

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Институт недропользования  
Кафедра промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности

Допускаю к защите  
Руководитель Д.М. Рожков, доцент  
(Ф.И.О., должность, подпись)

Расчет показателей надежности и технологического риска самосвала  
БелАЗ 7540А

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к курсовой работе по дисциплине

Надежность технических систем и техногенный риск

1.007.00.00 ПЗ

Выполнил студент ООС6 19-1  
шифр группы

А.С. Иванова  
подпись

А.С. Иванова  
И.О. Фамилия

Нормоконтроль

Д.М. Рожков  
подпись

Д.М. Рожков  
И.О. Фамилия

Курсовая работа защищена с оценкой

Хорошо

Иркутск 2022 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ЗАДАНИЕ  
НА КУРСОВУЮ РАБОТУ**

По курсу Надежность технических систем и техногенный риск

Студенту Ивановой А.С.

Тема курсовой работы «Расчет показателей надежности и технологического  
риска самосвала БелАЗ 7540А»

Исходные данные Технический паспорт оборудования

Рекомендуемая литература

1. Тимофеева С.С. Надежность технических систем и техногенный  
риск: учебн. пособие. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. – Ч. 1. – 141 с.

2. Тимофеева С.С. Надежность технических систем и техногенный  
риск: учебн. пособие. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – Ч. 2. – 116 с.

Графическая часть на   —   листах.

Дата выдачи задания “28” октября 2022 г.

Дата представления проекта руководителю “22” января 2022 г.

Руководитель курсовой работы

В.М. Рожков

подпись, фамилия, инициалы

## Содержание

Введение.....	4
1 Общая характеристика предприятия.....	5
2 Схема технологического процесса открытых горных работ.....	7
2.1 Горно-подготовительные работы.....	7
2.2 Буровзрывные работы.....	7
2.3 Вскрышные работы.....	8
2.4 Работы по добыче.....	8
2.5 Транспортирование горных пород.....	9
2.6 Техническая характеристика БелАЗа 7540А.....	10
3 Аналитическая часть.....	12
3.1 Построение дерева отказов для самосвала БелАЗ 7540А.....	12
3.2 Анализ видов последствий и критичности отказов оборудования БелАЗа 7540А.....	17
3.3 Анализ надежности методом построения дерева события.....	20
4 Методы анализа техногенного риска.....	23
4.1 Оценка рисков при производстве работ.....	23
Заключение.....	29
Список используемых источников.....	30

## Введение

Надежностью называют свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Расширение условий эксплуатации, повышение ответственности выполняемых техническими системами (ТС) функций, их усложнение приводит к повышению требований к надежности.

Надежность является сложным свойством, и формируется такими составляющими, как безотказность, долговечность, восстанавливаемость и сохраняемость. Основным здесь является свойство безотказности - способность непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение времени. Потому наиболее важным в обеспечении надежности технических систем является повышение их безотказности. Особенностью проблемы надежности является ее связь со всеми этапами “жизненного цикла” технической системы от зарождения идеи создания до списания: при расчете и проектировании изделия его надежность закладывается в проект, при изготовлении надежность обеспечивается, при эксплуатации - реализуется. Поэтому проблема надежности - комплексная проблема и решать ее необходимо на всех этапах и разными средствами.

На этапе проектирования изделия определяется его структура, производится выбор или разработка элементной базы, поэтому здесь имеются наибольшие возможности обеспечения требуемого уровня надежности технической системы. Основным методом решения этой задачи являются расчеты надежности (в первую очередь - безотказности), в зависимости от структуры объекта и характеристик его составляющих частей, с последующей необходимой коррекцией проекта.

Целью данной работы является изучение, анализ и оценка возможных отказов оборудования в горнодобывающей промышленности на примере БелАЗа 7540 А.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

- изучить основной технологический процесс в горной промышленности;
- изучить оборудование;
- рассчитать надежность оборудования;
- выявить наиболее ненадежные элементы методом АВПКО.

## 1 Общая характеристика предприятия

Объектом исследования в курсовой работе является рудник «Мир», принадлежащий Группе «АЛРОСА». Группа «АЛРОСА» – транснациональная корпорация, ведущая свою деятельность в семи странах на трех континентах.

Базовые производственные мощности АК «АЛРОСА» (ПАО) сосредоточены в Республике Саха (Якутия): г. Якутск и районы Западной Якутии – Мирнинский район (города Мирный и Удачный, поселки Айхал и Светлый), Ленский район, Анабарский и Нюрбинский улусы республики.

В Архангельской области России компания управляет дочерней алмазодобывающей компанией «Севералмаз». Представительства АК

«АЛРОСА» (ПАО) действуют в ряде городов России – Москве, Санкт-Петербурге, Орле, Якутске.

За пределами России компания представлена филиалом АК «АЛРОСА» (ПАО) в Республике Ангола (г. Луанда). В этой же стране компания владеет 32,8% акций горнорудного общества ГРО «Катока» – крупнейшего производителя алмазов Центральной Африки. Кроме того, АК «АЛРОСА» (ПАО) принадлежит 55% в уставном капитале акционерного общества

«Гидрошикапа», созданного в 2000 году совместно с Национальным энергетическим предприятием Республики Ангола «ЭНЭ». Общество выступает заказчиком строительства и эксплуатации гидростанции «Шикапа-1» на реке Шикапа в провинции Лунда Сул.

Представительства сбытовых организаций АК «АЛРОСА» (ПАО) в зарубежных странах действуют в Великобритании (г. Лондон), Бельгии (г. Антверпен), Китае (г. Гонконг), Израиле (г. Рамат-Ган), ОАЭ (г. Дубай), США (г. Нью-Йорк).

Офисы компании находятся в г. Мирный Республики Саха (Якутия) и в г. Москва.

Верхняя часть месторождения «Мир» обрабатывалась открытым способом с 1959 года. В 1988 году карьер достиг абсолютной отметки -120м и из-за возросших притоков воды в карьер из вскрытого метегероичерского водоносного горизонта горные работы были прекращены. После отключения системы водоотлива началось восстановление уровней воды и затопление карьера. С 1992 года велась откачка воды из затопленного карьера и в 1997 году вода из карьера была откачана, после чего были возобновлены открытые горные работы. Одновременно с этим для защиты карьера от затопления внутри него была сооружена кольцевая противофильтрационная завеса (ПФЗ). В настоящее время установившийся приток воды к открытому карьерному водоотливу составляет порядка 1200 м<sup>3</sup>/час. Вода, откачиваемая из карьера и системы водопонижающих скважин (за контуром ПФЗ), поступает в водохранилище-накопитель, откуда в количестве до 1200 м<sup>3</sup>/час закачивается в скважину, пробуренную в подземный геологический разлом. В 2001 году закончена обработка запасов в контуре карьера до абсолютной

отметки –190м и начата работа по его консервации, а также подготовка к строительству подземного рудника.

Месторождение является опасным по выделению горючих газов, а также по нефтебитумопроявлениям. Источником газов в породах является выделение их из рассолов и нефти, а также из каверн и трещин. Верхняя часть разреза, вмещающих пород, представленная отложениями илгинской и верхоленской свит, отличается низкой газонасыщенностью. Газоносность метегеро-ичерских отложений обусловлена газами, растворенными в подземных водах этого комплекса. Наиболее газоносными являются породы толбачанской свиты. Максимальная общая газоносность пород в интервалах пластов-коллекторов составляет 3,9 м<sup>3</sup>/т. Четко выделяются два типа газов: сероводородо-азотно- метановые, приуроченные к метегеро-ичерскому водоносному комплексу, и углеводородные, приуроченные ко всей толще пород, залегающих ниже водоносного комплекса. Газоносность пород, обусловленная открытой пористостью, по данным разведки, составляет:

- для чарской свиты – 1,6 м<sup>3</sup>/т;
- для олекминской свиты – 2.9 м<sup>3</sup>/т;
- для толбачанской свиты – 3.3 м<sup>3</sup>/т.

Нефтебитумопроявления прослежены до глубины 1200м и приурочены, как правило, к карбонатным породам, ангидрито-доломитам всех свит нижнего кембрия. Наиболее нефтенасыщенным является разрез олекминской свиты. Масштаб нефтебитумопроявлений в кимберлитах значительно меньше, чем во вмещающих породах. Одним из основных условий безопасной работы рудника будет являться предварительная дегазация пород.

Месторождение характеризуется весьма сложными гидрогеологическими условиями, что в первую очередь связано с наличием в толще массива пород мощного водоносного горизонта. Основной водоносный комплекс приурочен к породам метегерской и ичерской свит. Кровлей водоносного комплекса является граница многолетнемерзлых пород верхоленской свиты. Абсолютная отметка кровли минус 5 ... плюс 20 м. Подошва горизонта находится на абсолютной отметке минус 130 ... 150 м. Общая мощность водоносного комплекса составляет порядка 150 м. Подземные воды метегеро-ичерского комплекса имеют хлоридно-натриевый состав, минерализацию от 95 до 130 г/л, содержат растворенные газы (производные азота – 70-90%, метан – 5%, сероводород – 2-3%). Осложняющим фактором является присутствие в рассолах сероводорода, средние концентрации которого в рассолах за весь период наблюдений за функционированием системы водопонижения на карьере

«Мир» составляют 100-120 мг/л.

Обработка нижних горизонтов месторождения должна быть осуществлена без допуска рассолов метегеро-ичерского водоносного комплекса в горные выработки. Это связано с тем, что соприкосновение рассолов с соляной толщей чарской свиты, может привести к интенсивному

растворению солей, образованию полостей в массиве пород с последующим лавинообразным нарастанием поступления воды и затоплением рудника.

## **2 Схема технологического процесса открытых горных работ**

### **2.1 Горно-подготовительные работы**

Подготовка горных пород к выемке должна обеспечивать следующие задачи:

- обеспечение безопасности горных работ;
- обеспечение необходимого качества добываемого сырья;
- создание технической возможности и наилучших условий для применения средств механизации в последующих технологических процессах.

Достижение задач обеспечивается:

- разупрочнением и изменением агрегатного состояния горных пород;
- разрыхлением породного массива;
- осушением пород уступа.

Способы подготовки горных пород зависят от вида, агрегатного состояния и свойств пород в массиве. Применяемые способы можно разделить по виду используемой энергии на:

- механические (исполнительными органами горных машин);
- гидравлические (нагнетанием воды в массив, безнапорным водонасыщением);
- физические (электромагнитное и термическое воздействие);
- химические (обработку различных пород различными химикатами);
- взрывные (применение для рыхления пород ВМ).

### **2.2 Буровзрывные работы**

Анализ физико-механических свойств пород участков представлены полускальными породами средней буримости, коэффициент крепости пород по шкале проф. Протоджяконова показывает, что породы вскрыши требуют предварительного рыхления взрыванием.

При буровзрывных работах предусматриваются скважины наклонного бурения. Применение наклонного бурения позволяет перемещать в отвал значительные объемы взорванной породы и обеспечивает наилучшее и равномерное дробление пород.

Взрывные работы производятся методом скважинных колонковых зарядов, взрывание с помощью детонирующего шнура, короткозамедленное. В качестве замедлителя для снижения сейсмического воздействия взрыва используется пиротехническое реле РП-8. При глубине скважины свыше 15 м производится дублирование взрывной сети. Детонирующий шнур до введения его в скважину режется на отрезки требуемой длины. Соединение с магистральным шнуром производится способом, указанным в инструкции,

находящейся в ящике с детонирующим шнуром. Взрывание породных уступов производится при обнаженной со стороны выработанного пространства плоскости. Скважины слабо обводнённые, почти сухие.

В качестве взрывчатого вещества применяется игданит местного изготовления как наиболее дешевое и достаточно эффективное для взрывания пород данного участка. Для безотказной детонации игданита используется промежуточный детонатор из граммонита 79/21. На взрывных работах применяются тротиловые шашки Т-400. Заряжание скважин производится зарядно-смесительными машинами МЗ-4 (на базе БелАЗ-540). Для загрузки аммиачной селитры из железнодорожных вагонов и загрузки ее в зарядные машины имеется механизированный склад аммиачной селитры. Забойка скважин производится забоечными машинами ЗС-2 с вместимостью бункера 8 м<sup>3</sup>. Забоечным материалом является насыпной грунт. Схема взрывания порядная односекционная.

### **2.3 Вскрышные работы**

На основании горно-геологических условий и выбранной системы разработки в проекте принимается вариант разработки участка одним блоком с двумя капитальными траншеями, расположенными по флангам. Вскрышной экскаватор обрабатывает блок на всю длину (1800 м), затем холостым ходом возвращается на начало второго вскрышного блока. Это связано с продвижением вскрышного экскаватора и безопасным расстоянием между драглайном и добычной машиной. Вскрышные работы ведутся одним экскаватором ЭШ-20.90. работает в условиях бестранспортной системы разработки по простой схеме.

Простая схема характеризуется непосредственной перевалкой взорванной горной массы в выработанное пространство. Экскаватор работает по такой схеме до 37 м включительно. После взрыва блока экскаватор встает в развале на подступ и значительный объем горной массы экскавируется верхним черпанием. Развал заваливает добычные уступы и для их тщательной отчистки от породы экскаватор устанавливается от верхней бровки пласта 5 на расстоянии не более 7 м. Это условие соблюдается при любой мощности вскрыши. Работая верхним черпанием и увеличивая высоту верхнего черпания, производительность экскаватора снижается, поэтому нежелательно доводить высоту верхнего черпания до максимального значения.

### **2.4 Работы по добыче**

Работы по добыче — это наиболее обширный вид работ, он охватывает все виды, начиная от выемки песков и кончая размещением хвостов промывки в отвал. Исходя из горнотехнических параметров участка месторождения г. Мирный проектом принята разработка и доставка песков экскаваторно-автотранспортным комплексом.

Работы начинаются снизу вверх по восстанию с блока с тем, чтобы обеспечивалось лучшее осушение рабочих горизонтов.



Работы начинаются с проведения разрезной траншеи к кровле пласта и к плотнику. Отработка запасов песков ведётся верхним черпанием вертикальными стрижками. На первом этапе вид забоя принят тупиковым, дабы произвести зарезку в плотик, после чего продольными заходками, чтобы обеспечивать отработку во всю ширину блока по возрастанию. Это упрощает осушение полигона, а также технологию ведения с применением автотранспорта. Тип забоя экскаватора с погрузкой в карьерный самосвал БелАЗ 7540А принят боковой, так как при работе таким забоем обеспечивается наибольшая производительность, поскольку угол поворота не превышает 90°.

Рабочий цикл механизированной лопаты состоит из следующих основных операций:

- Наполнение ковша в забое
- Вывод ковша из забоя
- Поворота к месту разгрузки
- Установка ковша над местом разгрузки
- Разгрузка
- Поворот к забою
- Втягивание рукоятки
- Отпускание ковша к основанию забоя

Доставка песков из забоя к прибору проходит по отсыпной дороге тремя БелАЗами, при этом средняя дальность транспортировки составляет 1,5 км.

Общий принцип работы заключается в следующем:

Золотоносные пески автосамосвалами подвозят к комплексу и выгружают в приёмный бункер. Из бункера с помощью питателя на наклонный лоток и попадают в валуноотделитель, после чего в валуноотделителе происходит процесс дезинтеграции, валуны размером >150 мм разгружаются в нижнем конусе грохота и убираются бульдозером Т-170.

Минусовой материал поступает на барабанный грохот для вторичной дезинтеграции и классифицируется (8мм, 10мм, 18-20мм, 40мм) после подгрохотный материал по пульповоду поступает на металлические двухтечные стационарные шлюза мелкого наполнения.

Отвалообразование - место для расположения отвалов гале и эфеля размещается в отработанном пространстве, чтобы исключить завалку или зашлихование прилегающих участков (водоотстойника) [2].

## **2.5 Транспортирование горных пород**

Автотранспорт, применяемый при выемке горной массы, отличается маневренностью, не требует больших радиусов закругления дорог, а также к профилю дорог предъявляются небольшие требования, что сокращает сроки и объемы горно-строительных работ. Карьерные самосвалы выбираются по соотношению вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала.

Наиболее рациональное соотношение 6-8 ковшей экскаватора на

автосамосвал. Исходя из принятого на добыче экскаватора ЭКГ-4У на основании рациональной грузоподъемности карьерного самосвала, принимается автосамосвал грузоподъемностью 30 тонн [2].

## **2.6 Техническая характеристика БелАЗа 7540А**

Карьерные самосвалы БелАЗ-7540А грузоподъемностью 30 тонн предназначены для перевозки горной массы и сыпучих грузов на открытых разработках полезных ископаемых, при сооружении крупных промышленных и гидротехнических объектов по технологическим дорогам в различных климатических условиях.

Наибольшая эффективность достигается при работе в комплексе с экскаваторами и погрузчиками с вместимостью ковша бмЗ.

Высокая производительность, надежность и экономичность самосвалов серии БелАЗ 7540А обеспечиваются применением высокоэффективных дизельных двигателей ведущих моторостроительных фирм мира, гидромеханической трансмиссии простой и надежной конструкции, активной системой опрокидывания платформы.

Комфортность и безопасность труда водителя обеспечивают комфортабельная кабина, гидрообъемное рулевое управление в сочетании с высокоэффективным гидравлическим тормозом-замедлителем, а также конструкция платформы, оснащенной защитным козырьком с системами безопасности ROPS и FOPS.

Хорошая маневренность, высокая плавность хода и устойчивость самосвалов данной серии достигаются за счет оптимально подобранных геометрических параметров машин и рулевого управления, использования пневмогидравлической подвески оригинальной конструкции.

Высокий ресурс самосвалов определяется применением совершенных силовых установок, высоким техническим уровнем узлов и агрегатов, использованием высокопрочных материалов, применяемых при изготовлении рамы и платформы.

Двигатель:

Модель, ЯМЗ – 240ПМ2, тип ДВС, дизельный, 4-х тактный с V-образным расположением цилиндров и непосредственным впрыском топлива.

Номинальная мощность, при 2100 об/мин, кВт (л.с.), 309/420  
Геометрическая вместимость кузова:

- вровень с бортами, 15,1 куб. м;
- с «шапкой» 2:1, 19,1

Габаритные размеры показаны на рис. 2.6.

- длина - 7110 мм;
- ширина, 4560 мм;
- высота, 3930 мм;

Условия работы:

- продолжительность смены, 12 часов;
- дальность транспортировки, 3,6 км.

В зависимости от характера перевозимого груза самосвалы могут комплектоваться платформами с увеличенной емкостью.

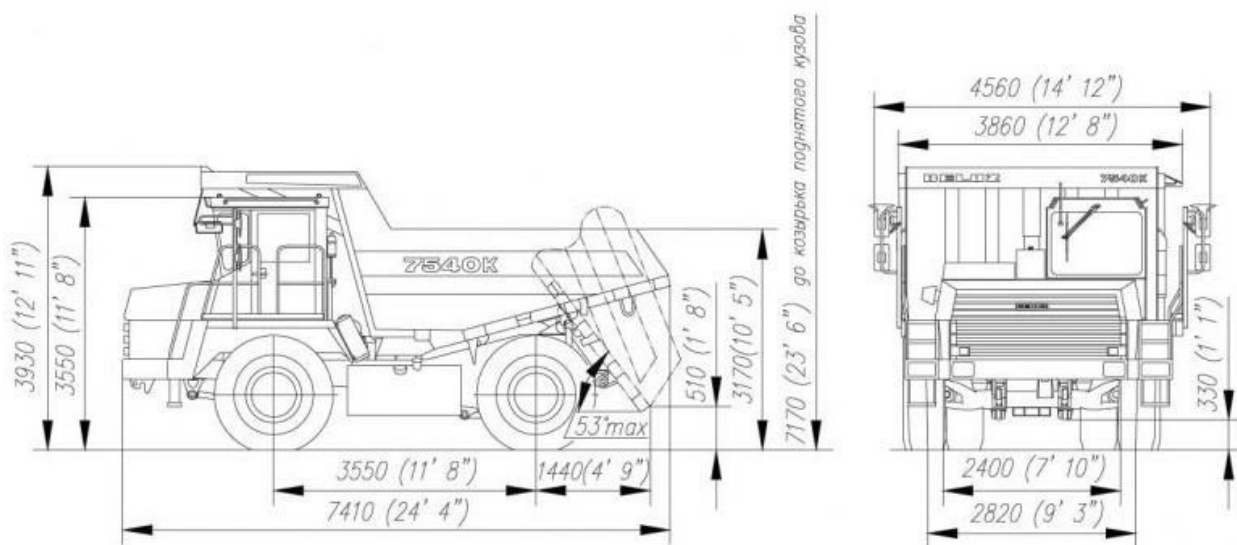


Рисунок 2.6 - Габаритные размеры БелАЗ 7540А

Приобретая карьерную технику с маркой "БЕЛАЗ", Вы можете быть уверены в наиболее оптимальном решении всех производственно-технологических вопросов и обеспечении самой низкой себестоимости работ погрузочно-транспортного комплекса, что достигается следующими факторами:

- комплексные поставки карьерной техники;
- большая степень унификации узлов и деталей;
- оптимальные цены на приобретаемую технику и запасные части;
- широкий диапазон применяемых расходных материалов;
- простота в обслуживании и ремонте;
- низкая трудоемкость технического обслуживания;
- высокий ресурс эксплуатации;
- сервисное обеспечение, техническое сопровождение машин в течение всего периода эксплуатации;
- постоянная работа по совершенствованию конструкции серийно выпускаемых машин и создание новых с учетом пожеланий заказчиков.

### 3 Аналитическая часть

#### 3.1 Построение дерева отказов для самосвала БелАЗ 7540А

Дерево отказов или дерево аварий представляет собой сложную графическую структуру, лежащую в основе словесно – графического способа анализа возникновения аварии из последовательностей и комбинаций неисправностей и отказов элементов системы.

С помощью анализа дерева отказов фактически делается попытка количественно выразить риск дедуктивным методом. Деревья отказов идентифицируют событие или ситуацию, создающие риск.

Рассмотрим метод «дерева отказов» для БелАЗа 7540А на рисунке 3.1.

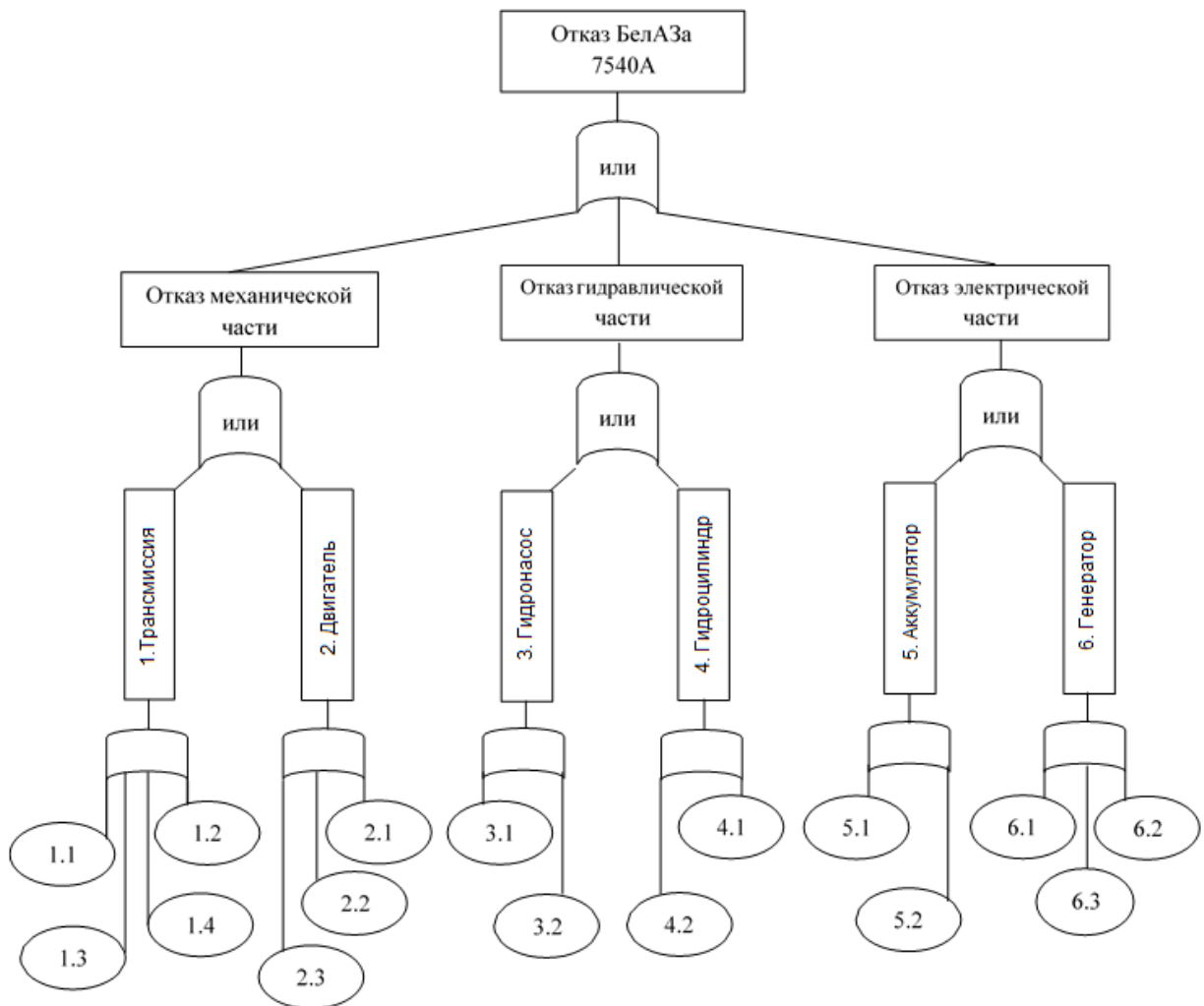


Рисунок 3.1 - Дерево отказов БелАЗа 7540А

Таблица 3.1 - Обозначение отказов

№ п\п	$\lambda_c$	Обозначение отказов	
		№	Описание
1	$0,2 \cdot 10^{-6}$	1.1	отказ коробки передач
2	$0,06 \cdot 10^{-6}$	1.2	отказ сцепления

Продолжение таблицы 3.1

3	$0,1125 \cdot 10^{-6}$	1.3	отказ пружины
4	$0,3 \cdot 10^{-6}$	1.4	отказ муфты
5	$0,3 \cdot 10^{-6}$	2.1	отказ механического фильтра
6	$5,6 \cdot 10^{-6}$	2.2	отказ клапана двигателя
7	$15 \cdot 10^{-6}$	2.3	отказ теплообменника
8	$0,02 \cdot 10^{-6}$	3.1	отказ резиновой прокладки
9	$3 \cdot 10^{-6}$	3.2	отказ в работе насоса
10	$5,6 \cdot 10^{-6}$	4.1	отказ клапана давления
11	$0,2 \cdot 10^{-6}$	4.2	отказ поршня
12	$3 \cdot 10^{-6}$	5.1	обрыв кабеля
13	$3 \cdot 10^{-7}$	5.2	короткое замыкание на землю
14	$1 \cdot 10^{-4}$	6.1	отказ реле в обмотке
15	$1 \cdot 10^{-6}$	6.2	отказ предохранителя
16	$0,65 \cdot 10^{-6}$	6.3	отказ подшипников

Интенсивность отказов системы составляет сумму интенсивностей отказов её элементов:

где,  $\lambda_c$  – интенсивность отказов системы,

$n$  – число элементов системы,

$\lambda_y$  – интенсивность отказа каждого элемента, составляющего систему

Вероятность безотказной работы, определяется по формуле (3.1):

$$P(t) = e^{-\lambda_c t} \quad (3.1)$$

где,  $P(t)$  – вероятность безотказной работы системы,

$t$  – время работы системы в течении года,

$\lambda_c$  – интенсивность отказов системы.

$t = 6000$  ч.

Вероятность отказа системы рассчитывается по формуле (3.2):

$$Q_t = 1 - P(t) \quad (3.2)$$

Где,  $Q_t$  – вероятность отказа системы.

Используя формулы 3.1 – 3.2 рассчитаем вероятность отказа элементов системы со второго уровня дерева отказов и объединим расчетные данные в таблицу 3.2.

1.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
2.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,06 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
3.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,1125 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
4.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
5.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
6.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-5,6 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,97$
7.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-15 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,91$
8.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
9.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,98$
10.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-5,6 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,97$
11.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
12.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-3 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,98$
13.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-3 \cdot 10^{-7} \cdot 6000} = 0,99$
14.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-1 \cdot 10^{-4} \cdot 6000} = 0,55$
15.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-1 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$
16.  $P(t) = e^{-\lambda t} = 2,72^{-0,65 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,99$

Таблица 3.2 – Вероятность отказов системы

Наименование отказа	$P(t)$	$Qt$
Коробка передач	0,99	0,01
Сцепление	0,99	0,01
Пружина	0,99	0,01
Муфта	0,99	0,01
Механический фильтр	0,99	0,01
Клапан двигателя	0,97	0,03
Теплообменник	0,91	0,09
Резиновая прокладка	0,99	0,01
Насос	0,98	0,02
Клапан давления	0,97	0,03
Поршень	0,99	0,01
Обрыв кабеля	0,98	0,02
Короткое замыкание на землю	0,99	0,01
Реле в обмотке	0,55	0,45
Предохранитель	0,99	0,01

Произведем анализ вероятности отказа БелАЗа 7540А. Для упрощения анализа предложены количественные оценки частоты появления отказов в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Количественные оценки частоты появления отказов

Ожидаемое наступление отказа	Ассоциируемая вероятность наступления отказа Q
Частое	$Q > 0,2$
Вероятное	$0,1 < Q < 0,2$
Редкое	$0,01 < Q < 0,1$
Очень редкое	$0,001 < Q < 0,01$
Невероятное	$Q < 0,001$

Используя вероятность отказа систем можно провести анализ видов последствий и критичности отказов. В таблице 3.4 приведен анализ вероятности отказа.

Таблица 3.4 – Анализ вероятности отказа

Система	$Q_t$	Ожидаемое наступление отказа
Коробка передач	0,01	Очень редкое
Сцепление	0,01	Очень редкое
Пружина	0,01	Очень редкое
Муфта	0,01	Очень редкое
Механический фильтр	0,01	Очень редкое
Клапан двигателя	0,03	Редкое
Теплообменник	0,09	Редкое
Резиновая прокладка	0,01	Очень редкое
Насос	0,02	Редкое
Клапан давления	0,03	Редкое
Поршень	0,01	Очень редкое
Обрыв кабеля	0,02	Редкое
Короткое замыкание на землю	0,01	Очень редкое
Реле в обмотке	0,45	Частое
Предохранитель	0,01	Очень редкое
Подшипник	0,01	Очень редкое

Все входящие и выходное события связаны знаком «ИЛИ», вероятность безотказной работы выходного элемента находится по формуле (3.3):

$$PB(t) = \prod_{i=0}^n Pi(t) \quad (3.3)$$

где,  $Pi(t)$  - вероятность безотказной работы входных элементов.

Таким образом, по формуле 3.3 проводится расчет вероятности безотказной работы для всех уровней дерева отказов, затем находится соответствующая вероятность отказа и выполняется поиск наиболее ненадежных звеньев в устройстве рассматриваемого оборудования, а также анализ видов последствий и критичности отказов.

Таблица 3.5 - Частично-значимая матрица отказов «Вероятность отказа - тяжесть последствий» БелАЗа 7540А

Ожидаемая частота отказов	Тяжесть (значимость) отказа, категория			
	I	II	III	IV
Частный	A	A	B	B
Вероятный	B	B	C	C
Возможный	C	B	C	C
Редкий	C	C	C	D
Очень редкий	C	D	A	D
Практически невероятный	D	D	D	D

По степени тяжести конечных последствий отказа подразделяются на четыре категории:

I. Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей.

II. Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижения готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей.

III. промежуточный (маргинальный) отказ, приводящий к экономическим потерям;

IV. Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи.

Причины отказов делятся на четыре группы:

A – обязателен углубленный количественный анализ критичности;

B – желателен количественный анализ критичности;

C – можно ограничатся качественным анализом;

D – анализ не требуется.



### **3.2 Анализ видов последствий и критичности отказов оборудования БелАЗа 7540А**

Анализ видов и последствий отказов компонентов технической и функциональной структур проектируемой системы является первым этапом проектного исследования надежности и безопасности. Общепринятой международной аббревиатурой для обозначения анализа видов и последствий отказов является FMEA (failure mode and effect analysis). Этот вид анализа относится к классу предварительного качественного и упрощенного количественного анализа на стадии проектирования. Если проводятся количественные оценки, то употребляется термин FMESA (failure mode, effect and criticality analysis – анализ видов, последствий и критичности отказов). Первые опыты проведения FMEA относятся к аэрокосмическим проектам 60-х годов СССР и США. В 80-х годах процедуры FMEA стали внедряться в автомобильной промышленности США в Ford Motor Company. В настоящее время анализ видов и последствий отказов является обязательным этапом проектной оценки надежности и безопасности объектов космической, авиастроительной, атомной, химико-технологической, газо-нефтеперерабатывающих и горных отраслей. В областях, где этот этап не является обязательным, возникают опасные инциденты, приводящие к большим экономическим и экологическим потерям и угрожающие жизни и здоровью людей.

Можно выделить три основные цели проведения АВПКО:

- выявление потенциально-возможных видов отказов компонентов системы и определение их влияния на систему в целом и возможно окружающую среду;
- классификация видов отказов по уровням критичности или по уровням критичности и частоте возникновения;
- выдача рекомендаций по пересмотру проектных решений с целью компенсации или устранения опасных видов отказов.

Выстроим последовательность и взаимосвязь этапов выполнения АВПКО системы пылеподавления бурового станка:

- построение и анализ функциональной и технической структур объекта;
- анализ условий эксплуатации объекта;
- анализ механизмов отказов элементов, критериев и видов отказов
- классификация (перечень) возможных последствий отказов;
- анализ возможных способов предотвращения (уменьшения частоты) выделенных отказов (последствий отказов).

Последствия отказов элементов по влиянию на единицы более высокого уровня деления классифицируются на следующие виды:

- локальные, не вызывающие отказы элементов более высокого уровня;
- промежуточные, связанные с отказами элементов следующего уровня

деления объекта;

- конечные, приводящие к отказу объекта.

При выполнении количественных оценок проектных решений по АВПКО виды отказов компонентов принято характеризовать тремя параметрами:

- частота возникновения;
- степень обнаружения;
- тяжесть последствий.

Так как анализ носит предварительный характер, то обычно используют балльные экспертные оценки этих параметров таблица 3.6, таблица 3.7, таблица 3.8.

Таблица 3.6 - Частота появления отказов

Ожидаемое наступление отказа	Ассоциируемая вероятность наступления отказа $Q$	$B_1$ , баллы
Частое	$Q > 0,2$	9-10
Вероятное	$0,1 < Q < 0,2$	7-8
Редкое	$0,01 < Q < 0,1$	5-6
Очень редкое	$0,001 < Q < 0,01$	3-4
Невероятное	$Q < 0,001$	1-2

Таблица 3.7 – Классификация отказов по степени обнаружения

Характеристика отказов по степени обнаружения	$B_2$ , баллы
Может быть выявлен средствами встроенного контроля	1-2
Может быть обнаружен в процессе изготовления	3-4
Может быть обнаружен при пуске и наладке объекта	5-6
Может быть обнаружен во время технических осмотров и ремонтов	7-8
Невозможно обнаружение отказа во время технических осмотров и ремонтов	9-10

Таблица 3.8 - Классификация отказов по тяжести последствий

Тяжесть последствий	Категория отказов Q	V <sub>3</sub> , баллы
Катастрофический	Категория I	9-10

Продолжение таблицы 3.8

Критический	Категория II	7-8
Некритический	Категория III	4-6
Несущественный	Категория IV	1-3

Критичность отказа  $C_i$  определяется по формуле (3.4):

$$C_i = V_{1i} V_{2i} V_{3i} \quad (3.4)$$

Расчет критичности в рамках АВПКО-конструкции и АВПКО-процесса до внедрения корректирующих мер выполним в табличной форме. Результаты оценки представим в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Оценка критичности отказов

№п/п	Вид отказа	АВПКО					Корректирующие меры
		конструкции				C <sub>i</sub>	
		До корректирующих мер					
		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>			
1	Коробка передач	3	9	5	225	ППР, ТО.	
2	Сцепление	3	9	4	252	ППР, ТО.	
3	Пружина	3	7	4	196	ППР, ТО.	
4	Муфта	3	9	5	360	ППР, ТО.	
5	Фильтр механический	3	7	3	210	ППР, ТО.	
6	Клапан двигателя	5	9	5	225	ППР, ТО.	
7	Теплообменник	5	9	4	180	-	
8	Прокладка резиновая	3	7	5	210	ППР, ТО.	
9	Насос	5	9	5	225	ППР, ТО.	
10	Клапан давления	5	9	4	252	ППР, ТО.	
11	Поршень	3	9	4	180	-	
12	Обрыв кабеля	5	7	5	175	-	
13	Короткое замыкание на землю	3	3	4	120	-	
14	Реле, отказ в обмотке	9	3	4	60	-	
15	Предохранитель	3	3	3	45	-	
16	Подшипник	3	7	4	140	-	
<b>C<sub>кр</sub></b>					196		

$$C_{кр} = V_1 * V_2 * V_3$$

При условии, если  $C_i < C_{кр}$  то корректирующие мероприятия не требуются, а если  $C_i > C_{кр}$  то необходимо разработать корректирующие мероприятия.

$$C_{кр} = 7 * 7 * 4 = 196$$

При получении результатов  $C_{кр}$ , рассматриваем вышеуказанные условия, в результате чего видно, что необходимо разработать корректирующие мероприятия для отказов под порядковыми номерами с 1 по 6, а также 8,9,10.

### **3.3 Анализ надежности методом построения дерева события**

Анализ деревьев событий (АДС) (Event Tree Analysis - ETA) - алгоритм построения последовательности событий, исходящих из инициирующего события (аварийной ситуации). Метод используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией, с воспламенением). Результатом оценки риска является перечень исходов для каждого рассматриваемого случая; при этом рассчитываются частота и последствия; т.е. величины ожидаемых последствий.

Методы деревьев отказов и событий являются трудоемкими и применяются, как правило, для анализа проектов или модернизации сложных технических систем и производств.

Анализ дерева событий может дать ответ на вопрос: какие аварийные ситуации могут возникнуть и какие вероятности этих событий?

Последовательности потенциальных событий определяются начиная с исходного (инициирующего) события и последующего анализа прочих событий, вплоть до того момента, когда авария либо происходит, либо предотвращается.

Полную картину риска дает анализ всех возможных последствий.

Дерево событий рисуется слева направо и начинается с инициирующего события.

Этим инициирующим событием является любое событие, которое может привести к отказу какой-либо системы или компонента.

В дереве событий инициирующие события связаны со всеми другими возможными событиями — ветвями, а каждый сценарий представляет собой путь развития аварии от инициирующего события к результирующему событию, состоящий из набора таких разветвлений. Ветви характеризуют возможные сценарии причинения ущерба человеку или окружающей среде при нежелательном воздействии на них потоков энергии и вещества, высвобождающихся в результате происшествий.

Определив все инициирующие события и организовав их в логическую последовательность, можно получить большое число потенциальных

сценариев аварии. С помощью анализа дерева событий можно определить пути развития аварии, которые вносят наибольший вклад в риск из-за их высокой вероятности или потенциального ущерба.

Методология дерева событий дает возможность:

- описать сценарии аварий с различными последствиями от различных исходных событий;
- определить взаимосвязь отказов систем с последствиями аварии;
- сократить первоначальный набор потенциальных аварий и ограничить его лишь логически значимыми авариями;
- идентифицировать верхние события для анализа дерева отказов.

Анализ ветвей и путей развития аварии позволяет вносить изменения в конструкцию или эксплуатационные процедуры с учетом этих путей, обуславливающих наибольший вклад в суммарный риск.

На рисунке 3.3 показано дерево событий выхода из строя резиновой прокладки гидронасоса гидросистемы (разгерметизация гидросистемы) самосвала БелАЗ 7540.

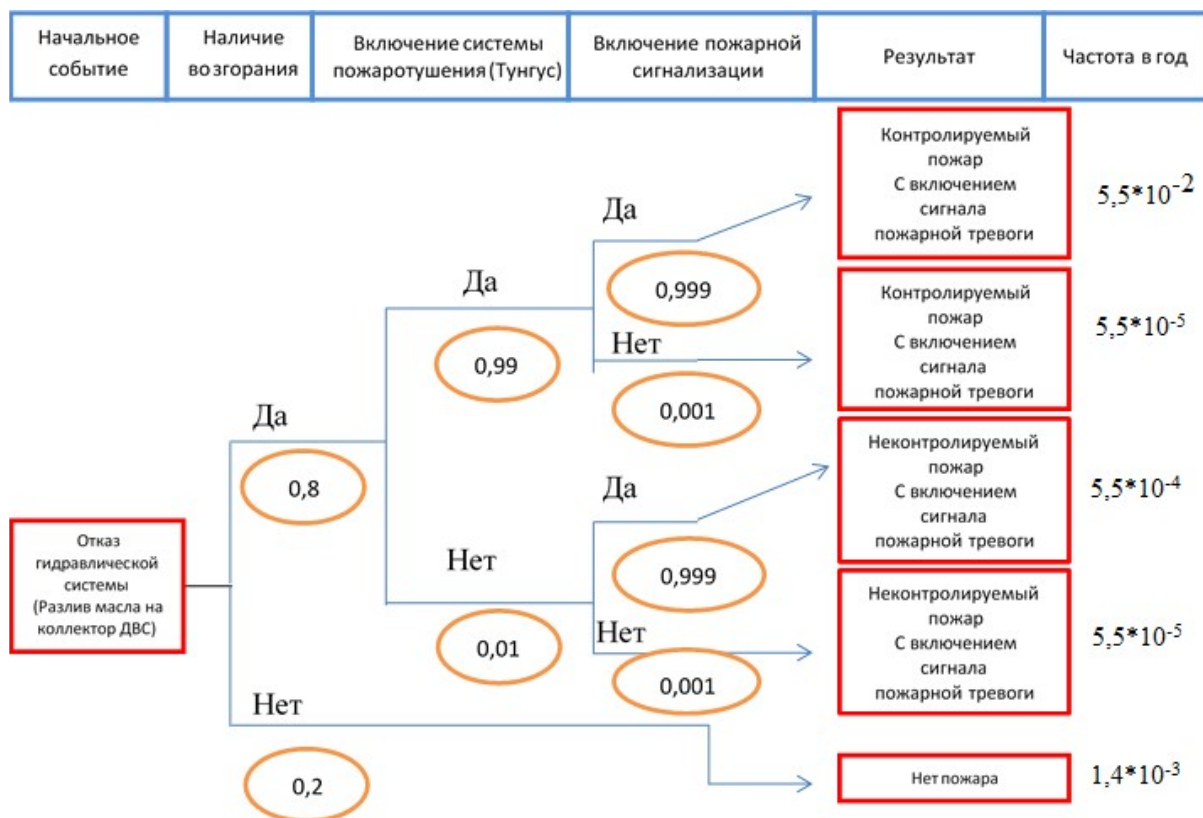


Рисунок 3.3 - дерево событий выхода из строя резиновой прокладки гидронасоса гидросистемы (разгерметизация гидросистемы) самосвала БелАЗ 7540

Вероятность событий результатов рассчитывается следующей формулой:

$$P = \prod P_{1234\dots} \quad (2.3.1)$$

где  $P$  – вероятность событий.

Исходя из полученных данных следует, что наибольшая вероятность событий при выходе из строя резиновой прокладки гидронасоса гидросистемы будет контролируемый пожар с включением сигнала тревоги.

Мероприятия по снижению вероятности отказов разрушения самосвала:

- проверка оборудования перед началом работы;
- выполнение правил безопасности при эксплуатации горного оборудования, согласно Единых правил безопасности (ЕПБ);
- эксплуатация оборудования в соответствии с паспортом завода изготовителя.

## 4 Методы анализа техногенного риска

### 4.1 Оценка рисков при производстве работ

Производственный риск — это форс-мажорные обстоятельства, возникшее во время производственного процесса, лабораторных исследований, разработок, реализации услуг и в процессе обслуживания и транспортировки.

Управление рисками предприятия возможно в системном формате. С самого начала необходимо анализировать риски, это позволит получить информацию о структурах и свойствах объекта, который возможно подвергнется риску в будущем [5].

Процедура оценки рисков при производстве работ включает в себя три этапа:

I этап - идентификация (определение) опасностей; II этап – собственно оценка риска;

III этап – управление рисками.

На I этапе – идентификация опасностей – выявим все возможные опасности.

На следующем (II) этапе проведем оценку рисков.

Методика представляет собой матрицу, в которой по вертикали расположена шкала тяжести последствий, а по горизонтали – вероятность возникновения опасного события. Точка пересечения вероятности и последствий является значением риска. Если точка пересечения попадает в зеленую зону, то риск «приемлемый», в желтую – риск «высокий», в красную - «неприемлемый». Вероятность опасного события показана на рисунке 4.1.

Вероятность опасного события		A	B	C	D	E
Тяжесть последствий	1	Красная	Красная	Красная	Красная	Красная
	2	Красная	Красная	Красная	Красная	Желтая
	3	Красная	Красная	Красная	Желтая	Зеленая
	4	Красная	Красная	Желтая	Зеленая	Зеленая
	5	Красная	Желтая	Зеленая	Зеленая	Зеленая

Рисунок 4.1 – Матрица рисков самосвала

Таблица 4.1 - Определение категории тяжести несчастного случая

Категории тяжести	Тяжесть последствий
1	Травма, повлекшая смерть, групповой смертельный случай
2	Травма с потерей трудоспособности, приведшая к постоянной инвалидности
3	Травма с потерей трудоспособности без долгосрочных последствий
4	Травма с необходимостью медицинского вмешательства без потери трудоспособности

5	Травма, требующая оказания простых мер первой помощи
---	--

Таблица 4.2 - Категории вероятности несчастного случая

Категории вероятности		Вероятность события
А	Ожидается	Обязательно произойдет. Практически несомненно
В	Вполне вероятно	Зависит от случая, высокая степень возможности реализации
С	Возможно	Иногда может произойти. Зависит от обучения Одна ошибка может стать причиной аварии/несчастного случая
Д	Маловероятно	Сложно представить, однако может произойти зависит от следования инструкции Нужны многочисленные поломки/отказы/ошибки
Е	Практически невозможно	Получение травмы практически исключено

Основная задача идентификации опасностей аварий – выявление и четкое описание всех источников опасностей аварий (для участков и составных частей анализируемого объекта, на которых обращаются опасные вещества) и сценариев их реализаций.

Причинами возникновения аварийных ситуаций при бурении скважин могут быть следующие:

- отказы или неполадки оборудования, отказы технических устройств, связанные с типовыми процессами, физическим износом, коррозией, выходом технологических параметров на предельно допустимые значения, прекращением подачи энергоресурсов, нарушением работы систем или средств управления и контроля;

- ошибочные действия персонала, связанные с отступлением от установленных параметров технологического регламента ведения производственного процесса, нарушением режима эксплуатации производственных установок и оборудования, недостаточным контролем (или отсутствием контроля) за параметрами технологического процесса;

- внешние воздействия природного и техногенного характера, связанные с землетрясениями, паводками и разливами, несанкционированным вмешательством в технологический процесс, диверсиями или террористическими актами, авариями или другими техногенными происшествиями на соседних объектах.

К основным причинам, связанным с отказами/неполадками оборудования, можно отнести:

- физический износ, коррозию, эрозию, температурную деформацию технологического оборудования и трубопроводов;

- прекращение подачи энергоресурсов (например, электроэнергии, воды, воздуха). Прекращение подачи энергоресурсов может привести к



остановке оборудования, отказу контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, систем связи, нарушению технологических процессов.

- Исходя из реальной обстановки или вследствие непреодолимых причин возможно возникновение аварийных ситуаций от следующих внешних воздействий:

- грозовые разряды или разряды статического электричества – возможны отказ системы автоматического управления и разгерметизация оборудования (вплоть до полного разрушения), выброс опасного вещества и возникновение аварийной ситуации, сопровождаемой взрывами и/или пожарами; кроме этого, грозовые разряды и разряды статического электричества могут являться источниками воспламенения";

- снежные заносы, выход значений температуры и ледовой нагрузки за принятые проектные значения – возможны нарушение режимов работы технологического оборудования, обледенение и последующее обрушение модулей, конструкций бассейна выдержки и сооружений с последующей разгерметизацией оборудования и выбросом опасного вещества;

- специально спланированная диверсия – возможно возникновение крупной аварии с разрушением всего имеющегося оборудования.

- Все основные возможные факторы, способствующие возникновению аварий, можно условно разделить на следующие взаимосвязанные группы, характеризующиеся:

а) свойствами обращающихся веществ;

б) используемым оборудованием и протекающими в нем технологическими процессами;

в) внешними факторами.

К основным возможным факторам, способствующим развитию аварий, относится:

1. Горно-геологические:

- наличие тектонических нарушений по разрезу скважины;

- трещиноватость, пористость, проницаемость пород;

2. Технические:

- отсутствие или неисправность оборудования на устье скважины;

- дефекты (металлургические) металла колонн скважины, трубной обвязки устья;

- нарушения технологии изготовления деталей;

- неисправность и выход из строя оборудования, контрольно-измерительных приборов и аппаратуры;

3. Технологические:

- неверный выбор технологических параметров;

- отклонение от проекта;

4. Человеческий фактор:

- обученность персонала практическим навыкам обнаружения, предупреждения и ликвидации аварии;

- несвоевременность и непринятие целенаправленных и адекватных решений по ликвидации аварии;
- исполнительная дисциплина и контроль со стороны инженерно-технических работников (ИТР).

На III этапе определим мероприятия по снижению уровня риска до допустимого значения, используя различные способы управления, но следуя приведенной выше иерархии мер безопасности. Намеченные мероприятия по снижению риска занесем в таблицу 4.3 и произведем оценку остаточного риска.

В результате оценки риска при производственном процессе самосвала в три этапа определили идентификацию опасностей, оценку рисков и разработали мероприятия по снижению уровня риска. Риск остановки самосвала высокий.

Таблица 4.3 – Результаты процедуры оценки рисков при производстве буровых работ

№	Этапы работы	Описание источника опасности	Последствия воздействия источника опасности	Существующие меры	Оценка рисков		Мероприятия по снижению риска до допустимого уровня до начала производства работ
					Тяжесть	Вероятность	
1	Отказ рабочего оборудования	В виду износа основных и вспомогательных узлов оборудования самосвала.	Остановка самосвала (прекращение добычных или вскрышных работ)	Своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов, ТО.	Незначительная	Частая	Контроль технического состояния оборудования путем ведения Чек-листа, в котором прописан алгоритм проведения ТО. Сократить время между ремонтами по согласованию с главным механиком.
2	Ошибочные действия персонала	В виду неквалифицированного работника, возникновение остановки оборудования (не правильные действия до аварии и во время аварии)	Возникновение аварии, ранение обслуживающего персонала, смерть работника (НС)	Не допуск к работе неквалифицированного работника, без соответствующего обучения.	Критическая	Частая	Обучение работников, повышение квалификации по профессии, проведение инструктажей. Обучение персонала действиям при аварии, и действиям для ее предотвращения. Постоянный производственный контроль со стороны ИТР подразделения.

3	Внешние воздействия природного характера	Положительные и отрицательные температуры, в результате которых оборудование работает на износ.	Остановка самосвала (прекращение добычных или вскрышных работ)	Остановка оборудования, в виду не возникновения аварийной обстановки	Незначительная	Редкая	Выполнение работ согласно Федеральным нормам и правил (ФНП 599), а именно разработка мероприятий для безопасной работы при высоких и низких температурах согласно заводу изготовителю (активированный день).
---	--	---	--	--	----------------	--------	--

## Заключение

Высокопроизводительная и надёжная работа технологического оборудования во многом определяется его надёжностью и безотказностью и, как следствие, безопасностью в процессе его эксплуатации. В настоящее время трудно представить себе высококвалифицированного специалиста в области промышленной безопасности, не обладающего навыками в оценке надёжности технологического оборудования и техногенного риска.

В результате выполнения анализа методом дерева событий, путем умножения события отказа гидросистемы получили результаты с частотой появления за год. Конечным событием развития аварийной ситуации отказа гидросистемы с большей периодичностью проявляется авария (возгорание самосвала).

Оценка надёжности методами дерева отказов и дерева событий показала надёжную работу оборудования самосвала. При этом риск остановки остается высоким.

В результате оценки риска при производственном процессе самосвала в три этапа определили идентификацию опасностей, оценку рисков и разработали мероприятия по снижению уровня риска. Риск остановки самосвала высокий.

По данным количественной оценки рисков можно сделать выводы о самых опасных ситуациях и мерах борьбы с различными авариями и опасностями. в результате рассмотренной темы исследования, можно сделать выводы о том, что главными факторами аварий и последующих результатов в горной промышленности являются:

- природный фактор;
- человеческий фактор;
- износ оборудования.

Так же в данной курсовой работе было подтверждено, что жизнь и здоровье человека напрямую зависит от надёжности и исправной работы горного оборудования. Как показывает практика, при авариях и выходе из строя горного оборудования, люди, обслуживающие данное оборудование, находятся в зоне риска.

### Список используемых источников

1. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. и др. Надежность технических систем и техногенный риск. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002-368 с
2. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
3. ГОСТ Р 27.102-2021. Надёжность в технике. Основные понятия, термины и определения.
4. Тимофеева С.С. Надежность технических систем и техногенный риск: учебн. пособие. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. – Ч. 1. – 141 с.
5. Тимофеева С.С. Надежность технических систем и техногенный риск: учебн. пособие. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – Ч. 2. – 116 с.
6. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
7. Чулков Н.А. Надежность технических систем и техногенный риск: уч. пос./ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012-180 с.
8. Шубин Р.А. Надежность технических систем и техногенный риск: уч. пос./ Р. А. Шубин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ» 2012-80 с.