

Математическая поддержка реагирования на железнодорожные аварийные ситуации

Аннотация. Действующими нормативными документами предусмотрен порядок оповещения о наступлении железнодорожных аварийных ситуаций, но не определен порядок реагирования на такие ситуации. Такое положение можно объяснить тем, что подобные ситуации очень разнообразны как по характеру и масштабу, так и по способам реагирования. Однако тем более насущной является необходимость определенной классификации, типизации способов реагирования на них. В связи с изложенным в статье показано, что при возникновении ЖД АС руководителю оперативного штаба в сложных условиях отсутствия полной и достаточной информации о причинно-следственных связях между компонентами такой ситуации необходимо принимать определенное количество индивидуальных, коллегиальных, информационных, организационных, оперативных решений, направленных на согласование, координацию и управление подчиненными пунктами управления и ликвидационными подразделениями, которые могут превышать его возможности принятия таких решений и / или влиять на их обоснованность.

Ключевые слова: окружающая среда, железнодорожный транспорт, опасные грузы, аварии, системы поддержки принятия решений.

DOI:<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-134-1-79-90>

Введение

Ликвидация (устранение) последствий железнодорожных аварийных ситуаций (далее – ЖД АС) с экологически опасными грузами (далее – ОпГр) являются цепью взаимосвязанных процессов, которые нуждаются в проведении ряда мероприятий, направленных на предотвращение разнообразных угроз людям, защиту окружающей среды (далее – ОкСр), сохранение грузов, подвижного состава (далее – ПС), объектов железнодорожной (далее – ЖД) инфраструктуры, восстановление движения поездов, возобновление маневровой работы и т.п. в максимально короткие сроки. При этом важное значение имеет и рациональное использование разнообразных ресурсов, необходимых для выполнения этих мероприятий. Итак, сбалансированные сроки восстановления движения поездов (работоспособности транспортной системы) и необходимые для этого ресурсы являются критериями эффективности системы ликвидации последствий ЖД АС при перевозке ОпГр.

В работах [1–4] показано, что применение интеллектуальных систем поддержки принятия решений (далее – СППР) позволит руководителю оперативного штаба осуществлять информационное, технологическое, аналитическое и организационное обеспечение итеративного процесса анализа ситуации, сложившейся на месте ЖД АС, подготовку и оценку вариантов решений и выбор окончательного решения по локализации ЖД АС и устранению ее последствий, что невозможно без соответствующих математических моделей.

В работах [5–7] показано, что надежность железнодорожного транспорта (ЖДТ) при перевозке пассажиров и грузов следует понимать как его способность обеспечивать своевременную и безопасную доставку пассажиров и грузов к месту назначения без ухудшения по вине ЖДТ здоровья пассажиров и товарных качеств грузов.

Важной составляющей надежности является безопасность железнодорожной транспортной системы (ЖДТС), ориентированной на снижение воздействия опасных факторов ЖД АС на здоровье людей, транспортную работу и ОкСР. Решение данной задачи достигается за счет проведения скоординированных действий ликвидационных подразделений, которые призваны локализовать ЖД АС и ликвидировать их последствия [7–9].

Однако до конца не раскрыты многие проблемные вопросы, связанные с компьютерной поддержкой принятия решений по оценке ситуации на месте ЖД АС и разработкой управляющих воздействий на ликвидацию последствий аварии, что и обусловило релевантность нашего исследования.

Методы исследования

Цель работы – разработка математических моделей для вычислительного ядра системы поддержки принятия решений в ходе реагирования на аварии на железнодорожном транспорте, сопровождающиеся угрозой для загрязнения окружающей среды.

В работе использован комплексный системный подход, включающий анализ и обобщение мирового опыта и собственных исследований по вопросам развития систем автоматизированной обработки информации и автоматизированной оценки экологической безопасности при перевозке ОпГр ЖТ транспортом; анализ статистических данных по ЖД перевозкам ОпГр, аварийных ситуаций с участием ОпГр, их вредного влияния на окружающую среду и жизнедеятельность человека.

Обсуждение

На рисунке 1 приведена графическая модель функционирования и состояний ЖДТС при перевозках ОпГр, которая в дальнейшем будет использоваться для построения соответствующих математических моделей [10].

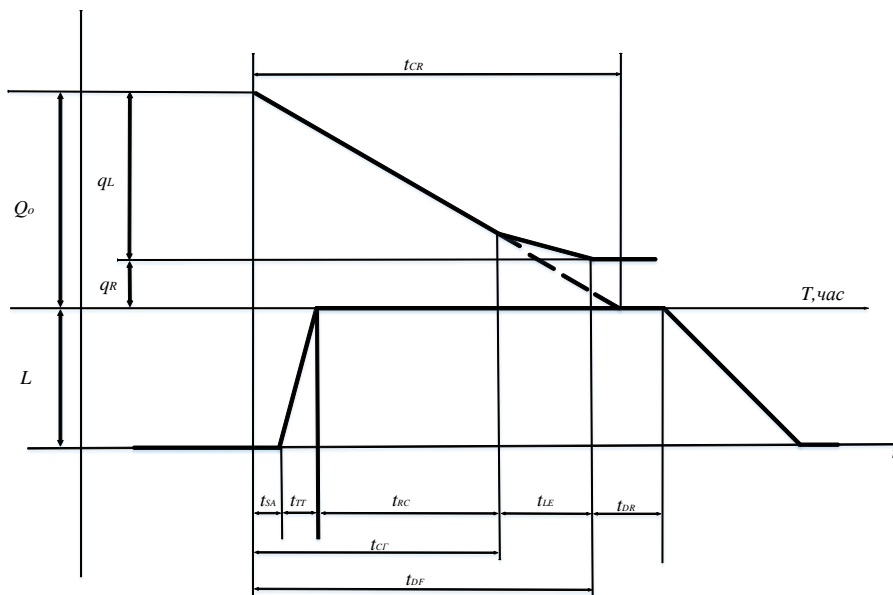


Рисунок 1. Схема для расчетной модели

Модель отражает распространенную аварийную ситуацию, связанную с утечкой ОпГр (например, разлив содержимого из железнодорожной цистерны), и реагирования на такую ситуацию подразделений, отвечающих за локализацию ЖД АС и устранения последствий, в том числе для ОкСр.

Условные обозначения, представленные на рисунке 1: t_{SA} – время оценки первичной информации об ЖД АС, определение перечня ликвидационных подразделений, подготовки их к выезду (сбор боевых расчетов, проверка ПС, подача локомотивов и т.д.); t_{TT} – время движения ликвидационных подразделений к месту ЖД АС; t_{RC} – время проведения разведки на месте ЖД АС, определения очередности проведения работ, развертывания ликвидационных подразделений; t_{LE} – время локализации ЖД АС; t_{DR} – время устранения последствий ЖД АС; t_{DF} – время прекращения действия опасных факторов ЖД АС; t_{CF} – время сосредоточения сил и средств ликвидаторов ЖД АС; t_{CR} – «критический отрезок» времени; L – расстояние от мест постоянной дислокации ликвидационных подразделений к месту ЖД АС; V – скорость движения ликвидационных подразделений; Q_0 – начальная масса груза; q_L – потери груза; q_R – остатки груза.

Понятие «критический отрезок» времени – это время, в течение которого произойдет полная потеря груза, если не будут проведены ликвидационные мероприятия в соответствии с действующими нормативными документами.

Определим состояния ЖДТС при перевозках ОпГР:

S_1 – состояние безопасного функционирования ЖДТС перед наступлением ЖД АС (продолжительностью t_{SS});

S_2 – состояние воздействия опасных факторов ЖД АС (продолжительность t_{DF}). Данное состояние прекращается, когда исчезает «источник» потока опасных факторов (например, весь груз сгорает или испаряется еще до того, как успевают прибыть силы и средства по устранению ЖД АС. Следовательно, время сосредоточения сил и средств ликвидаторов ЖД АС t_{CF} больше «критического отрезка» времени для данной аварийной ситуации. Это соответствует условию $0 < t_{CR} < t_{CF}$. Или, если до того, как закончился «критический интервал» времени, к месту ЖД АС уже прибыли необходимые силы и средства и начинается локализация аварии, т.е. $0 < t_{CF} < t_{CR}$. Из рисунка 1 видно, что $t_{CF} = t_{SA} + t_{TT} + t_{RC} = t_{SA} + \left(\frac{L}{V}\right) + t_{CR}$;

S_3 – состояние локализации ЖД АС продолжительностью t_{LE} , которая зависит от того, работы которой продолжительности предстоит выполнять сначала для прекращения потерь груза (продолжительность t_{SL}), а затем для спасения остатков груза, если он частично был утрачен (продолжительность t_{QCR}), то есть $t_{LE} = t_{SL} + t_{QCR}$;

S_4 – состояние устранения последствий ЖД АС продолжительностью t_{DR} , которая зависит от того, какой продолжительности работы предстоит для этого выполнить.

Представим схему функционирования ЖДТС в виде графа состояний (рис. 2). Рассмотрим представленный на рисунке 2 граф состояний ЖДТС при перевозке ОпГр как схему марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем.

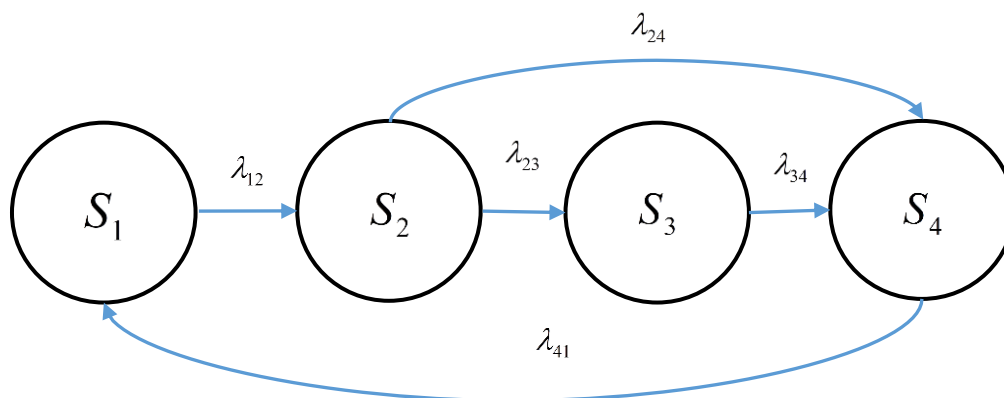


Рисунок 2. Граф состояний ЖДТС при перевозке ОпГр

Тогда система уравнений Колмогорова для такого графа примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = -\lambda_{12} \cdot P_1 + \lambda_{41} \cdot P_4, \\ \frac{dP_2}{dt} = -(\lambda_{23} + \lambda_{24}) \cdot P_2 + \lambda_{12} \cdot P_1, \\ \frac{dP_3}{dt} = -\lambda_{34} \cdot P_3 + \lambda_{23} \cdot P_2, \\ \frac{dP_4}{dt} = -\lambda_{41} \cdot P_4 + \lambda_{34} \cdot P_3, \end{cases} \quad (1)$$

где λ_{ij} – интенсивности соответствующих событий на графе состояний, см. рисунок 2;

P_i – вероятность перехода системы в i -ое состояние,

Начальные условия: $t = 0, P_1 = 1, P_2 = P_3 = P_4 = 0$.

Для установившегося режима система уравнений финальных вероятностей состояний системы будет иметь вид:

$$\begin{cases} \lambda_{12} \cdot p_1 = \lambda_{41} \cdot p_4, \\ (\lambda_{23} + \lambda_{24}) \cdot p_2 = \lambda_{12} \cdot p_1, \\ \lambda_{34} \cdot p_3 = \lambda_{23} \cdot p_2, \\ \lambda_{41} \cdot p_4 = \lambda_{34} \cdot p_3, \end{cases} \quad (2)$$

При условии: $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$.

В последнее уравнение системы (2) вместо вероятностей p_2, p_3, p_4 подставим их выражения через вероятность p_1 и интенсивности соответствующих потоков событий λ_{ij} , содержащиеся в первых четырех уравнениях системы (2). В результате получим уравнения (3):

$$p_1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{24}} \cdot p_1 + \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{34}} \cdot \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{24}} \cdot p_1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{41}} \cdot p_1 = 1. \quad (3)$$

Интенсивности соответствующих потоков событий λ_{ij} следует выразить через введенные выше технологические временные параметры модели, приведенной на рисунке 2:

$$\lambda_{12} = \frac{1}{t_{SS}}; \tag{4}$$

$$\lambda_{23} \cdot \frac{1}{t_{CF}} = \frac{1}{t_{SA} + t_{TT} + t_{RC}} = \frac{1}{t_{SA} + \left(\frac{L}{V}\right) + t_{RC}}; \tag{5}$$

$$\lambda_{24} = \frac{1}{t_{CR} + t_{CF}}; \tag{6}$$

$$\lambda_{34} = \frac{1}{t_{LE}} = \frac{1}{t_{SL} + t_{QCR}}; \tag{7}$$

$$\lambda_{41} = \frac{1}{t_{DR}}, \tag{8}$$

Из уравнения (3) легко найти корень p_1 , а подставив значение λ_{ij} из формул (4)–(8), получим формулу (9), по которой можно рассчитать вероятность безопасного и надежного функционирования ЖДТС p_{SS} (в течение которого не происходит аварийных ситуаций за время t_{SS} , а их последствия локализуются и ликвидируются за время $t_{SL} + t_{QCR} + t_{DR}$):

$$p_{SS} = p_1 = \frac{t_{SS}}{t_{SS} + \left(\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2 \cdot t_{CF}}\right) \cdot (t_{CF} + t_{LF}) + t_{DR}}. \tag{9}$$

Результаты

Проведенный анализ формулы (9) показывает, что она корректно отражает характер влияния всех переменных, которые в нее входят, на величину p_1 .

В формулу (9) входит комплекс величин $\left(\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2 \cdot t_{CF}}\right)$, который требует отдельного анализа, ведь он содержит две величины, одна из которых полностью независима от воли субъекта ЖДТС – t_{CR} , вторая же может быть им целенаправленно изменена – t_{CF} . Причем обе они могут влиять на надежность ЖДТС. Этот анализ выполнен с помощью расчетов, результаты которых приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1

Анализ влияния комплекса $\left(\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2 \cdot t_{CF}} \right)$ на параметры ЖДТС

$t_{CR}, \text{ч}$	$t_{CF}, \text{ч}$					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
0,0		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,5	1,0	0,67	0,6	0,57	0,56	0,55
1,0	1,0	0,75	0,67	0,63	0,6	0,58
1,5	1,0	0,8	0,71	0,67	0,64	0,62
2,0	1,0	0,83	0,75	0,7	0,67	0,64
2,5	1,0	0,86	0,78	0,73	0,69	0,67

Таблица 1 и рисунок 3 показывают, что при нулевых значениях обеих переменных (t_{CR} и t_{CF}) функция является неопределенной (деление на 0). Обращает на себя внимание то, что при $t_{CR} = 0$ и любых значениях продолжительности сосредоточения ликвидационных сил и средств $t_{CF} > 0$ (практически – это мгновенная потеря ОпГр, например, вследствие взрыва закончившихся значительно быстрее, чем прибыли ликвидационные силы и средства) величина комплекса $\left(\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2 \cdot t_{CF}} \right)$ всегда равна 0,5. Такое сочетание переменных ($t_{CR} = 0$ и $t_{CF} > 0$), может соответствовать определенным реальным ситуациям, например, случаю, когда груз по своим физико-химическим свойствам имеет на месте аварийной ситуации очень короткое время пребывания в неизменном состоянии (разлив, возгорание цистерны (но не груза) и т.п.). Это так называемый «нетерпеливый груз».

Зато противоположная ситуация, когда $t_{CR} > 0$ и $t_{CF} = 0$, то есть когда ликвидационные силы и средства прибывают мгновенно, соответствует ситуации «скорой помощи». В этом случае величина комплекса

$$\left(\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2 \cdot t_{CF}} \right) = 1,0.$$

Таким образом, для случая «нетерпеливого груза» получим такую формулу:

$$P_1 = \frac{t_{SS}}{t_{SS} + \left(\frac{t_{CR} + t_{CF}}{2} \right) \cdot t_{DR}}. \quad (10)$$

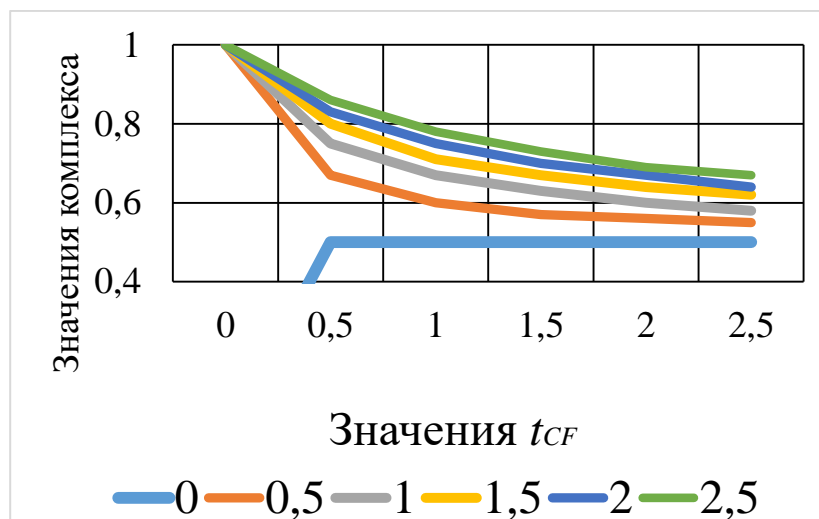


Рисунок 3. Результаты моделирования влияния комплекса $\left(\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2 \cdot t_{CF}} \right)$ на параметры ЖДТС

А для второго случая («скорая помощь») формула приобретет такой вид:

$$p_1 = \frac{t_{SS}}{t_{SS} + t_{LE} + t_{DR}}. \tag{11}$$

Очевидно, что эти два крайних случая в реальности в чистом виде не встречаются, а формула (9), по сути, является интерполяцией между ними и учитывает ненулевые положительные значения ($t_{CR} > 0$ и $t_{CF} > 0$).

Чтобы сделать формулу (9) более подходящей для практических технологических (а впоследствии и экономических) расчетов, применим такие вспомогательные формулы:

$$t_{CF} = t_{SA} + t_{TT} + t_{RS} = t_{SA} + \left(\frac{L}{V} \right) + t_{RS}, \tag{12}$$

где все составляющие определены выше.

$$t_{LE} = t_{RC} + \frac{D_{LE}}{\mu_{LE}}, \tag{13}$$

где μ_{LE} – производительность работ, проводимых при локализации ЖД АС, в том числе для сохранения остатков груза, в количестве D_{LE} , которое измеряется в тех же величинах, что и μ_{LE} за единицу времени (например, как μ_{LE} может использоваться производительность насосов, тонн или кубических метров в час для перекачки остатка жидких ОпГр, тонн или кубических метров ОпГр из поврежденной цистерны в резервную или производительность экскаваторов при выполнении земляных работ, связанных с уборкой разлива ОпГр в грунт);

$$t_{DR} = \frac{D_{DR}}{\mu_{DR}}, \tag{14}$$

где D_{DR} – объем работ, которые необходимо выполнить для устранения последствий ЖД АС (например, снятие и вывоз верхнего слоя почвы, пропитанной опасной жидкостью), в тоннах (или, например, в кубометрах или других единицах измерения); μ_{DR} – производительность выполнения работ по устранению последствий ЖД АС, в тех же единицах измерения за единицу времени.

Очевидно, что величины μ_{LE} и μ_{DR} , которые используются в формулах (13) и (14), зависят от тактико-технических характеристик сил и средств, используемых для локализации и устранения последствий ЖД АС. Поэтому по величине $p_{SS} = p_1$, полученной по формуле (9), можно оценить эффективность применения этих сил и средств.

Анализируя формулу (12), видим, что в нее входит комплекс переменных $t_{SA} + \left(\frac{L}{V}\right) + t_{RS}$ (рисунок 3), на которые можно целенаправленно влиять техническими, технологическими и организационными средствами. Благодаря этому можно увеличивать величину вероятности $p_{SS} = p_1$ пребывания ЖДТС в состоянии безопасного функционирования.

Выводы

В статье получены следующие результаты:

1. Установлено, что при возникновении ЖД АС руководителю оперативного штаба в сложных условиях отсутствия полной и достаточной информации о причинно-следственных связях между компонентами такой ситуации необходимо принимать определенное количество индивидуальных, коллегиальных, информационных, организационных, оперативных решений, направленных на согласование, координацию и управление подчиненными пунктами управления и ликвидационными подразделениями, которые могут превышать его возможности принятия таких решений и / или влиять на их обоснованность.

2. Принятие обоснованных управленческих решений по локализации ЖД АС с ОпГр и ликвидации их последствий должно осуществляться с помощью СППР, для создания которых следует использовать предложенные математические модели прогнозирования развития таких ситуаций и структурно-логические схемы действий руководителей оперативного штаба.

3. Формализована система железнодорожных перевозок ОпГр в виде ориентированного графа состояний безопасного функционирования ЖДТС с учетом возможности возникновения аварийной ситуации, ее оценки, локализации и ликвидации ее последствий.

4. Разработаны математические модели, которые доведены до уровня практических расчетов вероятностей нахождения ЖДТС при перевозке ОпГр в состоянии безопасного функционирования в зависимости от тех или иных технологических и организационных мероприятий поддержки системы в состоянии надежности.

Список литературы

1. Abuova Akbala, et al. "Conceptual model of the automated decision-making process in analysis of emergency situations on railway transport." International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems. Springer, Cham, 2019, [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: <https://af.b-ok.as/book/5400900/1d151d> (дата обращения: 10.02.2021).

2. Batarlienė Nijolė and Aldona Jarašūnienė Analysis of the accidents and incidents occurring during the transportation of dangerous goods by railway transport// Transport. -2014. 29.4. P. 395-400. [Электрон. ресурс].
URL:https://www.researchgate.net/publication/274265285_Analysis_of_the_accidents_and_incidents_occurring_during_the_transportation_of_dangerous_goods_by_railway_transport/fulltext/5bad256592851ca9ed2a5060/Analysis-of-the-accidents-and-incident-occurring-during-the-transportation-of-dangerous-goods-by-railway-transport.pdf (Дата обращения: 10.02.2021).

3. Hooghiemstra J. S., Kroon L. G., Odijk M. A., Salomon, M., & Zwaneveld, P. J. Decision support systems support the search for win-win solutions in railway network design// Interfaces. -1999. 29(2). P. 15-32. [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL:

<https://research.tilburguniversity.edu/en/publications/decision-support-systems-help-railned-to-search-for-win-win-solut-2> (дата обращения: 10.02.2021).

4. Dindar S., Kaewunruen S., & An, M. (2019). Rail accident analysis using large-scale investigations of train derailments on switches and crossings: Comparing the performances of a novel stochastic mathematical prediction and various assumptions// *Engineering failure analysis*. -2019. 103. P. 203-216. [Электрон. ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/332417916_Rail_accident_analysis_using_large-scale_investigations_of_train_derailments_on_switches_and_crossings_Comparing_the_performances_of_a_novel_stochastic_mathematical_prediction_and_various_assumptions (дата обращения: 10.02.2021).

5. Katsman M., *Mathematical models of decision support system for the head of the fire-fighting department on railways // Reliability: theory & applications*. -2011. -V. 2. - № 03(22). - P. 86–93.

6. Katsman M. D. *Problematic model of ecological consequences of railroad accidents // Reliability: theory & applications*. – 2013. – V. 8. № 1(28). - P. 72–85.

7. Katsman M. D. *Mathematical models of ecologically hazardous rail. Trafficaccidents // Reliability: theory&applications*. - 2015. - V. 10. - № 1(36). - P. 28–39.

8. Lapin V. I.S. *Blioh (1836 – 1901) Railway magnate and peacemaker, prominent scientist-railroader: economist, statistician and financier // Reliability: theory & applications*. – 2011. -V. 2. № 04(23). - P. 149–155.

9. Kornaszewski M., Chrzan M., & Olczykowski Z. *Implementation of new solutions of intelligent transport systems in railway transport in Poland. In International Conference on Transport Systems Telematics (pp. 282-292). Springer, Cham. [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Implementation-of-New-Solutions-of-Intelligent-in-Kornaszewski-Chrzan/f4a32d9489340ee619357998e92c5c37d1e28f54> (дата обращения: 10.02.2021).*

10. Torretta V., Rada E. C., Schiavon M., & Viotti P. (2017). *Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review. Safety science, 92, pp. 1-9. [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516302119> (дата обращения: 10.02.2021).*

Б. С. Ахметов¹, М. Х. Шалабаева²

¹*Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан*

²*Қазақ қатынас жолдары университеті, Алматы, Қазақстан*

Темір жолдағы апатты жағдайларға ден қою үшін математикалық қолдау көрсету

Аңдатпа. Қолданыстағы нормативтік құжаттарда теміржолдағы апатты жағдайлардың орын алуы туралы хабарлау тәртібі қарастырылған, бірақ мұндай жағдайларға ден қою тәртібі айқындалмаған. Оның себебін мұндай жағдайлардың сипаты, ауқымы жағынан да, ден қою тәсілдері жағынан да әртүрлі болатындығымен түсіндіруге болады. Алайда оларды жіктеу, оларға ден қою тәсілдерін типтеу қажеттілігі өзекті болып отыр. Жоғарыда айтылғандарға байланысты, мақалада көрсетілгендей, теміржолдағы апатты жағдайлар пайда болған кезде мұндай жағдайдың компоненттері арасындағы себеп-салдарлық байланыстар туралы толық және жеткілікті ақпараттардың болмауына қарамастан, жедел штабтың басшысы бағынышты басқару пункттері мен тарату бөлімшелерінің жұмысын келісуге, үйлестіруге және басқаруға бағытталған жеке, алқалық, ақпараттық, ұйымдастырушылық, жедел шешімдердің белгілі бір мөлшерін қабылдауы қажет. Бұл оның осындай шешімдер қабылдау қабілетінен асып түсуі немесе олардың дұрыстығына әсер етуі мүмкін.

Түйін сөздер: қоршаған орта, темір жол көлігі, қауіпті жүктер, апаттар, шешімдерді қолдау жүйелері.

B. C. Akhmetov¹, M. H. Shalabayeva²

¹ *Abai Kazakh National pedagogical university, Almaty, Kazakhstan*

² *Kazakh University ways of Communications, Almaty, Kazakhstan*

Mathematical support for railway emergency response

Abstract. The current regulations provide a procedure for notification of the occurrence of railway emergencies, but do not define a procedure for responding to such situations. This can be explained by the fact that such situations are very diverse in nature and scale, as well as in the way they are handled. However, the more urgent is the need for a certain classification, typification of ways to respond to them. In connection with the above, the article shows that in the event of occurrence of WD AS, the head of the operational headquarters in complex conditions of lack of complete and sufficient information on cause-and-effect relations between components of such a situation should take a certain number of individual, collegial, information, organizational, operational decisions aimed at coordination, coordination and management of subordinate control points and response units, which may exceed his ability to make such decisions and / or influence their validity.

Keywords: environment, Railway transport, dangerous goods, accidents, decision support systems

References

1. Abuova Akbala, et al. Conceptual model of the automated decision-making process in analysis of emergency situations on railway transport." International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems. Springer, Cham, 2019, Available at: <https://af.b-ok.as/book/5400900/1d151d> (accessed 10.02.2021).
2. Batarlienė Nijolė and Aldona Jarašūnienė Analysis of the accidents and incidents occurring during the transportation of dangerous goods by railway transport, *Transport* 29.4 (2014): 395-400. Available at: https://www.researchgate.net/publication/274265285_Analysis_of_the_accidents_and_incidents_occurring_during_the_transportation_of_dangerous_goods_by_railway_transport/fulltext/5bad256592851ca9ed2a5060/Analysis-of-the-accidents-and-incident-occurring-during-the-transportation-of-dangerous-goods-by-railway-transport.pdf (accessed 10.02.2021).
3. Hooghiemstra J. S., Kroon L. G., Odijk M. A., Salomon, M., & Zwaneveld, P. J. Decision support systems support the search for win-win solutions in railway network design, *Interfaces*. 1999. Vol. 29(2). P. 15-32. Available at: <https://research.tilburguniversity.edu/en/publications/decision-support-systems-help-railned-to-search-for-win-win-solut-2> (accessed 10.02.2021).
4. Dindar S., Kaewunruen S., & An, M. Rail accident analysis using large-scale investigations of train derailments on switches and crossings: Comparing the performances of a novel stochastic mathematical prediction and various assumptions, *Engineering failure analysis*. 1999. 103. P. 203-216. Available at: https://www.researchgate.net/publication/332417916_Rail_accident_analysis_using_large-scale_investigations_of_train_derailments_on_switches_and_crossings_Comparing_the_performances_of_a_novel_stochastic_mathematical_prediction_and_various_assumptions (accessed 10.02.2021).
5. Katsman M., Mathematical models of decision support system for the head of the fire-fighting department on railways, *Reliability: theory & applications*. 2011. V. 2. No. 03(22). P. 86–93.

6. Katsman M. D. Problematic model of ecological consequences of railroad accidents, *Reliability: theory & applications*. 2013. V. 8. No. 1(28). P. 72–85.

7. Katsman M. D. Mathematical models of ecologically hazardous rail. Traffic accidents, *Reliability: theory & applications*. 2015. V. 10. No.1(36). P. 28–39.

8. Lapin V. I.S. Blioh (1836 – 1901) Railway magnate and peacemaker, prominent scientist-railroader: economist, statistician and financier, *Reliability: theory & applications*. 2011. V. 2. No. 04(23). P. 149–155.

9. Kornaszewski M., Chrzan M., & Olczykowski Z. Implementation of new solutions of intelligent transport systems in railway transport in Poland. In *International Conference on Transport Systems Telematics* (pp. 282-292). Springer, Cham. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Implementation-of-New-Solutions-of-Intelligent-in-Kornaszewski-Chrzan/f4a32d9489340ee619357998e92c5c37d1e28f54> (accessed 10.02.2021).

10. Torretta V., Rada E. C., Schiavon M., & Viotti P. (2017). Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review. *Safety science*, 92, pp. 1-9. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516302119> (accessed 10.02.2021).

Сведения об авторах:

Ахметов Бахытжан Сражатдинович – доктор технических наук, профессор, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан.

Шалабаева Майра Хусаиновна – доктрант, Казахский университет путей сообщения, Алматы, Казахстан.

Akhmetov Bakhytzhан Srazhatdinovich – doctor of Technical Sciences, professor, Abai Kazakh National pedagogical university, Almaty, Kazakhstan

Shalabayeva Maira Husainovna – Ph.D. student, Kazakh University ways of Communications, Almaty, Kazakhstan