков документации по промышленной безопасности и применяется с целью снижения аварийности. Следовательно, данную методику нерационально применять на производствах, не относящихся к опасным объектам.

3.9. Анализ «дерева неисправностей». Данный метод идентичен методу логического анализа «дерева событий». Различие в исходных данных, т.е. рассматриваются события (неисправности или отказ), приводящие к аварийному состоянию объекта. Неисправности связывают с механическими конструкциями, которые приводят в итоге к нежелательному событию, далее выстраивается дерево, где наглядно представлены все собранные сведения.

Преимущество — может быть применен к надежности технических систем на производстве, для выявления возможных неисправностей в оборудовании. Представленные в «дереве неисправностей» данные наглядно отражают первоначальные меры реагирования в конкретной ситуации, что дает возможность исключить аварии на исследуемом объекте.

Недостаток — Практическое применение данного метода требует привлечение экспертов и специализированных организаций. Применяется при разработке декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта.

3.10. Косвенный метод оценки рисков на основе определения класса условий труда. В основе данной методике лежит определение класса условий труда в соответствии с Руководством по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса, исходя из фактического значения опасных и вредных производственных факторов. Значение фактически выявленного уровня ОВФ на рабочем месте сравнивают с нормативными значениями ПДК или ПДУ, также учитывается класс тяжести и напряженности трудового процесса. В соответствии с выявленным классом условий труда определяют риск на рабочем месте.

Преимущество — выявленные классы условий труда могут быть использованы для расчета и характеристики индекса профессиональной заболеваемости. Данный подход может использоваться в качестве дополнения к другим методикам по оценке рисков.

Недостаток — использование метода более подходит для сравнительной оценки профессиональных рисков между показателями полученными в результате предыдущих оценок, т.е. оценка имеет информативный характер и не направлена на выявлении опасности на рабочих местах.

3.11. Метод Файна – Кинни (оценка индивидуальных рисков). Метод основан на сочетании степени воздействия на работника ВОФ, вероятности возникновения опасности на рабочем месте и последствий для здоровья работника. Для оценки индивидуального риска, вводится количественная степень этого риска, определяемая по формуле:

$$\text{Риск} = \text{Воздействие} \times \text{Вероятность} \\ \times \text{Последствие}$$

Для определения количественной степени индивидуального риска метод Файна-Кинни предлагает использование балльной

оценки риска для искомых значений на основе соответствующих шкал. Методика основывается на выявлении опасностей и оценки степени воздействия риска на рабочих местах.

Преимущество — метод достаточно простой и эффективный по информационной составляющей и в практическом применении. Его использование позволяет провести анализ и вести классификацию рисков в сфере здоровья и безопасности рабочего места по степени тяжести последствий рассматриваемого события, чего не предусматривает ни одна из перечисленных методик.

Недостаток — позволяет оценить только индивидуальные риски на рабочих местах, т.е. проводится оценка риска рабочего места по основным профессиям.

3.12. Экспертный метод. Применяется при отсутствии возможности построения математических моделей и необходимых статистических данных для оценки риска на производстве.

Преимущество — позволяет практическое использование при отсутствии статистической данных или необходимой исходной информации для оценки рисков на производстве. Может применяться при исследовании объекта риска с недостоверными, неизвестными или малоизученными исходными данными, которые необходимы для оценки риска.

Недостаток — результат оценки риска данным методом субъективен и зависит от опыта и знаний самого эксперта. Отбор первично информации для оценки рисков зависит от параметров на усмотрение эксперта необходимых для формирования оценочных шкал.

Аналитический обзор подходов к оценке профессиональных рисков выявил ряд недостатков существующих методик при применении их в практических целях на производствах, а также необходимость в разработке эффективного метода управления рисками, отвечающего современным условиям производства. На наш взгляд методика должна быть основана на достаточно простой математической модели, рассчитанной на её использование специалистами организаций. Она должна ориентироваться на идентификацию опасных и вредных производственных факторов, как главного параметра, влияющего на уровень производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Описание применяемых методов оценки риска и обоснования их применения.

В процессе оценки риска производственного объекта используются следующие методы:

- метод анализа риска и последствий отказов [ГОСТ Р 51901-2002];

- метод анализа диаграммы возможных последствий событий [ГОСТ Р 51901-2002].

При расчетах показателей риска:

- метод оценки индивидуального риска для наружных технологических установок [ГОСТ Р 12.3.047-98*];

- метод оценки коллективного риска.

Метод анализа риска и последствий отказов представляет собой качественный метод анализа, позволяющий идентифицировать последствия каждого отдельного компонента состояний. Данный метод представляет собой подход по принципу «снизу вверх» и рассматривает последствия состояний компонента системы по принципу «одно за одним».

Анализ риска и последствий отказов является описательным. В данном случае, в составе используемого метода, по всем выявленным компонентам системы, обладающим опасным потенциалом, анализируются возможные причины возникающих отклонений и оценены все возможные последствия.

Причиной его использования стала его возможность переработать достаточно большое количество информации и заложить основы для анализа диаграммы возможных последствий событий.

Метод диаграммы возможных последствий событий представляет собой совокупность количественных и качественных приемов, которые могут использоваться как при идентификации возможных исходов иницирующего события, так и при оценке вероятности их возникновения. Предполагается, что события в последовательности несовместимы и сумма их вероятностей равна 1.

Исходными данными для метода служат перечень иницирующих событий, выявленных с помощью метода анализа риска и последствий отказов и вероятность их возникновения, определяемая, как правило, из статических данных.

Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения иницирующего события на условную вероятность развития события по конкретному сценарию.

Полученные вероятности возникновения результирующих событий используются для дальнейших расчетов показателей риска.

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

Метод оценки индивидуального риска применим для расчета величины индивидуального риска на наружных установках при возникновении таких поражающих факторов, как избыточное давление, развиваемое при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей, и тепловое излучение при сгорании веществ и материалов.

Величину индивидуального риска R_B при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей рассчитывается по формуле:

$$R_B = \sum_{i=1}^n Q_{BVi} \cdot Q_{BVi} \quad (3.1)$$

где Q_{BVi} – годовая частота возникновения i -й аварии с горением газо-, паро- или пылевоздушной смеси на рассматриваемой наружной установке, 1/год;

Q_{BVi} – условная вероятность поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной установки, избыточным давлением при реализации указанной аварии i -го типа;

n – количество типов рассматриваемых аварий.

Величину индивидуального риска R_n при возможном сгорании веществ и материалов, указанных для категории B_n , рассчитаем по формуле:

$$R_n = \sum_{i=1}^n Q_{fi} \cdot Q_{fni} \quad (3.2)$$

где Q_{fi} – годовая частота возникновения пожара на рассматриваемой наружной установке в случае аварии i -го типа, 1/год;

Q_{fni} – условная вероятность поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной установки, тепловым излучением при реализации аварии i -го типа;

n – количество типов рассматриваемых аварий.

В формуле учитывается только одна наиболее неблагоприятная авария, величина Q_f для которой принимается равной годовой частоте возникновения пожара на наружной установке, а значение Q_{fn} вычисляется, исходя из массы горючих веществ, вышедших в атмосферу.

Условную вероятность Q_{BVi} поражения человека избыточным давлением при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей на расстоянии r от эпицентра определяем следующим образом:

- вычисляется избыточное давление ΔP и импульс i ;
- исходя из значений ΔP и i , вычисляется величину

"пробит" – функции P_i по формуле

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

$$P_r = 5 - 0,26 \ln(V) \quad (3.3)$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3}, \quad (3.4)$$

где ΔP – избыточное давление, Па;
 i – импульс волны давления, Па*с.

Например, условная вероятность поражения человека при значении $P_r=2,95$ – $Q_{вп}=2\%=0,02$, а при $P_r=8,09$ – $Q_{вп}=99,9\%=0,999$.

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением $Q_{фи}$ определяется следующим образом:

а) величина P_r определяется по формуле

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln(t * q^{1,33}) \quad (3.5)$$

где t – эффективное время экспозиции, с;
 q – интенсивность теплового излучения, кВт*м⁻², определяемая в соответствии с методом расчета интенсивности теплового излучения.

Для пожаров проливов ЛВЖ, ГЖ и твердых материалов

$$t = t_0 + x/u \quad (3.6)$$

где t_0 – характерное время обнаружения пожара, с, (допускается принимать $t=5$ с);

x – расстояние от места расположения человека до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает 4 кВт*м⁻², м;

u – скорость движения человека, м*с⁻¹ (допускается принимать $u = 5$ м*с⁻¹);

Коллективный риск определяет ожидаемое количество пострадавших в результате событий на объекте (аварий) за определенное время и рассчитывается отношением числа гибнущих людей при реализации результирующего события и вероятности наступления самого результирующего события.

Коллективный риск определяем по формуле:

$$R_k = \sum_{i=1}^n N_{гиб} * Q(A_i), \quad (3.7)$$

где $N_{гиб}$ – число людей, гибнущих при реализации данного сценария;

$Q(A_i)$ – вероятность реализации в течении года i -й ветви логической схем;

n – число ветвей логической схемы.

Вероятность реализации различных сценариев аварии рассчитываем по формуле:

$$Q(A_i) = Q_{ав} \cdot Q(A_i)_{стр} \quad (3.8)$$

где $Q(A_i)$ – вероятность развития аварии по i -й ветви логической схемы, рассчитанная методом анализа диаграммы возможных последствий события;

$Q_{ав}$ – вероятность возникновения иницирующего события.

Опасность и риск взаимосвязаны следующим соотношением:

$$H \cdot R = const,$$

где H – опасность гибели некоторого числа людей, приведенная к конкретному числу погибших при реализации сценария,
 R – риск воздействия поражающих факторов, основанный на вероятности реализации данного сценария, приводящего к гибели людей.

Рассчитывается F/N диаграмма по формуле:

$$F(N) = F \cdot N,$$

где $F(N)=const$,

F – вероятность реализации сценария,

N – число погибших при реализации данного сценария, причем принимаем, что значение N ограничено сверху максимальным количеством погибших, полученных на основании расчетов последствий события, происходящих по сценариям «дерева событий».

Далее рассчитывается константа $F(N)$ для сценария с наибольшим числом гибнущих людей, позволяющая вычислить вероятность реализации сценария F для ряда значений числа погибших N в диапазоне от единицы до максимального, полученного при оценке воздействия поражающих факторов.

Наиболее вероятный сценарий развития определяется на основе сценария с наибольшим показателем вероятности, этому условию соответствует сценарий, например, приводящий к парогазовоздушной фракции снаружи резервуара. Наиболее опасным принят сценарий с наибольшими людскими потерями.

Таблица 3.1 – Вероятность реализации аварийных ситуаций.

Результирующее событие	Вероятность	Число событий	Число пораженных
Взрыв, пожар резервуара	$4,6 \times 10^{-6}$	0	1
Взрыв ПГФ (снаружи резервуара)	$2,8 \times 10^{-5}$	0	0
Взрыв соседних резервуаров	$2,0 \times 10^{-7}$	1	1
Взрыв автоцистерны	$2,7 \times 10^{-7}$	0	2

При выборе сценариев проектных пожаров, учитывается количество пожарной нагрузки, ее свойства и расположение, вероятность возникновения пожара, возможная динамика его развития, особенности эвакуации и количество людей, находящихся в помещении. Выбор сценария и месторасположения очага пожара производится экспертным путем из условий, при которых возможно достижение критериев наилучшего значения.

Примеры

Сценарий 1: пожар, в результате замыкания электропроводки в подсобном помещении битумохранилища. Над очагом пожара формируется факел пламени и восходящий поток продуктов горения (свободная конвективная колонка), формируется задымленная зона, заполняющая объем помещения. По мере опускания нижней кромки слоя дыма эвакуационные выходы последовательно блокируются.

Сценарий 2: пожар, в результате замыкания электропроводки в подсобном помещении мазутоохранилища. Над очагом пожара формируется факел пламени и восходящий поток продуктов горения (свободная конвективная колонка), формируется задымленная зона, заполняющая объем помещения. По мере опускания нижней кромки слоя дыма эвакуационные выходы последовательно блокируются.

Сценарий 3: разгерметизация надземного резервуара, наиболее опасный возможный сценарий развития аварии, образуется пролив нефтепродукта с облаком топливовоздушной смеси и при наличии источника зажигания – взрыв.

Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год^{-1}) (далее – потенциальный риск) в определенной точке (а) как на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$R_i = \sum_{j=1}^J Q_j \cdot Q_{dij}(a) \cdot C_j, \quad (3.9)$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);
 $Q_{dij}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному иницирующему аварии событию;
 Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.
 Величина потенциального риска R_i (год⁻¹) в i -ом помещении здания объекта определяется по формуле:

$$P_i = \sum_{j=1}^J Q_j \cdot Q_{dij}, \quad (3.10)$$

где J – число сценариев возникновения пожара в здании;
 Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария пожара, год⁻¹;
 Q_{dij} – условная вероятность поражения человека при его нахождении в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.
 Условная вероятность поражения человека Q_{dij} определяется по формуле:

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}), \quad (3.11)$$

где $P_{эij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -ом помещении здания, при реализации j -го сценария пожара;
 D_{ij} – вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.
 Вероятность эвакуации $P_{эij}$ определяется по формуле:

$$P_{эij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}), \quad (3.12)$$

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

где $P_{э,пij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -ом помещении здания, по эвакуационным путям при реализации j -го сценария пожара;

$P_{д,вij}$ – вероятность выхода из здания людей, находящихся в i -ом помещении, через аварийные или иные выходы.

При отсутствии данных вероятность $P_{д,вij}$ допускается принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии.

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям $P_{э,пij}$ определяется по формуле:

$$P_{э,пij} = \frac{P_{д,вij} \cdot P_{э,пij} \cdot \sum_{k=1}^K D_{ijk} \cdot \tau_{rij} \cdot t_{ij}}{P_{д,вij} \cdot P_{э,пij} \cdot \sum_{k=1}^K D_{ijk} \cdot \tau_{rij} \cdot t_{ij} + \tau_{бlij}} \quad , (3.13)$$

где $\tau_{бlij}$ – время от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей), мин;

τ_{rij} – расчетное время эвакуации людей из i -го помещения при j -ом сценарии пожара, мин;

t_{ij} – интервал времени от начала реализации j -го сценария пожара до начала эвакуации людей из i -го помещения, мин.

Вероятность D_{ij} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности i -го помещения при реализации j -го сценария пожара определяется по формуле:

$$D_{ij} = \prod_{k=1}^K D_{ijk} \quad , (3.14)$$

где K – число технических средств противопожарной защиты;

D_{ijk} – вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи) k -го технического средства при j -ом сценарии пожара для i -го помещения здания.



При отсутствии данных по эффективности технических средств величины D_{ij} допускается принимать равными 0.

ТЕМА 4. «ФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ЭРГОТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» [7]

Эрготическая система – это открытая, динамически активная система, состоящая из человека, осуществляющего деятельность; орудий и средств труда; предметов деятельности и внутренней среды, которые взаимоувязаны определенной топологией. С позиции устойчивого развития эрготической системы одним из *основных интегральных свойств ее* является *безопасность* [7], как для элементов ее составляющих, так и для внешней среды.

В функционирующей эрготической системе элементы воздействуют друг на друга, на другие системы и их элементы, т.е. на человека, техническое устройство, внутреннюю и внешнюю среду, население, объекты экономики.

Элементы взаимодействуют при помощи вещества, энергии и информации. Деятельность человека в эрготической системе сопровождается воздействием на него энергии, вещества и информации, что вызывает определенные реакции человека, которые в совокупности и обуславливают условия жизнедеятельности.

Информация вторична, т.е. характеризуется принадлежностью конкретному элементу системы, виду энергии и вещества, поэтому величина информационного воздействия на человека является производной от передаваемых объемов вещества и энергии.

Проявления энергии и вещества относительно человека можно выразить через совокупность факторов воздействия. Необходимо принять то, что фактор воздействия представляет собой физическую величину, которую можно измерить или получить в результате расчетов. Все факторы воздействия целесообразно разделить на строго обусловленные и случайные. Такое разделение исходит из объективно действующих детерминированно-стохастических законов развития природы.

Общеизвестно, что изменение состояния сложной открытой системы есть результат ее обменных процессов с внешней средой. Исходя из этого, соотношение собственного энергопотенциала системы и энергии внешних возмущающих потоков обуславливает состояние системы в дискретный момент времени, поведение ее на заданном интервале времени и уровень возможных последствий. Тогда управление состоянием системы есть управление воздействием с целью минимизации отрицательных последствий и его можно осуществлять путем расчета временных и динамических характеристик системы. Ключевым моментом при

решении задачи управления является проблема оценки предаварийного состояния исследуемой системы. Решать эту задачу следует, на наш взгляд, с позиции учета и оценки физических характеристик эрготической системы с последующей оптимизацией уровня ее функциональности.

Под функциональностью системы будем понимать ее способность выполнять работу в заданных условиях на определенном интервале времени. В общем случае уровень функциональности системы есть отношение ее функционала (Φ) к общему потенциалу (Π) выраженное в процентах

$$\Phi = \frac{\varphi}{\Pi} \cdot 100, \% \quad (4.1)$$

Функционал системы характеризует ее текущие возможности по выполнению основной функции. Потенциал – обусловлен предельными значениями заданного параметра и способностью выполнять функции в полном объеме [1].

На ветви функциональности системы следует выделять соответствующие режимы:

1. Режим нормальной работы.
2. Режим предаварийного состояния.
3. Аварийный режим.

Для оценки текущего состояния эрготической системы (в любом режиме) целесообразно ввести физический показатель ее функциональной дестабилизации, характеризующий энергодбаланс взаимодействия системы и внешней среды.

В режиме нормальной эксплуатации система находится в состоянии энергетически адаптированного равновесия с внешней средой. С этих позиций энергодбаланс взаимодействия между ними можно представить как:

$$E_C \approx E_{B.C} \quad (4.2)$$

Переход системы в режим предаварийного состояния обусловлен, прежде всего, нарушением ее структурной организации («деформацией» отдельных элементов и связей), что создает условия для снижения функциональности системы в целом. В основе этого процесса всегда лежат физические закономерности, но из-за разнообразия и изменчивости действующих факторов эти зависимости приобретают вероятностный характер.

Изменение показателя функциональной дестабилизации системы ΔK_{∂} может быть представлено в виде функции ряда входных параметров x_1, x_2, \dots, x_n и времени t

$$\Delta K_{\partial} = \Psi(x_1, x_2, \dots, x_n; t). \quad (4.3)$$

Параметры x_i характеризуют условия эксплуатации, состояние элементов и другие факторы, влияющие на процесс формирования предаварийной ситуации. Конечно, при наличии только функциональной зависимости невозможно точно предсказать развитие данного процесса, т.к. сами аргументы x_1, x_2, \dots, x_n из-за непредвиденных изменений являются случайными величинами. В любом случае знание физической закономерности процесса перехода системы в предаварийное состояние коренным образом изменяет возможности по оценке хода процесса по сравнению, например, с экспертной оценкой на основе статистических наблюдений.

С целью повышения эффективности прогнозирования предаварийного состояния эрготической системы целесообразно воспользоваться рекомендациями теории самоорганизующейся критичности (Self-Organized Criticality, SOC). В соответствии с ней объективно существуют следующие универсальные признаки предаварийного состояния эрготических систем:

1. Увеличение времени реакции и релаксации

Считается, что с приближением к критическому переходу система все медленнее реагирует и восстанавливается от различных воздействий, все труднее возвращается в точку своего равновесия. В частности время реакции на внешние возмущения t_p и скорость восстановления функциональности v_{ϕ} отражают способность рассматриваемой системы инициировать внутренние компенсирующие процессы, направленные на устранение в ней неравновесности, т.е. проводить релаксацию системы. Первый показатель может считаться критерием оценки эффективности оперативного управления, т.к. характеризует временной интервал приведения в норму элемента системы (или системы в целом) после воздействия на них потоков возмущения внешней среды. Второй – определяет относительную восстанавливаемость системы и может быть рассчитан по формуле

$$v_{\phi} = \frac{\Delta \phi}{\sum t_p}, \text{ \% / час} \quad (4.4)$$

где $\Delta\varphi$ – удельная функциональность элемента, %. Равна отношению фактической производительности системы, которая определяется по датчикам контроля, с помощью экспертной оценки, пробным включением или расчетом, к нормативной (обусловленной требованиями НТД);

Σt_p – общее время релаксации элемента, час.

2. Рост автокорреляции

В системе, далекой от критического перехода, каждое следующее состояние является случайной величиной, не зависящей от предистории. В любой эрготической системе, находящейся в предаварийном состоянии, идет процесс накопления последствий остаточных признаков предыдущих состояний системы. Система несет на себе отпечаток предыдущих состояний, выраженный в виде роста коэффициента автокорреляции, который описывает степень сходства каждого нового значения состояния системы с предыдущим.

3. Рост амплитуды пульсаций энергии

Как известно, с помощью "преобразования Фурье" любая математическая функция может быть представлена в виде её спектральных составляющих, т.е. сигнал можно представить в виде суммы колебаний различных частот. В соответствии с рекомендациями SOC характерным признаком приближения сложной системы к критическому состоянию является порождение ею шумов (стохастических временных рядов) со спектром $1/f$. Представление процесса взаимодействия системы с внешней средой в таком виде позволяет оценить функциональность системы (в частности ее предаварийное состояние) по объективным затратам энергии на этот переход. Действительно, зная амплитуду пульсаций энергии системы на определенной частоте, мы можем легко определить количество энергии, в них заключенное из соотношения

$$E_c = A^2 \quad (4.5)$$

Условием перехода системы в аварийное состояние может считаться достижение ею критической амплитуды пульсаций энергии и равенстве частот пульсаций системы и внешней среды (случай энергетического резонанса)

$$|A| \rightarrow \max, f_c = f_{B.C} \quad (4.6)$$

При таких условиях может начаться интенсивный процесс разрушения системы, что соответствует аварийному режиму ее работы.

Если рассматривать изменения энергии системы за определенный интервал времени $\Delta E_c(t)$, появляется возможность оценки состояния системы по потере или приросту ее мощности ΔW . Поскольку каждая эрготическая система имеет области оптимального функционирования (пределы использования), то параметр ΔW может быть использован в качестве физического показателя уровня ее дестабилизации.

Такой подход оценки предаварийного состояния эрготических систем, на наш взгляд, позволит дополнить широко используемые на практике вероятностные подходы элементами детерминированности и повысить эффективность прогнозирования переходов системы в опасные состояния.

Любая современная эрготическая система функционирует в отсутствие всеобъемлющего знания о техносфере и ее составных частях, поэтому ее развитие сопряжено с неопределенностью, а, следовательно, и с риском. *Под риском в общем случае следует понимать деятельность человека в условиях выбора того или иного варианта действий при отсутствии полного знания о последствиях принимаемого решения.*

Стохастические факторы воздействия отличаются от детерминированных только тем, что они связаны случайными неконтролируемыми проявлениями вещества и энергии.

Так как обеспечить абсолютную безопасность человека невозможно, необходимо добиться того, чтобы характеристики окружающей среды соответствовали нормам. Для выявления данных характеристик рассмотрим человека в качестве элемента эрготической системы, имеющего три вида каналов общения с окружающей средой – энергетический, вещественный и информационный. При этом условиями нарушения внешнего гомеостаза являются следующие: либо человек получил (потерял) слишком большое (опасное) количество энергии, вещества или информации, либо скорость поступления (потери) их к человеку превышает максимально возможную для него ($V_{возд} > V_{релакс}$).

С учетом этих условий, полная система условий соблюдения внешнего гомеостаза будет иметь следующий формализованный вид:

$$E_i \langle E_{i.\max} ; \frac{dE_i}{dE} \langle F_{i.\max} \quad (4.6)$$

$$M_j \langle M_{j.\max} ; \frac{dM_j}{dt} \left\langle \left(\frac{dM_j}{dt} \right)_{\max} \quad (4.7)$$

$$I_k \langle I_{k.\max} ; I_k \neq 0 ; \frac{dI_k}{dt} \left\langle \left(\frac{dI_k}{dt} \right)_{\max} \quad (4.8)$$

где E_i, M_j, I_k – соответственно вид энергии, тип вещества, источник информации;
 \max – индекс, обозначающий максимально допустимое значение соответствующего параметра;
 $F_{i.\max}$ – предельно допустимая сила энергетического воздействия.

Можно предположить, что между объемами (массами) возмущающих потоков энергии, вещества, информации и скоростью их движения существует линейная зависимость. Тогда в соответствии с законами сохранения применительно к выделенному каналу справедливы соотношения, описывающие условия неразрывности ВЭИ-потоков т.е. скорость потока возмущения обратно пропорциональна сечениям рассматриваемых каналов и массам перемещающегося по ним вещества.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}, \quad (4.9)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}, \quad (4.10)$$

где v_1 и v_2 – скорость возмущающего потока в соответствующих точках ВЭИ-канала;
 S_1 и S_2 – условные площади поперечного сечения выделенного канала;
 m_1 и m_2 – относительная масса возмущающего потока в соответствующих точках ВЭИ-канала.

Отсюда следуют выводы:

1) Чем больше скорость воздействия, тем меньшими количествами энергии и вещества может быть достигнуто нарушение

условий внешнего гомеостаза, т.е. получен отрицательный эффект.

2) Чем больше площадь выделенного канала (зоны контакта воздействия), тем меньшая скорость потока требуется для нарушения условий внешнего гомеостаза.

3) Чем больше энергии и вещества перемещается по выделенному каналу воздействия, тем меньшие требования к скорости и потока и площади канала предъявляются с позиции нарушения условий внешнего гомеостаза.

Таким образом, определение уровня безопасности человека в производственной системе следует производить путем сравнения установленных максимально возможных безопасных значений параметров внешнего гомеостаза с соответствующими характеристиками окружающей среды. Процедура оценки безопасности человека в эрготической системе должна дополняться физическими показателями, рассчитанными с учетом всего комплекса находящихся в системе энергетических и вещественных объектов — потенциальных источников полей опасности.

ТЕМА 5. «ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ» [8]

Современные продукты питания все больше включают в себя новые вещества. Эти вещества применяют для улучшения вкуса, консистенции, цвета продукта и повышения срока годности продукта и, следовательно, направлены на улучшение его коммерческих характеристик. Безопасность продуктов питания для организма при этом как минимум не возрастает.

Анализируя состав продуктов питания выявлено 44 наименования различных пищевых добавок. В процессе проводимого мониторинга пищевых продуктов в надписях на их упаковках выявлено 2,3% пищевых добавок, которые являются запрещенными в Российской Федерации (выявлены в майонезах). 63,6% всех добавок способны оказать неблагоприятное воздействие на организм, но тем не менее их содержание в продуктах питания допустимо при условии не превышения их концентрации предельно допустимых значений (опасные добавки). 34,1% встретившихся добавок являются безопасными для здоровья человека.

В 2011-2012 гг. при анализе состава продуктов питания, выявлено 13 наименований различных пищевых добавок. Среди зарегистрированных в ходе исследования пищевых добавок 38,5% являются безопасными, 61,5% способны оказать неблагоприятное воздействие на организм и 12,5% из них запрещены к использованию в детском питании. Пищевые добавки из всех анализируемых продуктов, содержат сыры, пельмени, пресервы, творог и маргарин. Разработана система критериев оценки потребительской полезности пищевых продуктов [8].

$$K_{пц} = \frac{(k_1 + k_2 + \dots + k_n)}{n}, \quad (5.1)$$

где $K_{пц}$ – критерий потребительской ценности продукта,
 k_1, k_2, \dots, k_n – коэффициенты, которые учитывают разные аспекты продовольственной безопасности населения.

Предложены и получены численные значения следующих коэффициентов: ценовой коэффициент (определяет уровень приемлемости цены для покупателя на данный продукт); информационный коэффициент (учитывает соответствие информации на упаковке требованиям ГОСТа и содержание пищевых добавок); коэффициент нормативного качества (учитывает какой нормативный документ, используется для производства продовольственного то-

вара); коэффициент, учитывающий остаточный срок годности продукта; коэффициент химической безопасности продукта, (учитывает результаты органолептической оценки и данные биохимического состава).

Определив значения K_{nc} пищевых продуктов судят о потребительской ценности самого магазина:

$$K_{\text{м}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{nci}}{n} . \quad (5.2)$$

Главная цель потребителя – это приобретение товара по низкой цене высокого качества. С учётом полученных данных, возникает необходимость создания комплексного показателя или группы показателей, определяющих безопасность жизни человека в урбанизированной среде.

ТЕМА 6. «ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕК-МАШИНА-СРЕДА ПАРАМЕТРАМИ РИСКА»

Оценка безопасности системы человек-машина-среда (Ч-М-С) базируется на теории риска. Теория риска дает возможность прогнозировать наступление неблагоприятного события, обусловленного деятельностью человека, техническими причинами, воздействием окружающей среды в общей системе Ч-М-С.

Профессиональный риск интегрирует в себе риск несчастного случая на производстве и риск возникновения профессионального заболевания. Для их определения необходимы достаточно полные представления об источниках, обуславливающих возникновение соответствующих факторов риска, а также критериях количественной и качественной оценки каждого фактора риска и их совокупностей.

Анализ процессов взаимодействия людей друг с другом, средствами труда и окружающей производственной средой при выполнении определенной работы, позволяет находить источники и факторы риска в каждом элементе описывающей эти отношения эргономической модели: «человек – машина – среда».

Риск – сочетание частоты (вероятности) последствий конкретного опасного события. Математическое выражение риска R – это отношение числа неблагоприятных проявлений опасности n к их возможному числу N за определенный период времени, т.е.

$$R=n/N \quad . \quad (6.1)$$

Помимо этого, используется понятие «степень или уровень риска» P , т.е. вероятность наступления нежелательного события с учетом размера возможного ущерба от события. Степень (уровень) риска можно представить как математическое ожидание величины ущерба от нежелательного события:

$$P(m) = \sum_{i=1}^n p_i m_i \quad . \quad (6.2)$$

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

где p_i – вероятность наступления события, связанного с ущербом;
 m_i – случайная величина ущерба, причиненного здоровью, экономике и т.п.

Фактор вероятности наступления события может варьироваться в диапазоне, характеризующем уровень ожидания опасных событий: от абсолютно неожиданных и непредсказуемых, но допустимых отдаленно, до событий, которые можно ожидать через некоторое время. Абсолютно невозможное событие соответствует значению вероятности, равному нулю. Однако на практике ни одно событие не может рассматриваться как абсолютно невозможное, скорее вероятность может приближаться к нулю настолько, что событие рассматривается как фактически невозможное.

Ущерб, нанесенный возможным возникновением опасного события, может изменяться от совсем незначительного до катастрофического, когда может быть много смертельных случаев или иметь место материальный ущерб на сотни миллионов рублей.

Принято различать:

- индивидуальный риск – частота поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности;
- коллективный риск – ожидаемое количество смертельно травмированных в результате возможных аварий за определенный период времени;
- социальный риск – зависимость числа погибших людей от частоты возникновения события, вызывающего поражение этих людей.

Значение индивидуального риска используется для количественной оценки потенциальной опасности конкретного рабочего места, вида деятельности, рабочей зоны и т.д., социального – для интегральной количественной оценки опасных производственных объектов, характеристики масштаба воздействия аварии.

Специалистами Международной Организации Труда профессиональный риск квалифицируется с позиций «приемлемого уровня». Необходимость формирования концепции приемлемого риска обусловлена невозможностью создания абсолютно безопасной техники и, следовательно, абсолютно безопасного вида деятельности. Однако по характеру производства степень риска для различных видов труда отличается существенно и, как правило, можно добиться лишь того, чтобы риск не превышал определенной величины, а именно величину допустимого или приемлемого риска.

Под допустимым риском следует понимать действия, соответствующие руководящим документам, правилам и нормам по безопасности труда. Признаки допустимого риска обусловлены тем, что:

- риск должен соответствовать той цели, для которой и предназначается;
- эта цель может быть достигнута обычными не рискованными действиями;
- риск не должен переходить в заведомое причинение ущерба;
- объектом риска, как правило, должны являться материальные, вещественные факторы, но не жизнь и здоровье людей.

Структура профессионального риска показана на рисунке 6.1.

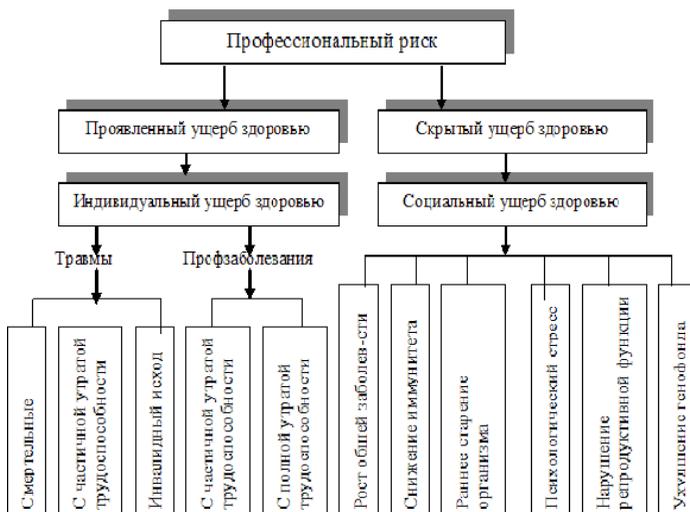


Рисунок 6.1 – Структура профессионального риска

В качестве показателя риска скрытого ущерба здоровью используют стохастическую величину времени сокращения продолжительности жизни (СПЖ), которая выражается в сутках на человека в год.

Шкала для количественного определения СПЖ связывает между собой скрытый ущерб здоровью, обусловленный воздействием на работающих неблагоприятных факторов производственной среды, и класс вредности условий труда в соответствии с действующим руководством Р2.2.755 – 99 «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Шкала оценки скрытого ущерба здоровью в зависимости от класса вредности условий труда

Класс вредности условий труда по Р2.2.755 – 99	Время сокращения продолжительности жизни, сутки за год	
	Диапазон	Среднее значение
3.1	2,5-5	3,75
3.2	5,1-12,5	8,75
3.3	12,6-25,0	18,75
3.4	25,1-75,0	50,0
4	75	-

Установление связи именно такого вида обусловлено тем, что оценка классов условий труда является обязательной процедурой при проведении аттестации рабочих мест на соответствие требованиям по охране труда.

Рассчитанные на основе предложенного показателя скрытого ущерба здоровью и шкалы для его определения риски ущерба здоровью для различных классов вредности условий труда и некоторых других распространенных неблагоприятных событий приведены в таблице 2.3, из которой следует, что риск ущерба здоровью человека, наносимого работой во вредных и опасных условиях труда (классы 3.4 и 4), по уровню сопоставим с риском получения производственной травмы.

Таблица 6.2 – Уровни риска некоторых неблагоприятных событий для работающего населения России

Содержание риска	СПЖ (сутки за год)	Риск на человека (за год)
Воздействие вредных условий при работе в условиях труда классов 3.4 – 4	25...75	$(25...75) \cdot 10^{-4}$
Воздействие вредных условий труда на границе классов 3.3 – 3.4	25	$25 \cdot 10^{-4}$
Воздействие условий труда на границе классов допустимого и вредного степени 3.1	2,5	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Летальный исход по причине производственного травматизма		$1,3 \cdot 10^{-4}$
Фиксируемое профзаболевание		$1,8 \cdot 10^{-4}$

Риск нанесения ущерба здоровью человека воздействием условий труда на границе классов допустимого и вредного степени 3.1 выше риска фиксирования профзаболеваний или летального исхода по причине производственного травматизма и сопоставим с современным риском летального исхода для жителя страны от транспортных травм. Риск ущерба здоровью человека воздействием вредных условий труда на границе классов 3.3 – 3.4 количественно сопоставим с современным риском летального исхода по причине онкозаболеваний, которые занимают третье место в структуре смертности населения России. Это требует повышенного внимания к условиям труда работающих как одной из главных задач безопасности жизнедеятельности.

Оценку совершенства производства работ по ремонту сельскохозяйственной техники предлагаем проводить с помощью уровня профессионального риска технологического процесса, который можно определить по формуле:

$$P_{III} = \frac{\sum (Y_i N_i)}{N}, \quad (6.3)$$

где Y_i – ущерб здоровью работой в условиях труда класса вредности i ($i = 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 4$), принимаемого по табл. 6.1;
 N_i – количество работающих в условиях труда класса вредности i ;
 N – общее количество занятых в технологическом процессе ремонта сельскохозяйственной техники.

Показатель P_{III} характеризует средний на одного занятого в технологическом процессе ремонта уровень риска скрытого ущерба здоровью вредными факторами производственной среды, тяжестью и напряженностью трудового процесса.

В разных задачах под риском понимают либо вероятность возникновения несчастного случая, либо масштаб возможного ущерба от аварии, либо комбинацию двух этих величин. При расчете риска необходимо учитывать выгоду, которую получает коллектив, когда на него идет (бесполезный риск недопустим, даже если он ничтожно мал). Величина риска многокритериальна, это скорее вектор, состоящий из нескольких компонент.

По мнению О.И. Ларичева существует четыре разных подхода к измерению риска.

1. Инженерный, который опирается на статистику аварий и несчастных случаев, на вероятностный анализ безопасности: построение деревьев отказов и деревьев событий. С помощью деревьев отказов предсказывают, во что может развиться тот или иной отказ техники, а деревья событий, наоборот, помогают проследить все причины, которые способны вызвать какое-то нежелательное явление. Когда деревья построены, рассчитывается вероятность реализации каждого из сценариев (каждой ветви), а затем – общая вероятность аварии на предприятии.

2. Модельный – построение моделей воздействия вредных и опасных факторов на человека–оператора. Модели могут описывать последствия как устойчивого функционирования системы «человек – машина – среда», так и ущерб от аварий в системе.

3. Экспертный, когда вероятность различных событий, связи между ними и последствиями аварий определяются не

вычислениями (как это производится в первых двух подходах), а опросом опытных экспертов.

4. Социологический – исследование отношения работающих к различным видам риска, например, с помощью социологических опросов.

На субъективное восприятие риска влияют множество факторов.

Значимость последствий. При оценке риска важную роль играет то, какие потребности человека будут удовлетворены с помощью данной технологии в случае благоприятного исхода и чем грозит ему неблагоприятный исход.

Распределение угрозы во времени. Люди относятся терпимее к частым мелким авариям, чем к редким катастрофам с большим числом жертв, даже если суммарные потери в первом случае намного больше, чем во втором.

Контролируемость. Человек готов идти на большую степень риска в ситуации, когда он может предпринять какие-то меры для предотвращения негативных последствий, когда многое зависит от его личных действий, а не только от стечения внешних обстоятельств.

Добровольность. Человек может примириться с риском в тысячу раз большим, если он принят им добровольно, а не навязан извне.

Новизна. Человек-оператор больше предпочитает старую, хорошо известную технологию, чем новую, с которой он мало знаком.

Эти особенности психологии человека необходимо учитывать, принимая решения, касающиеся риска.

ТЕМА 7. «УПРАВЛЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ НА ПРИМЕРЕ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕХА» [10]

Как известно, условия труда на рабочих местах характеризуются воздействием опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ). Большинство ОВПФ нормированы по предельно допустимому уровню, а условия труда регулируются государственными нормативными требованиями по охране труда. Несмотря на это в процессе работы воздействие ОВПФ может вызывать производственный травматизм и профессиональную заболеваемость причинами, которых являются: нарушения технологии производства, неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест, низкотехнологичные производственные операции с высокой долей ручного труда и большим количеством рискованных действий и т.д. [4]. В результате возникают значительные трудовые и экономические потери. Анализ обработанных статистических данных показывает, что в 2013 году состояние условий труда сохраняет тенденцию к ухудшению, рис. 7.1.

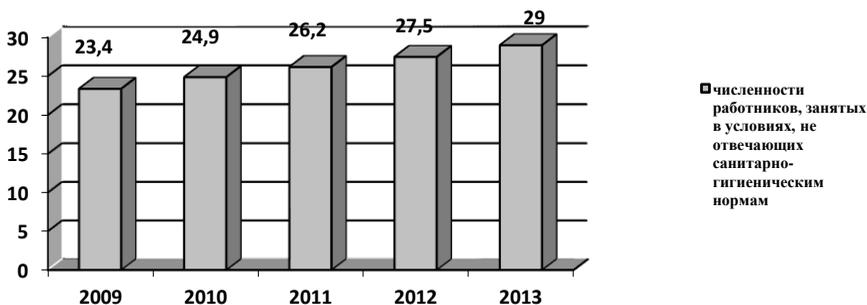


Рис. 7.1. Численность работников РФ, занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам (в процентах от общей численности работников тыс. чел.)

Как известно, для выявления ОВПФ могут быть использованы результаты аттестации рабочих мест по условиям труда или инструментальные измерения, проводимые в ходе производственного контроля. Обязанностью работодателя является ежегодное выполнение мероприятий по охране труда,

разработка плана мероприятий по улучшению условий труда. На эти цели предприятие ежегодно выделяет целевые средства. В условиях ограниченного финансирования указанных мероприятий в организации возникает необходимость в разработке экономически эффективного расходования средств. Используя инструмент управления рисками можно выбрать и внедрить первоочередные малозатратные предупредительные действия для сокращения наиболее возможных несчастных случаев.

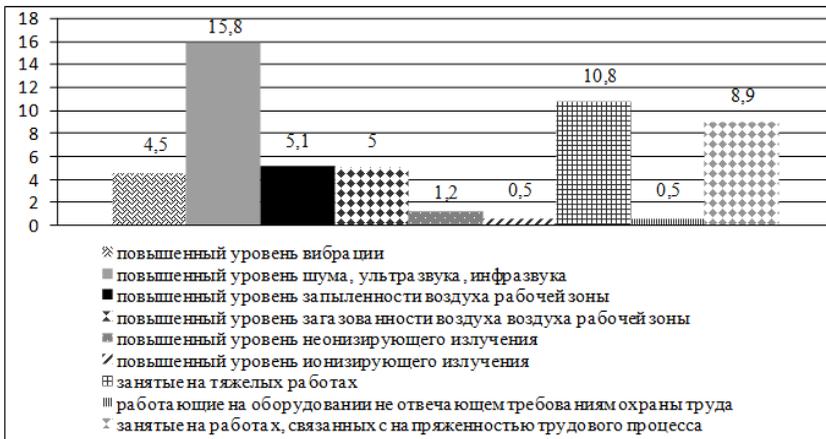


Рис. 7.2. Численность работников РФ, занятых во вредных и опасных условиях труда (конец 2013 года, в процентах от общей численности работников тыс. чел.)

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ



Рис. 7.3. Численность работников РФ, работающих под воздействием повышенного уровня шума, ультра- и инфразвука (в процентах от общей численности работников тыс. чел. соответствующего вида экономической деятельности)

Предлагается модель управления профессиональными рисками, включающая следующие этапы:

1. Проведение идентификации опасности на рабочих местах (т.е. выявление фактических значений ОВПФ на рабочих местах, используя результаты производственного контроля);

1.1. Присвоение класса условий труда для каждой идентифицированной опасности (используя руководство Р 2.2.2006 – 05);

1.2. Определение для идентифицированных опасностей балла профессионального риска;

2. Расчет интенсивности воздействия идентифицированных опасностей (I_i , ед.);

3. Определение экономически эффективного расходования средств на мероприятия по охране труда;

4. Распределение планируемой оценки риска ($X_{пл}$, баллы);

5. Расчет итоговой интенсивности воздействия идентифицированных опасностей ($I_{итог.}$, ед.);

5.1. Расчет остаточной интенсивности воздействия идентифицированных опасностей ($I_{остат.}$, ед.);

5.2. Проведение графического анализа остаточной интенсивности воздействия идентифицированных опасностей;

5.3. Расчет остаточной дозы воздействия идентифицированных опасностей на работников (D , ед.);

6. Расчет средневзвешенного балла профессионального риска идентифицированных опасностей (R_{cp} , баллы);

Этап 1. Проведение идентификации опасности на рабочих местах.

Используя результаты производственного контроля (ПК) выявляем фактические данные об уровнях ОВПФ, действующие на работников и требующих снижения. Выявление на рабочих местах ОВПФ — это процесс идентификации опасности. Все идентифицированные опасности на рабочих местах заносим в сводную табл. 7.1, графа 2.

Численность работников, находящихся под воздействием идентифицированной опасности, заносим в сводную табл. 7.1, графа 3.

Этап 1.1. Присвоение класса условий труда для каждой идентифицированной опасности.

Используя руководство Р 2.2.2006 – 05, каждой идентифицированной опасности присвоим соответствующий класс условий труда.

Отнесение идентифицированной опасности к тому или иному классу условий труда зависит от уровней (значений) показателей ОВПФ. Для этого сначала измеряем (рассчитываем) значение показателя ОВПФ в ходе производственного контроля, а затем используя Р 2.2.2006 – 05 сравниваем фактическое значение с нормативным предельно допустимыми значениями (ГДК, ПДУ). Степень превышения показателя ОВПФ является критерием отнесения конкретного ОВПФ, к какому либо классу условий труда. Следовательно, становится возможным каждой идентифицированной опасности присвоить соответствующий класс условий труда.

Этап 1.2. Определение каждой идентифицированной опасности балла профессионального риска. Каждому классу условий труда соответствует определенный профессиональный риск. Воспользовавшись предложенной методикой перевода классов условий труда в профессиональные риски, определим каждой идентифицированной опасности балл профессионального риска (табл. 7.2).

Этап 2. Расчет интенсивности воздействия идентифицированных опасностей. Интенсивность воздействия идентифицированной опасности (I_i , ед.) является количественным показателем условий труда и рассчитывается по формуле (7.1).

$$I_i = \sum_{i=1}^m N_i \times X_i, \text{ ед.} \quad (7.1)$$

где m — количество идентифицированных опасностей;

N_i — число работников находящихся под воздействием i — ой опасности, чел.;

X_i — начальная оценка фактического риска идентифицированной i -ой опасности, баллы.

Этап 3. Определение экономически эффективного расходования средств на мероприятия по охране труда. В условиях примера, на плановые годовые мероприятия по охране труда предприятие выделило средства в размере 214 тыс. руб. На ликвидацию идентифицированных опасностей на рабочих местах механообрабатывающего цеха, в соответствии со сметной документацией, требуется 227 тыс. руб., что на 13 тыс. руб. превышает установленный лимит средств. Также, необходимо заполнить графу 8 табл. 7.1 «наименование мероприятий», устраняющих воздействие идентифицированных опасностей на рабочих местах.

Этап 4. Распределение планируемой оценки риска ($X_{пл.}$, баллы). Распределение проводим в зависимости от выполненных мероприятий, устраняющих воздействие идентифицированных опасностей, т.е. в соответствии с выполнением данных мероприятий оценка риска $X_{пл.} = 2$ балла (табл. 7.2) т.е. допустимый класс условий труда. Данные о планируемой оценке риска заносим в сводную табл. 7.1, графа 9.

Этап 5. Расчет итоговой интенсивности воздействия идентифицированных опасностей ($I_{итог.}$, ед.). По формуле (7.2) применяя известные данные, рассчитаем итоговые значения интенсивности воздействия идентифицированных опасностей.

$$I_{умог.} = \left[X_i - \frac{P_{планов.}}{P_{планир.}} (X_i - X_{пл.}) \right] \cdot N, \text{ ед.} \quad (7.2)$$

Таким образом, рассчитывая значение для всех идентифицируемых опасностей, данные заносим в сводную табл. 7.1, графа 10, 11.

Этап 5.1. Расчет остаточной интенсивности воздействия идентифицированных опасностей ($I_{остат.}$, ед.). Как известно, полностью исключить профессиональные риски на рабочих местах невозможно, рисками можно управлять, уменьшая вероятность возникновения нежелательного события. Для этого по формуле (7.3) оценивается остаточная интенсивность воздействия идентифицированных опасностей.

$$I_{остат.} = \sum I_i - \sum I_{умог.}, \text{ ед.} \quad (7.3)$$

Этап 5.2. Проведение графического анализа остаточной интенсивности воздействия идентифицированных опасностей. Для более наглядного представления построена зависимость планируемого периода времени от остаточной интенсивности воздействия идентифицированных опасностей рис. 7.4. Из графика следует, что область под линией соответствует остаточной дозе интенсивности воздействия опасности, над линией планируемой, уменьшенной интенсивности воздействия.

Таблица 7.2. Перевод классов условий труда в баллы профессионального риска

Классы условий труда	Баллы профессионального риска, X_i , баллы
Оптимальный – 1 класс	1 – балл
Допустимый – 2 класс	2 – балл
1 степень 3 класса – 3.1 класс Вредные	3 – балл
2 степень 3 класса – 3.2 класс	4 – балл
3 степень 3 класса – 3.3 класс	5 – балл
4 степень 3 класса – 3.4 класс	6 – балл
Опасный – 4 класс	-

Этап 5.3. Расчет остаточной дозы воздействия идентифицированных опасностей на работников (D , ед.) производится по формуле (7.4).

$$D = \sum I_i \cdot T_L, \quad (7.4)$$

где I_i — интенсивность воздействия для каждого ОВПФ, рассматриваемого для определенного промежутка времени;
 T — продолжительность воздействия ОВПФ;
 L — число промежутков времени.

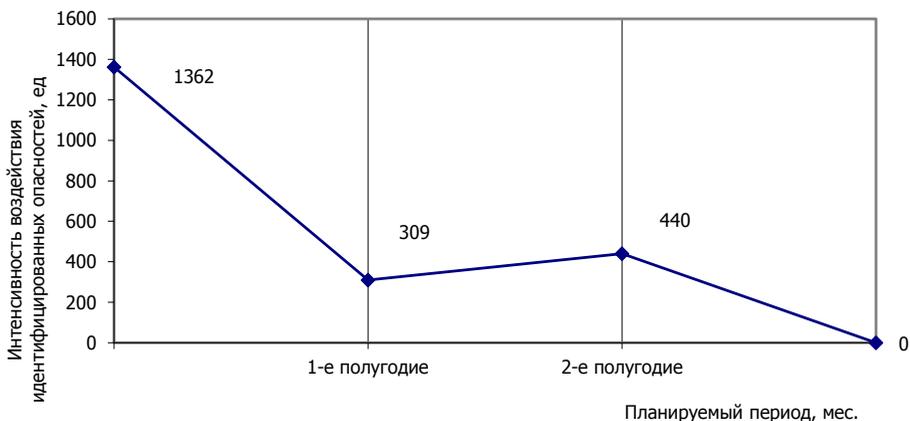


Рис. 7.4. Зависимость интенсивности воздействия идентифицированных опасностей от временного промежутка

Таблица 7.1. Итоговые результаты модели управления профессиональными рисками

№ п/п	Наименование идентифицированных опасностей на рабочих местах	Численность работников, находящихся под воздействием опасности, <i>N</i> ; чел.	Начальная оценка		Плановые расходы за 1-е полугодие тыс. руб.	Плановые расходы за 2-е полугодие тыс. руб.	Наименование мероприятий, устраняющих воздействие идентифицированных опасностей на рабочих местах	Планируемые результаты			
			фактического риска идентифицированной опасности, <i>X</i> ; баллы	интенсивность воздействия идентифицированной опасности, <i>I</i> ; ед.				оценка риска, <i>X</i> пл. баллы	Итоговая интенсивность воздействия идентифицированных опасностей, <i>I</i> итог. ед. 1-е полугодие	<i>I</i> итог. ед. 2-е полугодие	расходы на ликвидацию фактического риска идентифицированной опасности, тыс. руб.
Участок 1											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Повышенный уровень вибрации	43	3	129	13	10	Установка демпфирующих покрытий	2	105	110	23
2	Неблагоприятный микроклимат рабочей зоны	47	4	188	13	15	Приобретение воздушно-отопительной установки, монтаж тепловой завесы в дверном проеме	2	144	138	28
3	Недостаточное освещение раб. мест станочников	44	3	132	2	3	Замена и ремонт светильников	2	114	105	5
4	Физические перегрузки (с перемещением грузов вручную)	37	5	185	7	11	Внедрение подъемных механизмов	2	142	117	18
Участок 2											
5	Незащищенные подвижные элементы станков (соответствуют ТБ на 50 %)	45	4	180	10	12	Приобретение и монтаж защитных приспособлений	2	139	131	22
6	Недостаточная обеспеченность сан-бытовыми помещениями	35	3	105	7	8	Ремонт санитарно-бытового помещения	2	89	86	15
7	Повышенный уровень шума в помещении компрессорной	17	4	68	17	18	Приобретение акустического глушителя на компрессорные установки	2	51	63	35
Участок 3											
8	Повышенная запыленность воздуха раб. зоны	45	3	135	30	-	Монтаж местной вытяжной вентиляции	2	104	-	43
9	Повышенный уровень шума от металлообрабатывающих станков	48	5	240	20	18	Проектирование и монтаж звукоизолирующей оболочки вокруг станков	2	165	172	38
Итого:		361		1362	119	95			1053	922	227

Этап 6. Расчет средневзвешенного балла профессионального риска идентифицированных опасностей ($R_{ср.}$, баллы). Данный количественный показатель определяет общую оценку условий производственной среды. Для общей начальной оценки условий труда по формуле (7.5) рассчитываем средневзвешенный балл профессионального риска идентифицированных опасностей.

$$R_{ср.нач.} = \sum I_i / \sum N_i, \text{ баллы} \quad (7.5)$$

После планируемых мероприятий средневзвешенный балл профессионального риска идентифицированных опасностей рассчитывается по формуле (7.6).

$$R_{ср.нач.} = \sum I_i - \sum I_{умоз.} / \sum N_i, \text{ баллы} \quad (7.6)$$

Таким образом, в ходе проведенных теоретических исследований на примере механообрабатывающего цеха, разработана модель управления профессиональными рисками, получены обобщенные количественные показатели риска, действующие на работников в условиях современного производства. В отличие от ранее разработанных моделей, предложенная модель учитывает имеющуюся нормативную документацию последних лет и не требует специализированных знаний и громоздких вычислений.

ТЕМА 8. «ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ – АБЗ»

Задачи

8.1 Расчет безопасной ширины уступа площадок карьера

Основой сырья для производства асфальтобетонов, строительства оснований автомобильных дорог являются традиционные изотропные горные породы – граниты, базальты, песчаники, известняки, месторождения которых имеют ограниченное распространение.

Строительные и дорожные машины в процессе работы взаимодействуют с грунтом, естественными каменными и скальными материалами и породами или искусственными строительными материалами, обеспечивая при этом отделение разрабатываемой среды от массива, ее резание, копание или зачерпывание. Текущий коэффициент вскрыши K_v определяется, если слой полезного ископаемого постоянной мощности залегает горизонтально и его разрабатывают одним уступом, имеющим высоту 13,9 м, а покрывающие породы, залегающие также слоем постоянной мощности разрабатывают двумя способами подступами высотой соответственно 19,2 м и 7,4 м (рис. 8.1).

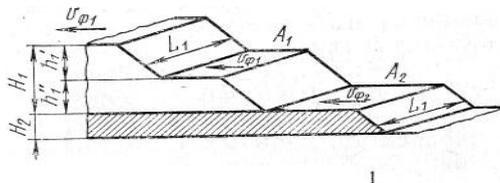


Рисунок 8.1 – Схема уступов в карьере

Так как текущий коэффициент вскрыши определяют за конкретный отрезок времени t , за месяц то за этот же период находят объемы вскрышных Q_1 и добычных Q_2 работ. По мере продвижения вскрышного забоя A_1 на расстояние L_1 добыча полезного ископаемого забоем A_2 продвинется также на расстояние L_1 а фронт работ будет постепенно подвигаться в направлении границы карьера со

средними скоростями (в м/месяц) $v_{\phi 1}$ и $v_{\phi 2}$. При постоянных значениях высоты уступов и подступов (в м³) получим

$$\begin{aligned} Q_1 &= t(h_1' + h_1'')L_1v_{\phi 1}, \\ Q_2 &= tH_2L_1v_{\phi 2} \end{aligned} \quad (8.1)$$

а так как вскрышные и добычные работы ведут одновременно, то скорости производств равны: $v_{\phi 1} = v_{\phi 2}$, при этом условии определим коэффициент вскрыши (в м³/м³)

$$k_e = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{t(h_1' + h_1'')L_1v_{\phi 1}}{tH_2L_1v_{\phi 1}} = \frac{h_1' + h_1''}{H_2} = \frac{H_1}{H_2} \quad (8.2)$$

$$\text{при } h_1' = 19,2 \text{ м, } h_1'' = 7,4 \text{ м, } H_2 = 13,9 \text{ м, } k_e = \frac{19,2 + 7,4}{13,9} = 1,91$$

м³/м³.

При мощности уступа добываемой породы 13,9 (число и мощности уступов пустой породы 19,2 м и 7,4 м коэффициент вскрыши составит 1,91 м³/м³).

8.2 Расчет безопасных размеров параметров работы экскаваторов

Одноковшовые экскаваторы используют для выполнения наиболее тяжелых и трудоемких работ, связанных с копанием грунта, т. е. с отрывом части его от целого массива, с перемещением порции грунта в ковше на небольшое расстояние путем поворота платформы и с погрузкой его в транспортные средства.

Определим длину стрелы, теоретическую и эксплуатационную производительность и основные размеры ковша для экскаватора ЭКГ – 3,2, используемого при разработке грунта – мелкого гравия, вид ковша – драглайн с зубьями, работа в отвал, угол поворота платформы – 90°.

Длину стрелы, м, одноковшового экскаватора, рассчитывают по эмпирической формуле

$$l_c = k\sqrt[3]{G}, \quad (8.3)$$

где G – масса экскаватора, т;
 k – коэффициент, равный 1,9 – 2,1 – для универсальных экскаваторов; 1,85 – для карьерных экскаваторов. Принимаем коэффициент $k=1,85$ (т.к. экскаватор карьерный).

В нашем случае экскаватор ЭКГ – 3,2 имеет массу $G=150$ (т). Подставив значения величин в формулу, получим

$$l_c = 1,85\sqrt[3]{150}, = 9,83 \text{ м}.$$

Теоретическая производительность (в м³/ч) определяется по формуле:

$$П_0 = 60qn, \quad (8.4)$$

где q – геометрическая емкость ковша, м³;
 n_0 – теоретическое число циклов в минуту при углах поворота платформы на разгрузку и в забой равных 90°, высоте забоя, равной высоте расположения напорного вала экскаватора при расчетных скоростях и усилиях

$$n_0 = \frac{60}{t_{ц.т.}}, \quad (8.5)$$

где $t_{ц.т.}$ – теоретическая производительность цикла, с.
 Мелкий гравий относится к II группе, значит емкость ковша принимаем $q=4$; для карьерного экскаватора ЭКГ – 3,2 теоретическая производительность цикла $t_{ц.т.}=22$ (с), следовательно

$$n_0 = \frac{60}{22} = 2,73 \text{ м}^3/\text{ч.}, \quad (8.6)$$

Исходя из полученных данных, вычислим теоретическую производительность экскаватора

$$П_0 = 60qn_0 = 60 * 4 * 2,73 = 655,2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

Эксплуатационная производительность (в м³/ч) определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{60nqk_n}{k_p}, \quad (8.7)$$

где q – геометрическая емкость ковша, м³;
 n – фактическое количество циклов в 1 мин (для строительных и карьерных экскаваторов $n=2-4$);
 k_n – коэффициент наполнения ковша ($k_n=0,55-1,5$);
 k_m – коэффициент использования экскаватора во времени, равный отношению числа часов чистой работы экскаватора; продолжительности рабочих смен отчетного периода ($k_m=0,7-0,8$);
 k_p – коэффициент разрыхления грунта.
 В нашем случае эксплуатационная производительность:

$$\Pi = \frac{60 * 4 * 3 * 1,5 * 0,8}{1,2} = 720 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определим геометрическую емкость ковша (в м³):

$$q = cBHl \quad (8.8)$$

где c – коэффициент, учитывающий форму днища и закругления стенок ковша ($c = 0,9$ — для ковша с зубьями, $c=0,75$ — для ковша с полукругло режущей кромкой);
 B, H, L — соответственно ширина, высота и длина ковша, измеренные по расстояниям между внутренними поверхностями соответствующих стенок ковша, а также днищем и верхней кромкой стенки ковша, м.

Для прямой и обратной лопаты высоту ковша H измеряют от стенки с зубьями на середине ее длины до стенки, к которой крепится рукоять. При более точном определении объема ковша H и L рассчитывают как средние значения предельных величин, ввиду того, что, например, ковш прямой лопаты для удобства разгрузки расширяется книзу. Т.к. драглайн с зубьями, принимаем коэффициент, учитывающий форму днища и закругления стенок ковша $c = 0,9$. Ширина ковша $B = \sqrt{q \cdot 1,2 / (c \cdot H \cdot l)}$; высота ковша

$$1 - 0,50 \cdot 4 \cdot 1,17$$

длина

ковша

$$1,9 \cdot 1,19 \cdot 2,06 = 4,2 \approx 4$$

Выполняем проверочный расчет: $q = 0,9 \cdot 1,9 \cdot 1,19 \cdot 2,06 = 4,2 \approx 4$, что не превышает значения погрешности коэффициентов.

8.3 Выбор и расчет дробильно-помольного оборудования с учетом безопасных требований производства асфальтобетона

Щековые дробилки используют для крупного и реже среднего дробления пород высокой и средней прочности. Первичное дробление осуществляется в щековых дробилках с простым качанием щеки, которые создают большие усилия при измельчении и позволяют перерабатывать куски горной массы размером до 700—1200 мм и более.

При измельчении различают дробление и помол. Дробление подразделяют на крупное — размер куска после дробления от 80 до 200 мм, среднее — от 20 до 80 мм, мелкое — от 2 до 20 мм. Помол подразделяют на грубый — размер частиц после помола от 0,2 до 2 мм, тонкий — от 0,01 до 0,2 мм и сверхтонкий — менее 0,01 мм.

Нормальная работа щековых дробилок мало зависит от влажности материала при дроблении пород с небольшим содержанием глины. При большом содержании глины и высокой влажности сырья (6%) производительность дробилок падает, особенно при среднем дроблении, из-за комкования материала.

Оптимальная угловая скорость и частота вращения вала щековой дробилки (рис 8.2), если ход щеки 23 мм = 0,023м, угол между щеками 19°, коэффициент торможения материала 0,8.

Угловая скорость эксцентрикового вала щековой дробилки (в рад/с) определяется по формуле:

$$\omega = k_r \pi \sqrt{\frac{g \operatorname{tg} \alpha}{\delta}}, \quad (8.9)$$

где k_r — коэффициент торможения материала при разгрузке ($k_r = 0,9$),

g — ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$),

α — угол между щеками ($\alpha = 15^\circ - 23^\circ$),

S – наибольший ход щеки по горизонтали у разгрузочного отверстия, м.

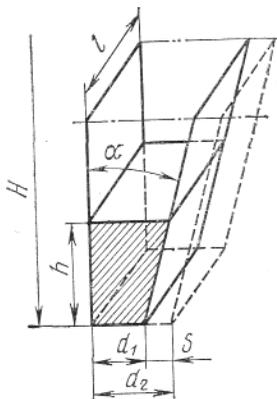


Рисунок 8.2 – Схема к определению угла между щеками щековых дробилок

Подставив величины значений, получим

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{22}{2 \cdot 314} = 35' \text{ об/с.}$$

Коэффициент рыхления 0,42, наименьшие размеры разгрузочной щели 54 м, ход щеки 73 м, угол между щеками 21,3°, вид материала – гранит крупнозернистый ($\rho=2700 \text{ кг/м}^3$), длина разгрузочного отверстия 600 мм=0,6 м. Производительность щековой дробилки определяется по формуле:

$$P = 3,6 * d_{cp} * \frac{S}{\text{tg } \alpha} * l * n * k_p * \rho, \quad (8.10)$$

где S – ход щеки по горизонтали у разгрузочного отверстия, м;
 α – угол между щеками, град. ($\alpha=15^\circ\text{-}23^\circ$);

l – длина разгрузочного отверстия равная ширине щеки, м;
 n – частота вращения вала;
 k_p – коэффициент разрыхления материала ($k_p=0,3-0,65$);
 d_{cp} – средний размер кусков выходящих из дробилки.

$$d_{cp} = \frac{(d+s)d}{2}; \quad d_{cp} = \frac{(7-5)40}{2} = 31$$

Отсюда,

$$П = 3,6 * 100 * \frac{54}{\operatorname{tg} 21,3^\circ} * 0,6 * 5,12 * 0,42 * 2,7 = 173646 \quad \tau/ч.$$

8.4 Расчет безопасной работы машин для тонкого измельчения (помола) материала

Шаровые мельницы используются после дробления и служат для помола и превращения сырьевых материалов в сырьевую муку. При вращении слоя шаров с барабаном шаровой мельницы на каждый шар действует сила тяжести, направленная вертикально вниз, и центробежная сила инерции.

Рассчитаем угловую и окружную скорости и частоту вращения барабана шаровой мельницы для сухого помола при гладкой футеровке и при футеровке бронеплитами с продольными ребрами (рис. 8.3), а также для мокрого помола и определим коэффициент загрузки, если барабан мельницы загружен мелющими телами до уровня 1920 мм = 1,92 м, внутренний диаметр нефутерованного барабана 2,7м = 2700 мм, угол $\alpha = 51,9^\circ$ по формулам:

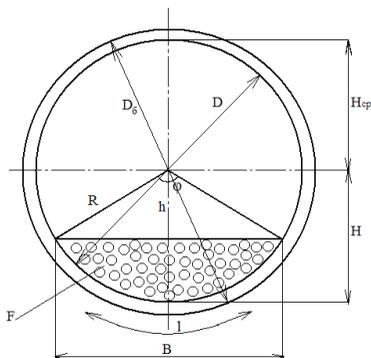


Рисунок 8.3 – Схема барабана шаровой мельницы заполненного мелющими телами

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

$$\omega = 31,4 \sqrt{\frac{c \cos \alpha}{R'}} \quad (8.11)$$

$$v = 31,4 R c \omega \quad (8.12)$$

$$n = 0,5 \sqrt{\frac{c \cos \alpha}{R'}} \quad (8.13)$$

где R — радиус окружности, описываемой центром тяжести шара, м;

ω — угловая скорость шара, рад/с;

n — частота вращения шара, с⁻¹;

v — окружная скорость шара, м/с.

В технической характеристике обычно указывают внутренние размеры не футерованного барабана, поэтому расчетный диаметр D определяем по формуле:

$$D_p = D_6 - 2\delta, D \approx 0,94 * D_6, \quad (8.14)$$

где D_6 — внутренний диаметр нефутерованного барабана, м;

δ — толщина футеровки равная равная 2,9-3,1% от диаметра барабана, м.

Внутренний диаметр нефутерованного барабана — 2,7 м, следовательно, $D_p \approx 0,94 * D_6 = 0,94 * 2,7 = 2,538$ м.

Определим радиус окружности описываемой центром тяжести шара:

$$R = D_p / 2 = 2,538 / 2 = 1,27 \text{ м.}$$

Рассчитаем угловую скорость, окружную скорости и частоту вращения барабана шаровой мельницы для сухого помола при гладкой футеровке:

Угловая скорость $\omega = 31,4 \sqrt{\frac{c \cos \alpha}{R}} = 31,4 \sqrt{\frac{c \cdot 0,9}{1,27}} = 2$
рад/с.

Окружная скорость: $v = 31,4 R c \omega = 31,4 \sqrt{1,27 \cdot 0,9} = 2$ м/с.



Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

Анализируя полученный результат, приходим к выводу, что коэффициент загрузки $k_3=0,32$ соответствует оптимальному значению, это значит, что барабан мельницы загружен в соответствие с требованиями.

Студенту: для самостоятельной работы

ТЕМА 9. «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КРБ»

Цель работы: произвести оценку влияния на безопасность труда климатических условий, конструкции и надёжности объекта обслуживания – комплекса разгонный блок «Фрегат», технической оснащённости и состояния рабочего места работника, а также овладеть навыками расчёта вероятности его безопасной работы.

Объекты изучения: элементы системы комплекса разгонный блок (КРБ) «Фрегат» на космодроме «Байконур» являются:

- воздух рабочей зоны,
- почво-грунты,
- растительный покров,
- атмосферный воздух,
- вода сточная,
- поверхностные воды,
- верхние слои атмосферы,
- околоземное космическое пространство (ОКП).

Общие сведения

НПО им. С.А. Лавочкина по заказу Министерства обороны РФ и Федерального космического агентства в соответствии с Тактико-техническим заданием №К-0664 разработан разгонный блок (РБ) «Фрегат», предназначенный для использования в качестве четвертой ступени с перспективной РН «Союз-2». Совместное применение РН «Союз-2» с РБ «Фрегат» позволит в полном объеме выполнять задачи, ранее не доступные для всей номенклатуры семейства ракет типа Р-7А (РН «Союз», «Молния», «Восток»). При этом обеспечивается выведение космического аппарата (КА) массой: до 4,78 тонн – на средние круговые орбиты; до 1,48 тонн – на высокие круговые орбиты; до 2,8 тонн – на высокоэллиптические орбиты; до 1,35 тонн – на геостационарную орбиту, а также выведение межпланетных станций на отлетные траектории. РБ «Фрегат» создан с учетом опыта разработки автоматических межпланетных станций типа «Луна», «Венера», «Марс», «Вега», «Фобос» и блока «Л», используемого в качестве четвертой ступени РН «Молния». Комплекс разгонного блока «Фрегат» создан на космодроме «Байконур» в интересах обеспечения национальной безопасности и обороноспособности страны, а также для решения научно-прикладных и народнохозяйственных задач.

Входящий в состав комплекса разгонный блок «Фрегат» разрабатывается как универсальная верхняя ступень для РН среднего класса, прежде всего, для модернизированной РН «Союз-У».

Проведенная оценка воздействия КРБ «Фрегат» на окружающую среду при штатной эксплуатации показывает, что комплекс при создании и эксплуатации оказывает незначительное и локальное воздействие на ОС в районе космодрома «Байконур» и на околоземное космическое пространство (в том числе и ионосферу). Непосредственно создание и эксплуатация комплекса разгонного блока «Фрегат» на космодроме «Байконур» не приведет к ухудшению экологической ситуации в районах эксплуатации комплекса.

В состав комплекса разгонного блока (КРБ) «Фрегат» входят (рис. 9.1):

- разгонный блок (РБ) «Фрегат»;
- сборочно-защитный блок;
- технический комплекс РБ;
- Для обеспечения подготовки и функционирования КРБ «Фрегат» функционально привлекаются:
 - комплекс ракеты-носителя (КРН) типа «Союз-У»;
 - заправочная станция (ЗС) 11Г12;
 - комплект средств измерений, сбора и обработки информации (КСИСО);
 - средства транспортировки РБ;
 - технический комплекс космической головной части (ТК КГЧ).

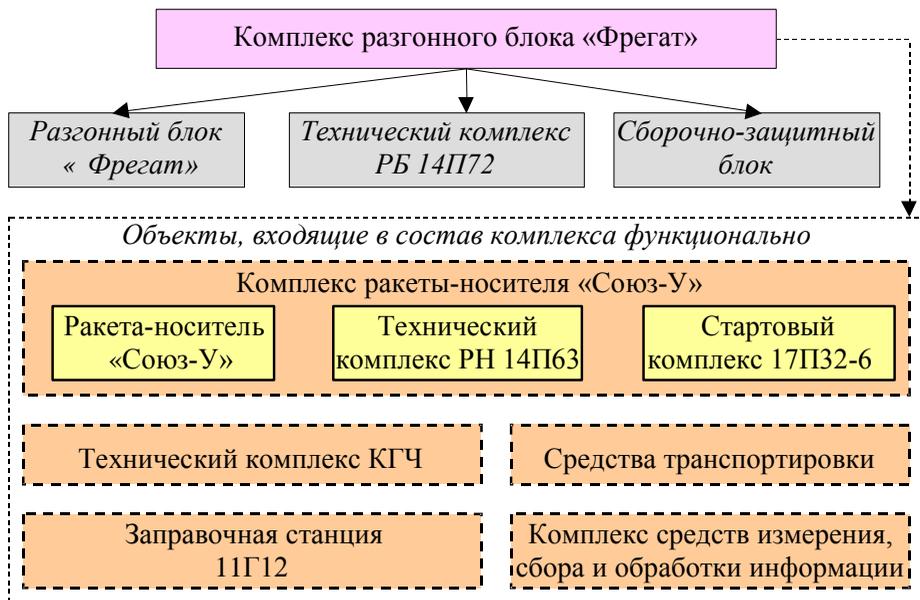


Рис. 9.1 Состав комплекса разгонного блока «Фрегат»

Разгонный блок «Фрегат» создан как унифицированная верхняя ступень ракет-носителей и позволяет решать следующие задачи:

- доведение головного блока с орбиты, формируемой ракетой-носителем, на опорную орбиту;
- выведение КА с опорной орбиты на высокоэнергетические орбиты, в т.ч. на геостационарную и геопереходную;
- ориентация и стабилизация головного блока на пассивных и активных участках полета;
- построение заданной ориентации перед отделением КА;
- формирование и выдача команд на сброс головного объекта (при необходимости), отделение головного блока и отделение КА.

Внешний вид разгонного блока «Фрегат» представлен на рис. 9.2.

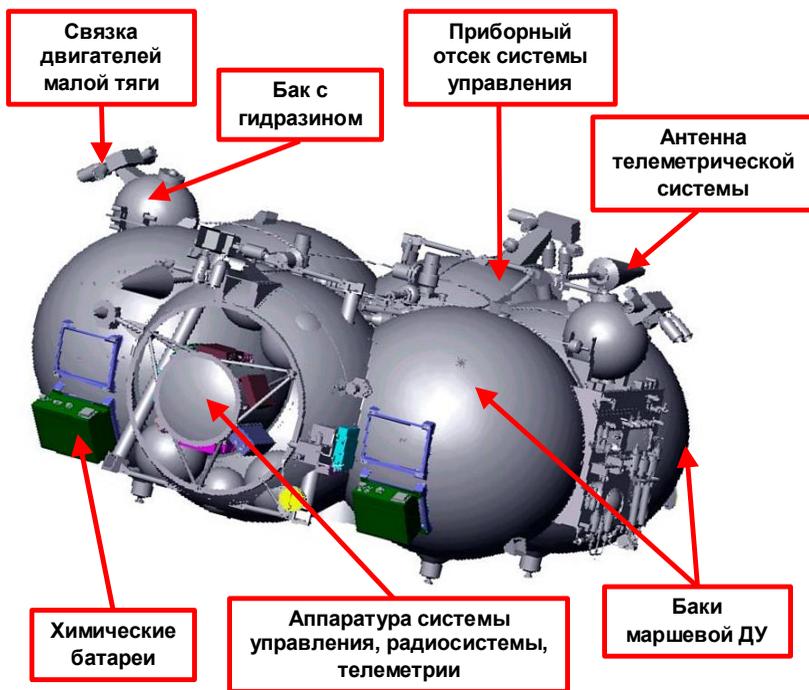
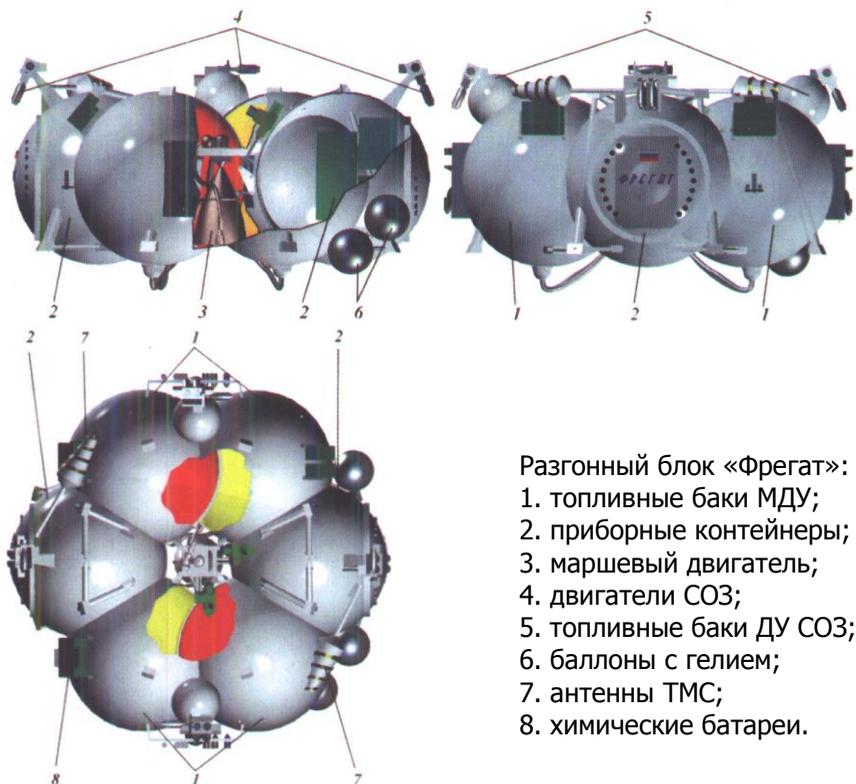


Рис. 9.2 Внешний вид разгонного блока «Фрегат»

В состав РБ «Фрегат» входят:

- маршевая двигательная установка (ДУ);
- двигательная установка стабилизации ориентации и обеспечения запуска (ДУ СОЗ);
- герметичные приборные отсеки;
- антенно-фидерная система (АФС);
- химические батареи;
- система обеспечения теплового режима (СОТР);
- переходник с системой отделения для установки КА.

Конструктивную основу РБ «Фрегат» составляет блок баков маршевой двигательной установки (МДУ), выполненный в виде шести сваренных между собой металлических сфер равного диаметра (рис. 9.3). Четыре сферы используются в качестве топливных баков (два бака горючего и два бака окислителя), одна – в качестве герметичного приборного отсека, одна – в качестве негерметичного.



Разгонный блок «Фрегат»:

1. топливные баки МДУ;
2. приборные контейнеры;
3. маршевый двигатель;
4. двигатели СОЗ;
5. топливные баки ДУ СОЗ;
6. баллоны с гелием;
7. антенны ТМС;
8. химические батареи.

Рис. 9.3 Конструктивная схема РБ «Фрегат»

Основные массо-габаритные характеристики РБ «Фрегат» приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1. Основные массо-габаритные характеристики РБ «Фрегат»

Характеристика	Величина
1. Начальная масса при максимальной заправке, кг	~6385
2. Конечная масса РБ, кг	~950
3. Габаритные размеры, м	
• высота	~1,5
• диаметр (описанный)	~3,35

Маршевая двигательная установка (МДУ) РБ «Фрегат» предназначена для создания импульсов скорости, а также стабилизации головного блока по каналам тангажа и рыскания при проведении активных манёвров. В состав маршевой двигательной установки РБ входят два бака горючего, два бака окислителя, маршевый двигатель, агрегаты пневмогидравлической системы подачи компонентов, шаробаллоны с гелием и трубопроводы.

Возможность многократного включения маршевой ДУ в условиях невесомости при длительных схемах выведения, «гибкая» система управления на базе БЦВМ обеспечивают РБ «Фрегат» широкие возможности по выведению полезных нагрузок на различные целевые орбиты.

В качестве топлива в МДУ РБ «Фрегат» используется:

- окислитель – АТИН по ОСТ 113-03-503-85 (ТУ 6-02-344-74);
- горючее – несимметричный диметилгидразин (НДМГ) по ГОСТ В 17803-72.

АТИН является аналогом широко распространенного в ракетной технике окислителя – азотного тетраоксида (обиходное название – амил). Все основные физико-химические и токсикологические характеристики окислителя АТИН соответствуют характеристикам азотного тетраоксида (АТ) по ГОСТ В 17656-72*. В химическом отношении АТ представляет собой смесь двух равновесных форм NO_2 и N_2O_4 , существующую как в газообразном, так и в жидком состоянии. АТИН представляет собой азотный тетраоксид, ингибированный 0,5% окисью азота. АТ – тяжелая гигроскопическая летучая жидкость красно-бурого цвета. Глубина окраски как жидкости, так и паров зависит от температуры, изменяясь от почти бесцветной до почти черной. АТ хорошо растворим в воде, бурно реагирует с большинством органических растворителей.

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

Эколого-гигиеническая значимость АТ в воде, почве и растениях определяется нитратами и нитритами; в атмосферном воздухе – двуокисью и окисью азота, парами азотистой и азотной кислот.

АТ (АТИН) – токсичное вещество 2-го класса опасности. Гигиенические регламенты АТ и продуктов его трансформации представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2. Гигиенические регламенты АТ и продуктов его трансформации

Вещество		N ₂ O ₄	NO ₂	NO	NO ₃ ²⁻	NO ₂ ²⁻	
Класс опасности		2	3	3	-	-	
ПДК	в воздухе, мг/м ³	ПДК _{РЗ}	2.0	5.0	-	-	-
		ПДК _{МР}	0.085	0.085	0.6	-	-
		ПДК _{СС}	0.04	0.04	0.06	-	-
	в воде, мг/л	ПДК _{ХЗ}	45.0	-	-	45.0	3.3
		ПДК _{РХ}	-	-	-	40.0	0.08
в почве, мг/кг		-	-	-	-	130.0	

Несимметричный диметилгидразин (НДМГ) или 1,1-диметилгидразин по номенклатуре ЮПАК, (обиходное название – гептил) – регистрационный номер по CAS 57-14-7. Химическая формула: (CH₃)₂N-NH₂. НДМГ по химической структуре близок к аммиаку. В обычных условиях – бесцветная или бледно-желтого цвета жидкость, дымящая на воздухе, с резким специфическим запахом, характерным для органических аминов (запах тухлой селедки). Растворяется в воде, спиртах, углеводородах, аминах и эфирах. Водные растворы обладают щелочными свойствами. Легко окисляется. Окисление НДМГ происходит под действием как кислорода воздуха или кислорода, растворенного в воде, так и под действием других окислителей.

При взаимодействии с кислородом воздуха НДМГ окисляется, в основном, до нитрозодиметиламина C₂H₆N₂O (НДМА), диметиламина (ДМА), тетраметилтетразена C₄H₁₂N₄ (ТМТ), метилендиметилгидразина C₃H₈N (МДМГ), формальдегида H₂CO (ФА), воды и азота.

В результате попадания в почву и водоемы НДМГ может разлагаться и окисляться с образованием воды, углекислого газа и молекулярного азота, а также ряда токсичных продуктов (в зависимости от условий), один из которых – НДМА – является даже более токсичным соединением, обладая канцерогенными свойствами. Другие соединения, такие, как МДМГ, ТМТ, ФА, синильная кислота HCN (СНК) – относятся ко второму и третьему классам опасности.

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

НДМГ обладает относительно высокой летучестью и испаряемостью. Летучесть вещества значительно увеличивается с повышением температуры. НДМГ стабилен в области эксплуатационных температур (от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$) при полной герметичности тары.

НДМГ – токсичное вещество 1-го класса опасности. Основные гигиенические регламенты НДМГ и продуктов его разложения в объектах окружающей среды представлены в таблице 9.3.

Таблица 9.3. Гигиенические регламенты НДМГ и продуктов его разложения

Вещество	Предельно допустимые концентрации						
	Атмосферный воздух, мг/м ³			Вода, мг/л		Почва, мг/кг	Продукты питания, мг/кг
	ПДК _{РЗ}	ПДК _{МР}	ПДК _{СС}	ПДК _{ХБ}	ПДК _{РХ}		
НДМГ	0,1	0,001	0,001	0,02	0,0005	0,1 (ОБУВ)	
ДМА	1,0	0,005	0,005	0,1	0,005	-	-
МДМГ	0,3	-	-	0,1	-	-	-
ТМТ	3,0	0,005	0,005	0,1	-	-	-
НДМА	0,01	-	0,0001	0,01	-	-	0,002
ФА	0,5	0,035	0,003	0,05	0,025	7,0	-
СнК	0,3	-	0,01	0,1	-	-	-

Основные параметры МДУ РБ «Фрегат» приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4. Основные параметры МДУ РБ «Фрегат»

Максимальный рабочий запас окислителя, кг	3600
Максимальный рабочий запас горючего, кг	1750
Тяга маршевого двигателя, кгс	2018
Удельный импульс двигателя, с	334
Возможное количество включений	до 20 раз

Двигательная установка стабилизации, ориентации и обеспечения запуска (ДУ СОЗ) предназначена для обеспечения запуска двигательной установки в условиях невесомости. В конструкции ДУ СОЗ применены заборные устройства топливных баков, способствующие поступлению в двигатель топлива без свободных газовых включений. В составе ДУ СОЗ применены топливные баки с эластичными разделителями.

Рабочим телом в ДУ СОЗ является амидол (гидразин-«осч») по ОСТ В6-02-32-82. Гидразин – бесцветная прозрачная жидкость с резким, весьма неприятным запахом, хорошо растворяющаяся в воде, спиртах и других полярных жидкостях; с углеводородами практически не смешивается. Химическая формула: $\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2$. Основные физические характеристики гидразина: температура плавления – 275К, температура кипения – 386,5 К. В качестве однокомпонентного топлива пригоден лишь «особо чистый» гидразин, так как технологические примеси, накапливаясь в нем, резко снижают активность катализатора, «отравляют» его. Гидразин высокой чистоты находит все большее применение как однокомпонентное топливо в двигателях малой тяги бортовых систем КА, в том числе и в отечественной практике. Гидразин – вещество 2-го класса опасности.

Общее количество заправляемого в ДУ СОЗ гидразина составляет не более 42 кг. В качестве вытеснителя рабочего тела используется гелий.

Для электропитания аппаратуры РБ «Фрегат» используются серийные литиевые батареи.

Для поддержания температуры в диапазоне, требуемом для нормального функционирования бортовых систем РБ в течение орбитального полета, предназначена система обеспечения теплового режима (СОТР). СОТР участвует в обеспечении теплового режима РБ на этапах наземной подготовки, работая совместно с наземными средствами обеспечения теплового режима.

Управление полетом РБ «Фрегат» осуществляется системой управления, основные элементы которой размещаются в приборных отсеках блока. В общем случае система управления РБ «Фрегат» обеспечивает решение навигационной задачи, начиная со старта РН, что обеспечивает высокую точность выведения КА на рабочие орбиты. В ее состав входят гироблок, бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК).

Передача телеметрической информации осуществляется на существующие наземные станции с помощью специальной радиотелеметрической системы.

Модификацией РБ «Фрегат» является универсальный РБ «Фрегат-СБ», который также может использоваться в составе ракет-носителей среднего и тяжелого класса для выведения КА на высокоэнергетические орбиты.

РБ «Фрегат-СБ» представляет собой РБ «Фрегат» с дополнительным блоком сбрасываемых баков. Внешний вид РБ

«Фрегат-СБ» показан на рис. 9.4. Основные массо-габаритные характеристики РБ «Фрегат-СБ» приведены в табл. 9.5.

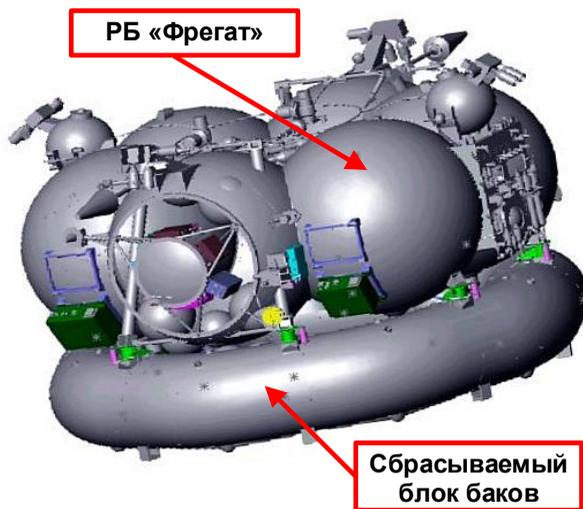


Рис. 9.4. Внешний вид разгонного блока «Фрегат-СБ»

Таблица 9.5 – Массо-габаритные характеристики РБ «Фрегат-СБ»

Характеристика	Величина
1. Начальная масса при максимальной заправке, кг	10185
2. Сухая масса, кг <ul style="list-style-type: none"> • РБ «Фрегат» • сбрасываемый блок баков 	до 900 до 360
3. Габаритные размеры, м <ul style="list-style-type: none"> • высота • диаметр (описанный) 	2,3 3,44

Параметры МДУ и ДУ СОЗ РБ «Фрегат-СБ» аналогичны соответственно параметрам МДУ и ДУ СОЗ РБ «Фрегат». На РБ «Фрегат-СБ» используются те же КРТ, что на РБ «Фрегат». Принципиальной отличительной особенностью РБ «Фрегат-СБ» от РБ «Фрегат» является увеличение количества заправляемого топлива в баках РБ «Фрегат-СБ» на 3350 кг по сравнению с РБ «Фрегат». Объемы заправки в основном блоке баков РБ «Фрегат-СБ» могут составлять

до 5650 кг, в сбрасываемом блоке баков – до 3050 кг. После отделения сбрасываемого блока баков его полет неуправляем, и возможности его перевода на другие орбиты отсутствуют.

Для обеспечения защиты разгонного блока и космического аппарата от воздействия внешней атмосферы и тепловых потоков и для сопряжения аппарата с разгонным блоком и ракетой предназначен сборочно-защитный блок (СЗБ), в состав которого входят головной обтекатель (ГО) и переходной отсек (ПХО).

Для приема и хранения РБ, его подготовки и сборки, приведения и содержания в требуемых готовностях предназначен технический комплекс РБ, который представляет собой совокупность подвижных и стационарных средств и сооружений. Непосредственно для РБ «Фрегат» планируется использовать ТК РБ 14П72, расположенный в сооружении монтажно-испытательного корпуса (МИК) площадки 31 космодрома «Байконур».

Для обеспечения подготовки к запуску РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» и непосредственно для выведения орбитального блока («РБ + КА») используется комплекс ракеты-носителя (КРН) типа «Союз-У», в состав которого входят ракета-носитель (РН) типа «Союз-У», технический комплекс РН, стартовый комплекс.

Подготовка РН типа «Союз-У» для запуска КА с использованием РБ «Фрегат» осуществляется на техническом комплексе РН, расположенном в МИК площадки 31 космодрома «Байконур».

Запуски КА с использованием РБ «Фрегат» и РН типа «Союз-У» планируется осуществлять со стартовой площадки стартового комплекса 17П32-6, расположенного на площадке 31 космодрома «Байконур». Вообще стартовый комплекс представляет собой совокупность технологических и технических систем, оборудования, агрегатов и средств управления, связи, энергоснабжения, охраны, размещенных в соответствующих сооружениях и связанных между собой сетью дорог и инженерных коммуникаций. На СК проводятся работы по транспортировке и установке РН с КГЧ на стартовое устройство, заправки РН, обслуживания РН и КА, проведения пуска. СК 17П32-6 введен в эксплуатацию в 1960 г. За это время с данного СК было произведено более 350 пусков РН типа «Союз-У» с космическими аппаратами, в том числе с пилотируемыми.

Для осуществления заправки РБ «Фрегат» задействуется заправочная станция (ЗС) 11Г12, расположенная на площадке 31

космодрома «Байконур». Оборудование ЗС обеспечивает заправку РБ компонентами топлива: гидразином, АТИН, НДМГ, а также зарядку шаробаллонов гелием.

В процессе полета РБ «Фрегат» до окончания работы бортовых систем функционирует комплекс средств измерений, сбора и обработки внешнетраекторной и телеметрической информации (КСИСО), который представляет собой наземный измерительный комплекс (НИК) в совокупности с бортовым измерительным комплексом (БИК).

Ракета-носитель типа «Союз-У» – трехступенчатая ракета среднего класса, предназначенная для выведения КА на низкие круговые орбиты, а в составе с РБ на средние круговые и высокоэллиптические орбиты.

В состав РН типа «Союз-У» входят (рис. 9.5):

- блоки 1 ступени – пакет из четырех боковых блоков (блоки «Б», «В», «Г», «Д»);
- центральный блок 2 ступени (блок «А»);
- блок третьей ступени (блок «И»);
- единая система управления;
- единая система телеметрических измерений.

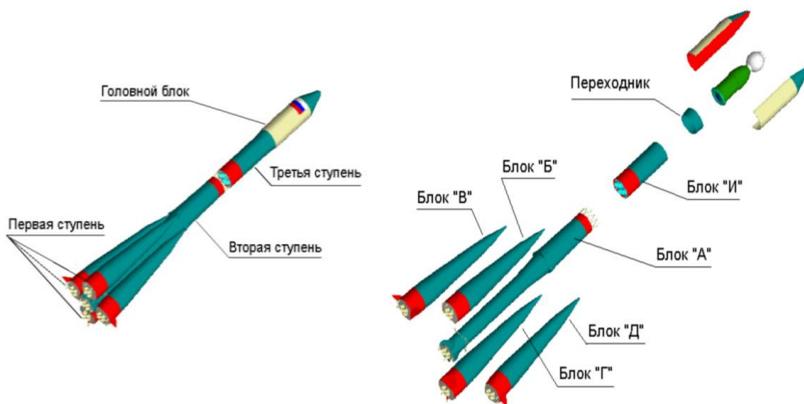


Рис. 9.5 Конструкционная схема РН типа «Союз-У»

Анализ ранее произведённых результатов эксплуатации РН «Союз-У» показывает, что данный носитель является одним из самых надежных в мире. Вероятности возникновения аварий на различных участках полета РН «Союз-У», рассчитанные при обработке статистических данных результатов всего периода эксплуатации, приведены в таблице 9.6.

Таблица 9.6 – Вероятность возникновения аварий РН типа «Союз-У» на различных участках полета

Время полета, с	Вероятность возникновения аварии РН на заданном участке
0 – 20	0,002587
100 – 120	0,002594
121 – 130	0,0013
350 – 360	0,001302
520 – 540	0,001304

Расчётная часть

Задача. Рассчитать вероятность несчастного случая за произвольный промежуток времени t на комплексе разгонный блок «Фрегат».

Порядок выполнения расчёта

Анализ во временной области в предположении равномерных распределений интервалов времени дает следующие выражения для вероятностей:

- вероятность представляющего угрозу события

$$p_E = T_E / T, \quad (9.1)$$

- вероятность попадания в опасную зону

$$p_A = T_A / T, \quad (9.2)$$

где T_E – суммарная продолжительность представляющего угрозу события;

T_A – суммарная продолжительность пребывания в опасной зоне;

T – рассматриваемый период наблюдений.

Таким образом, вероятность наступления события в данной модели можно выразить как отношение интервалов времени.

Для рассмотренной модели получено выражение для вероятности хотя бы одного совпадения событий: A – событие «пребывание в опасной зоне», E – событие, представляющее опасность.

Вероятность риска (несчастного случая) определяется по формуле:

$$p = 1 - (1 - p_E)^N \cdot (1 - p_A)^n. \quad (9.3)$$

где N – число попаданий в опасную зону за время T ,
 n – число опасных ситуаций (опасностей).

Можно рассмотреть модель определения вероятности совпадения случайных промежутков времени из двух или более независимых потоков событий, при этом поток промежутков времени рассмотрим как случайный процесс.

Примем в качестве параметров процессов:

- интенсивность потока обслуживания, т.е. интенсивность потока нахождения в опасной зоне (на пути следования)

$$\lambda_t = 1 / t_0, \tag{9.4}$$

- интенсивность потока опасностей, т.е. интенсивность движения опасности «космического мусора»

$$\lambda_T = 1 / T_0, \tag{9.5}$$

где t_0 – математическое ожидание продолжительности интервала между двумя смежными моментами обслуживания;
 T_0 – математическое ожидание продолжительности интервала между двумя смежными опасностями.

Краткая характеристика засоренности околоземного космического пространства

В настоящее время можно выделить пять типов объектов искусственного происхождения (так называемого «космического мусора»), различающихся по своему происхождению и по функциональному назначению – показано на рис. 9.6.

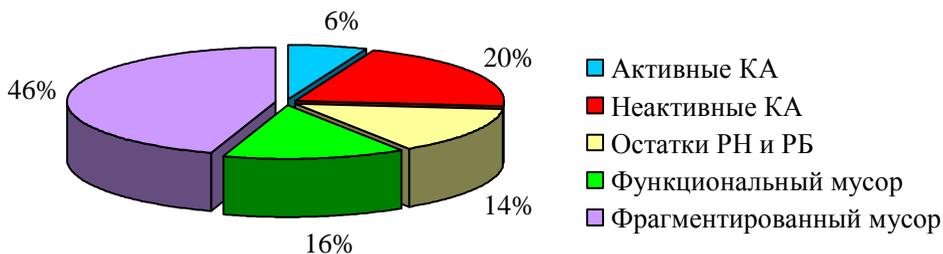


Рис. 9.6 Классификация «космического мусора»

«Космический мусор» неоднороден по своему составу. Как уже отмечалось, в это понятие включены и сравнительно большие

конструкции в виде отработавших свой срок КА и достаточно малые частицы, например осколки от лакокрасочных покрытий с размерами в десятые и сотые доли миллиметра.

Размер частиц «космического мусора» является определяющим фактором при их наблюдениях. Современный уровень развития системы слежения за ОКП позволяет надежно регистрировать движение только сравнительно крупных фрагментов, с размерами поперечника более 10 см. Таких фрагментов в настоящее время сосредоточено на околоземных орбитах, то есть до 2000 км над поверхностью Земли, порядка 7500-8000 шт. Это так называемая наблюдаемая группировка «космического мусора».

Столкновение КА с фрагментами из наблюдаемой группировки несомненно и практически достоверно приводят к выходу КА из строя из-за громадных, до удвоенной первой космической, то есть до 15 км/с, скоростей соударения и из-за больших размеров фрагментов. Однако столкновение КА с наблюдаемыми фрагментами можно предсказать и каким-то способом предотвратить. Поэтому наблюдаемая группировка частиц, хотя и является многочисленной и апостериорно опасной, априорно опасности большой не представляет из-за надежной работы системы контроля космического пространства.

Распределение частиц по наклонениям плоскостей их орбит к плоскости экватора Земли позволяет построить распределение частиц по географической широте, которое служит исходным при оценке обстановки вдоль траектории движения КА (рис. 9.7 и рис. 9.8).

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

7500 фрагментов с размерами поперечника более 10 см, представляющие помеху для радиолокационных станций

Объемная концентрация космического мусора, частиц / млрд.км³

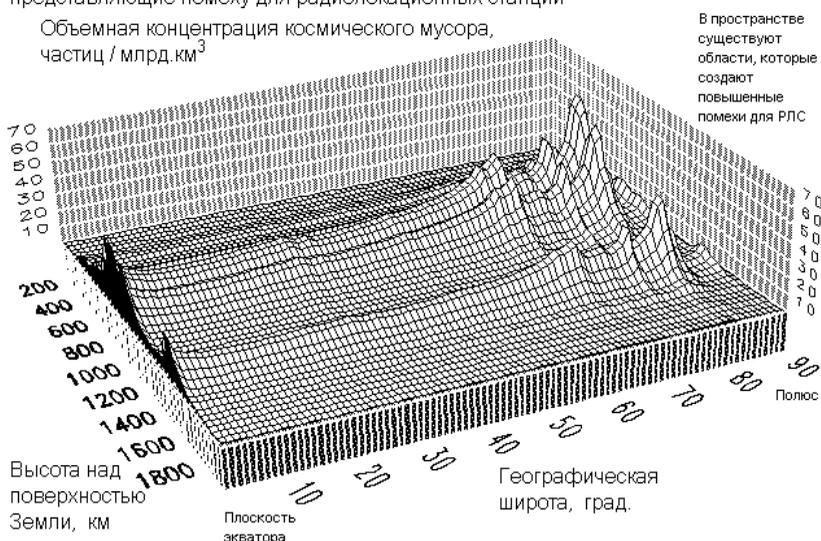


Рис. 9.7 Пространственное распределение космического мусора

7500 наблюдаемых фрагментов с размерами более 10 см

Количество фрагментов, шт.

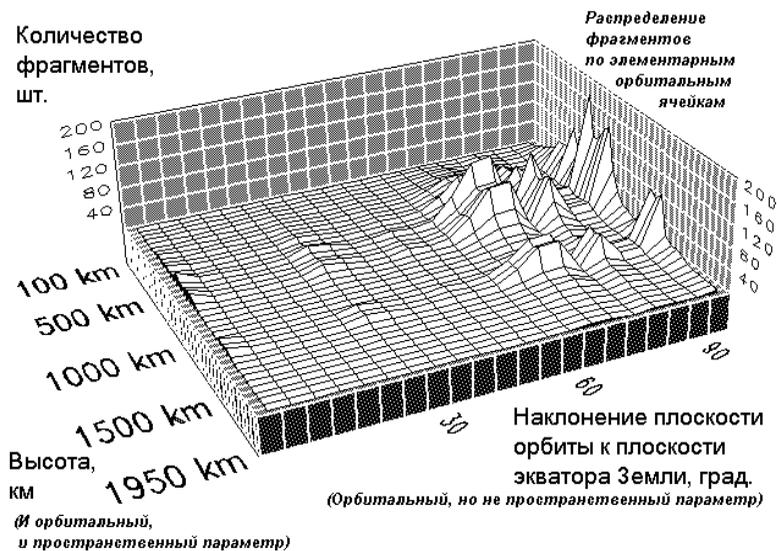


Рис. 9.8 Распределение космического мусора по высотам и наклонениям орбит

На основе анализа рассматриваемой математической модели получено следующее выражение для определения вероятности искомого события – совпадения периода обслуживания и периода опасности: вероятность несчастного случая (риска) за произвольный промежуток времени t определяется экспоненциальным законом:

$$p = [1 - \exp(-\lambda_t t)] \cdot [1 - \exp(-\lambda_r t)]. \quad (9.6)$$

Интенсивности λ_t и λ_r могут быть определены из статистических исследований при анализе процессов обслуживания и процессов возникновения опасных производственных факторов или могут задаваться на основе гипотез о характеристиках параметров модели взаимодействия этих процессов.

Вероятность несчастного случая лучше всего определяет статистика несчастных случаев на основании достаточно большой выборки данных статистического исследования. При этом условии с достаточно высокой степенью достоверности частоту несчастных случаев можно принимать за значение вероятности дискретного события – несчастного случая.

Основным показателем воздействия «космического мусора» на качество функционирования РБ и наоборот, воздействия РБ на увеличение общей популяции «космического мусора», является вероятность столкновения РБ с частицами «космического мусора». Для оценки вероятности столкновения РБ «Фрегат» при функционировании на рабочей орбите с частицами «космического мусора» был использован методический подход, разработанный в 4 ЦНИИ Минобороны России.

Расчет вероятности столкновения РБ «Фрегат» с наиболее опасными частицами космического мусора с характерным размером от 0,1 см до 1 см был проведен для различных высот диапазона 200-600 км для различных вариантов использования РБ «Фрегат».

Анализ результатов расчета показал, что:

- вероятность столкновения РБ «Фрегат» с опасными частицами космического мусора на рассматриваемых высотах полета находится в диапазоне – $1,3 \cdot 10^{-12} \dots 1,1 \cdot 10^{-8}$,
- вероятность столкновения РБ «Фрегат-СБ» с опасными частицами космического мусора на рассматриваемых высотах полета находится в диапазоне $1,8 \cdot 10^{-12} \dots 2,2 \cdot 10^{-8}$.

Оценка влияния климатических условий на обеспечение безопасности с помощью КУТ (при проектировании и эксплуатации комплекса разгонный блок «Фрегат» в районах непосредственной её подготовки и функционирования – космодром «Байконур», верхние слои ионосферы и ОКП)

На космодроме «Байконур» осуществляется подготовка РБ «Фрегат» к запуску космических аппаратов с использованием РН типа «Союз-У». При полете РН «Союз-У» разгонный блок «Фрегат» не функционирует. Непосредственно функционирование самого РБ «Фрегат» в составе орбитального блока («РБ + КА») осуществляется в верхних слоях атмосферы и в околоземном космическом пространстве (ОКП).

Краткая характеристика района размещения космодрома «Байконур»

Космодром «Байконур», арендуемый правительством Российской Федерации у правительства Республики Казахстан, размещен на территории Кызыл-Ординской области в районе поселка Тюра-Там на правом берегу нижнего течения реки Сырдарья, занимает площадь 7360 км². Оценить влияние климатических факторов возможно при использовании таблицы 9.7. Территория космодрома представляет собой равнину, пересеченную за пределами космодрома с востока на запад р. Сырдарья (рис. 9.9).

Таблица 9.7 – Климатические характеристики, учитываемые при проектировании систем безопасности КУТ

Комплексные	Пофакторные
Климатическое районирование	Солнечная радиация (приход на горизонтальную и вертикальную поверхности, продолжительность облучения, ультрафиолетовая радиация). Температура воздуха (средняя, экстремальная, амплитуда, расчетная: суток, пятидневки, отопительного периода и наиболее холодного периода). Ветер (направление, скорость). Влажность (относительная, абсолютная).
Погодные условия (тепловой фон)	
Радиационно-тепловой режим	
Тепловлажностный режим	
Световой климат	
Снегоперенос	
Пылеперенос	
Косые дожди	Осадки (суммы средние и экстремальные, снежный покров)

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

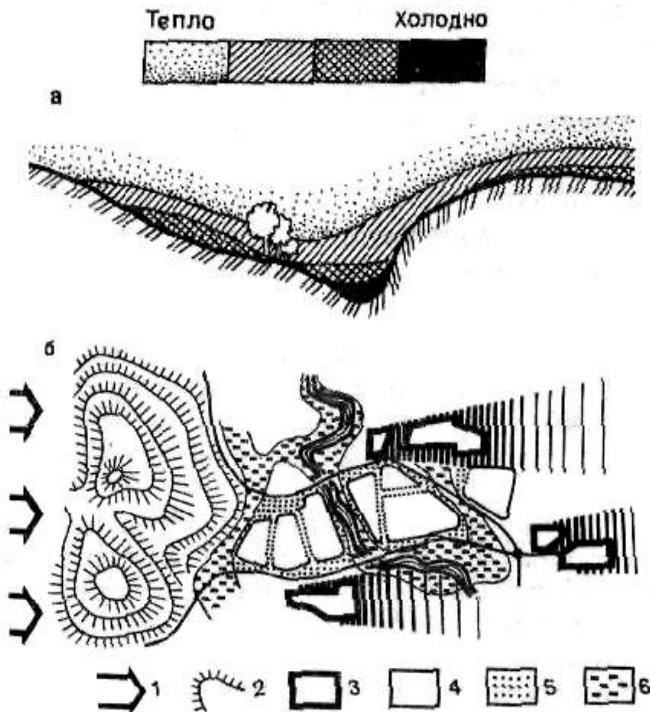


Рисунок 9.9 Влияние различных факторов на объект:
1 – направление ветра, 2 – возвышение; 3 – фоновая нагрузка от промышленных объектов, 4 – селитебная территория; 5 – озеленение; 6 – ветрозащитные полосы

Климат территории резко континентальный, с большими колебаниями сезонных и суточных температур воздуха, малым количеством осадков (100-120 мм в год). Местная речная сеть отсутствует. Грунтовые воды располагаются в рыхлообломочных отложениях четвертичного и плиоценового возраста. Почвенный покров характеризуется комплексностью: бурые пустынно-степные почвы сочетаются с солонцами, солончаками и с такыровидными почвами. Для растительного покрова территории космодрома характерно присутствие ксерофильных и галофильных кустарников, полукустарников и полукустарничков, местами с присутствием злаков.

Основными источниками техногенного воздействия на окружающую природную среду позиционного района космодрома «Байконур» и прилегающих к нему территорий являются:

- трансграничный перенос естественных и техногенных загрязнений из зоны Аральского моря и Приаралья;
- подвижные и стационарные объекты транспортных систем Кызыл-Ординской области Республики Казахстан: автомобильной, железнодорожной и авиационной;
- подвижные и стационарные объекты космодрома;
- коммунально-хозяйственные и бытовые объекты населенных пунктов и жилых зон, расположенных на территориях космодрома и граничащих с ним местностях.

В пределах позиционного района космодрома источниками техногенного воздействия на ОС являются:

- специальные технические объекты, напрямую осуществляющие космическую деятельность (ракеты-носители, технические и стартовые комплексы, заправочные станции, кислородно-азотный завод, хранилища элементов ракетно-космической техники, компонентов ракетного топлива и горюче-смазочных материалов и т.д.);
- специальные технические и коммунально-хозяйственные объекты космодрома «Байконур» (аэродромы «Крайний» и «Юбилейный», автомобильный транспорт и внутриведомственная железная дорога, склады ГСМ и т.д.);
- объекты коммунально-хозяйственного и бытового назначения (котельные, очистные сооружения, свалки и полигоны захоронения твердых бытовых отходов, баннопрачечный комбинат и т.п.);
- объекты, осуществляющие хозяйственную деятельность на территории космодрома.

Космодром расположен на границе степной и полупустынной зон с низким количеством осадков, что обуславливает низкую способность атмосферы к самоочищению. Территория космодрома подвержена снежным заносам, постоянным присутствием в регионе возбудителей опасных инфекционных заболеваний, возможностью частичных наводнений и подтоплений г. Байконура.

При оценке состояния атмосферного воздуха следует учитывать трансграничные переносы загрязненных воздушных масс со стороны Аральского моря. Усыхание Аральского моря привело к изменению некоторых климатических и метеорологических показателей: климат стал более континентальным, засушливым. Ухудшились условия питания

грунтовых вод и поверхностных источников за счет конденсационной влаги. Наблюдается увеличение количества пыльных бурь, увеличение протяженности пылевых потоков.

Перенос солей с Арала непосредственно сказывается на засолении почв, увеличении солесодержания грунтовых и поверхностных вод. В результате этого затрудняется эксплуатация инженерно-технических систем, а в некоторых случаях это приводит к их полному отказу. Происходит коррозионное разрушение металлических бетонных и железобетонных конструкций и сооружений. Общее ухудшение экологической обстановки в районах Приаралья способствует и увеличению общей доли микробиологической коррозии.

Ухудшается качество среды и в результате загрязнения природных вод удобрениями и пестицидами. Это естественно отражается на качестве питьевой воды и ведет к серьезным заболеваниям. Серьезную опасность представляют пестициды, в которых может содержаться сильнейший токсикант – диоксин, который является очень устойчивым химическим соединением и относится к классу ксенобиотиков.

По данным Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора комплекса «Байконур» (исх. № 85 от 02.03.04) комплекс «Байконур» расположен в районе активных эпизоотий Среднеазиатского равнинного природного очага чумы. Санитарно-эпидемиологическое состояние прилегающего к комплексу «Байконур» района, оценивается как неблагоприятное по заболеваемости острыми кишечными инфекциями, туберкулезом, острыми респираторно-вирусными инфекциями.

Расположение комплекса «Байконур» в зоне экологического бедствия Приаралья обуславливает комплексное влияние отрицательных экологических факторов на здоровье населения и инфекционную заболеваемость. Комплексное воздействие климатографических факторов способствует:

- перегреванию и обезвоживанию организма в жаркое время года;
- нарушению витаминного, водно-солевого обмена организма и снижению его неспецифической резистентности;
- повышению сухости кожи и слизистых покровов, нарушению их целостности, что в сочетании с повышенной запыленностью воздуха способствует возникновению гнойничковых заболеваний;

– увеличению числа заболеваний желудочно-кишечного тракта инфекционной природы, а также заболеваний мочеполовой системы.

В настоящее время специалистами России и Казахстана проводятся исследования влияния ракетно-космической деятельности космодрома «Байконур» на состояние здоровья населения, проживающего на прилегающих к нему территориях.

Последние официальные данные оценки состояния здоровья населения показывают преимущественную связь между заболеваемостью и изменением климата, связанным с понижением уровня Аральского моря. Влияние ракетно-космической деятельности на заболеваемость населения не выявлено.

При оценке состояния здоровья населения, проживающего в районе космодрома Байконур, необходимо учитывать природно-климатический фактор аридных зон, характеризующийся высокой температурой и сухостью воздуха, длительностью их действия, интенсивностью и спектром солнечной радиации, резкими суточными и сезонными колебаниями температуры. Эти экстремальные нагрузки предъявляют повышенные требования к адаптивным системам организма. В этих условиях характерны:

- повышенная заболеваемость раком кожи, экземы, гнойничковые заболевания кожи и подкожной клетчатки;
- сердечно-сосудистые заболевания;
- солнечно-тепловые перегревы, теплопотери, снижение содержания в организме водорастворимых витаминов С и В, появление тепловых отеков стоп и кистей, постоянная жажда, развитие апатии, вялости, адинамии, сонливости, снижение артериального давления.

Краткая характеристика верхних слоев атмосферы

Верхняя атмосфера очень подвижна. Установлено движение среды со скоростями более 100 м/с. Обычно движения на этих высотах подразделяют на преобладающие ветры, волновые движения и турбулентность. Среди волновых движений выделяют инерционные волны, приливные колебания и внутренние акустико-гравитационные волны. В общем случае диапазон высот от 200 до 600 км характеризуются следующими параметрами (табл. 9.8).

Таблица 9.8 – Параметры естественной верхней атмосферы

Высота, км	Температура, К	Концентрация компонентов, см ⁻³				
		[H]	[He]	[O]	[N ₂]	[O ₂]
200	931	1,3·10 ⁵	2,4·10 ⁶	2,8·10 ⁹	3,5·10 ⁹	1,7·10 ⁸
250	1009	1,0·10 ⁵	1,8·10 ⁶	1,0·10 ⁹	6,6·10 ⁸	2,5·10 ⁷
300	1038	9,5·10 ⁴	1,5·10 ⁶	4,3·10 ⁸	1,5·10 ⁸	4,5·10 ⁶
350	1045	9,0·10 ⁴	1,2·10 ⁶	1,9·10 ⁸	3,5·10 ⁷	8,7·10 ⁵
400	1049	8,5·10 ⁴	9,1·10 ⁵	7,5·10 ⁷	5,0·10 ⁶	9,0·10 ⁴
500	1050	7,5·10 ⁴	5,6·10 ⁵	1,0·10 ⁷	9,0·10 ⁵	1,0·10 ⁴
600	1050	6,8·10 ⁴	3,6·10 ⁵	2,1·10 ⁶	-	-

Примечание: Данные относятся к летним среднеширотным условиям при средних солнечной и геомагнитной активностях

Известно, что верхняя атмосфера Земли в силу специфики строения и состава (плотность на высоте 100 км в 10⁶ раз меньше приземной) весьма чувствительна даже к небольшим (по приземным меркам) воздействиям. Положение усугубляется тем, что «по земным понятиям» такие экологически чистые вещества, как, например, вода, в ионосфере становятся исключительно активным реагентом, который в условиях космического пространства резко меняет естественное течение ряда физико-химических, фотохимических и электрохимических процессов.

Возможные последствия таких изменений во всей полноте сложно продемонстрировать, особенно, если учесть импактный характер воздействия, когда масса водяного пара, эквивалентная суточному или даже многосуточному притоку, на всю верхнюю атмосферу «выплёскивается» за секунды в одном ограниченном пространстве. Численные оценки воздействия паров воды, продуктов сгорания ракетных топлив на основе НДМГ, керосина, окислителей типа азотного тетраоксида серьёзно затруднены слабым уровнем знаний о процессах фазовых переходов пространственно-временной эволюции, длительности существования и взаимодействия с компонентами атмосферы.

Таблица 9.9. Критерии определения остроты проблемных ситуаций

Характеристика проблемной ситуации	Единица измерения	Критерии оценки				
		Оценка в баллах				
Величина зоны распространения	км ²	Более 500	200 – 500	100 – 200	50 – 100	Менее 50
		10	5	3	2	1
Интенсивность проявления	ПДК	Более 100	50 – 100	20 – 50	10 – 20	Менее 10
Время возникновения	лет	10	5	3	2	1
Прерывность или непрерывность проблемной ситуации	дней	Более 50	20 – 50	10 – 20	5 – 10	Менее 5
		10	5	3	2	1
Возможность обратимости проблемной ситуации	–	Непрерывное воздействие	Не менее чем 200 дней в году	50 – 200 дней в году	До 50 дней в году	Эпизодическое воздействие
		10	5	3	2	1
		Проблемная ситуация необратима	Требуются очень большие капиталовложения	Требуются значительные капиталовложения	Капиталовложения сопоставимы с обычными затратами на инженерную подготовку территории	Проблемная ситуация обратима
		10	5	3	2	1

Примечание. Коэффициенты значимости отдельных характеристик при определении остроты проблемной ситуации устанавливаются в каждом конкретном случае на основании экспертной оценки.

Можно воспользоваться балльной оценкой характеристик проблемных ситуаций, используя промежуточные значения баллов (9, 8, 7, 6, 4). В этих случаях следует более точно устанавливать параметры отдельных характеристик.

Таблица 9.10 – Воздействие элементов системы комплекса разгонный блок «Фрегат» на обеспечение безопасности с помощью КУТ

Виды неблагоприятного воздействия, I_n	Элементы системы комплекса, N_i						
	1.	2.	3.	4.	5.	...	i.
1.							
...							
n.							

Составить в табличной форме согласно табл. 9.9 и 9.10 оценку воздействия элементов системы комплекса разгонный блок «Фрегат» на обеспечение его безопасности:

- химического загрязнения атмосферного воздуха при наземной подготовке РБ «Фрегат», обусловленного применением в его составе токсичных КРТ – АТИН, НДМГ, гидразина;
- химического загрязнения почвенно-растительных покровов в районе космодрома «Байконур» при наземной подготовке РБ «Фрегат», обусловленного возможным оседанием на поверхность загрязняющих веществ, выбрасываемых источниками загрязнения, задействованных при наземной подготовке;
- механического воздействия на почво-грунты;
- воздействия на поверхностные воды;
- акустического воздействия на ОС;
- воздействия РБ «Фрегат» на ОС при его функционировании на рабочей орбите;
- воздействия основных эффектов воздействия продуктов сгорания объектов ракетно-космической техники (последние ступени РН, РБ) на нейтральный состав атмосферы.

В общем случае воздействие РБ «Фрегат» на систему обеспечения КлУТ происходит при штатных условиях работы:

- при наземной подготовке РБ на космодроме «Байконур»;
- при функционировании РБ в околоземном космическом пространстве в составе орбитального блока.

Основными этапами технологического цикла наземной подготовки РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур», на которых происходит воздействие на ОС, являются работы, связанные с заправкой РБ «Фрегат», транспортировкой его в заправленном состоянии и стыковкой с КА и РН. Кроме того, опосредованное воздействие на ОС оказывается в результате жизнедеятельности персонала,

задействованного в подготовке РБ. При этом основными видами воздействия на ОС являются химическое и механическое загрязнения.

Воздействие РБ «Фрегат» при функционировании на рабочей орбите в околоземном космическом пространстве обусловлено тем, что РБ «Фрегат» является потенциальным источником дальнейшего увеличения засоренности ОКП. После окончания работы РБ «Фрегат» и его отделения от орбитального блока происходит увод конструкции РБ «Фрегат» с рабочей орбиты. После этого происходит постепенное снижение конструкции РБ. При достижении этой частью РБ верхних слоев атмосферы происходит его торможение и сход с орбиты. В процессе падения конструкция РБ разогревается и сгорает на высотах свыше 40 км.

Химическое загрязнение атмосферного воздуха при наземной подготовке РБ «Фрегат» обусловлено применением в его составе токсичных КРТ – АТИН, НДМГ, гидразина.

В общем случае химическое загрязнение атмосферного воздуха при наземной подготовке РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» происходит:

- при заправке РБ на ЗС 11Г12 в результате работы агрегатов нейтрализации паров и промстоков КРТ;
- в результате работы подвижных агрегатов транспортно-установочных и регламентных групп.

Технологическое и вспомогательное оборудование и сооружения зоны КРТ (хранилища КРТ и т.д.) не являются источниками загрязнения ОС в районе расположения космодрома «Байконур». Все трубопроводы, насосные установки полностью герметизированы; технологическая обвязка резервуаров оборудована существующей штатной газоуравнительной системой и другими штатными системами. Оборудование, допускаемое к работе с окислителем и горючим, проходит периодическое освидетельствование, гарантирующее его безаварийную работу. Указанное технологическое оборудование, конструктивные и схемные решения отработаны при многолетней подготовке РБ различных классов.

В общем случае, при наземной подготовке РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» в атмосферу выбрасывается в общей сложности 21,024 кг загрязняющих веществ, в том числе:

вещества 1 класса опасности – 0,003 кг (~0,014 %), из них:

- НДМГ – 0,002 кг;
- цианистый водород – 0,001 кг;

вещества 2 класса опасности – 7,814 кг (~37,167 %), из них:

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

- формальдегид – 0,007 кг;
 - азота диоксид – 7,807 кг;
- вещества 3 класса опасности – 6,826 кг (~32,468 %), из них:
- сажа – 0,477 кг;
 - серы диоксид – 6,349 кг;
- вещества 4 класса опасности – 6,381 кг (~30,351 %), из них:
- окись углерода – 4,781 кг;
 - углеводороды – 1,6 кг.

Химическое загрязнение почвенно-растительных покровов в районе космодрома «Байконур» при наземной подготовке РБ «Фрегат» обусловлено возможным оседанием на поверхность загрязняющих веществ, выбрасываемых источниками загрязнения, задействованных при наземной подготовке.

Вместе с тем, лидировать в общем балансе поступления загрязнителей почвенно-растительного покрова будут подвижные транспортные средства, используемые для подготовки РБ «Фрегат». Систематическое передвижение по дорогам космодрома данных средств может привести к незначительному загрязнению придорожных участков транспортных магистралей шириной до 10-40 метров углеводородами. Кроме того, следует ожидать, что содержание транспортных средств (заправка, ремонт, мытье и т.д.) дополнительно даст загрязнение почвы нефтепродуктами и СПАВами.

Однако, учитывая природно-климатические характеристики района расположения космодрома «Байконур», а также принимая во внимание небольшие количества общих выбросов в атмосферу, можно говорить о незначительном химическом загрязнении почвенно-растительных покровов в районе расположения космодрома.

В общем случае непосредственное механическое воздействие на почво-грунты при подготовке РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» исключено. Однако механическое нарушение почвенно-растительных покровов в районе расположения космодрома «Байконур» может быть связано с образованием бытовых отходов. ТБО предусмотрено складировать в контейнеры и по мере накопления вывозить на свалки.

Технологией подготовки РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» не предусмотрено образование производственных отходов. Вместе с тем, в процессе подготовки ракеты на ТК РБ и СЗБ может образовываться незначительное количество отходов ремонта и реконструкции оборудования, в том числе кабельная

продукция, ветошь и др. По мере накопления такого рода отходы также вывозятся на свалки.

Воздействие на поверхностные воды при наземной подготовке РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» оказывается за счет потребления воды на бытовые нужды и сброса хозяйственно-бытовых вод.

Попадание промстоков, содержащих КРТ, в систему бытовой канализации или в окружающую среду при штатной работе исключено. Подготовка РБ «Фрегат» предусматривает использование существующих, функционирующих в настоящее время в интересах всего космодрома инженерных систем, в том числе, водоснабжения и канализации.

Акустическое воздействие на ОС в районе космодрома «Байконур» при подготовке РБ «Фрегат» обусловлено распространением акустических волн, возникающих при работе подвижных транспортных средств, являющихся источниками шума.

Учитывая то, что движение подвижных транспортных средств, задействованных при подготовке РБ «Фрегат» на космодроме «Байконур», значительно разнесено по времени и проходит на большом удалении от населенных пунктов, акустический расчет для данного типа источников нецелесообразен.

Воздействие РБ «Фрегат» на ОС при его функционировании на рабочей орбите обусловлено выбросом на высотах более 200 км – в верхних слоях атмосферы и в ионосфере – продуктов сгорания КРТ ДУ, а также возможностью столкновения с частицами «космического мусора».

Представленные в таблице 9.11 значения массы выброса продуктов сгорания КРТ ДУ приведены для всего времени функционирования РБ – в течение нескольких часов.

В общем случае воздействие объектов ракетно-космической деятельности на ионосферу чрезвычайно многообразно. Это обусловлено тем, что полет таких объектов с работающими двигателями оказывает воздействие на нейтральные и ионизированные компоненты верхней атмосферы, вызывая физико-химические изменения состояния слоев атмосферы, ее электронной плотности: падение электронной концентрации, так называемое образование «электронных дыр», волнообразные колебания электронной концентрации, быстрое и продолжительное ее падение на значительных расстояниях от места пролета объектов.

Таблица 9.11 – Общая масса продуктов сгорания КРТ, выбрасываемых при работе ДУ РБ «Фрегат» и РБ «Фрегат-СБ», кг

Тип ДУ РБ	H ₂	CO	H ₂ O	N ₂	CO ₂	NH ₃
РБ «Фрегат»						
МДУ	105,92	296,39	1051,81	1894,44	2001,44	-
ДУ СОЗ	2,56	-	-	37,56	-	44,88
РБ «Фрегат-СБ»						
МДУ	172,23	481,93	1710,20	3080,4	3254,30	-
ДУ СОЗ	4,16	-	-	61,07	-	72,98

Основные эффекты воздействия продуктов сгорания объектов ракетно-космической техники (последние ступени РН, РБ) на нейтральный состав атмосферы можно условно разделить на 4 типа:

- изменение химического состава нейтральной верхней атмосферы;
- динамические воздействия;
- тепловые эффекты;
- электромагнитные воздействия.

Для исследования воздействия выбросов продуктов сгорания КРТ на нейтральные слои верхней атмосферы использовалась модель нейтральной атмосферы MSIS-83. В расчетах использовался максимально возможный разовый выброс продуктов сгорания КРТ для рассматриваемых рабочих орбит РБ «Фрегат». Результаты расчетов позволяют говорить о незначительном уровне тепловых эффектов воздействия выброса продуктов сгорания КРТ РБ «Фрегат» (РБ «Фрегат-СБ») на составляющие верхних слоев атмосферы.

Таким образом, на основе анализа результатов проведенной оценки воздействия штатной эксплуатации КРБ «Фрегат» на окружающую природную среду можно сделать следующие выводы:

- непосредственное воздействие РБ «Фрегат» происходит только в районе размещения космодрома «Байконур» при подготовке РБ к запуску и в верхних слоях атмосферы и околоземном космическом пространстве при функционировании РБ;
- уровень воздействия КРБ «Фрегат» на ОС при штатной эксплуатации является незначительным, кратковременным и локальным;
- создание и эксплуатация КРБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» не приведет к ухудшению экологической обстановки в районах эксплуатации комплекса.

Негативные последствия аварийных ситуаций (АС), которые могут возникнуть при эксплуатации КРБ «Фрегат», обусловлены, в первую очередь, большими запасами токсичных и пожароопасных компонентов, используемых в составе РБ «Фрегат» (РБ «Фрегат-СБ») – АТИН, НДМГ и гидразина.

В результате возникновения АС на элементах КРБ «Фрегат» с точки зрения воздействия на ОС возможны 3 сценария их развития:

- отдельные проливы КРТ или аварийные выбросы КРТ;
- пожары вследствие совместных проливов КРТ;
- взрывы элементов комплекса на старте, в процессе полета РКН, а также при падении аварийного изделия на поверхность Земли.

В перечисленных случаях возникновение АС, как правило, влечет за собой массированное воздействие на различные средообразующие компоненты: токсичное загрязнение атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод токсичными химическими веществами, механическое загрязнение поверхности земли и т.д.

Основными поражающими факторами в случае возникновения взрыва являются:

- воздушная ударная волна (ВУВ);
- тепловое излучение от «огневого шара»;
- токсичные продукты взрыва;
- разлетающиеся с большими скоростями (до нескольких км/с) элементы конструкции РКН (РН, РБ, КА).

Наиболее опасной ситуацией является ситуация, связанная с взрывом заправленной РКН «Союз-У» с РБ «Фрегат» (РБ «Фрегат-СБ») на старте. Расчетное значение тротилового эквивалента такого взрыва составляет величину 58,5 т.

Анализ результатов проведенных расчетов показал, что взрыв заправленной РКН «Союз-2» с РБ «Фрегат» (РБ «Фрегат-СБ») на старте представляет опасность для находящегося в радиусе до 1,4 км обслуживающего персонала и объектов наземной инфраструктуры (с точки зрения различной степени их разрушения).

Вместе с тем, следует отметить, что для стеклянных перекрытий взрыв заправленной РКН «Союз-У» с РБ «Фрегат» (РБ «Фрегат-СБ») на старте представляет опасность в радиусе чуть более 5 км. На таком расстоянии возможно опосредованное поражение человека осколками стекла.

Поэтому глубину зоны возможного поражения человека при взрыве заправленной РКН «Союз-У» с РБ «Фрегат» на старте

следует принимать равной 5 км. Следует отметить, что зона эвакуации обслуживающего персонала при старте РКН «Союз-У» с РБ «Фрегат» составляет 5 км, что позволит исключить воздействие на обслуживающий персонал в результате возникновения аварийных ситуаций.

Основными токсичными продуктами взрыва являются – окись углерода, сажа и окислы азота. Расчеты показали, что при самых неблагоприятных условиях в случае взрыва топливной пары «АТИН + НДМГ», использующихся в составе РБ «Фрегат», в составе продуктов детонации могут находиться до 15% (по массе) окиси углерода, до 5% (по массе) сажи и до 5% (по массе) окислов азота, остальные продукты взрыва – молекулярный азот, углекислый газ и вода.

В случае детонации топливной пары «жидкий кислород + керосин», использующейся в составе РН типа «Союз-У» при самых неблагоприятных условиях возможно образование до 25% (по массе) окиси углерода, до 10% (по массе) сажи, остальную часть продуктов взрыва составляют биологически нейтральные вещества: вода, углекислый газ, водород.

Наиболее опасной аварийной ситуацией, которая может произойти при функционировании РБ «Фрегат» является орбитальный взрыв, являющийся мощным источником частиц и фрагментов космического мусора.

Особенностью орбитального взрыва является образование множества частиц и фрагментов космического мусора, которые первоначально концентрируются в эллипсоидальной области, движущейся по орбите взорвавшегося объекта. Затем происходит распределение объектов вдоль всей орбиты взорвавшегося РБ. Наконец, через 1-4 года облако взрывных фрагментов распределяется практически равномерно по географической долготе в диапазоне географических широт, которые по величине не превосходят наклона плоскости орбиты взорвавшегося РБ к плоскости экватора Земли.

Исключение орбитальных взрывов за счет повышения надежности функционирования РБ «Фрегат» (РБ «Фрегат-СБ»), и, тем более, полное исключение преднамеренных орбитальных взрывов, остается приоритетным направлением при ограничении механического засорения ОКП.

Проведенный анализ последствий рассмотренных аварийных ситуаций с РБ «Фрегат» (РБ «Фрегат-СБ») показал, что вероятность возникновения данных ситуации крайне мала, а уровень

воздействия на окружающую среду характеризуется как локальный и незначительный.

В выводах необходимо показать, что внедрение мероприятий по обеспечению безопасности КРБ «Фрегат» на космодроме «Байконур» являются достаточными и эффективными из существующих и предлагаемых решений для защиты персонала и оборудования.

Рекомендации

по обеспечению безопасности труда при проектировании и эксплуатации комплекса разгонного блока «Фрегат» на космодроме «Байконур»

В общем случае безопасность при проектировании и эксплуатации КРБ «Фрегат» обеспечивается конструктивными, технологическими и техническими решениями, а также комплексом организационно-технических мероприятий.

К основным конструктивным и технологическим мероприятиям по обеспечению безопасности КУТ подготовки РБ «Фрегат» и РН типа «Союз-У» относятся:

- использование минимального количества разъемных соединений и обеспечение их герметичности;
- использование предохранительных мембран, фильтров и автоматически закрывающихся заглушек;
- использование системы блокировок для исключения проливов КРТ при проведении операций заправки и отстыковки от заправочных горловин РН комплекта автоматических стыковочных устройств;
- применение предохранительных клапанов, отключающих подачу газов и КРТ в неисправные магистрали.

К основным техническим мероприятиям по обеспечению безопасности при подготовке РБ «Фрегат» и РН «Союз-У» относятся:

- оснащение помещений и сооружений объектов космодрома «Байконур», задействованных при подготовке РБ «Фрегат» и РН «Союз-2», приборами газового анализа воздушной среды;
- использование приточно-вытяжной вентиляции.

К организационно-техническим мероприятиям по обеспечению защиты объектов наземной инфраструктуры космодрома «Байконур» от возможных аварийных ситуаций при подготовке РБ «Фрегат» и РН «Союз-У» относятся:

- соблюдение правил техники безопасности, изложенных в инструкциях по технике безопасности, действующих на месте эксплуатации, и выполнение мероприятий по их предупреждению;

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

- допуск к выполнению работ только лиц, изучивших устройство систем и правил их эксплуатации, сдавших зачеты и имеющих необходимую квалификацию;
- выполнение всех видов работ, проводимых на технологических агрегатах, строго по командам руководителя работ;
- контроль выполнения штатных работ эксплуатирующей организацией, представителями промышленности;
- постоянный контроль исправности технологического оборудования.

К основным организационно-техническим мероприятиям относится контроль состояния основных технологических агрегатов и систем. В соответствии с правилами Ростехнадзора осуществляется периодическое освидетельствование полторакратным рабочим давлением всех элементов, работающих под избыточным давлением. Кроме того, во избежание серьезных аварийных ситуаций, емкости оборудованы дренажными и предохранительными клапанами. Все емкости системы также снабжены местными и дистанционными (вынесенными на пульт управления) манометрами давления и указателями уровня, а также дистанционными указателями срабатывания дренажных клапанов. Все элементы систем выполнены из коррозионно-стойких материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козьяков А.Ф. Некоторые подходы к анализу и оценке рисков// Безопасность жизнедеятельности. 2005, №3.
2. Девисилов В.А. Ноксологическое образование в обществе риска. //Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XI. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2009.
3. Безопасность жизнедеятельности. Ч.1. Безопасность жизнедеятельности на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / К.Б. Кузнецов, В.К. Васин, В.И. Купаев, Е.Д. Чернов; Под ред. К.Б. Кузнецова. – М.: Маршрут, 2005.
4. Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XV: В 2 т. – Том 1. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2013.
5. Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XV: В 2 т. – Том 2. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2013.
6. Гапонов В.Л., Киселева Ю.Ю., Кузнецов Д.М., Гаршин В.И. "Анализ методик прогнозирования профессиональных рисков"//Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XIV: В 2 т. – Том 1. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2012.
7. Сергиенко Ю. С. Оценка точности оптимизации объемов производства на основе регрессионных моделей. Автореферат магистерской диссертации. masters.donntu.edu.ua/2006/fvti/sergienko/diss/index.htm.
8. Забабурин В.М. "Физический подход оценки безопасности человека в эрготических системах"//Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XIV: В 2 т. – Том 1. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2012.
9. Кокорин А.М., Кузнецова А.В. "Оценка безопасности жизни человека в урбанизированной среде на примере г.Коврова Владимирской области"//Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8. Материалы Международной

научно-практической конференции. Выпуск XIV: В 2 т. – Том 1. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2012.

10. Шкрабак В.С., Смирнова Н. К., Митрофанов П. Г., Митрофанов С. П., Ядрышникова А.А., Захватаева А.В., Цинн А.А. "Оценка безопасности системы человек-машина-среда параметрами риска и способы его измерения"//Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XIV: В 2 т. – Том 1. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2012.

11. Гапонов В.Л., Кузнецов Д.М., Гаршин В.И., Киселёва Ю.Ю. "Модель управления профессиональными рисками"//Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XIV: В 2 т. – Том 1. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2012.

12. Суворов С.Б. Комплексный подход к оценке травмобезопасности рабочих мест // Безопасность жизнедеятельности. 2007, №8.

13. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник / С.В. Белов. – 2 изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2011.

14. Федеральный закон № 116 от 20.06.97 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

15. ГН 2.2.5.1313-03 «ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

16. СП 2.2.2.1327-03 «Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту».

17. СП 1.1.1058-01 «Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

18. Материалы по оценке воздействия КРБ "Фрегат". <http://www.fregat-bay.narod.ru>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 КАРТА УСЛОВИЙ ТРУДА (КУТ) НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Приложение N 1

Приложение N 1. КАРТА УСЛОВИЙ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Предприятие						
Производство			Цех			
Участок			Профессия			
Количество аналогичных рабочих мест			Численность рабочих			
N п/п	Факторы производственной среды	Норматив ПДК, ПДУ	Фактич. состояние факторов	Хст., балл	Т	Хфакт. балл
1	2	3	4	5	6	7
	Вредные химические вещества, мг/куб. м					
	1 класс опасности					
	2 класс опасности					
	3 - 4 класс опасности					
	Пыль, мг/куб. м					
	Вибрация, дБ					
	Шум, дБА					
	Инфракрасное излучение, Вт/кв. м					
	Неионизирующее излучение					
	ВЧ (высокочастотное), Вт/кв. м					
	УВч (ультравысокочастотное) Вт/кв. м					
	СВЧ (сверхвысокочастотное), мкВт/кв. см					
	Температура воздуха на рабочем месте (в помещении), град. С					
	Тяжесть труда					

Сумма значений факторов производственной среды (СУМ Хфактич.)

балл		
Размер доплаты за условия труда, процент		
Подпись ответственного за заполнение Карты		
Подпись начальника цеха (участка)		
Дата заполнения		

Приложение 2

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

АС	– аварийные ситуации
АТ	– азотный тетраоксид
АТИН	– азотный тетраоксид ингибированный
АФС	– антенно-фидерная система
БЦВК	– бортовой цифровой вычислительный комплекс
БЦВМ	– бортовая цифровая вычислительная машина
ВУВ	– воздушная ударная волна
ГО	– головной обтекатель
ГСМ	– горюче-смазочные материалы
ГЭЭ	– государственная экологическая экспертиза
ДУ	– двигательная установка
ДУ СОЗ	– двигательная установка системы обеспечения запуска
ЗС	– заправочная станция
КА	– космический аппарат
КГЧ	– космическая головная часть
КРБ	– комплекс разгонного блока
КРК	– космический ракетный комплекс
КРН	– комплекс ракеты-носителя
КРТ	– компоненты ракетного топлива
КСИСО	– комплект средств измерений, сбора и обработки информации
ЛИ	– лётные испытания
МДУ	– маршевая двигательная установка
МИК	– монтажно-испытательный корпус
НДМГ	– несимметричный диметилгидразин
НИК	– наземный измерительный комплекс
ОВОС	– оценка воздействия на окружающую природную среду
ОКП	– околоземное космическое пространство
ОС	– окружающая среда
ОЧ	– отделяющаяся часть
ПДК	– предельно-допустимая концентрация
ПхО	– переходной отсек
РБ	– разгонный блок
РКН	– ракета космического назначения
РН	– ракета-носитель
РП	– район падения

Проектирование систем обеспечения безопасности КУТ

- СЗБ – сборочно-защитный блок
- СК – стартовый комплекс
- СОТР – система обеспечения теплового режима
- ССЕВ – система синхронизации и единого времени
- СТР – система терморегулирования
- СУ – системы управления
- ТК – технический комплекс
- ХО – хвостовой отсек