

ТРАНСПОРТ

УДК 656.225.073.436

В.И. Медведев, И.О. Тесленко, А.В. Казакова

Пересмотр условий роспуска вагонов, загруженных опасными грузами, с сортировочных горок

Статья посвящена актуальной для железнодорожного транспорта проблеме повышения технико-экономической эффективности процесса расформирования на сортировочных горках составов, содержащих вагоны с опасными грузами. Проанализирована номенклатура перевозимых в стране опасных грузов, имеющих ограничения по роспуску с сортировочных горок. Установлено, что определенные ограничения для грузов классов опасности 2, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 6.1 и 8 не учитывают всех технических и технологических обстоятельств. С учетом дополнительно учитываемых факторов перевозочного процесса степень опасности груза может быть снижена и, соответственно, пересмотрены технологические ограничения. Изложена разработанная методика категорирования опасных грузов по их относительной опасности в процессе переработки на сортировочной горке. На этой основе предложен алгоритм пересмотра перечня опасных грузов различных классов опасности, имеющих ограничения при роспуске с сортировочной горки.

На основе анализа действующей нормативно-технической документации, факторов, влияющих на вероятность возникновения аварийных ситуаций с опасными грузами при роспуске их с сортировочных горок, выявлена целесообразность выделения двух категорий грузов по виду применяемого подвижного состава: опасные грузы, перевозимые в крытых вагонах и контейнерах; опасные грузы, перевозимые в вагонах-цистернах и контейнерах-цистернах.

Основными факторами, влияющими на изменение динамики системы «вагон – груз» в режиме роспуска с сортировочных горок, являются: вид подвижного состава (контейнера), тип тары; агрегатное состояние, физико-химические и опасные свойства грузов; величины нагрузок, возникающих при различных скоростях соударения вагонов или замедлении их на тормозных позициях.

Разработка алгоритмов определения условий роспуска вагонов выполнена на основе принципа разумной достаточности с учетом необходимости обеспечения безопасности и устойчивости перевозочного процесса. Это позволяет предложить алгоритмы определения условий роспуска с сортировочных горок крытых вагонов и контейнеров; вагонов-цистern и контейнеров-цистern, а также бункерных полувагонов для внедрения в качестве изменений и дополнений к правилам перевозок опасных грузов.

Проведена технико-экономическая оценка эффекта от обоснованного изменения режима роспуска и повышения перерабатывающей способности сортировочной станции.

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, опасные грузы, класс опасности, сортировочная горка, технология роспуска.*

На современном этапе развития железнодорожного транспорта, в условиях его реструктуризации, важной задачей отрасли является поиск экономических резервов по оптимизации работы с вагонами, в том числе с вагонами, загруженными опасными грузами.

В связи с изменением условий функционирования железных дорог, сменой приоритетов в развитии транспорта, вводом в действие новых технических средств назрела необходимость в переработке действующих нормативов, регламентирующих условия роспуска вагонов, загруженных опасными грузами, с сортировочных горок. Целью этой работы является повышение доходности железнодорожного транспорта при неуклонном соблюдении условия – обеспечить безопасность перевозочного процесса.

Экономическая и эксплуатационная эффективность корректировки нормативов и условий роспуска вагонов с опасными грузами (при соблюдении необходимого уровня безопасности) будет заключаться:

- в сокращении эксплуатационных расходов при переработке составов, содержащих опасные грузы;

- в повышении перерабатывающей способности сортировочных горок и вызванном этим сокращении времени на переработку вагонов.

Специалистами СГУПСа проведена работа по установлению оптимальных нормативов роспуска таких вагонов с сортировочных горок [1]. Опасность выполнения маневровых операций с вагонами, загруженными опасными грузами, определяется риском измене-

ния состояния груза и вагона, вызванного дополнительным воздействием. Выявление факторов, активизирующих эти воздействия, позволит найти пути их снижения и перейти от бессистемного к научно обоснованному подходу к проблеме роспуска вагонов, загруженных опасными грузами с сортировочных горок.

Работа по установлению оптимальных нормативов и условий роспуска вагонов с опасными грузами была осуществлена в несколько этапов.

Первоначально определены перечни опасных грузов и типы вагонов (контейнеров), нормативы переработки которых могут быть пересмотрены [2]. Опасные грузы обладают широким спектром физико-химических и опасных свойств, и работа с ними требует обработки огромного массива информации.

Дифференциация свойств опасных грузов может быть осуществлена на основе сочетания двух параметров: коэффициента относительной опасности и относительного горочного коэффициента.

Относительный коэффициент опасности введен для формализации и представления опасных свойств грузов в математическом виде. Исходными данными для его определения служат:

- таблица приоритета видов опасности для опасных грузов, характеризующихся двумя или более видами опасности [3];

- радиус зоны изоляции (опасной зоны), который связан с предполагаемыми масштабами поражения (для его определения можно использовать данные работ [4–6]).

Обработка исходных данных производилась поэтапно, по алгоритму, приведенному ниже.

1. Осуществляем последовательное ранжирование опасных грузов, основанное на принципе увеличения их номера приоритетности. Формируем ряд A с присвоением каждому i -му элементу ряда номера $a_i = 1 + 0,2(i - 1)$, так называемого коэффициента приоритетности; при этом 0,2 – эмпирический коэффициент, связанный с ранжированием радиусов опасных зон. Грузам классов 2 и 5.2, отсутствующим в таблице приоритетности, присваивается наибольший коэффициент приоритетности.

2. Производим расчет среднего радиуса опасной зоны для каждого полученного при ранжировании i -го элемента по формуле

$$R_{cp} = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g r_i, \quad (1)$$

где g – количество наименований опасных грузов, относящихся к i -му номеру приоритетности; r_i – радиус опасной зоны груза, м.

3. Для всех элементов ряда A определяем корреляционные зависимости коэффициента относительной опасности от среднего радиуса опасной зоны, коэффициента приоритетности в виде натурального логарифма [6]:

$$\phi_o = f(a_i; r_i) = \ln a_i^4 \sqrt{r_i}. \quad (2)$$

Результаты расчета представлены в виде табл. 1.

4. Определяем средний коэффициент относительной опасности ϕ_{cp} для грузов каждого класса опасности (табл. 1).

Относительный горочный коэффициент показывает долю опасных грузов рассматриваемого класса опасности, запрещенных к роспуску с сортировочных горок, и определяется по формуле

$$k_r = \frac{m_i^3}{M_i}, \quad (3)$$

где m_i^3 – число наименований опасных грузов i -го класса опасности, имеющих ограничение роспуска с сортировочных горок; M_i – общее число опасных грузов i -го класса, поименованных в алфавитных указателях в действующей нормативно-технической документации [2].

В табл. 2 приведены результаты расчета относительного горочного коэффициента.

Процедура установления относительных нормативов и условий роспуска вагонов, содержащих опасные грузы, с сортировочных горок проведена для грузов тех классов опасности, которые имеют наибольшее произведение коэффициентов ϕ_{cp} и k_r , т.е. для классов: 2 – газы, 5.1 – окисляющие вещества, 6.1 – ядовитые вещества (см. табл. 2).

На основе анализа действующей нормативно-технической документации [2], факторов, влияющих на вероятность возникновения аварийных ситуаций с опасными грузами при роспуске их с сортировочных горок [7–10], выявлена целесообразность выделения двух категорий грузов по виду применяемого подвижного состава:

- опасные грузы, перевозимые в крытых вагонах, контейнерах;

Таблица 1

Расчет коэффициента относительной опасности

Номер i -го элемента	Класс, степень опасности груза	Средний радиус опасной зоны R_{cp} , м	Коэф. приоритетности a_i	Коэф. относительной опасности ϕ_0
1	Класс 8, низкая степень опасности	104	1,0	1,16
2	Класс 6.1, низкая степень опасности	116	1,2	1,37
3	Класс 5.1, низкая степень опасности	800	1,4	2,01
4	Класс 3, низкая степень опасности	200	1,6	1,8
5	Класс 4.1, низкая степень опасности	160	1,8	1,8
6	Класс 4.3, низкая степень опасности	200	2,0	2,02
7	Класс 4.2, низкая степень опасности	238	2,2	2,16
8	Класс 8, средняя степень опасности, высокая степень опасности (твердое состояние)	122	2,4	2,08
9	Класс 6.1, средняя степень опасности	146	2,6	2,2
10	Класс 6.1, высокая степень опасности (опасно при попадании вовнутрь)	50	2,8	2,01
11	Класс 5.1, средняя степень опасности	800	3,0	2,77
12	Класс 4.1, высокая и средняя степень опасности	167	3,2	2,44
13	Класс 6.1, высокая и средняя степень опасности (опасно при попадании на кожу)	50	3,4	2,2
14	Класс 4.3, средняя степень опасности	200	3,6	2,61
15	Класс 3, средняя степень опасности	205	3,8	2,67
16	Класс 4.3, высокая степень опасности	200	4,2	2,76
17	Класс 5.1, высокая степень опасности	691	4,4	3,12
18	Класс 3, высокая степень опасности	303	4,6	2,95
19	Класс 4.2, высокая и средняя степень опасности	200	4,8	2,89
20	Класс 6.1, высокая степень опасности (опасно при вдыхании)	200	5,0	2,93
21	Класс 2	166	5,2	2,92
22	Класс 5.2	800	5,2	3,3

Таблица 2

Расчет относительного горочного коэффициента

Рассчитанные показатели	Класс опасности груза					
	2	3	4.1, 4.2, 4.3	5.1	6.1	8
m_i^3	68	4	6	15	17	2
M_i	71	177	116	84	212	86
k_T	0,96	0,022	0,052	0,18	0,08	0,023
ϕ_{cp}	2,92	2,47	2,1	2,8	2,19	1,9
$k_T \cdot \phi_{cp}$	2,8	0,05	0,11	0,50	0,18	0,04

– опасные грузы, перевозимые в вагонах-цистернах, контейнерах-цистернах.

Основными факторами, влияющими на изменение динамики системы «вагон – груз» в режиме роспуска с сортировочных горок, являются:

- вид подвижного состава (контейнера), тип тары;
- агрегатное состояние, физико-химические и опасные свойства грузов;
- величины нагрузок, возникающих при различных скоростях соударения вагонов или замедлении их на тормозных позициях [6, 7].

Анализ величин ударных нагрузок, возникающих при различных скоростях соударения вагонов [11], показал, что в поездах при обычных эксплуатационных условиях могут возникать такие же ударные нагрузки, как и при соударении вагонов со скоростями до 4–5 км/ч, что соответствует нормативной скорости соударения вагонов при штатном роспуске с сортировочных горок. Этот результат позволяет не учитывать указанные факторы при разработке алгоритмов роспуска.

Порядок определения условий роспуска с сортировочных горок крытых вагонов (кон-

тейнеров); вагонов-цистерн (контейнеров-цистерн) и бункерных полувагонов представлен в форме регламентных предписаний в табл. 3 и 4 соответственно. Разработка алгоритмов определения условий роспуска вагонов базируется на принципе разумной достаточности с учетом необходимости обеспечения безопасности и устойчивости перевозочного процесса.

Основные положения методики технико-экономической оценки вариантов технических и технологических решений по оптимизации сортировочной работы с опасными грузами на станциях были рассмотрены в работах [12, 13]. Для оценки технико-экономического

эффекта предлагаемых решений выполнен расчет, основные результаты которого представлены ниже. Экономическая эффективность от сокращения количества вагонов, загруженных опасными грузами и запрещенных к роспуску, складывается из следующих двух параметров:

– снижение эксплуатационных расходов на маневровую работу;

– сокращение времени занятости 1 км станционного пути вагонами в ожидании роспуска.

Первый параметр представляет собой экономиию от занятости маневрового локомотива,

Таблица 3

Порядок определения условий роспуска с сортировочных горок крытых вагонов (контейнеров)

Класс	Степень опасности груза	Род подвижного состава, контейнера, тип тары	Предлагаемые условия роспуска	Примечание
2.1	Все степени опасности	Для всех родов подвижного состава, контейнеров, типов тары	Спускать с горки осторожно	«Аэрозоли...» – роспуск без ограничений
2.2	Все степени опасности		Роспуск без ограничений	
2.3	Все степени опасности		Не спускать с горки	
5.1	Все степени опасности	При перевозке груза в стеклянной таре	Спускать с горки осторожно	Грузы, обладающие свойством взрывоопасности, не спускать с горки
		Для всех родов подвижного состава, контейнеров	Роспуск без ограничений	
5.2	Все степени опасности	Для всех родов подвижного состава, контейнеров, типов тары	Не спускать с горки	–
6.1	Высокая степень опасности	Специализированный подвижной состав, контейнеры, типы тары	Не спускать с горки	«Пестициды...» – роспуск без ограничений
		Универсальный подвижной состав, контейнеры, типы тары	Роспуск без ограничений	
	Средняя или низкая степень опасности	Для всех родов подвижного состава, контейнеров, типов тары	Роспуск без ограничений	

Таблица 4

Порядок определения условий роспуска с сортировочных горок вагонов-цистерн (контейнеров-цистерн) и бункерных полувагонов

Класс опасности груза	Предлагаемые условия роспуска	Примечание
2.1	Не спускать с горки	–
2.2	Спускать с горки осторожно	–
2.3	Не спускать с горки	–
5.2	Роспуск без ограничений	–
6.1	Роспуск без ограничений	Жидкость этиловая – спускать с горки осторожно

производящего съём вагонов, и горочного локомотива, ожидающего операции по съёму вагона.

Второй параметр – простой вагонов под операциями: в ожидании скатывания последнего отцепа, в ожидании локомотива, в ожидании продолжения роспуска.

В предшествующий временной период, до завершения передачи всего вагонного парка дочерним структурам – Первой и Федеральной грузовым компаниям и до появления собственников подвижного состава и других независимых участников рынка транспортных услуг, мы учитывали, кроме перечисленных параметров, также экономию расходов на вагонный парк.

В общем виде экономию расходов от нововведений можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & \left[C_{\text{ман.лок.}-\text{ч}}^{\text{ман.лок.}} t_{\text{раб}}^{\text{ман.лок.}} + \right. \\ & + C_{\text{ч-км}} \left(t_{\text{ож}}^{\text{п.отц}} + t_{\text{ож}}^{\text{лок}} + t_{\text{ож}}^{\text{пр.рос}} \right) l_{\text{ваг}} n_{\text{ваг}} + \\ & \left. + C_{\text{ман.лок.}-\text{ч}}^{\text{ман.лок.}} t_{\text{пр}}^{\text{гор.лок.}} \right] n_{\text{сут}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $C_{\text{ман.лок.}-\text{ч}}^{\text{ман.лок.}}$ – стоимость одного локомотивочаса; $t_{\text{раб}}^{\text{ман.лок.}}$ – время работы маневрового локомотива; $C_{\text{ч-км}}$ – стоимость часа занятости 1 км станционных путей; $t_{\text{ож}}^{\text{п.отц}}$ – время простоя вагонов в ожидании скатывания последнего отцепа; $t_{\text{ож}}^{\text{лок}}$ – время простоя вагонов в ожидании локомотива; $t_{\text{ож}}^{\text{пр.рос}}$ – время простоя вагонов в ожидании продолжения роспуска; $l_{\text{ваг}}$ – длина вагона (принимается 0,0147 км); $n_{\text{ваг}}$ – среднее количество вагонов, ожидающих операцию (равно половине состава); $t_{\text{пр}}^{\text{гор.лок.}}$ – простой горочного локомотива (включает все простои); $n_{\text{сут}}$ – среднесуточное количество вагонов с опасными грузами, нормативы роспуска которых могут быть пересмотрены.

$$t_{\text{пр}}^{\text{гор.лок.}} = t_{\text{ож}}^{\text{п.отц}} + t_{\text{ож}}^{\text{лок}} + t_{\text{ож}}^{\text{пр.рос}}, \quad (5)$$

$$t_{\text{ож}}^{\text{п.отц}} = \frac{l_1}{v_{\text{отц}}}, \quad (6)$$

где l_1 – расстояние от горба горки до сортировочных путей; $v_{\text{отц}}$ – скорость скатывания отцепа.

$$t_{\text{ож}}^{\text{п.отц}} = \frac{l_1 + l_2}{v_{\text{лок}}} + t_0, \quad (7)$$

где l_2 – длина сортировочных путей; $v_{\text{лок}}$ – скорость движения локомотива; t_0 – время, в течение которого маневровый локомотив занят другими операциями;

$$t_{\text{ож}}^{\text{пр.рос}} = a + bm, \quad (8)$$

где a, b – время на полурейсы; m – количество вагонов с грузом, запрещенных к роспуску.

$$t_{\text{раб}}^{\text{ман.лок.}} = a^{l_1+l_2} + b^{l_1+l_2} m. \quad (9)$$

Ниже приведен расчет экономической эффективности на основе данных по железнодорожной ст. Входная Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «Российские железные дороги».

Исходными данными являются: количество вагонов, распускаемых с горки (в сутки), – 5 000 ваг./сут; $l_1 = 640$ м; $l_2 = 850$ м; $C_{\text{ман.лок.}-\text{ч}}^{\text{ман.лок.}} = 1\,745,49$ р.; $C_{\text{ч-км}} = 87,95$ р.; $n_{\text{ваг}} = 35$ ваг.

Согласно среднестатистическим данным по ст. Входная, количество вагонов, допускаемых к роспуску, составляет девять вагонов в сутки.

$$t_{\text{ож}}^{\text{п.отц}} = \frac{0,640}{9} = 4,3 \text{ мин};$$

$$t_{\text{ож}}^{\text{лок}} = \frac{0,64 + 0,85}{25} + 10 = 13,6 \text{ мин};$$

$$t_{\text{ож}}^{\text{пр.рос}} = 1,7 + 0,058 \cdot 1 = 1,8 \text{ мин};$$

$$t_{\text{раб}}^{\text{ман.раб}} = 3,5 + 3,5 + 0,9 = 7,9 \text{ мин};$$

$$t_{\text{пр}}^{\text{гор.лок.}} = 4,3 + 13,6 + 1,8 = 19,7 \text{ мин}.$$

Экономия в день составляет:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & 90 \left[1\,745,49 \cdot \frac{7,9}{60} + \right. \\ & + 87,95 \cdot 0,0147 \cdot 35 \cdot \frac{4,3 + 13,6 + 1,8}{60} + \\ & \left. + 1\,745,49 \cdot \frac{19,7}{60} \right] = 7\,360 \text{ р.} \end{aligned}$$

Годовая экономия по ст. Входная составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 7\,360 \cdot 365 = 2\,686\,416 \text{ р.}$$

Ожидаемый экономический эффект от внедрения организационно-технического предложения по одной внеклассной сортировочной станции составит порядка 2,7 млн р.

Для уменьшения воздействия неблагоприятных факторов на вагоны, загруженные опасными грузами, кроме особых условий роспуска таких вагонов с сортировочных горок, действующей нормативно-технической документацией [2] предусмотрены минимальные нормы

прикрытия, т.е. минимальное количество физических вагонов, отделяющих вагоны с опасным грузом от ведущего, подталкивающего, маневрового локомотивов и от вагонов с людьми.

Ранее нами было обосновано [5, 6] положение о том, что ведущие, подталкивающие, маневровые локомотивы, вагоны с людьми при определенных обстоятельствах способны вызвать отклонения от нормального режима перевозки. Однако и вагоны, загруженные опасными грузами, могут стать причиной нарушения технического состояния подвижного состава, пути, других устройств и коммуникаций железнодорожного транспорта, а также отрицательно повлиять на здоровье людей и состояние окружающей среды. В современных условиях эта проблема привлекает к себе дополнительное внимание, поэтому предпринята попытка совершенствования регламентов на основе улучшения методики.

Полагаем, что все опасные грузы по характеру транспортной опасности можно разделить на две группы:

1) грузы, способные проявлять свою опасность под влиянием кратковременного воздействия внешних факторов (импульсного воздействия);

2) грузы, свойства которых несут потенциальную опасность, вероятность проявления которой практически не зависит от внешних факторов.

К первой группе отнесены грузы классов опасности 3 и 4.1, обладающие выра-

женными легковоспламеняющимися свойствами, и грузы, вступающие в реакцию с водой с выделением воспламеняющихся газов класса 4.3 [2, 3]. Вызвать опасную реакцию жидких и твердых легковоспламеняющихся веществ способны искры, выбрасываемые выхлопными трубами локомотивов с двигателями внутреннего сгорания или обогревательными системами так называемых людских вагонов, импульсной энергии которых достаточно для воспламенения вещества. Указанные виды подвижного состава, кроме того, могут являться источниками воды (влаги), что при определенных обстоятельствах окажет негативное влияние на опасно реагирующие с водой вещества и вызовет аварийную ситуацию.

Вторую группу составляют опасные грузы следующей совокупности: газы класса 2 (сжатые, сжиженные и растворенные под давлением); обладающие окисляющими свойствами грузы классов 5.1 и 5.2, а также ядовитые (токсичные) грузы класса 6.1.

В следующих работах будет представлена базирующаяся на методах сравнительной типологии и круговых экспертных оценок методика разработки нормативов прикрытия с грузами двух установленных групп [5, 6], которая заключается в детальном анализе действующих норм прикрытия [2], а также в выявлении общих закономерностей в системе «норматив (N_i) – опасность груза (R_j)».

Библиографический список

1. Обоснование возможности изменения нормативов отпуска с сортировочных горок вагонов, загруженных опасными грузами / С.В. Карасев, А.А. Климов, В.И. Медведев, А.М. Островский, И.О. Тесленко // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2005. Вып. 12. С. 168–181.
2. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам. Утв. МПС РФ от 27.12.1994 г. Новосибирск: Манускрипт, 2009. 552 с.
3. ГОСТ 19433–88. Грузы опасные. Классификация и маркировка. Взамен ГОСТ 19433–81; Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1998. 47 с.
4. Аварийные карточки на опасные грузы, перевозимые по железным дорогам СНГ, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики. Новосибирск: Манускрипт, 2010. 752 с.
5. Медведев В.И. Методы управления безопасностью перевозочного процесса опасных грузов и пути повышения экологической безопасности на железнодорожном транспорте: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08. Новосибирск, 2001. 321 с.
6. Тесленко И.О. Совершенствование условий перевозок опасных грузов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. Новосибирск, 2001. 178 с.
7. Островский А.М., Лисютин А.М. О повышении безопасности процесса отпуска вагонов, загруженных опасными грузами, с сортировочных горок // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 49–52.

8. Medvedev V.I., Teslenko I.O., Kalinichenko E.A. New emergency cards for the prevention on liquidation of extreme situation with dangerous goods on the railway // International Workshop on «Early warning and crises/disaster and emergency management». 28–29 April 2010. Novosibirsk. Russ. Fed. SSGA. Proceedings. P. 82–87.

9. Бондаренко Е.М., Островский А.М. Перевозка в крытых вагонах опасных грузов, упакованных в полимерную тару // Транспортная наука, техника и управление. 2013. № 1. С. 47–50.

10. Медведев В.И., Тесленко И.О. Концептуальные основы научного обеспечения транспортной безопасности и безопасности перевозки опасных грузов [Электронный ресурс] // Транспорт XXI века: исследования, инновации, инфраструктура: Материалы науч-техн. конф., посвященной 55-летию УрГУПС: В 2 т. 1 электрон. опт. диск. Екатеринбург, 2011. Вып. 97 (180), т. 1. С. 67–72.

11. Егоров С.А. О продольных ускорениях грузов при соударении вагонов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2003. № 6. С. 40–46.

12. Левин Д.Ю. Основы управления перевозочными процессами: Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2015. 264 с.

13. Карасев С.В. Основы методики технико-экономической оценки вариантов технических и технологических решений по оптимизации сортировочной работы с опасными грузами на станциях // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. науч. ст. Новосибирск, 2007. С. 287–297.

V.I. Medvedev, I.O. Teslenko, A.V. Kazakova

Reconsideration of Gravity Classification Conditions for Wagons with Dangerous Goods

Abstract. The article is devoted to an important railway transport problem, namely, to the problem of raising the technical and economic efficiency of gravity classification processes for trains involving wagons with dangerous goods. The range of domestic dangerous goods having limitations in terms of the possibility of their gravity classification was analyzed. It is found that certain limitations for goods of danger classes 2, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 6.1 and 8 disregard some technical and technological circumstances. By taking into account some additional factors of the transportation process, the rated risk level for such goods can be re-evaluated with simultaneous reconsideration of applicable technological limitations. A new method for rating dangerous goods in terms of their relative danger in treating such goods at hump yards was developed. On this basis, a new algorithm for revision of the list of dangerous goods of different danger classes having limitations in terms of gravity classification at hump yards was proposed.

Based on an analysis of current regulations and technical documentation in force and, also, on an analysis of factors that influence the probability of accidents with dangerous goods during the splitting of trains at hump yards, the expediency of classing all goods into two categories according to the type of used rolling stock was revealed. Those categories are the following: dangerous goods being transported in covered wagons or containers and dangerous goods being transported in tank wagons and tank containers.

The main factors that influence the changes in the dynamics of the wagon-goods system at hump yards are the following: the type of the rolling stock (container), the type of packaging; the physical state of the goods, their physical-chemical and dangerous properties, the value of the loads generated at various impact velocities of wagons or at their deceleration at braking positions.

The algorithms for determining the conditions for classification of wagons were developed around the reasonable sufficiency principle with due regard for the necessity to ensure security and sustainability of the transportation process. The latter has allowed us to suggest original algorithms for determining gravity classification conditions for the following wagons: a) covered wagons and containers and b) tank cars, tank containers, and hopper and gondola cars. The proposed algorithms can be used while introducing changes and additions to the regulations in force on transportation of dangerous goods.

Technical and economic assessment of the benefits due to the introduction of motivated charges into the gravity classification process and due to the enhanced sorting capacity of marshalling yards was performed.

Key words: *railway transport; dangerous goods; danger class; hump yard; classification process.*

Медведев Владимир Ильич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» СГУПС. E-mail: medvedevvi@stu.ru

Тесленко Игорь Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» СГУПС. E-mail: teslenko.io@mail.ru

Казакова Анна Владимировна – аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности» СГУПС. E-mail: maximum_an@mail.ru