**Методы эвакуации пассажиров на канатных дорогах.**

На начальном этапе в техническом задании обосновываются технические требований, с учетом профиля трассы и ландшафта местности, к оборудованию и конструкциям, к системе резервирования, позволяющей проведение эвакуации путем доставки пассажиров в подвижном составе на станции при любом возможном сценарии, связанном с критическим отказом. Технологические требования заключаются в оценке риска при проведении эвакуации, учитывающие структурную схему канатного метро, надежность ее элементов, коэффициент готовности узлов, агрегатов и т.д. К организационным мерам относятся проведение эвакуации пассажиров с минимальной численностью персонала по плану, в течение отведенного для этой операции времени при обеспечении необходимыми безопасными условиями труда для осуществления необходимых действий.

Современные конструкции канатного транспорта локализуют критические отказы резервирующими системами и позволяют проводить эвакуацию путем перемещения подвижного состава на станцию. Важнейшей функцией персонала, прописанной в должностных и производственных инструкциях, является его участие в эвакуации пассажиров с использованием систем резервирования, при которых необходимо обеспечить ему безопасные условия труда.

К технологическим мерам безопасности при эксплуатации канатного транспорта относится разработка плана эвакуации пассажиров, включающего технологические карты выполнения работ по резервированию с учетом трудоемкости и квалификацию персонала, с их последующим обучением и регулярной тренировкой для проверки знаний и привития навыков по устранению критических отказов.

Условие безопасности канатного транспорта при эвакуации в заданный период времени имеет вид:

[Q] ≥ Qi, (1)

где [Q] – допустимый риск при реализации эвакуации,

Qi – соответственно, технический, технологический и организационный (индивидуальный) риски.

При оценке технического риска применения канатного транспорта основное значение приобретает определение причинно-следственных связей между случайными и локальными событиями, происходящим с различной частотой возникновения критического отказа и проведения эвакуации.

Для выявления причинно-следственных связей использования систем резервирования при эвакуации, воспользуемся логико-графический методом «дерево событий» – ДС (Event Tree Analysis – ETA).

Учитывая подтвержденные гипотезы о том, что распределение критических отказов элементов, узлов, механизмов и систем ППКД резервирования, в наибольшей степени влияющих на их безопасную эксплуатацию, подчинен экспоненциальному закону, риск может быть определен из выражений:

, , , (2.1)

где P(t) – вероятность безаварийной работы (функция безопасности); λ(t) – интенсивность отказов, выраженная в вероятности, что после работы без проявленных отказов до момента времени t критический отказ произойдет в следующем ограниченном промежутке времени, в результате которого необходимо включить (начнет функционировать) резервирование.

Статистические наблюдения свидетельствуют, что после непродолжительного пробного периода эксплуатации ППКД (обкатки) функция λ(t) в течение длительного времени сохраняет стабильность, т.е. λ(t)=const.

Таким образом, определив для периода нормальной работы ППКД λ(t)=const, из (2.1) получаем экспоненциальное распределение:

, (2.2)

При этом T=1/λ – математическое ожидание средняя наработка до критического отказа. Функцию риска, в зависимости от средней наработки критического отказа Т, можно выразить в следующем виде:

. (2.3)

Вероятность Q проявления любого критического отказа представляет оценку риска эвакуации в период τ по формуле (2.1):

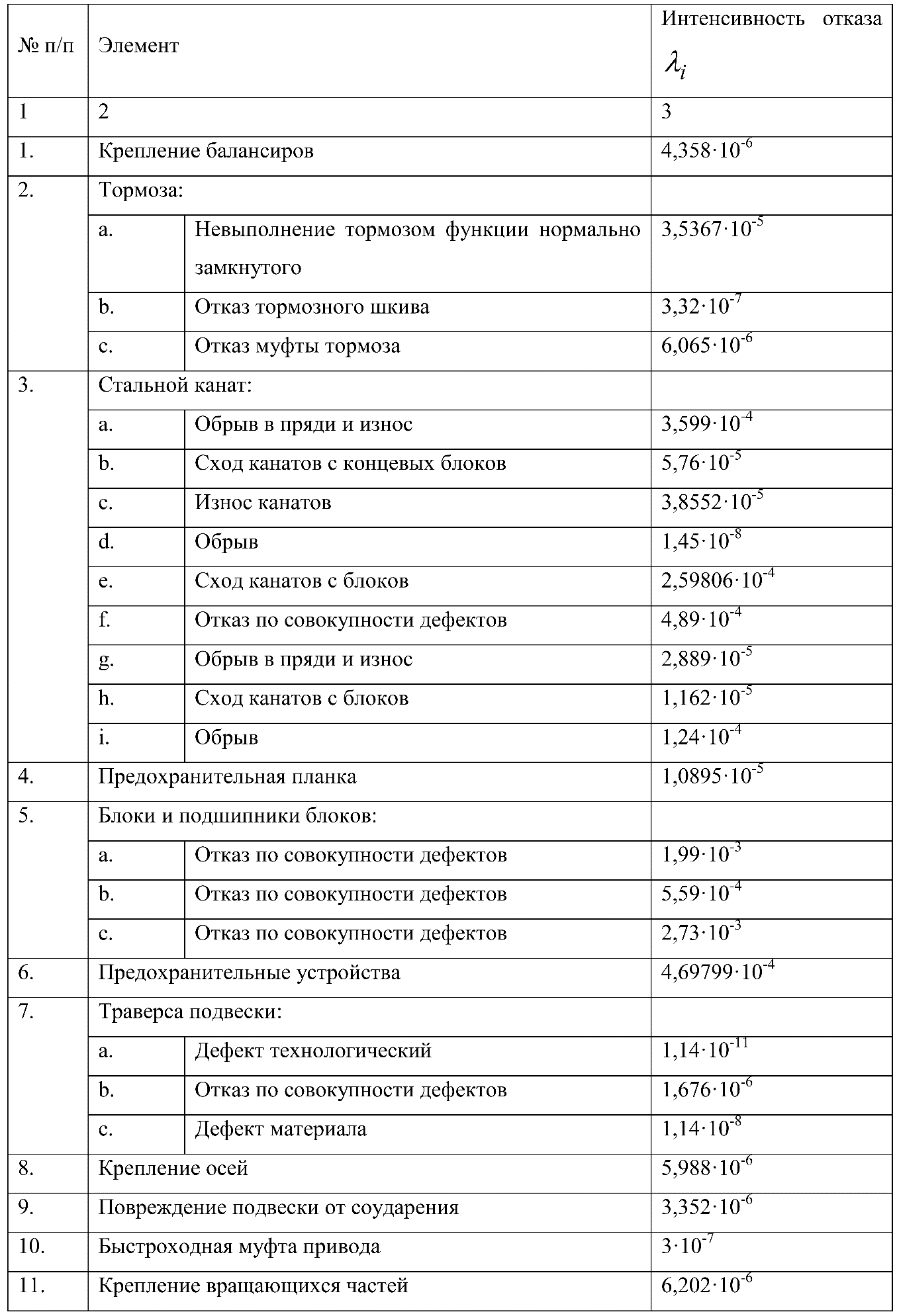
. (2.4)

Упомянутый метод (ДС) является ничем иным, как индуктивным логическим методом определения всевозможных потенциальных последствий от текущего события, взятого за исходное. Количество потенциальных конечных событий находится в зависимости от выбора событий, возникающих после исходного события. Метод (ДС) демонстрирует дальнейшие пути проявления критического отказа, его интенсивности, что позволяет, в свою очередь определять риск проведения эвакуации.

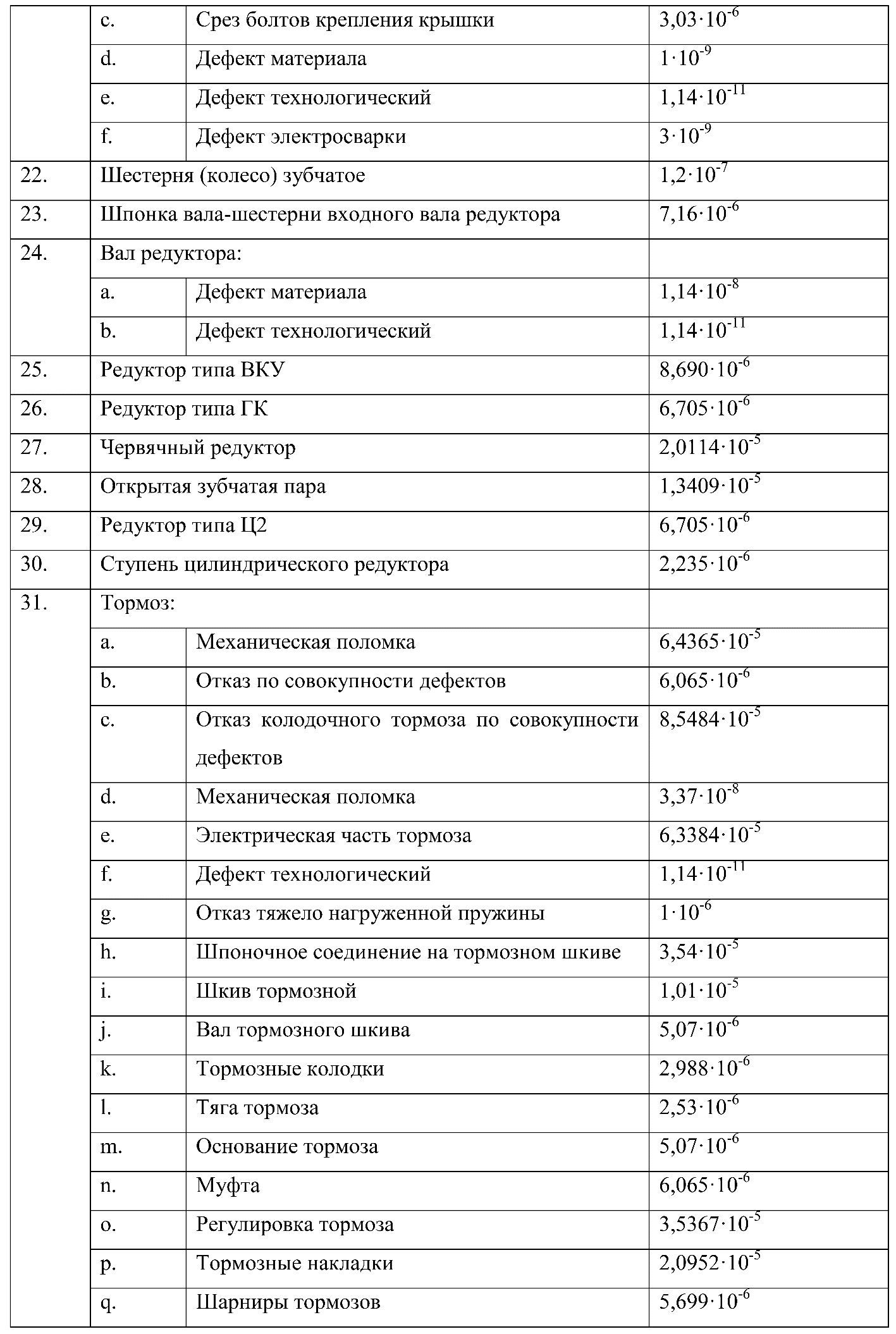
Используя накопленный опыт и статистический анализ, полученный по аналогичным сложным техническим системам (в том числе ППКД) возможно приведение ранжирование конструктивных элементов узлов и механизмов, используемых при резервировании по интенсивностям отказов .

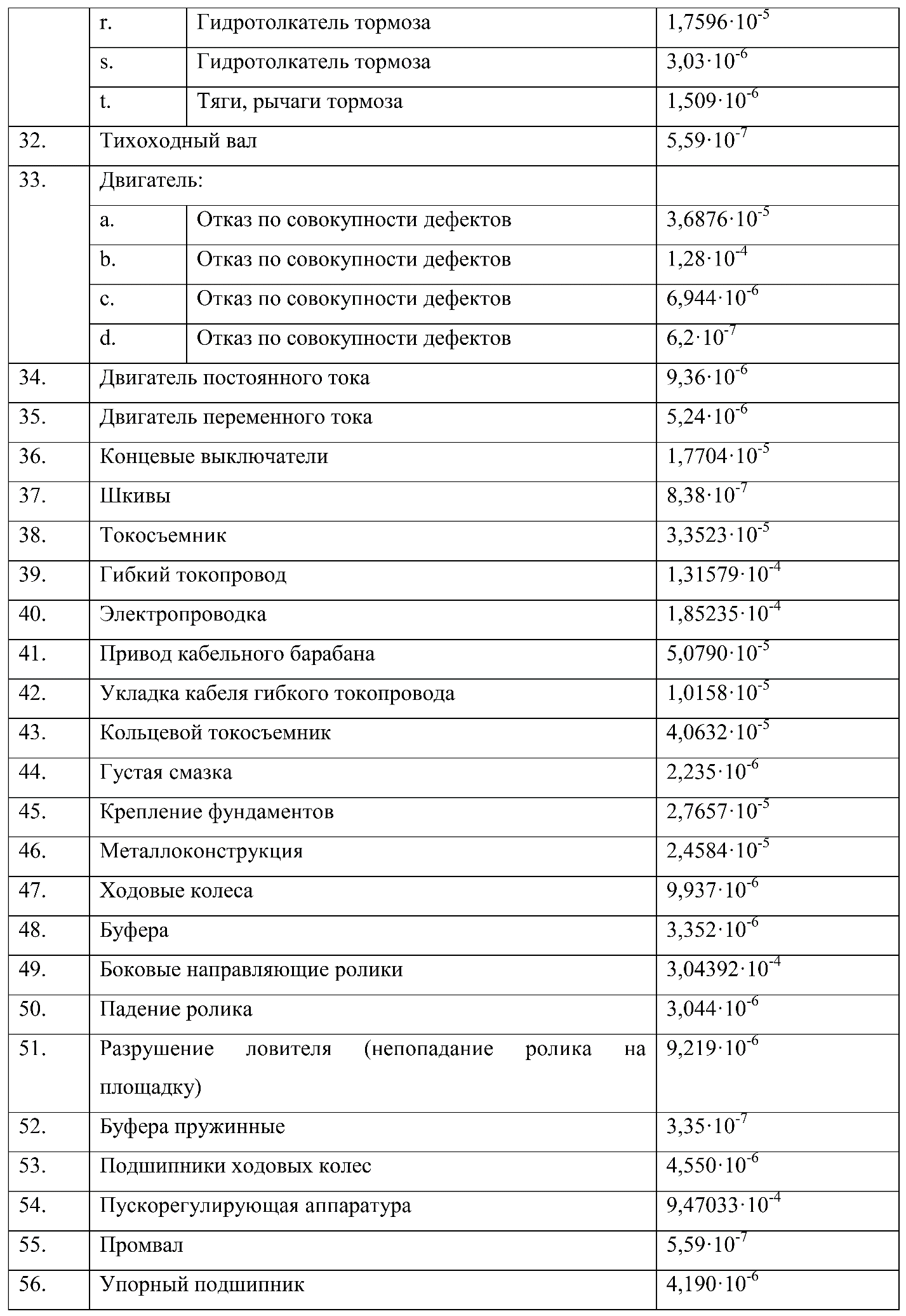
Таблица 17

Интенсивность отказов конструктивных элементов узлов и механизмов, используемых при резервировании КД









*\* Принято по данным статистической отчетности Ростехнадзора.*

### § 3.2. Определение минимальной численности персонала при эвакуации методом «Дерево отказов»

Для анализа критических отказов ППКД (проведения эвакуации и расчета ее вероятности на основе значений вероятности исходных событий) воспользуемся методом «дерево отказов» – ДО.

Метод «дерево отказов» является дедуктивным логическим анализом причин, которые привели к критическому отказу канатной дороги и ее конструктивных элементов. При анализе причин критического отказа ППКД необходимо выявить причинно-следственную связь, которая связывает случайные локальные события, которые проявляются с определенной частотой, к нестабильному состоянию машины - включению резервирования при проведении спасательной операции. Использование метода ДО позволяет с помощью логико-графического формата продемонстрировать причины и их взаимодействие при различных вариантах произошедших случайных событий. Отследить причинное взаимодействие возможно путем анализа складывающихся опасных ситуаций в работе канатного транспорта в обратном порядке для более точной идентификации причин возникновения различных типов отказа. Построение «дерева отказов» является удобным механизмом структурирования сведений об объекте для дальнейшего углубленного анализа.

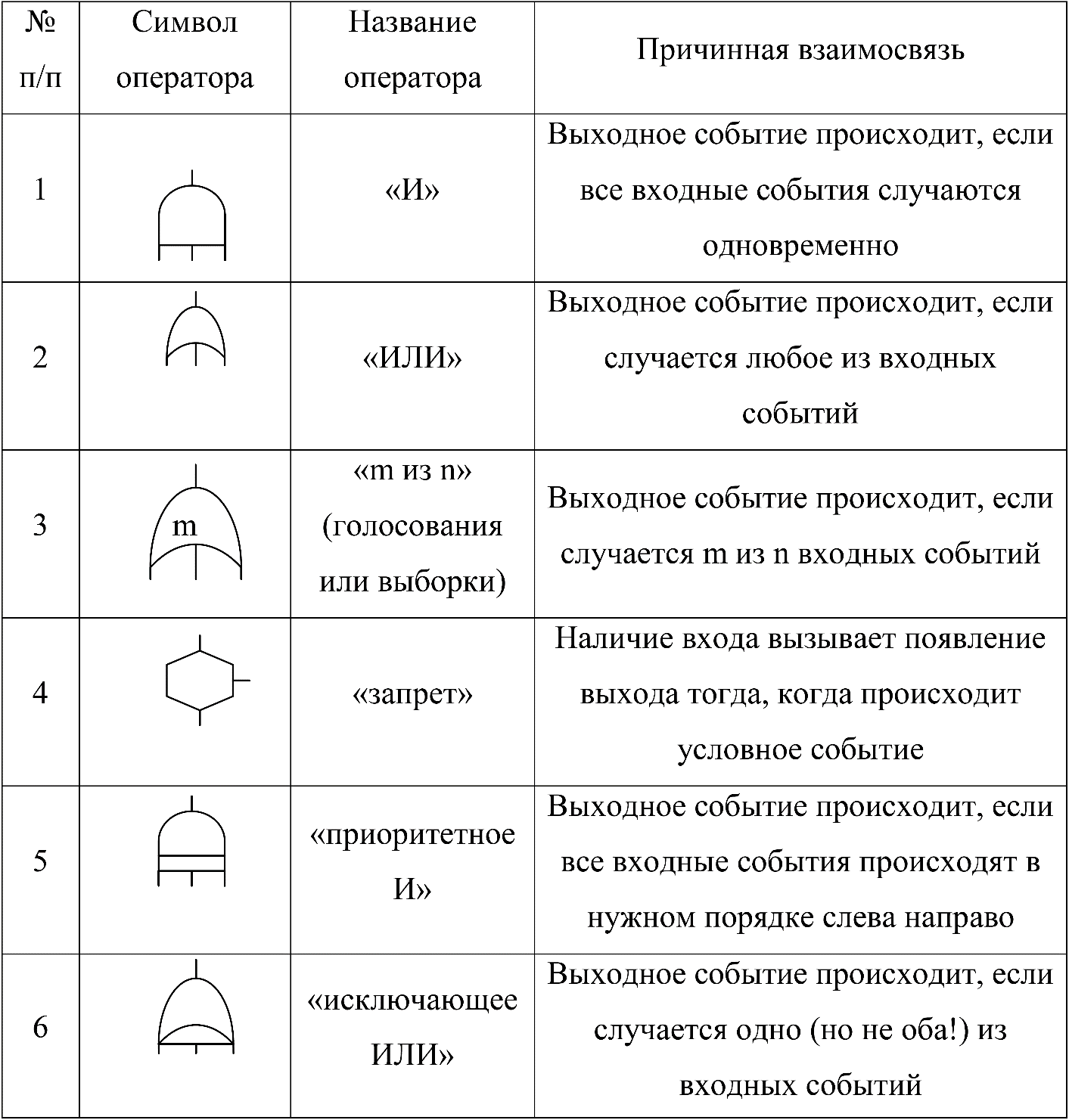
Для каждого анализируемого элемента конструкции канатной дороги моделируются случайные события, которые могут стать причинами для отказа системы. Механизм построения ДО предполагает повторение анализа причин возможного отказа для каждого элемента конструкции канатной дороги. Первоначально смоделированное на этапе риск-анализа событие (проведение эвакуации) является конечным, вершинным событием. Построение ДО от выбранного вершинного или главного события в дальнейшем получает различные отдельно моделируемые аварийные события, которые могут привести к конечному событию (проведение эвакуации). Таким образом, ДО разветвляется и является логической бинарной схемой событий.

Для удобства представления выявления и построения связей в структуре ДО применяют блоки (символы событий и логические операторы), они демонстрируют подчинение и взаимодействие моделируемых событий.

Основные логические операторы и взаимосвязанные с ними причинные взаимосвязи представлены в табл. 18.

Таблица 18

Логические операторы



Логический оператор имеет один или несколько входов, но только один выход. Любая рассматриваемая логическая связь событий может быть представлена с помощью операторов «И» и «ИЛИ». Выделение событий с учётом их характеристик и детализации для принятия решения о их введение в ДО возможно при помощи символов событий.

Основные символы событий и их характеристика представлены в табл. 19.

Предложенные для рассмотрения анализа причин проведения эвакуации метод ДО позволяет выделить возможные поэлементные отказы конструкции с помощью моделирования события и логических операторов.

Таблица 19

Символы событий



Из вышесказанного можно сделать вывод, что указанные символы событий и логических операторов дают возможность сформировать причинно-следственные связи между случайными отдельными базовыми событиями в логическом и графическом виде «дерева отказов». Логические операторы позволяют привести последовательность событий к исходным данным (причинам), с выявленными данными по интенсивности отказов. Однако, при построении «дерева отказов» следует на начальном этапе установить приделы выполняемого риск-анализа, иначе «громоздкое дерево отказов» приводит к появлению ошибок. Вероятностный анализ безопасности на подвесных пассажирских канатных дорогах должен быть основан на поиске исходных событий (влияющих на возможность наступления конечных событий в виде эвакуационных действий с использованием системы резервирования) или их сочетаний, то есть оценить с точки зрения весомости исходных событий и их сочетаний построенную логистическую и графическую модель критических отказов с использованием метода «дерева отказов».

Для решения поставленной задачи возможно применение метода минимальных сечений в рамках выбранного метода ДО, что позволяет построенному «дереву отказов» не только графически изобразить причинно-следственные связи между случайными событиями, но и продемонстрировать различные пути, приводящие к эвакуации. С целью уменьшения возможности проведения эвакуации необходимо выявить виды критических отказов и затем применить резервирование для наиболее часто происходящих или наиболее вероятных из них. Применяя принцип сечений доступно очертить связанные именно с данным «деревом отказов» виды критических отказов элементов канатной дороги. В качестве сечения принимаем ряд исходных событий , где  принимает значения от 1 до N, где N – количество событий в нашем «дереве отказов»), причем данный ряд будет обладать следующим свойством: когда исходные события  текущего ряда происходят, то с определенной вероятностью , случается и конечное событие . При изъятии из сечения любого исходного события, сечение перестает быть критическим сочетанием и рассматривается как минимальное сечение, то есть минимальное критическое сочетание.

В дополнение принципа сечений введем принцип проходных сочетаний. Таковым сочетание является при включении в него ряда исходных событий , где  принимает значения от 1 до N, где N – количество событий в нашем «дереве отказов»), причем данный ряд будет обладать следующим свойством: когда исходное событие  текущего ряда не случается, то «ДО» получает гарантию, что конечное событие  не происходит. При изъятии из проходного сочетание любого исходного события, сечение перестает быть проходным сочетанием и рассматривается как минимальное проходное сочетание. Таким образом, «дерево событий» может как содержать взаимоисключающие события, так и нет, в зависимости от минимальных сечений и минимальных проходных сочетаний

В случае отсутствия в «дереве событий» взаимоисключающих событий алгоритм определения минимальных сечений строится следующим образом:

1. Для логических операторов (*«И»*, *«ИЛИ»*) присваивается буквенный символ (*α*, *β*, *γ*, …);
2. Нумеруются исходные события ;
3. Нумеруются буквенные символы наивысшего логического оператора «дерева отказа», поставить в исходном элементе (векторе-строке) формирующегося вектора-столбца, состоящего из минимальных сечений;
4. События, представленные в прямоугольниках изменить на идентичные буквенные символы логических операторов и исходными событиями;
5. Поэтапно изменить буквенный символ логического оператора «ИЛИ» на элементы набора, содержащихся на входе в вышеназванный оператор, при этом формируя новый вектор-строку, тем самым добавляя количество сечений.
6. Следует изменить символ "И" на набор элементов, стоящих на входе и исходные события , увеличивая размер сечения;
7. Продолжать выполнение пунктов 4-6 алгоритма, до того этапа, когда все буквенные символы операторов не сменятся на исходные события;
8. Устранить суперсочетания, (те сочетания, которые не подходят под определение min сечение), при этом остальные сочетания будут искомыми min сечениями.

Общий вид алгоритма для измерения min проходных сочетаний, при отсутствии несовместимых исходных событий представляет собой:

1. Определенному логическому оператору необходимо присвоить свои буквенные символы (α, β, γ, …);

2. Необходимо задать нумерацию исходным событиям (например, );

3. Следует разметить наивысший символ верхнего логического оператора ДО в элементе № 1 (векторе-строке) формирующегося вектора-столбца. Элементами вектора-столбца выступают минимальные сечения;

4. Следует заменить распространенные события в прямоугольниках эквивалентными буквенными символами логических операторов и исходными событиями;

5. Следует изменить символ "ИЛИ" на набор буквенных символов, увеличивая величину проходного сочетания;

6. Следует изменить символ "И" на набор элементов, стоящих на выходе и исходные события , постоянно формируя новую вектор-строку, увеличивая число проходных сочетаний

7. Продолжать выполнение пунктов 4-6 алгоритма, до того этапа, когда все буквенные символы операторов не сменятся на исходные события;

8. Устранить суперсочетания, (те сочетания, которые не подходят под определение min проходного значения), при этом остальные сочетания будут искомыми min проходными значениями.

Можно сделать вывод, что вышеописанный алгоритм предоставляет возможность поиска всех минимальных сечений, если отсутствуют несовместимые исходные события в сформированном ДО. Имея представления о потенциальных характеристиках канатной дороги, возможно проанализировать риск аварии Q ППКД в целом, т.е. вероятность возникновения отказа в целом в момент времени t. Вероятность наступления связанным логическим оператором "И" событий можно определить следующим образом:

, (3.1)

где символ  выражает пересечение событий.

Вероятность проишествия события, в которых выход - это события, относящиеся к логическим оператором «ИЛИ» формируется следующим выражением :

, (3.2)

где символ  означает объединение событий, а событие , является дополнением к событию , то есть наличие события , подразумевает не появление события . Или, в общем виде, вероятность  наступления событий , где  может принимать значения от  до , связанных логическим оператором *«И»* равна произведению вероятностей , событий  определяется по формуле:

, (3.3)

а зависимость вероятности  наступления событий , где  может принимать значения от  до , связанных логическим оператором *«ИЛИ»*, от вероятностей  событий  определяется по формуле:

. (3.4)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 14. События связанные логическим оператором *«И».* | Рис. 15. События связанные логическим оператором *«ИЛИ».* |

Из вышесказанного можно сделать вывод, что используя математическое отражение причинно-следственных связей , с учетом операторов *«И»*, *«ИЛИ»* возможно определить вероятность наступления эвакуации (или приведение в действие резервного эелемента), продвигаясь от исходных данный к главному, т. е. снизу вверх по структуре «дерево отказов» ППКД.

Рассмотрим «дерево» критических отказов для конкретной пассажирской канатной дороги (Рис.16).



Рис. 16. Дерево событий канатного метро

Следуя теоретическим положениям логико-вероятностного алгоритма, установим опасные события - критические отказы, приводящие к возникновению главного события Е(ППКД) – необходимости эвакуации пассажиров с использованием систем резервирования. Событие Е(ППКД) является главным и возникает в случае наступления промежуточного события А1(ППКД) – критического отказа ППКД. Одновременно с промежуточными событием А1(ППКД), должно выполнятся исходное событие е2 – нахождение пассажиров на ППКД, взаимосвязь в структуре «дерева отказов» отражается логическим оператором «И».

Исходное событие e1\* (форс мажорное) рассматривается только при анализе вероятности возникновения главного события Е(ППКД) при форс мажорных обстоятельствах (природно-антропогенного характера: сейсмическом воздействии, сходе лавины, ураганном ветре, падении на канат летательного аппарата и т.п.).

В ходе структурного анализа канатного транспорта установлены следующие причинно-следственные взаимосвязи между главным, промежуточными и исходными событиями:

* А2(К): x1 – перехлеста тягового каната с несущим канатом или x2 – частичный сход тягового каната;
* А3(С): x3 – отказа электропитания или x4 – отказ станционного конвейера на станции;
* А4(ПР): x5 – отказа приводного механизма или x6 – отказа подшипникового узла шкива или x7 – отказа аварийного привода на приводной станции;
* А5(У): x8 – отказа системы управления канатной дороги или x9 – отказа тахогенератора на шкиве.

К технологическим мерам безопасности при эксплуатации канатного транспорта относится разработка плана эвакуации пассажиров, включающего технологические карты выполнения работ по резервированию с учетом трудоемкости (Tgi, Tki) и квалификацию персонала (g, k), с их последующим обучением и регулярной тренировкой для проверки знаний и привития навыков по устранению критических отказов.

Рассмотрим технологические меры при проведении эвакуации для канатного транспорта второго типа. Особенность процесса эвакуации заключается в устранении различных неисправностей на трассе и на станциях, в том числе используя резервные системы, для восстановления движения подвижного состава в течение отведенного времени силами собственного персонала. Правилами безопасности предусмотрено, что ответственный за исправное состояние и безопасную эксплуатацию канатной дороги должен разработать план спасательной операции (технологические меры) и обеспечить его исполнение. Чтобы уложиться в отрезок времени (4 часа), отведенного для проведения эвакуации, необходимо произвести расчет численности персонала с учетом сложившейся организации труда и действующей системы управления безопасностью на предприятии.

Для расчета оптимальной численности персонала, участвующего в эвакуации, воспользуемся методами, учитывающими структурную схему резервирования, риск критических отказов и коэффициент готовности элементов резервирования. Целевой функцией в поставленной задаче является минимизация численности персонала при выполнении работ по эвакуации в заданный интервал времени.

∑ (Tgi + Tki)/ N ≤ 240, (2)

где Tgi = t**Yi** x Ngi - трудоемкость работ по устранению i – го критического отказа, выполняемого персоналом, связанного с эксплуатацией;

Tki = t**Yi** x Mki - трудоемкость работ по устранению i – го критического отказа, выполняемого персоналом, связанного с ремонтом и обслуживанием;

t**Yi –** время по устранению i – го критического отказа;

N - общее количество персонала;

240 – максимальное время (мин.), отведенное на эвакуацию.

Количество персонала, связанного с эксплуатацией (Ng), ремонтом и техническим обслуживанием (Mk), зависит от конструкции, типа, количества промежуточных станций канатной дороги и определяется проектировщиков на основании расчетов, отраженных в руководстве по эксплуатации:

N = 2• Ngi + R + Mki, (3)

где Ngi – количество персонала, задействованного в эксплуатации на всех станций;

R – количество лиц, ответственных за содержание ППКД в исправном состоянии и за их безопасную эксплуатацию (определяется штатным расписанием и принятой системой управления безопасностью на предприятии);

Mki - количество персонала, выполняющего ремонт и техническое обслуживание (слесарь-обходчик и электромеханик – определяется расчетом).

При расчете численности персонала для выполнения эвакуации, анализируются технологические карты по устранению критических отказов, определяются маршруты и трудоемкости выполняемых работ (чел. мин.) по утвержденному плану эвакуации, проводятся фотохронометражные наблюдения на существующих объектах, изучаются технические характеристики оборудования и применяемых средств механизации, анализируется организация труда и системы управления безопасностью на предприятии, оцениваются средства индивидуальной защиты персонала.

По результатам анализа технологических карт и уровню требуемой квалификации персонала устанавливаются соотношения трудоемкостей выполняемых операций по эвакуации. Чем выше уровень автоматизации систем дублирования, тем ниже уровни квалификации персонала.

В результате расчета, устанавливается соотношение по численности персонала, возможность проведения эвакуации с минимальной численностью персонала участвующего только в эксплуатации, либо с привлечением слесарей-обходчиков и электромехаников, находящихся посменно на дежурстве.