

УДК 656.2

В. И. Медведев, З. П. Ощепков, М. Е. Корягин

К вопросу обеспечения безопасности перевозок сжиженных углеводородных газов в железнодорожных вагонах-цистернах

Поступила 09.10.2018
Рецензирование 18.10.2018
Принята к печати 23.10.2018

Статья посвящена проблеме обеспечения безопасности и надежности перевозок сжиженных углеводородных газов в железнодорожных вагонах-цистернах как одному из важнейших элементов процесса транспортировки газообразных энергоносителей и исходных полуфабрикатов органического синтеза. Систематизированы основные свойства сжиженных углеводородных газов, идентифицированы опасности, возникающие при транспортных операциях, и оценены риски, вызываемые этими опасностями. Показано, что имеют место аварийные ситуации при перевозке сжиженных углеводородов на всех видах транспорта, а также в бытовой сфере. Вследствие сложности, многостадийности процесса обоснованы разработка и внедрение ряда программных продуктов, в том числе экспертно-управляющей системы под рабочим названием «Безопасная транспортировка сжиженных углеводородных газов». Предпринята попытка комплексного подхода к совершенствованию процесса транспортировки сжиженных углеводородных газов, в том числе сделан акцент на ответственную стадию процесса эксплуатации газонаполнительной станции. В рамках ноосологического подхода к декомпозиции процесса транспортировки разработаны предложения по применяемому в сфере опасных производственных объектов регламенту безопасности, включающему технический, организационный, технологический и кадровый регламенты.

На основе проведенного анализа предложены усовершенствования и инновации, снижающие риск «относительно управляемых» стадий транспортного процесса. Прогнозный интегральный риск при этом снижается на порядок, достигая величины приемлемого риска 10^{-6} . Разработана технологическая схема процессов газонаполнительной станции, на основании которой сформирован перечень факторов и прогнозируемых причин, способствующих возникновению и развитию аварийной ситуации на объекте. Определен порядок действий персонала в случае инцидента, аварии или чрезвычайной ситуации. Разработаны предложения-рекомендации по внесению изменений и дополнений в действующую нормативно-техническую документацию, а также намечены основные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: *безопасность перевозок, железнодорожный транспорт, железнодорожные вагоны-цистерны, надежность, риски, опасные грузы класса 2, сжиженные углеводородные газы, экспертно-управляющая система.*

В соответствии с законодательством Российской Федерации обеспечение безопасности работы промышленного объекта, соблюдение требований охраны труда и промышленной безопасности, а также управление профессиональными рисками являются приоритетными задачами работодателя [1]. Для железнодорожного транспорта на законодательном уровне в качестве постоянной и приоритетной задачи добавлено обеспечение безопасности движения и безопасности перевозок опасных грузов.

Жидкие и газообразные энергоносители играют важную роль в экономике нашей страны, Европы и всего мира. Для транспортировки энергетических углеводородов железнодорожным транспортом в Российской Федерации используется развитая инфраструктура, включая сотни тысяч специализированных вагонов-цистерн и сотни пунктов налива и слива. Сжиженные углеводороды –

не только удобный, относительно дешевый и экологически предпочтительный энергоноситель, но и исходный полуфабрикат органического синтеза важнейших видов химической продукции. Известно, что наибольшую техногенную опасность представляют промышленные и транспортные объекты с высокой концентрацией пожаровзрывоопасных веществ, как следствие, аккумулируются значительные запасы химической, тепловой и механической энергии. Поскольку одним из основных способов транспортировки фракций (смесей) сжиженных углеводородных газов (СУГ) является железнодорожный транспорт, проблема обеспечения безопасности работы технологических систем, задействованных в процессе транспортировки опасного груза, продолжает оставаться весьма актуальной. Одним из актуальных вопросов на железнодорожном транспорте Российской Федерации является запрет роспуска порожних вагонов

из-под СУГ с сортировочных горок на сортировочных станциях, что значительно отражается на перерабатывающей способности крупных железнодорожных станций и узлов.

Особое внимание к железнодорожным перевозкам СУГ привлекает обстоятельство, что страны Европы активно продвигают курс на замену «экологически грязного» топлива (жидкие нефтепродукты) на так называемые более чистые; например, в среднесрочной перспективе на водных видах транспорта (морском и речном) мазут будет заменен на углеводородные фракции. Эти масштабные изменения повлекут за собой необходимость модернизации газотранспортной системы, включая железнодорожную подсистему.

Сжиженные углеводородные газы представляют собой фракции природных углеводородов – смеси предельных и непредельных углеводородов ($C_1 - C_2 - C_3 - C_4$), преимущественно содержащих молекулы с тремя и четырьмя атомами углерода. При нормальных условиях они находятся в газообразном состоянии вследствие низкой молекулярной массы и слабого межмолекулярного взаимодействия, однако при увеличении давления без изменения температуры способны переходить в конденсированное (жидкое) состояние. Сжижение природных углеводородных газов производится для перевода их в транспортабельную форму, в которой при нормальных температуре и давлении вместимость железнодорожного подвижного состава на порядок выше.

Общеизвестно, что широкое применение СУГ приводило к инцидентам и аварийным ситуациям, в частности пожарам и взрывам в сфере жилищно-коммунального хозяйства, сопровождаемым разрушением подъездов, квартир и человеческими жертвами. Особого внимания (как показал печальный опыт взрыва и пожара СУГ в Башкирии в 1989 г.) требует обеспечение пожаро- и взрывобезопасности при транспортных операциях на железнодорожном транспорте. Вследствие ограниченного объема статьи весьма информативная статистика нештатных ситуаций на всех видах транспорта авторами не приводится.

По экспертным оценкам авторов, на перевозке СУГ по железным дорогам приходится: 30 % объема перевозок опасных грузов, 45 % числа вагонов-цистерн, 40 % инцидентов и

аварий. Проблеме опасности и ее предупреждению посвящено немало работ, например [2], но все они охватывают, как правило, определенный аспект и не ставят задачу комплексного подхода.

Сложившееся положение, в том числе частота и последствия инцидентов, аварий и техногенных катастроф, требует дополнительного государственного регулирования, создания и реализации государственной программы «Обеспечение безопасной транспортировки сжиженных углеводородных газов». Известно, что отправителями СУГ и владельцами специализированного подвижного состава (вагонов-цистерн) являются почти три десятка компаний. Прежде всего требуется согласованная техническая и информационная политика на основе:

- уточнения требований ко всем элементам транспортного процесса;
- разработки системы количественных показателей безопасности;
- разработки единой системы внедрения инноваций и системы мониторинга, сопряженных с экспертно-управляющей системой под рабочим названием «Безопасная транспортировка сжиженных углеводородных газов», элементы которой разрабатывались в Сибирском государственном университете путей сообщения в 2005–2015 гг.

Учитывая многоаспектность поставленной проблемы, решить ее в рамках одной работы не представляется возможным; фрагментарность и незаконченность исследования являются практически неизбежными недостатками при решении крупных проблем. В дальнейшем авторы планируют развивать не только организационно-технические и правовые, но и экономические аспекты технической модернизации, инноваций и информатизации.

В современных условиях всеобщего измерения и перехода на количественные показатели необходимо сделать попытку количественно определить такое многогранное понятие, как безопасность движения (БД) на железнодорожном транспорте. В частности, авторами ставится более узкая задача формализовать это понятие применительно к общей проблематике – перевозке СУГ. Примем исходные условия: груз – СУГ (и псевдогруз – остатки СУГ в так называемых порожних вагонах-цистернах из-

под сжиженных углеводородных газов); подвижной состав – вагоны-цистерны; полигон – сеть железных дорог России.

Введем определение понятия «безопасность движения»:

$$БД = n_{шт} / N_{общ} \cdot 100 \%,$$

где $n_{шт}$ – число отправленных поездов, прибывших штатно (без нарушений, отклонений, аварий); $N_{общ}$ – общее число отправленных поездов.

Величина $N_{общ}$ определяется по формуле

$$N_{общ} = n_{шт} + n_{ншт},$$

где $n_{ншт}$ – число отправленных поездов, прибывших нештатно (по причине нарушений, отклонений, аварий).

Понятие «опасность движения» будем измерять обратной по смыслу величиной:

$$ОД = n_{ншт} / N_{общ} \cdot 100 \% = 100 - БД.$$

Руководствуясь сложившимися в науке подходами, представленными, в частности, в трудах Н. А. Махутова [3], при анализе опасности системы, состояния, процесса принято оперировать понятиями вероятности (P) и риска (R).

Вероятность P изменяется в интервале от нуля (абсолютно невероятное событие) до единицы (событие состоялось).

Наиболее привычным и удобным показателем является уровень риска:

$$R = P \cdot V,$$

где V – ущерб (реальный или потенциальный).

Показатель R удобен своей простотой и наглядностью, при независимости событий (реальной или гипотетической) обладает свойством кумулятивности, иначе говоря, риск многостадийного процесса равен сумме рисков на каждой стадии.

Для целенаправленного повышения БД на основе управления системой необходимо создать декомпозиционную модель. Исходным соотношением возьмем уравнение

$$R_{пер} = R_{нал} + R_{дв} + R_{сл}, \quad (1)$$

где $R_{пер}$, $R_{нал}$, $R_{дв}$, $R_{сл}$ – риски всей перевозки, при наливе, в движении и при сливе соответственно.

В свою очередь

$$R_{дв} = R_{инф} + R_{в-ц} + R_{м.р} + R_{ч.ф} + R_{п.у} + R_{у.т}, \quad (2)$$

где $R_{инф}$, $R_{в-ц}$, $R_{м.р}$, $R_{ч.ф}$, $R_{п.у}$, $R_{у.т}$ – риски элементов перевозочного процесса, связанные с инфраструктурой, подвижным составом (вагонами-цистернами), маневровой работой, человеческим фактором, погодными условиями и угрозой терроризма соответственно.

Уравнение (1) можно представить иным образом:

$$R_{пер} = R_{упр} + R_{н/упр}, \quad (3)$$

где $R_{упр}$, $R_{н/упр}$ – риски условно управляемые и условно неуправляемые соответственно.

К каждой из двух совокупностей элементов отнесем

$$R_{упр} = R_{нал} + R_{в-ц} + R_{м.р} + R_{сл} = R_{в-ц} + R_{м.р} + 2R_{сл}, \quad (4)$$

$$R_{н/упр} = R_{инф} + R_{ч.ф} + R_{п.у} + R_{у.т} = \text{const.} \quad (5)$$

Таким образом, условно неуправляемыми факторами являются элементы перевозочного процесса, связанные с инфраструктурой, человеческим фактором, погодными условиями и угрозой терроризма; условно управляемыми факторами – элементы, связанные с подвижным составом (вагонами-цистернами), маневровой работой и операциями погрузки и выгрузки (налива и слива). Исходя из декомпозиции транспортного процесса приведем структуру регламента безопасности перевозки СУГ и прогноз снижения рисков, являющиеся основой проектирования современной системы управления рисками при перевозках СУГ (табл. 1).

На основе Правил перевозок опасных грузов [4] идентифицированы различные виды опасности при перевозке СУГ и установлены условия перевозки некоторых характерных их представителей, которые могут быть изменены в процессе дальнейшей работы. Свойства сжиженных углеводородных газов, определяющие их пожаро- и взрывоопасность, представлены в табл. 2, основные требования к безопасности перевозки – в табл. 3.

Детальный анализ проведен для начальной и конечной стадий транспортного процесса – операций налива и слива. Основные требования к качеству продукта представлены в стандарте [5], основные требования к безопасности обустройства газонаполнительной станции СУГ – в Правилах безопасности [6, 7]. На их основе сформулированы основные элементы безопасности газонаполнительной станции (ГНС).

Для выполнения операций по сливу и наливу сжиженных углеводородных газов в целях последующей транспортировки железнодорожным транспортом применяются сливно-наливные эстакады, состоящие из металлоконструкции нескольких узлов. Конструкция сливно-наливной эстакады позволяет изменять количество постов налива, а также производить поэтапную модернизацию

оборудования. При отсутствии цистерны площадка эстакады оснащена закрепляющим устройством, удерживающим переходной мостик в вертикальном положении.

Резервуары и газопроводы оборудуются специальными техническими средствами: за-

порной и регулирующей арматурой, предохранительными устройствами, а также средствами защиты, автоматизации, блокировки и измерения.

Перекачивающий насосный агрегат должен быть оснащен автоматической системой блоки-

Таблица 1

Структура предлагаемого регламента безопасности перевозки СУГ и прогноз снижения рисков

Характеристика регламента	Регламент			
	технический	организационный	технологический	кадровый
Перспективные новшества и инновации	Пожаровзрывозащищенный котел цистерны. Пожаровзрывозащищенный кожух. Энергопоглощающий аппарат на автосцепке большой мощности. Датчики соударений и температуры в процессе перевозки и маневровой работы. Котлы цистерн из композиционных материалов повышенной прочности	Система мониторинга транспортных операций на основе ЭУС «БТСУГ». Перевозка при контролируемой температуре	Изменение режима маневровой работы. Промежуточные цистерны для аварийного слива / перекачки. Автоматизация налива и слива	Проверка знаний персонала и проверка на стрессоустойчивость. Оснащение локомотивной бригады мобильным приложением типа metes*. Повышение бдительности и оперативности действий
Виды снижаемых рисков	$R_{в-ц}, R_{м,р}$	Практически все виды (на небольшую величину)	$R_{м,р}, R_{сл}$	$R_{ч,ф}, R_{п,у}, R_{у,т}$
Прогнозная величина снижения риска	В 3–5 раз до 10^{-5}	На 5–10 % до $5 \cdot 10^{-5}$	В 2 раза до $5 \cdot 10^{-5}$	На 10 % до $7,5 \cdot 10^{-5}$

* Техническая информация о мобильном приложении metes и его аналогах будет опубликована после регистрации объекта интеллектуальной собственности.

Таблица 2

Свойства сжиженных углеводородных газов, определяющие их пожаро- и взрывоопасность [4]

Свойство	Величина	Последствия и их парирование
Высокая пожаро- и взрывоопасность, низкие температуры и пределы воспламеняемости	430–800 °С, 2–10 % (по объему)	Взрыв, пожар; средства коллективной и индивидуальной защиты
Переход из жидкой фазы в газообразную при уменьшении давления или увеличении температуры	95–160 °С, 3,5–5,5 МПа	Переход в газовую фазу увеличивает объем, занимаемый СУГ, как следствие, возможен взрыв сосуда (резервуара) хранения, разгерметизация и образование опасной газовой смеси
Плотность пропан-бутановых смесей выше плотности воздуха (кроме метана и этилена)	Плотность по воздуху 1,1–3,0	При разгерметизации вытесняет воздух из пониженных местности (рельефа, колодцев), происходит концентрирование опасной газовой смеси

Таблица 3

Основные требования к безопасности перевозки характерных представителей СУГ [4]

Номер ООН	Наименование	Номер аварийной карточки	Классификационный шифр	Род, вид подвижного состава*	Штемпель в перевозочных документах
1011	Бутан	206	23	КВ, УК, ВЦ, КЦ	Не спускать с горки
1012	Бутиленов смесь или 1-бутилен или дис-2-бутилен или транс-2-бутилен	206	23	КВ, УК, ВЦ, КЦ	Не спускать с горки
1969	Изобутан	206	23	КВ, УК, ВЦ, КЦ	Не спускать с горки

* Подвижной состав КВ, УК, ВЦ, КЦ – крытые вагоны, универсальные контейнеры, вагоны-цистерны, контейнеры-цистерны соответственно.

ровки и защиты, блокирующей пуск и работу агрегата в следующих критических режимах:

- а) жидкость не полностью заполняет сосуд;
- б) величина давления затворной (уплотняющей) жидкости не достигает принятого значения;
- в) температура подшипников выше паспортного значения.

Средства противопожарной защиты, а также защиты от взрыва представлены в табл. 4.

На каждом блоке технологической схемы возможно возникновение различных аварийных ситуаций, обусловленных определенными факторами [8, с. 34]. Перечень таких опасных факторов и возможных причин аварий на начальных стадиях транспортного процесса приведен в табл. 5.

Работы на газонаполнительной станции должны производиться согласно требованиям

Таблица 4

Средства противопожарной защиты, а также защиты от взрыва

Защищаемый объект	Требуемые защитные средства
Железнодорожные сливно-наливные эстакады	Пожарные лафетные стволы
Служебные здания и сооружения	Первичные средства пожаротушения
Склады (здания и сооружения)	Первичные средства пожаротушения. Стационарные и передвижные установки пожаротушения (порошковые, пенные) и ручные огнетушители. Пожарные лафетные стволы
Резервуары хранения под давлением	Стационарные установки водяного орошения, стационарные лафетные стволы и передвижная пожарная техника

Таблица 5

Основные факторы и возможные причины возникновения и развития аварийной ситуации на начальных стадиях транспортного процесса

Составляющая технологической схемы	Факторы, способствующие возникновению и развитию аварий	Возможные причины аварий
Технологический блок приема СУГ	Наличие большого запаса СУГ, обладающего взрывопожароопасными свойствами	Разгерметизация железнодорожного вагона-цистерны из-за механических повреждений при столкновении и/или сходе вагонов-цистерн. Разгерметизация гибкого шланга, запорной арматуры. Взрыв цистерны в результате внешнего нагрева. Ошибки персонала при ведении технологического процесса. Внешнее воздействие природного характера. Диверсии
Технологический блок хранения СУГ	Наличие большого запаса СУГ, обладающего взрывопожароопасными свойствами	Ошибки персонала при ведении технологического процесса, ремонтных работ. Отказ средств противоаварийной защиты. Разгерметизация запорной арматуры, резервуара из-за дефектов изготовления, механических повреждений, химической и электрохимической коррозии. Внешнее воздействие природного характера. Диверсии
Технологический блок перекачки СУГ	Ослабление фланцевых соединений, разрушение трубопровода, которые могут повлечь за собой выброс СУГ, образующих взрывоопасные смеси с воздухом. Замкнутое (непронетриваемое) помещение насосно-компрессорного отделения, способствующее образованию взрывоопасной концентрации	Ошибки персонала при ведении технологического процесса, ремонтных и монтажных работ. Дефекты изготовления, механические повреждения, коррозия. Внешнее воздействие природного характера. Диверсии
Технологический блок отпуска СУГ	Износ материалов, деталей оборудования, крепежа, сальников и т. д.	Разрушение топливного бака, газового баллона. Наезд на топливораздаточную колонку. Ошибки персонала при ведении технологического процесса, ремонтных и монтажных работ

ГОСТа [9]. Декомпозиция технологического процесса позволила определить основные требования безопасности к данным работам (табл. 6).

Слив из вагонов-цистерн в зависимости от технического оснащения пункта может осуществляться следующими способами:

1) за счет создания перепада давления между цистерной и резервуаром при работе компрессора (при этом перепад давления не должен формироваться за счет сброса в атмосферу паровой фазы газа из наполняемого резервуара);

2) перекачкой насосами;

3) слив самотеком, если резервуары расположены ниже вагона-цистерны.

Согласно [5, 10], углеводороды оказывают негативное воздействие на организм человека, что может привести к опасному нарушению технологического процесса, создать угрозу аварии и при продолжительном воздействии вызвать профессиональное заболевание (табл. 7).

Порядок действий персонала в случае аварии на газонаполнительной станции должен отвечать требованиям Правил безопасности [10] и другой нормативно-технической документации. Детально проработанный порядок действий представлен в табл. 8.

Данные табл. 1, 7 и 8 будут использованы для корректировки аварийных карточек (в частности, номеров 206 и 301), а также разработки

Таблица 6

Требования к работам на газонаполнительной станции

Критерий	Условия
Время работы	Слив из железнодорожных вагонов-цистерн в резервуары должен производиться в светлое время суток с соблюдением требований производственных инструкций, а также производственных инструкций для сливщика-разливщика, слесаря по ремонту и эксплуатации газового оборудования, машиниста компрессорных установок
Требования к персоналу	Опасные работы по сливу из железнодорожных вагонов-цистерн должны выполнять не менее трех рабочих. Не участвующий в сливе персонал не должен находиться в зоне производства работ. Персонал, выполняющий операции по сливу-наливу СУГ, должен выполнять работу в спецодежде, головных уборах и защитных очках
Погодные условия	Запрещается выполнять операции по сливу-наливу СУГ во время грозы, в других неблагоприятных метеорологических условиях и при проведении огневых работ в прилегающей зоне
Процесс слива-налива	Запорную арматуру необходимо открывать плавно, предотвращая гидравлические удары. Между персоналом, выполняющим сливно-наливные операции, и машинистами насосно-компрессорного отделения должна осуществляться связь по телефону, громкоговорителям или должен быть установлен визуальный контакт

Таблица 7

Свойства сжиженных углеводородных газов, представляющие опасность для человека [5–10]

Свойство	Величина	Последствия, меры защиты
Низкая степень токсичности, относительно низкая предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны предельных углеводородов, в организме не аккумулируются	Класс опасности – 4; ПДК от 100 до 300 мг/м ³	При непродолжительном контакте, вдыхании не опасны, рекомендуемое средство индивидуальной защиты – респиратор. При продолжительном вдыхании, нахождении в зоне со значительным превышением ПДК человек испытывает кислородное голодание вплоть до гибели от удушья
Наркотическое воздействие на организм	Концентрации выше ПДК более чем в 5 раз (500–1500 мг/м ³)	Признаками наркотического опьянения являются недомогание, головокружение, сопровождающиеся беспричинной веселостью и потерей сознания
Низкие значения температуры и энтальпии испарения	При температуре окружающей среды	При попадании на тело человека вызывают обморожение, напоминающее ожог
Слабый трудноуловимый специфический запах	До значений концентрации 3 г/м ³	Органолептически наличие в воздушной среде не детектируется. Для выявления утечек применяют одоранты (этилмеркаптан C ₂ H ₆ S и др.)

Таблица 8

Действия персонала в случае аварии на ГНС

Должностные лица	Последовательность действий	Временной регламент выполнения, мин
Начальник ГНС, сменный мастер	Объявить сигнал общей тревоги, привести в готовность группу газовых сетей аварийно-технической команды. Выставить посты для охраны опасной зоны и принять меры к эвакуации людей, не принимающих участие в локализации и ликвидации аварии. Вызвать по телефону диспетчера, через него или непосредственно сообщить вышестоящему причастному руководству. Осуществлять общее руководство по локализации и ликвидации аварии	5
Непосредственно персонал ГНС	Остановить работающие насосы и компрессоры, прекратить слив СУГ из железнодорожного вагона-цистерны. Устранить утечку газа, перекрыв запорные устройства на всех цистернах, сливных устройствах и газопроводах. Отключить задвижками оборудование насосно-компрессорного отделения от базы хранения. Открыть фрамуги, окна и двери, проветрить помещение. Выставить предупреждающие знаки (перекрывать дорогу). Привести в готовность средства пожаротушения. Приступить к тушению пожара имеющимися в наличии средствами пожаротушения. Обеспечить проезд к месту аварии пожарным машинам	10
Группы газовых сетей	Провести мероприятия по локализации и рассеиванию газа. Проверить газоанализатором на загазованность колодцы подземных коммуникаций, помещения в радиусе 50 м и более в направлении распространения газа, в случае обнаружения газа выставить предупредительные знаки, обеспечить проветривание. Выполнять мероприятия по локализации и ликвидации аварии, разбор завалов, оказание медицинской помощи пострадавшим	15
Аварийно-техническая команда	Выполнять мероприятия по локализации и ликвидации аварии, разбор завалов, оказание первой помощи пострадавшим. После окончания работ организовать специальную обработку техники, в кратчайший срок восстановить готовность подразделения	До окончания мероприятий

изменений и дополнений в правила безопасности [4, 10] согласно инициативе Сибирского государственного университета путей сообщения, поддержанной Федеральным агентством железнодорожного транспорта.

К осуществлению деятельности по эксплуатации опасных производственных объектов, использующих сжиженные углеводороды, привлекаются работники, прошедшие аттестацию в установленном порядке согласно положению [11]. Работники рабочих профессий должны быть аттестованы соответствующей комиссией предприятия. Им следует пройти обучение, а также проверку знаний по безопасным способам и приемам выполнения работ в объеме квалификационных требований, а также в объеме требований производственных инструкций для данных профессий. Инновационные предложения будут разработаны и представлены нами в рамках кадрового

регламента безопасности транспортировки сжиженных углеводородных газов, концептуальные основы которого приведены выше.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Устойчивость и безопасность процесса транспортирования сжиженных углеводородных газов играет большую роль в экономике страны и имеет для Российской Федерации стратегическое значение. Железнодорожный транспорт, занимая важное место в технологической и логистической цепочке доставки продукта от отправителя до получателя (потребителя), не привлекает должного внимания государства и научного сообщества, в результате чего и государство, и транспорт несут значительные социально-экономические издержки.

2. Требуется комплексный подход к совершенствованию транспортировки сжиженных

углеводородных газов. В рамках ноксологического подхода к декомпозиции процесса транспортировки разработаны предложения по безопасному регламенту, включающему технический, организационный, технологический и кадровый регламенты, содержащие усовершенствования и инновации. Прогнозный интегральный риск при этом снижается на порядок, достигая величины приемлемого риска 10^{-6} .

3. Радикальное улучшение предполагает принятие ряда условий: уточнения требова-

ний ко всем элементам транспортного процесса; разработки системы количественных показателей безопасности; разработки единой системы внедрения инноваций и системы мониторинга, сопряженных с экспертно-управляющей системой «Безопасная транспортировка сжиженных углеводородных газов». Актуальность проблемы требует дополнительного государственного регулирования, создания и реализации государственной программы «Обеспечение безопасной транспортировки сжиженных углеводородных газов».

Библиографический список

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 03.08.2018). Ст. 212. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 22.09.2018).
2. Федосов А. В., Маннанова Г. Р., Шипилова Ю. А. Анализ опасностей, оценка риска аварий на опасных производственных объектах и рекомендации по выбору методов анализа риска // Нефтегазовое дело : электрон. науч. журн. 2016. № 3. С. 332–336. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/3_2016/ogbus_3_2016_p322-336_FedosovAV_ru.pdf (дата обращения: 15.09.2018).
3. Развитие методов анализа техногенных опасностей и рисков для объектов железнодорожного транспорта / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин, А. М. Соколов, Е. Ю. Титов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2014. № 6. С. 3–12.
4. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от 5 апреля 1996 г. № 15) (в ред. с изм. и доп. от 23.11.07, 30.05.08, 22.05.09). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97657/ (дата обращения: 20.09.2018).
5. ГОСТ Р 52087–2003. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 2003. 11 с.
6. ПБ 09-566-03. Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легковоспламеняющихся жидкостей под давлением. М. : Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2007. 76 с.
7. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. М. : Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008. 188 с.
8. Медведев В. И., Ощепков З. П., Рублев М. Г. Анализ защищенности критически важных объектов железнодорожного транспорта и обеспечение безопасности персонала // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. № 1 (44). С. 33–39.
9. ГОСТ Р 54982–2012. Системы газораспределительные. Объекты сжиженных углеводородных газов. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация. М. : Стандартинформ, 2013. 121 с.
10. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам : утв. МПС РФ 25.11.96 / отв. за вып. А. М. Островский. М., 1997. 434 с.
11. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 января 2007 г. № 37 «О порядке подготовки и аттестации работников организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_67144/ (дата обращения: 15.10.2018).

V. I. Medvedev, Z. P. Oshchepkov, M. E. Koryagin

On the Issue of Safe Transportation of Liquefied Hydrocarbon Gases in Rail Tank Cars

Abstract. The work is devoted to the problem of safety and reliability of liquefied hydrocarbon gases transportation in rail tank cars, as one of the most important elements of gaseous energy carriers transportation process and raw semi-finished products of organic synthesis. The main properties of liquefied hydrocarbon gases

are systematized, the dangers arising during transport operations are identified and the risks caused by these dangers are estimated. It is shown that there are emergency situations in the transportation of liquefied hydrocarbons in all modes of transport, as well as in the domestic sphere. Due to the complexity, multistage process justified the development and implementation of a number of software products, including expert control system under the working title "Safe transportation of liquefied hydrocarbon gases." An attempt is made to take an integrated approach to improving the transportation of liquefied hydrocarbon gases, including the emphasis on the responsible stage. Within the framework of the toxicological approach to the decomposition of the transportation process, proposals were developed for safety regulations applied in the field of hazardous production facilities, including technical, organizational, technological and personnel regulations.

On the basis of the analysis performed, improvements and innovations have been proposed that reduce the risk of the "relatively manageable" stages of the transport process. At the same time, the predicted integral risk decreases by an order of magnitude, reaching an acceptable risk of 10⁻⁶. A flow chart of gas filling station processes has been developed, on the basis of which a list of factors and forecasted causes contributing to the occurrence and development of an emergency at the facility has been formed. The procedure for personnel actions in the event of an incident, accident or emergency is defined. Developed proposals and recommendations for making changes and additions to the existing regulatory and technical documentation, as well as outlined the main directions for further research.

Key words: *transport safety; railway transport; rail tank cars; reliability; risks; dangerous goods of class 2; liquefied hydrocarbon gases (LHG); expert control system.*

Медведев Владимир Ильич – доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» СГУПСа. E-mail: MedvedevVI2017@yandex.ru

Ощепков Захар Петрович – аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности» СГУПСа. E-mail: osch94@mail.ru

Корягин Марк Евгеньевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Высшая математика» СГУПСа. E-mail: markkoryagin@yandex.ru