Проблема перевозки опасных грузов

А.М. ОСТРОВСКИЙ, д.т.н., профессор
В.И. МЕДВЕДЕВ, д.т.н., профессор
И.О. ТЕСЛЕНКО, к.т.н., доцент
(Сибирский государственный университет путей сообщения)

В последние годы отмечается устойчивая тенденция увеличения объемов перевозок железнодорожным транспортом опасных грузов, доля которых в общем грузопотоке постоянно растет. Часть опасных грузов требует особых условий переработки на сортировочных станциях. Эти условия — например, режимы роспуска вагонов, загруженных такими грузами, с сортировочных горок — регламентируются рядом нормативных документов, в том числе Правилами перевозок опасных грузов.

Выполнение этих условий, с учетом широкой номенклатуры указанных грузов, существенно увеличивает загрузку железнодорожных станций дополнительными технологическими операциями, повышает непроизводительные простои вагонов, значительно снижает пропускную способность линий и вызывает задержки в продвижении грузов. Сложившаяся ситуация затрудняет освоение увеличивающихся объемов перевозки грузов как во внутреннем, так и в международном сообщении.

Для решения данной актуальной проблемы Сибирским государственным университетом путей сообщения были проведены комплексные теоретические и экспериментальные исследования. Основным вектором работы являлось обоснование возможности изменения нормативов переработки на станциях вагонов, загруженных определенными наименованиями опасных грузов, на основе оценки надежности обеспечения необходимого уровня безопасности в процессе реализации технологического цикла переработки вагонов.

Исследования выполнялись с использованием современных научных теоретических и экспериментальных методов, в частности — имитационного моделирования работы сортировочных горок; натурной оценки динамических нагрузок, действующих на вагоны, тару, упаковку и грузы, являющиеся физическими аналогами опасных грузов.

Одним из главных оснований для рассмотрения возможности изменения условий переработки вагонов, загруженных определенным наименованием опасных грузов, являлись не нашедшие до настоящего времени отражения в нормативах переработки усовершенствования конструкции вагонов, применяемых для перевозки опасных грузов, а также появление новых видов тары, упаковки и крепления грузов. Другое важное основание — модернизация технического оснащения сортировочных станций с широким внедрением новых технических средств, автоматизацией управления и контролем безопасности процесса переработки вагонов.

В ходе исследований были определены основные вагонопотоки с опасными грузами на сети железных дорог России, исследована существующая технология их переработки на сортировочных станциях и определены элементы технологического процесса переработки вагонов, связанные с возникновением наибольших динамических нагрузок на вагоны и грузы.

Изучен опыт передовых стран в области повышения безопасности перевозочного процесса на основе снижения динамических нагрузок при переработке вагонов на сортировочных горках. Выполнена оценка влияния различных факторов на величину динамических нагрузок, действующих на вагоны в процессе перевозки, с учетом характеристик вагонов, тары, креплений и способов погрузки и размещения грузов.

Разработана комплексная методика оценки экономической эффективности различных технических и технологических решений, связанных с оптимизацией переработки вагонопотоков, в том числе с опасными грузами, и ускорением продвижения грузов.

Натурные эксперименты проводились на крупных станциях Западно-Сибирской ж.д. (сортировочная станция Инская, грузовая станция Новоси-

Таблица 1
Основные факторы, влияющие на безопасность роспуска вагонов с сортировочных горок

Номер	Обозначение	Фактор		
1	Φ_1	Груз, его свойства:	опасные	φ_{11}
			физико-химические	φ_{12}
		и форма:	температура при транспортировке	φ_{13}
			флегматизация и десенсибилизация	φ_{14}
			инертная среда	φ_{15}
			пассивирование контактирующей поверхности	φ_{16}
			другие обстоятельства	φ_{17}
2	Φ_2	Транспортная форма:	тара	φ_{21}
			упаковка	φ_{22}
			крепление	φ_{23}
3	Φ_3	Подвижной состав:	конструктивные элементы защиты	φ_{31}
			технический ресурс	φ_{32}
			сочетаемость со свойствами перевозимого груза	φ_{33}
4	Φ_4	Сортировочная горка:	техническая оснащенность	φ_{41}
			технология роспуска	φ_{42}
			внешние факторы	φ_{43}

бирск-Восточный). В ходе экспериментов отслеживались результаты воздействия различных условий соударения вагонов на целостность вагонов, тары, упаковки и крепления, а также сохранность груза в широком диапазоне скоростей соударения вагонов.

Результаты выполненных исследований позволили установить перечень опасных грузов, для которых, без снижения уровня безопасности перевозочного процесса, могут быть откорректированы условия переработки на станциях. Одним из основных критериев включения определенного наименования опасного груза в указанный перечень являлась минимизация возможных негативных последствий в случае нарушения сохранности перевозки. Вошедшие в перечень опасные грузы, даже при неблагоприятном сочетании действия факторов, нарушающем безопасность перевозки, не создадут угрозы для жизни и здоровья людей и не нанесут существенного ущерба окружающей среде.

Оптимизация нормативов роспуска вагонов с опасными грузами с сортировочных горок рассматривалась как многофакторная задача, которая базируется на учете: 1) технических; 2) технологических; 3) экономических факторов перевозочного процесса. Основные технические и технологические составляющие, определяющие безопасность роспуска, представлены в *таблице 1*.

Взаимодействие факторов в перевозочном процессе, результирующим условием которого является как сама перевозка, так и ее основные характеристики:

- безопасность;
- сохранность груза;
- техническое и коммерческое состояние подвижного состава.

Взаимодействие факторов, влияющих на динамические воздействия на опасный груз в процессе перевозки, представлены на *рисунке 1*.

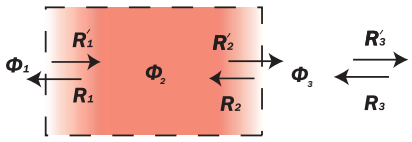
Перевозка как взаимодействие факторов во времени может характеризоваться функцией состояния $\Phi(t, A, \tau)$, зависящей от амплитуды A и времени воздействия τ. Воздействия в процессе перевозки могут возникать различного характера:

- статические,
- динамические,
- гидравлические,
- пневматические,
- температурные.

Результат перевозки определяется их суперпозицией.

Приведенное на *рисунке 1* взаимодействие может быть представлено в следующем виде:

(1)



Если элемент Φ_2 отсутствует, то груз Φ_1 взаимодействует непосредственно с подвижным составом Φ_3. По этому критерию грузы можно подразделить на две группы:

- перевозимые в крытых вагонах и контейнерах с использованием тары (группа I);
- перевозимые наливом в вагонах-цистернах и контейнерах-цистернах (группа II).

Результирующая функция состояния изменяется в определенных пределах в зависимости от амплитуды, времени и частоты воздействий.

Можно предположить, что существует некоторое оптимальное состояние Φ_{opt} и допустимые величины отклонения от него (DΦ):

$$\Phi = \Phi_{opt} \pm \Delta\Phi. \qquad (2)$$

Введем обозначения, приведенные в *таблице 2*.

Таблица 2

Обозначение	Допустимое изменение состояния элемента
Φ_1	Груза
Φ_2	Тары, упаковки и крепления
Φ_3	Вагона
Φ_4	Технологии и технических средств

Используя системный метод гомологического подобия Л. Берталанфи и теорию надежности, можно выразить изменение состояния элементов двумя системами уравнений:

Для группы I:

(3)

$$\begin{cases} \frac{d(\Phi_1)}{dt} = R_1\Phi_1 - R_1'\Phi_1 \\ \frac{d(\Phi_2)}{dt} = R_1\Phi_1 - R_1'\Phi_2 + R_1'\Phi_3 - R_2\Phi_2 = R_1'\Phi_1 - (R_1 + R_2')\Phi_2 + R_2\Phi_3 \\ \frac{d(\Phi_3)}{dt} = R_2\Phi_2 - R_2'\Phi_3 + R_2'\Phi_3 - R_3\Phi_3 = R_2'\Phi_2 - (R_2 + R_3')\Phi_3 + R_3\Phi_4 \\ \frac{d(\Phi_4)}{dt} = R_3'\Phi_3 - R_3\Phi_4 \end{cases}$$

Для группы II:

(4)

$$\begin{cases} \frac{d(\Phi_1)}{dt} = R_{12}\Phi_1 - R_{12}'\Phi_2 \\ \frac{d(\Phi_2)}{dt} = R_1\Phi_1 - R_1'\Phi_2 + R_{12}'\Phi_3 - R_{12}\Phi_2 = R_{12}'\Phi_2 - (R_{12} + R_1')\Phi_3 + R_1\Phi_4 \\ \frac{d(\Phi_3)}{dt} = R_2'\Phi_3 - R_2\Phi_4 \end{cases}$$

Таким образом, задача прогнозирования изменения состояния системы «груз — тара/упаковка/крепление — вагон» заключается в экспертной оценке значимых, максимально допустимых воздействий R_3^{max}, R_2^{max}, R_{12}^{max}, R_1^{max} и релаксационной способности, или надежности, элементов сопротивляться воздействию: R_1', R_{12}', R_2', R_3'.

Анализ допустимых грузов и их транспортных форм базируется на оценке вероятности и прогнозировании сочетания максимально неблагоприятных факторов при переработке вагона на сортировочной горке.

Максимальная вероятность воздействия на груз R_1 и R_{12} и реализуется при сочетании максимальных значений R_3^{max}, R_2^{max}, R_3^{max}.

Понижение величины воздействия связано с применением дополнительных мер безопасности, то есть повышением величины защитных свойств R_1', R_2', R_3'.

Введение в действие дополнительных мер безопасности является осно-

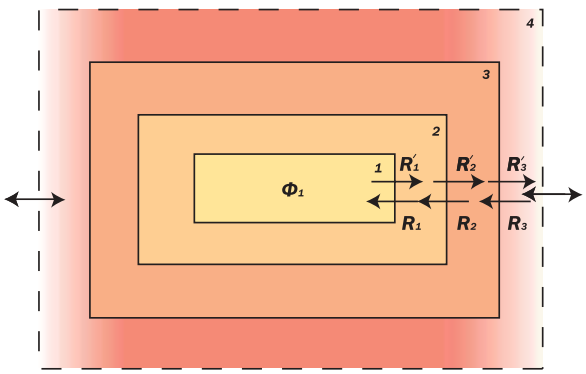


Рисунок 1

Взаимодействие факторов в перевозочном процессе

Обозначения:

R_1, R_2, R_3 — воздействие факторов, соответственно, 2 на 1, 3 на 2, 4 на 3;

R'_1, R'_2, R'_3 — реакция, или обратное воздействие факторов, соответственно, 1 на 2, 2 на 3, 3 на 4.

ванием для пересмотра нормативов роспуска вагонов, загруженных опасными грузами, с сортировочных горок.

Обоснование возможности изменения ограничений на роспуск вагонов с опасными грузами базируется также на методах сравнительной типологии и круговых экспертных оценок. В основе критерия допустимости лежат законодательные положения о «приемлемом риске»* и «разумной достаточности» уровня безопасности, обеспечиваемого материально-финансовыми затратами.

Согласно принятым в теории безопасности подходам, техногенный риск, возникающий при переработке вагона с опасным грузом на сортировочной горке $R_{OГ}$, может быть выражен как:

$$R_{ОГ} = \sum_{i=1}^{n} Y_i \prod_{j=1}^{i} P_j \,, \qquad (5)$$

где P_j — вероятности неблагоприятных событий (соударений), приводящих к выходу системы «груз-вагон» из нормативных условий; i — число «однонаправленных» факторов, способных вызвать нарушение нормального режима работы; Y_1— ожидаемый ущерб от неблагоприятного события, вызванного сочетанием факторов; n— число видов ущерба.

Вероятность неблагоприятного события определяется соотношением воздействий на вагон, тару, упаковку, крепление и груз и защитными свойствами указанных объектов в отношении данного воздействия: $Pj = f(R_i, R_i')$. При уменьшении R_i и увеличении R_i' вероятность и риск уменьшаются.

Применение формулы **(5)** к анализу условий перевозки каждого из представленных 45 наименований опасных грузов показало, что параметры, входящие в формулу **(5)**, характеризуют вероятность возникновения аварийной ситуации с перевозимым опасным грузом и ожидаемый ущерб следующим образом:

- вероятность (P_i) возникновения аварийной ситуации — величина математически трудноопределяемая, зависящая от многих факторов перевозочного процесса;
- ожидаемый ущерб (Y_i) зависит от масштабов аварийной ситуации и может быть определен по схеме реализации возможного неблагоприятного сценария развития аварийной ситуации с вагоном, загруженным опасным грузом, при сортировочной работе.

Расчетными методами показано (и подтверждено натурными испытаниями в условиях, имитирующих реальные условия перевозки опасных грузов), что включенные в перечень опасные грузы 45 наименований, даже при наиболее неблагоприятном сочетании обстоятельств, одновременном воздействии негативных факторов, не создадут опасности для жизни и здоровья работников станции и не послужат причиной нанесения существенного ущерба природе.

Исходя из принципа минимизации техногенного риска, учитывая при этом экономическую составляющую перевозочного процесса, определен перечень опасных грузов, нормативы роспуска которых могут быть пересмотрены на первом этапе (без материальных затрат и значительного изменения технологии). Этот перечень представлен в Минтранс РФ для рассмотрения. Грузы разделены на группы: I — грузы, перевозимые в крытых вагонах и контейнерах; II — грузы, перевозимые в вагонах-цистернах и контейнерах-цистернах.

Проанализированы «цепи событий» для перечня опасных грузов, условия роспуска которых рекомендованы к пересмотру, сделан вывод: в случае возникновения аварийной ситуации с вагонами, загруженными указанными грузами, масштабы аварии будут иметь минимальные последствия для железнодорожного транспорта.

Из общего перечня перевозимых опасных грузов около 10% имеют запрет на роспуск с сортировочных горок.

В ходе выполненных исследований получен ряд результатов, позволяющих обоснованно рассмотреть вопрос об изменении нормативов роспуска с сортировочных горок определенных наименований опасных грузов.

К рассмотрению принимались только те опасные грузы, которые, даже при

* Риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда (Федеральный закон «О техническом регулированиии» от 27.12.02 г №184-ФЗ).

Таблица 4

Количество наименований грузов различных подклассов опасности (кроме грузов классов опасности 1 и 7, имеющих запрет к роспуску с сортировочных горок (числитель — количество грузов, имеющих ограничения к роспуску в соответствии с действующей НТД, знаменатель — количество грузов, разрешенных к роспуску в соответствии с рекомендациями СГУПС)

Класс, подкласс по ГОСТ 19433-88	Род вагона			
	Крытые вагоны (контейнеры)	Вагоны-цистерны, (контейнеры-цистерны)	Открытый подвижной состав (спец-емкости на желез-нодорожных платформах	Всего запрещено
2 — газы:				
2.1 — неядовитые, невоспламеняющиеся	-	10/10	1/1	11/11
2.2 — ядовитые	6	4	1	11
2.3 — воспламеняющиеся (горючие)	1	34	11	46
2.4 — ядовитые и воспламеняющиеся	-	3	1	4
3 — легковоспламеняющиеся жидкости, температура вспышки в закрытом тигле, °С				
3.1 — ниже -18	2	19	-	21
3.2 — от -18 до +23	2/1	2/1	-	4/3
3.3 — от +23 до +61	-	1	-	1
4				
4.1 — легковоспламеняющиеся твердые вещества	1	-	-	1
4.2 — самовозгорающиеся вещества	-	1	-	1
4.3 — вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой	5/5	5/2	1/1	8/8
5				
5.1 — окислители	3	1	-	4
5.2 — органические пероксиды	13	-	20	33
6				
6.1 — ядовитые вещества	18/14	1/1	-	19/15
8 — коррозионные и/или едкие вещества				
8.1 — кислотного характера	-	2		2
8.2 — основного характера	1	1		2
Всего запрещено	52	81	35	168
Процент от общего количества допущенных к перевозке грузов	6	11	100	10

самом неблагоприятном стечении обстоятельств, одновременном воздействии негативных факторов — тепловом, погодно-климатическом, механическом и т.п. — в случае чрезвычайных обстоятельств не создадут существенной опасности для жизни и здоровья работников станции и для состояния окружающей среды. Учитывая весьма малую вероятность таких событий, негативные последствия от подобных случаев практически исключаются.

В последние годы появились новые обстоятельства, говорящие в пользу возможности корректировки нормативов и условий роспуска вагонов с некоторыми наименованиями опасных грузов, как то: новые виды тары и упаковки, креплений; распространение требований ГОСТа 26319 на опасные грузы, перевозимые во внутреннем сообщении; совершенствование конструкций вагонов, применяемых для перевозки опасных грузов. Необходимый уровень безопасности при переработке на станциях таких грузов обеспечивается за счет комплекса технических решений и организационно-технологических мер, среди которых следующие.

1. Применение при перевозке опасных грузов в вагонах-цистернах эластомерных поглощающих аппаратов повышенной энергоемкости: данное требование предусмотрено согласно Указаниям МПС России от 25.04.1997 г. № Б-513у и от 15.05.1998 г. № Б-575у, по которым все вагоны-цистерны для перевозки опасных грузов до 2005 года должны быть оснащены поглощающими аппаратами указанного типа.

2. Применение ультразвукового контроля отсутствия внутренних дефектов металла, используемого для изготовления баллонов, предназначенных для перевозки газов — опасных грузов класса 2: данное требование предусмотрено согласно изменению от 04.2001 г., внесенному в требования п. 2.1 ГОСТ 949-73.

3. Применение сертифицированной тары и упаковки, соответствующей требованиям ГОСТ 26319; контроль соблюдения требований к группе упаковки для соответствующих грузов;

4. Контроль схем размещения и крепления опасных грузов в таре, перевозимых в крытых вагонах, со стороны грузоперевозчиков.

В результате выполненной работы разработан первоочередной перечень опасных грузов, изменение нормативов роспуска которых позволит при сохранении достаточно высокого уровня безопасности перевозочного процесса существенно повысить интенсивность переработки вагонов на крупных железнодорожных станциях, ускорить продвижение грузов и создать резерв перерабатывающей способности для освоения растущих объемов перевозок.

Перечень опасных грузов рекомендуется к представлению в Министерство транспорта России как уполномоченный государственный орган. В результате рассмотрения и согласования материалов должно быть принято решение о внесении изменений в проект новых Правил перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом.