

# ВЫЯВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В КУМУЛЯТИВНОЙ МОДЕЛИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСЧАСТНОГО СЛУЧАЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



**В.С. Косякин**



**З.П. Ощепков**

В целях обеспечения всестороннего анализа причин несчастных случаев, выявления существующих закономерностей и предпосылок к возникновению травматизма на производстве, авторами предложена модель формирования процессов, происходящих при несчастных случаях с использованием сетей Петри и теоретических основ модели Ризона. Выявлена цепь активных и скрытых отказов, способствующих возникновению несчастного случая на производстве.

*Ключевые слова:* производственный травматизм, человеческий фактор, управление рисками, модель Ризона

Несмотря на устойчивую тенденцию к снижению уровня производственного травматизма на предприятиях Российской Федерации [1], проблема сохранения жизни и здоровья работников в процессе производственной деятельности остается ключевой задачей при проектировании технологических процессов. Проводимая на предприятиях железнодорожного транспорта работа по совершенствованию и интеграции производственных процессов, применение полигонных технологий, робототехники, гибких систем, увеличение скоростей на железных дорогах выдвигает повышенные требования к обеспечению безопасности и надежности.

Традиционный подход к обеспечению безопасности производственных систем основывается на модели «абсолютной безопасности» – ALARA (аббревиатура

от «As Low As Reasonably Achievable» – «настолько низко, насколько это достижимо практически»). Как показала практика, такая концепция не соответствует законам техносферы, имеющим вероятностный характер; обеспечение абсолютной безопасности достигается лишь в системах, лишенных запасенной энергии. Кроме того, согласно аксиоме безопасности жизнедеятельности, любая деятельность человека имеет потенциальную опасность, безопасность системы может быть достигнута на определенном вероятностном уровне.

Учитывая вышеизложенное, в развитых промышленных странах, в период с конца 1970-х – начала 1980-х гг. в проводимых исследовательских работах, посвященных вопросам обеспечения безопасности, начался переход от концепции «абсолютной»

---

**Косякин Виталий Сергеевич**, начальник отдела охраны труда и непроизводственного травматизма службы охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля Центральной дирекции инфраструктур – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: риск-менеджмент, методы оценок рисков, система управления рисками, основы человеческого фактора, изучение влияния индивидуального риска на поведение работающих, изучение индивидуально-психологических характеристик работников. Автор восьми научных работ.

**Ощепков Захар Петрович**, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС). Область научных интересов: методология проектирования высоконадежных систем безопасности, процессный подход в управлении охраной труда, управление профессиональными рисками. Автор трех научных работ.

**Завьялов Антон Михайлович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (МИИТ) (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение надежности и безопасности железнодорожного транспорта. Автор 52 научных работ, в том числе одной монографии.

безопасности к концепции «приемлемого» риска. Концепция приемлемого риска основывается на подходе ALARP (аббревиатура от «As Low As Reasonably Practicable» – «настолько низко, насколько это достижимо на практике»).

Согласно данному подходу опасности сопутствуют любому виду деятельности человека, результат их проявления для рассматриваемого объекта характеризуют рисками.

Цель определения допустимого уровня риска для конкретного опасного события состоит в том, чтобы сформулировать разумные критерии для частоты (или вероятности) возникновения опасного события и его последствий, которые в дальнейшем могут быть использованы при оценивании риска.

В определении меры риска в области безопасности выделяют профессиональные, социальные, экологические, медикобиологические, техногенные и другие опасности. Таким образом, риск является показателем «меры опасностей».

За последние десятилетия потребность в исследовании риск-ориентированных проблем сильно возросла, появились сведения о множестве новых рисков и средствах защиты от них. Это относится в первую очередь к вероятностному анализу безопасности объектов техносферы, снижению рисков и смягчению последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Таким образом, существующая теория обеспечения техносферной безопасности использует методологию риск-ориентированного подхода и является современным научным методом.

### Объект и методы исследования

Традиционно, на промышленных предприятиях России для проведения анализа производственного травматизма получили применение статистические методы оценки обеспечения безопасности, а именно – приведенные показатели: коэффициент частоты травматизма (выражает количество произошедших несчастных случаев на 1000 работников), коэффициент тяжести травматизма (количество дней нетрудоспособности, приходящихся в среднем на одного травмированного работника) и другие производные.

На рис. 1 проведена аппроксимация данных полиномиальной функцией, достоверность которой составляет  $R^2=0,98$ . На основании полученных прогнозных значений, в ближайшие годы значение коэффициента частоты травматизма на предприятиях России в целом стабилизируется на уровне 1,2 ед., что соответствует уровню риска травмирования, равному  $10^{-3}$  и не может считаться приемлемым [5;6].

Предупреждение случаев производственного травматизма только путем совершенствования технических средств защиты не позволяет в полной мере исключить риски несчастных случаев. Анализ материалов расследований несчастных случаев на производстве показал, что основная доля ответственности приходится на пострадавших из-за нарушения ими должностных обязанностей, трудовой и производственной дисциплины, технологического процесса и требований охраны труда, а также непосредственных руководителей работ из-за отсутствия их контроля за соблюдением требований безопасности работниками [7].

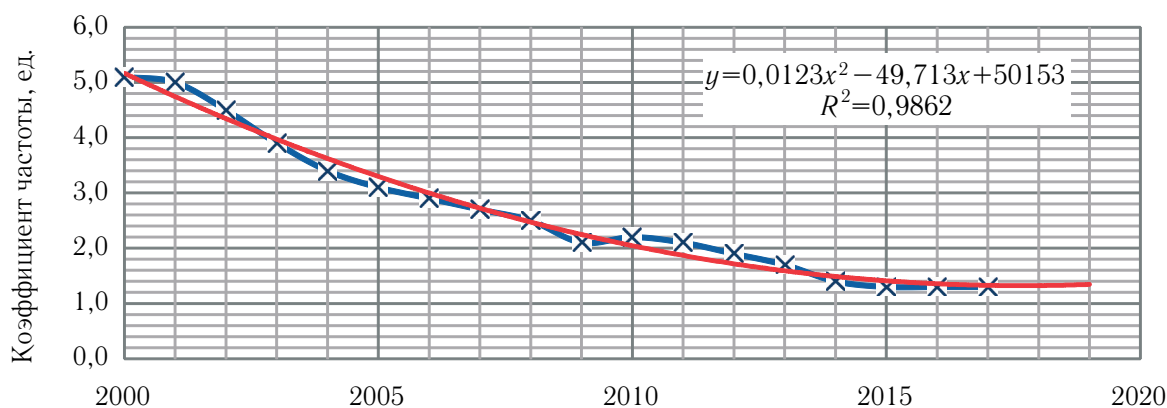


Рис. 1. Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве на 1000 работающих на предприятиях РФ (синяя линия – данные Минтруда, красная – аппроксимация)

В связи с вышеизложенным, необходимость научно-методической проработки системы управления надежностью и безопасностью технологических процессов в части исследования человеческого фактора является необходимым условием для реализации концепции приемлемого риска на производстве.

В исследованиях ИКАО [2–4], посвященным вопросам обеспечения безопасности на авиатранспорте, в теории управления профессиональными рисками используется модель кумулятивных последствий действий, или модель Ризона, описывающая различные виды «вкладов» в нарушение целостности сложной системы.

Модель Ризона наглядно показывает, что любое происшествие предполагает последовательные нарушения многоуровневой системы защиты, вызванные рядом содействующих факторов, таких, как отказы оборудования или ошибки работников при его эксплуатации. Нарушение в системе защиты безопасности представляет собой замедленное последствие решений, принимаемых на высших уровнях системы, не проявляющихся до тех пор, пока их воздействие не будет инициировано конкретным стечением эксплуатационных обстоятельств. В модели Ризона все происшествия включают сочетание активных и скрытых недостатков. Активные отказы являются следствием действия или бездействия, которые оказывают прямое негативное воздействие. Активные отказы, ассоциируются с исполнителями (работниками, непосредственными руководителями производства работ). Главные причины происшествий связаны со скрытыми условиями. Они существуют в технологической системе задолго до наступления негативного события и могут не проявляться в течение длительного времени, их причинами может стать плохое оборудование или процедуры, конфликтные цели организации, недостатки в организационных системах и неправильные решения руководства.

В целях проведения всестороннего анализа причин несчастного случая на производстве, используя теоретические основы модели Ризона, проведено моделирование несчастного случая на предприятии железнодорожного транспорта с использованием сетей Петри.

Сети Петри — математический аппарат для построения динамических дискретных процессов, впервые описанный в 1962 г. Карлом Петри для моделирования систем с параллельными взаимодействующими компонентами. Рассматриваемая сеть представляет собой двудольный ориентированный мультиграф, состоящий из вершин двух типов — позиций и переходов, соединенных между собой дугами. В позициях

могут размещаться «маркеры», способные перемещаться по сети.

Работа сети Петри складывается из элементарных циклов, каждый из которых состоит из двух шагов. На первом шаге производится проверка активностей всех переходов сети. При этом в текущей маркировке  $\mu$  последовательно для каждого перехода  $t_i$  проверяются наличие маркеров во всех входных разрешающих позициях  $t_i \in \mu$ , отсутствие маркеров во всех входных запрещающих позициях  $t_i \cap \mu = \emptyset$  и принадлежность текущего состояния входа подмножеству. Если эти условия выполняются, то переход считается активным и всем его выходным позициям  $p_i$  присваивается новое значение активности, равное весовому коэффициенту перехода. На втором шаге формируется новая маркировка сетей  $\mu'$ , для чего в соответствующих позициях  $p_i$  изменяется маркировка.

Список позиций, характеризующих соответствующее состояние системы приведен в табл. 1. Список переходов системы приведен в табл. 2.

Для иллюстрации работы сети Петри, моделирующей случай производственного травматизма на предприятии железнодорожного транспорта, рассмотрим схему, приведенную на рис. 2. Схема содержит 25 переходов и 33 позиции.

В исходной маркировке  $\mu_1$  в сети активен переход  $t_1$ , имеющий входной весовой коэффициент 3. Как следствие, позиции  $P_1, P_2, P_4$  будут иметь активность  $A$ , равную входным весовым коэффициентам переходов. При срабатывании перехода  $t_1$  в позицию  $P_3$  из позиции  $P_1, P_2, P_4$  перемещается 3 маркера.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. После прибытия на работу мастера участка Л. (позиция  $P_1$ ), а также работников участка (позиция  $P_2$ ), мастером Л. был проведен целевой инструктаж по охране труда бригаде работников, состоящей из 6 человек, в том числе машинисту козлового крана С., а также выдано задание на производство погрузо-разгрузочных работ (переход  $t_1$ ).

При наличии в позиции  $P_3$  3-х маркеров, активируется условие для срабатывания перехода  $t_3$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент суммарно равный 3. При срабатывании перехода  $t_3$  в позицию  $P_6$  из позиции  $P_3$  перемещаются 2 маркера, в позицию  $P_4$  перемещается 1 маркер.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. С учетом имеющейся квалификации и опыта (позиция  $P_4$ ), бригада работников получила целевой инструктаж по охране труда и задание на производство погрузочно-разгрузочных работ (позиция  $P_3$ ), после чего направилась на место производство работ (переход  $t_3$ ).

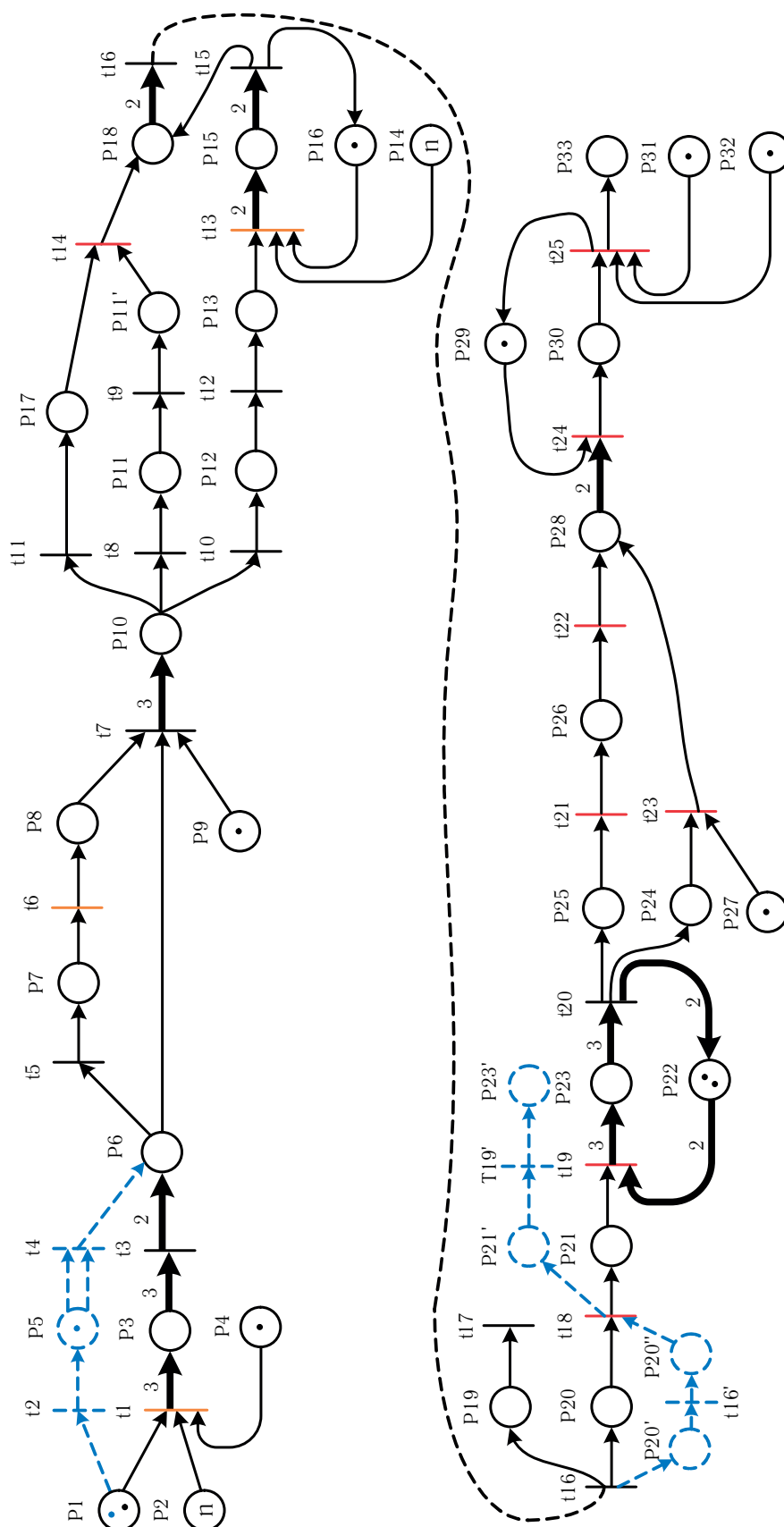


Рис. 2. Сеть Петри, моделирующая случай производственного травматизма  
 Обозначение: синим – нормативные барьеры безопасности, не используемые в рассматриваемом технологическом процессе;  
 оранжевым – скрытые отказы (нарушение, результат которого может не проявиться в течение длительного времени);  
 красным – активные отказы (нарушение, которое немедленно оказывает неблагоприятное воздействие)

Таблица 1

## Позиции системы

№ позиции	Характеристика позиции
1	2
$P_1$	Мастер участка Л. прибыл на работу
$P_2$	Работники участка прибыли на работу
$P_3$	Инструктаж по охране труда и план производства работ работниками участка усвоен
$P_4$	Позиция, характеризующая соответствующую квалификацию и компетентность работников
$P_5$	Позиция, характеризующая наличие ключ-марки в месте хранения
$P_6$	Прибытие машиниста крана С. на рабочее место
$P_7$	Машинист крана С. ознакомилась с записями в вахтенном журнале
$P_8$	Машинист крана С. произвела осмотр механизмов, металлоконструкций, узлов и других частей крана, а также кранового пути
$P_9$	Задание от слесаря по ремонту подвижного состава Б. на производство работ по выгрузке деталей из полувагона
$P_{10}$	Машинистом крана С. определена неисправность работы крана (работа электротали производится только на первой передаче)
$P_{11}$	Ожидание машиниста крана С. в кабине козлового крана
$P'_{11}$	Наличие записи в вахтенном журнале «Подъем на одном положении работает»
$P_{12}$	Мастер участка Л. принял информацию о неисправности козлового крана
$P_{13}$	Главный механик предприятия Б. принял информацию о неисправности козлового крана
$P_{14}$	Ремонтная бригада прибыла к главному механику предприятия Б. для получения указаний к работе
$P_{15}$	Прибытие слесаря-электрика М. и слесаря-ремонтника Н. на участок
$P_{16}$	Позиция, характеризующая соответствующую квалификацию и компетентность работников
$P_{17}$	Необходимость в производстве работ по погрузке металлолома в автомобиль
$P_{18}$	Работы козловым краном приостановлены, козловой кран перемещен на место стоянки (в тупик кранового пути). Слесарь-электрик М. и слесарь-ремонтник Н. поднялись на верхнюю площадку крана
$P_{19}$	И.о. мастера участка Т. получает информацию от слесаря-электрика М. о поиске неисправности электрической тали
$P_{20}$	Слесарь-электрик М. выявил обрыв одной жилы кабеля управления электрической цепи тали
$P'_{20}$	Ремонтная бригада прибыла к главному механику предприятия Б. для получения наряд-допуска на производство работ на высоте
$P''_{20}$	Ремонтная бригада получила наряд-допуск на производство работ на высоте
$P_{21}$	Восстановлена целостность кабеля управления электрической цепи тали
$P'_{21}$	Ремонтная бригада получила ключ-марку от машиниста крана С.
$P_{22}$	Позиция, характеризующая наличие изоляционного материала
$P_{23}$	Приостановление работы по изоляции кабеля в связи с отсутствием изоляционного материала
$P'_{23}$	Проведение ремонтных работ на козловом кране завершено

Окончание табл. 1

1	2
$P_{24}$	Слесарь-электрик М. сообщил водителю служебного автомобиля о необходимости подвоза дополнительного изоляционного материала на участок
$P_{25}$	Слесарь-электрик М. сообщил начальнику участка Д. об устранении неисправности электрической цепи тали козлового крана и необходимости доизолировать кабель
$P_{26}$	Бригадир участка Я. определил работников для производства работ по погрузке металлолома в автомобиль, дал указание машинисту крана С. и слесарю по ремонту подвижного состава Б. начать погрузку металлолома в автомобиль
$P_{27}$	Прибытие автомобиля с изоляционным материалом на участок
$P_{28}$	Слесарь-электрик М. и слесарь-ремонтник Н. поднялись на посадочную площадку крана, производившего в этот момент погрузочно-разгрузочные работы
$P_{29}$	Начальник участка Д. запретил слесарю-электрику М. производство ремонтных работ до момента завершения погрузочно-разгрузочных работ, дал указание машинисту крана С. подъехать к месту складирования материала
$P_{30}$	Машинист крана С. привела козловой кран в движение, не убедившись в отсутствии людей на верхней площадке
$P_{31}$	Наличие линии электропередачи на недопустимо близком расстоянии от конца крана
$P_{32}$	Отсутствие средств индивидуальной защиты головы у работников (каска защитной)
$P_{33}$	Поражение электрическим током слесаря-ремонтника Н.

При наличии в позиции  $P_6$  2-х маркеров, активируется условие для срабатывания перехода  $t_5$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 1. При срабатывании перехода  $t_5$  в позицию  $P_7$  из позиции  $P_6$  перемещается 1 маркер. Аналогичным образом происходит активация перехода  $t_6$ , в результате чего в позицию  $P_8$  перемещается 1 маркер. Таким образом, активизируется переход  $t_7$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 3. При срабатывании перехода  $t_7$  в позицию  $P_{10}$  из позиции  $P_8$ ,  $P_6$ ,  $P_9$  перемещается 3 маркера.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. Прибыв на место производства работ (позиция  $P_6$ ), машинист крана С. ознакомилась с записями в вахтенном журнале (переход  $t_5$ , позиция  $P_7$ ), после чего произвела осмотр механизмов металлоконструкций, узлов и других частей крана, а также кранового пути (переход  $t_6$ , позиция  $P_8$ ). Получив задание от слесаря Б. на производство работ по выгрузке деталей из полувагона (позиция  $P_9$ ), машинист крана С. приступила к работе. В процессе производимой работы машинистом крана С. выявлена неисправность работы крана (тали электрической) (позиция  $P_{10}$ ).

При наличии в позиции  $P_{10}$  3-х маркеров, активируется условие для срабатывания переходов  $t_8$ ,  $t_{11}$ ,  $t_{10}$ , имеющих входной и выходной весовой коэффициент

равный 1. При срабатывании перехода  $t_8$ ,  $t_{11}$ ,  $t_{10}$  в позицию  $P_{11}$ ,  $P_{12}$ ,  $P_{17}$  из позиции  $P_{10}$  перемещается 3 маркера. При наличии в позиции  $P_{11}$  маркера, активируется переход  $t_9$ , в результате чего в позицию  $P'_{11}$  перемещается 1 маркер.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. Машинист крана С., обнаружив неисправность крана (позиция  $P_{10}$ ), прекратила производство работ (переход  $t_8$ ), находясь на рабочем месте в кабине крана (позиция  $P_{11}$ ) внесла запись о неисправности в вахтенный журнал (переход  $t_9$ , позиция  $P'_{11}$ ), доложила о неисправности мастеру участка Л. (переход  $t_{10}$ ), а также бригадир Я.

При наличии в позиции  $P_{17}$  и  $P'_{11}$  суммарно 2-х маркеров, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{14}$  имеющего входной весовой коэффициент равный 2, а выходной равным 1. При срабатывании перехода  $t_{14}$  в позицию  $P_{18}$  перемещается 1 маркер.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. Имея необходимость в производстве работ по погрузке металлолома в автомобиль на участке (позиция  $P_{17}$ ), бригадир Я. дает задание машинисту крана С. на производство работ краном (переход  $t_{14}$ ).

При наличии в позиции  $P_{12}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{12}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный



Таблица 2

## Переходы системы

№ перехода	Характеристика перехода
$t_1$	Проведение целевого инструктажа работникам участка
$t_2$	Получение ключ-марки (запись в журнале учета)
$t_3$	Перемещение работников к месту производства работ
$t_4$	Выдача ключ-марки машинисту крана
$t_5$	Проведение машинистом крана С. ознакомления (проверки) вахтенного журнала на наличие записей о неисправности работы крана
$t_6$	Проведение осмотра и проверки исправности всех механизмов, металлоконструкций, узлов и других частей крана, а также кранового пути
$t_7$	Производство погрузочно-разгрузочных работ козловым краном
$t_8$	Прекращение производства работ
$t_9$	Запись в вахтенный журнал о неисправности
$t_{10}$	Передача сообщения машинистом крана С. о возникшей неисправности мастеру участка Л.
$t_{11}$	Передача сообщения машинистом крана С. о возникшей неисправности бригадиру Я.
$t_{12}$	Передача сообщения мастером участка Л. о возникшей неисправности козлового крана главному механику предприятия Б.
$t_{13}$	Главный механик предприятия Б. определил задание слесарю-электрику М. и слесарю-ремонтнику Н. заехать на участок для определения неисправности козлового крана
$t_{14}$	Бригадир Я. дает команду машинисту крана С. на производство работ по погрузке металлолома в автомобиль
$t_{15}$	Слесарь-электрик М. останавливает производство погрузочно-разгрузочных работ краном, дает команду машинисту крана С. на перемещение козлового крана на место стоянки
$t_{16}$	Слесарь-электрик М. передает по сотовому телефону и.о. мастера Т. о необходимости задержаться для выявления причин неисправности электрической тали
$t'_{16}$	Выдача наряд-допуска на производство работ на высоте
$t_{17}$	И.о. мастера Т. выезжает без бригады слесарей-ремонтников
$t_{18}$	Слесарь-электрик М. и слесарь-ремонтник Н. производят ремонт кабеля управления электрической цепи тали
$t_{19}$	Проведение работ по изоляции кабеля слесарем-электриком М. и слесарем-ремонтником Н.
$t'_{19}$	Производство ремонтных работ на высоте
$t_{20}$	Перемещение слесаря-ремонтника М. и слесаря-ремонтника Н. в административно-бытовое помещение участка
$t_{21}$	Начальник участка Д. дал указание бригадиру Я. на производство работ по погрузке металлолома в автомобиль
$t_{22}$	Производство погрузочно-разгрузочных работ машинистом крана С. и слесарем по ремонту подвижного состава Б.
$t_{23}$	Перемещение бригады ремонтников на посадочную площадку крана
$t_{24}$	Слесарь-электрик М. дал задание машинисту крана С. передвинуть таль в сторону кабины машиниста и со слесарем-ремонтником Н. поднялись на площадку крана для завершения изоляции кабеля
$t_{25}$	Нахождение слесаря-электрика М. и слесаря-ремонтника Н. на верхней площадке крана

1. При срабатывании перехода  $t_{12}$  в позицию  $P_{13}$  из позиции  $P_{12}$  перемещается 1 маркер. При наличии в позиции  $P_{12}$ ,  $P_{14}$ ,  $P_{16}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{13}$ , имеющего входной весовой коэффициент равный 3, а выходной равный 2. При срабатывании перехода  $t_{13}$  в позицию  $P_{15}$  перемещается 2 маркера. При наличии в позиции  $P_{15}$  2-х маркеров, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{15}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 2. При срабатывании перехода  $t_{15}$  в позицию  $P_{16}$  и  $P_{18}$  перемещается по 1 маркеру.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. Мастер участка Л., при получении от машиниста крана С. информации о неисправности крана (позиция  $P_{12}$ ), доложил информацию главному механику предприятия Б. Главный механик Б. выдал задание бригаде ремонтников — слесарю-ремонтнику Н. и слесарю-электрику М. (переход  $t_{13}$ ). После прибытия бригады ремонтников на участок (позиция  $P_{15}$ ), слесарь-ремонтник М. остановил работу крана для проведения ремонтных работ.

При наличии в позиции  $P_{18}$  2-х маркеров, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{16}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 2. При срабатывании перехода  $t_{16}$  в позицию  $P_{19}$  и  $P_{20}$  перемещается по 1 маркеру. При наличии в позиции  $P_{20}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{18}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 1. При срабатывании перехода  $t_{18}$  в позицию  $P_{21}$  из позиции  $P_{20}$  перемещается 1 маркер.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. После прекращения работ козловым краном (позиция  $P_{18}$ ), слесарь-электрик М. передает по сотовому телефону и.о. мастера Т., ожидающего его в автомобиле о необходимости задержаться для выявления причин неисправности электрической тали (переход  $t_{16}$ ), после чего и.о. мастера Т. выезжает на другой линейный участок без бригады слесарей-ремонтников (позиция  $P_{19}$ , переход  $t_{17}$ ). Слесарь-электрик М. выявил обрыв одной жилы кабеля управления электрической цепи тали (позиция  $P_{20}$ ), слесарь-электрик М. и слесарь-ремонтник Н. производят ремонт кабеля управления электрической цепи тали (переход  $t_{18}$ , позиция  $P_{21}$ ).

При наличии в позиции  $P_{21}$  и  $P_{22}$  суммарно 3-х маркеров активируется условие для срабатывания перехода  $t_{19}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 3. При срабатывании перехода  $t_{19}$  в позицию  $P_{23}$  перемещается 3 маркера. При наличии в позиции  $P_{23}$  3-х маркеров, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{20}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 3. При сра-

батывании перехода  $t_{20}$  в позицию  $P_{24}$ ,  $P_{25}$ ,  $P_{22}$  перемещается по 1 маркеру.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. Восстановив целостность электрического кабеля (позиция  $P_{21}$ ), бригада ремонтников приступила к проведению работ по изоляции кабеля (переход  $t_{19}$ ). В связи с нехваткой изоляционного материала (позиция  $P_{22}$ ), работы по изоляции кабеля были приостановлены (позиция  $P_{23}$ ). Бригада ремонтников направилось в помещение ПТО (переход  $t_{20}$ ), где слесарь-электрик М. сообщил мастеру участка Д. об устранении неисправности электрической цепи тали козлового крана и необходимости доизолировать кабель (позиция  $P_{25}$ ), а также водителю служебного автомобиля о необходимости доставки дополнительного изоляционного материала на участок (позиция  $P_{24}$ ).

При наличии в позиции  $P_{25}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{21}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 1. При срабатывании перехода  $t_{21}$  в позицию  $P_{26}$  из позиции  $P_{25}$  перемещается 1 маркер. При наличии в позиции  $P_{26}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{22}$ , имеющего входной и выходной весовой коэффициент равный 1. При срабатывании перехода  $t_{22}$  в позицию  $P_{28}$  из позиции  $P_{26}$  перемещается 1 маркер.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. После извещения слесарем-электриком М. начальника участка Д. об устранении неисправности электрической цепи тали козлового крана и необходимости доизолировать кабель (позиция  $P_{25}$ ), начальник участка Д. дал указание бригадиру Я. на производство работ по погрузке металлолома в автомобиль, после чего бригадир Я. определил работников для производства работ по погрузке металлолома в автомобиль, дал указание машинисту крана С. и слесарю по ремонту подвижного состава Б. начать погрузку металлолома в автомобиль (позиция  $P_{26}$ , переход  $t_{22}$ ).

При наличии в позиции  $P_{24}$  и  $P_{27}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{23}$ , имеющего входной весовой коэффициент равный 2, а выходной коэффициент равный 1. При срабатывании перехода  $t_{23}$  в позицию  $P_{28}$  перемещается 1 маркер.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. После сообщения водителю служебного автомобиля о необходимости подвоза дополнительного изоляционного материала на участок (позиция  $P_{24}$ ), прибытия автомобиля с изоляционным материалом на участок (позиция  $P_{27}$ ), бригада ремонтников переместилась на посадочную площадку крана (переход  $t_{23}$ ).



При наличии в позиции  $P_{28}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{24}$ , имеющего входной весовой коэффициент равный 3, а выходной коэффициент равный 1. При срабатывании перехода  $t_{24}$  в позицию  $P_{30}$  перемещается 1 маркер. При наличии в позиции  $P_{30}$ ,  $P_{31}$ ,  $P_{32}$  маркера, активируется условие для срабатывания перехода  $t_{25}$ , имеющего входной весовой коэффициент равный 3, а выходной коэффициент равный 2. При срабатывании перехода  $t_{25}$  в позицию  $P_{29}$  и  $P_{33}$  перемещается маркер.

Рассмотренный переход системы имеет следующий контекст событий. Слесарь-электрик М. и слесарь-ремонтник Н. поднялись на посадочную площадку крана, производившего в этот момент погрузочно-разгрузочные работы (позиция  $P_{28}$ ), слесарь-электрик М. дал задание машинисту крана С. передвинуть таль в сторону кабины машиниста и со слесарем-ремонтником Н. поднялись на площадку крана для завершения изоляции кабеля (переход  $t_{24}$ ), однако начальник участка Д. запретил слесарю-электрику М. производство ремонтных работ до момента завершения погрузочно-разгрузочных работ, дал указание машинисту крана С. подъехать к месту складирования материала (позиция  $P_{29}$ ). Ввиду нахождения бригады ремонтников на верхней площадке работающего крана (переход  $t_{25}$ ), наличия линии электропередачи на недопустимо близком расстоянии от конца крана (позиция  $P_{31}$ ), и отсутствия средств индивидуальной защиты головы работников (каска защитной) (позиция  $P_{32}$ ) допущен случай поражения электрическим током слесаря-ремонтника Н.

### Результаты исследования


Рассматривая систему, имитирующую основные действия работников, приводящие к несчастному случаю на производстве, получены следующие выводы:

1. Причинами рассматриваемого несчастного случая явилась совокупность организационно-технических состояний системы, выразившихся в наруше-

нии нормативных барьеров безопасности при непосредственном производстве работ: неприменение системы ключ-марки, неоформление наряд-допуска при производстве работы повышенной опасности (активные недостатки), а также накопленные недостатки технического состояния системы — наличие токоведущих частей воздушной линии на недопустимо близком расстоянии к козловому крану (скрытые недостатки).

2. Значимую роль при несчастном случае на производстве составляют несогласованные действия работников. Бригады действуют как группы, поэтому взаимоотношения в группе влияют на поведение и деятельность ее членов. С этим видом взаимодействия связаны такие понятия, как лидерство, взаимодействие членов бригады, ее слаженная работа и межличностные отношения. Взаимоотношения между руководством и персоналом также важны, поскольку корпоративный климат и степень вовлеченности людей в технологический процесс значительно влияет на их работу.

3. Цепь событий, ведущих к несчастному случаю на производстве, можно проследить в обратном порядке с целью определения системных недостатков или скрытых угроз.

В рассмотренной системе происходит целый ряд отказов, каждый из которых способствует несчастному случаю на производстве, хотя в течение длительного периода времени данные отказы находились в «инкубационном состоянии», до тех пор, пока определенные события не достигли критической массы, и не спровоцировали несчастный случай. Основной задачей в данном контексте является выявление активных и скрытых отказов, а также разработка механизма защитных барьеров безопасности, предупреждающих деструктивные взаимодействия отказов в цепи событий, ведущих к несчастному случаю. Полученные сведения служат основанием для проведения дальнейших расчетов и исследований по данному направлению. 

## Литература

1. Итоги года в сфере охраны труда [электронный ресурс]/ Минтруд России, 29 декабря 2018 г. [rosmintrud.ru/labour/safety/294](http://rosmintrud.ru/labour/safety/294)
2. Циркуляр ИКАО 253-AN/151 Роль человеческого фактора при техническом обслуживании и инспекции воздушных судов.
3. Циркуляр ИКАО 302-AN/175 Кросскультурные факторы и безопасность полетов.
4. Руководство по обучению в области человеческого фактора ИКАО Doc 9683-AN/950.

5. Косякин, В.С. Совершенствование системы управления охраной труда в вагонном хозяйстве/ В.С. Косякин, А.М. Завьялов, Г.В. Голышева // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте: сборник трудов ученых и специалистов транспортной отрасли, II выпуск. —М: ВНИИЖГ, 2016. —С. 97—103.
6. Раенок, Д.Л. Развитие системы управления охраной труда в вагонном хозяйстве/ Д.Л. Раенок, В.С. Косякин, А.В. Морковников, А.М. Завьялов // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2016): материалы V Юбилейной Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 26—28 октября 2016 г. —СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. —С. 159—165.
7. Косякин, В.С. Анализ вредных производственных факторов на рабочем месте осмотрщика-ремонтника вагонов/ В.С. Косякин, Д.Л. Раенок, В.И. Апатцев // Проблемы безопасности российского общества. —2017. —№1. —С. 58—62.