

PROBABILITY ANALYSIS OF PASSENGER SAFETY WHEN USING RAIL TRANSPORT

Svilena Arabadzhieva, Stefan Parvanov

*Faculty of "Fire safety and civil protection", Academy of Ministry of Interior,
Sofia, 171, Pirotska str., Bulgaria*

ssarab@mail.bg; sip_81@abv.bg

ВЕРОЯТНОСТЕН АНАЛИЗ НА БЕЗОПАСНОСТТА НА ПЪТНИЦИТЕ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТЕН ПРЕВОЗ

Abstract: *The factors that most often determine the choice of a place by a traveler have been identified and studied. Probabilities related to passenger choice based on distance, frequency of use, type of carriage/compartment and specific seat are defined. Conclusions are drawn for the safety of passengers. Specific measures are proposed to improve safety in the identified scenarios.*

Keywords: *Frequency, Probability, Factors, Safety, Rail Transport*

Въведение

Въпреки затрудненията в сектора, в Република България един от най-често използваните обществени транспорти остава железопътният, поради което потокът от пътници остава устойчив. От годините, в които железопътният транспорт се използва масово в държавата, той се доказва като най-евтин, ефективен и екологичен.

Освен посочените предимства, железопътният транспорт притежава и такива, които са свързани с възникването на различни кризисни събития, влияещи върху безопасността на целевите групи население, които го използват. Най-голямата причина за това обстоятелство е концентрацията на голямо количество пътници на едно място, като по този начин се увеличават възможностите за потенциални човешки загуби, които от своя страна са основен компонент на стойността на риска.

Под "безопасност в железопътния превоз" може да се разбира "свойството му да ограничава негативното въздействие върху пътниците и персонала, в установените предели по време на нормална експлоатация или в случай на кризисни събития.

Анализът на безопасността в железопътния превоз има за цел да покаже поведението на транспортния състав на база широк спектър от експлоатационни условия, при различни изходни събития, за да се получи по-пълно разбиране за очакваното поведение на състава и да се демонстрира възможността за поддържането му в безопасни режими на експлоатация.

С анализа на безопасността в железопътния превоз следва да се идентифицират потенциални слабости, да се оценяват предложени изменения и да се потвърждава изпълнението на изискванията и критериите за безопасност. Също така да се използва в поддръжка на безопасната експлоатация като важно средство за определяне и потвърждаване на пределите и условията за експлоатация, включително на запаса до стойностите на параметрите за сработване на системите за безопасност, за валидиране на инструкциите за нормална експлоатация, изискванията за техническо обслужване и контрол и аварийните процедури и ръководства.

В работата е представен подход на вероятностен анализ на безопасността в железопътния превоз.

Изложение

1. Основни положения

Представеният вероятностен анализ на безопасността в железопътния превоз е неизменно свързан с анализ и оценка на риска. Той може да се изрази и като количествена оценка на опасността, включваща вероятността от нежелано събитие за даден пътник. В редица отрасли на безопасността е прието да се измерва вероятността от летални последици. За оценка на риска от смърт на човек при непрофесионални дейности, какъвто е превозът на пътници, се използва понятието „приемлив риск“, чиято максимална стойност се възприема за $R=10^{-6}$ на година [1].

За да се идентифицират причините, влияещи върху възникването на събития нежелани за дадено лице, се използват методи за анализ на безопасността на системата и елементи на логиката.

Всяка опасност се разглежда като следствие от някаква причина (или съвкупност от причини), която от своя страна е следствие от друга причина и т.н. Причините и опасностите образуват сложни верижни структури, наподобяващи по своята форма разклонено дърво, поради което такива изображения се наричат „дърво на причините“, „дърво на опасностите“, „дърво на събитията“, „дърво на вероятности за възникване на опасности“ [2].

Когато са изградени такива логически алгоритми и са налице достатъчно статистически данни за вероятността от проява на причините, е възможно да се определи вероятността от опасност, рискът от нараняване на пътници и да се намери степента на безопасност на железопътния превоз. При разглеждане на структурната схема можем да идентифицираме причините, които трябва да бъдат повлияни с превантивни мерки, за да се намали рискът от смърт на пътник [1].

2. Елементарна информация за теорията на вероятностите

Известно е, че вероятността $P(A)$ за всяко събитие A се изчислява като отношение броят m на благоприятните случаи за събитие A към общия брой случаи n :

(1)

$$P(A) = m/n$$

Вероятността $P(A)$ за всяко събитие A се определя от неравенството:

(2)

$$0 \leq P(A) \leq 1$$

Ако $P(A)=1$, тогава A е достоверно; ако $P(A)=0$, тогава A е невъзможно.

Сумата от две събития A и B е събитие C , състоящо се в изпълнението на събитие A или събитие B , или и двете. Сумата от няколко събития е събитие, състоящо се в настъпването на поне едно от събитията.

Произведението от две събития A и B е събитие C , което се състои в съвместно изпълнение на събитие A и събитие B . Произведението на няколко събития е събитието, което се състои в съвместно изпълнение на всички тези събития. Вероятността за сумата от две несъвместими събития е равна на сумата от вероятностите за тези събития:

(3)

$$P(A + B) = P(A) + P(B)$$

Известно е, че няколко събития са несъвместими, ако няма две от тях, които могат да се появят заедно. В случай, когато събития A и B са съвместими, вероятността от сумата на тези събития се изразява с формулата:

(4)

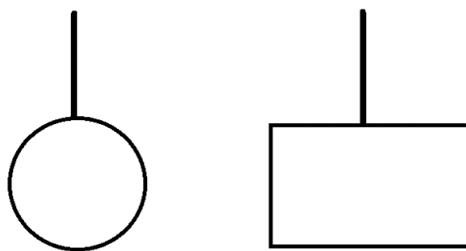
$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$

Аналогично, вероятността от сумата от три съвместими събития се изчислява по формулата

(5)

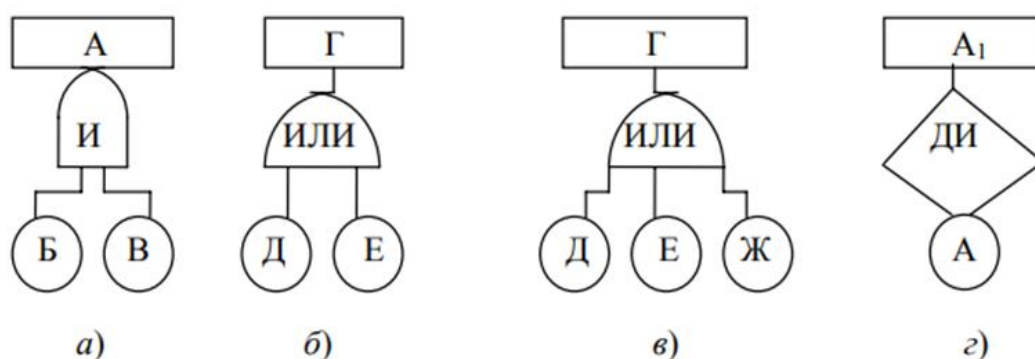
$$P(A + B + C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(AB) - P(AC) - P(BC) + P(ABC)$$

Вероятността от произведението на независими събития е равна на произведението на вероятността от тези събития.



Фигура 1. Символи за събития – вляво кръг, показващ изходно събитие, осигурено с достатъчно данни; вдясно правоъгълник, показващ изходно събитие, въведено от логически елемент

При построяването на блокови диаграми се използват символи за събития (фиг. 1) и логически операции, наречени врати (или пропускателни клапани) (фиг. 2). Логическите операции (врати) предполагат определени математически операции за изчисляване на вероятности.



Фигура 2. Логически операции (врати)

Във фиг. 2 с а) се изобразява логическо произведение („И“ врата); а с б) и в) – логическа сума (врата „ИЛИ“); г) знак, показващ че събитието има два взаимно изключващи се един друг изхода („ДИ“ врата).

Вратата „И“ (фиг. 1) показва, че преди да се случи събитие A , трябва да се случат и двете събития B и B . Вероятността събитие A да се случи е равна на произведението на вероятностите B и B :

(6)

$$P(A) = P(B)P(B)$$

Портата „ИЛИ“ показва, че за да се случи събитието Γ (фиг. 2 б)), трябва да се случи събитието D или E , или и двете събития заедно.

За съвместни събития в съответствие с формула (4):

(7)

$$P(\Gamma) = P(D) + P(E) - P(DE)$$

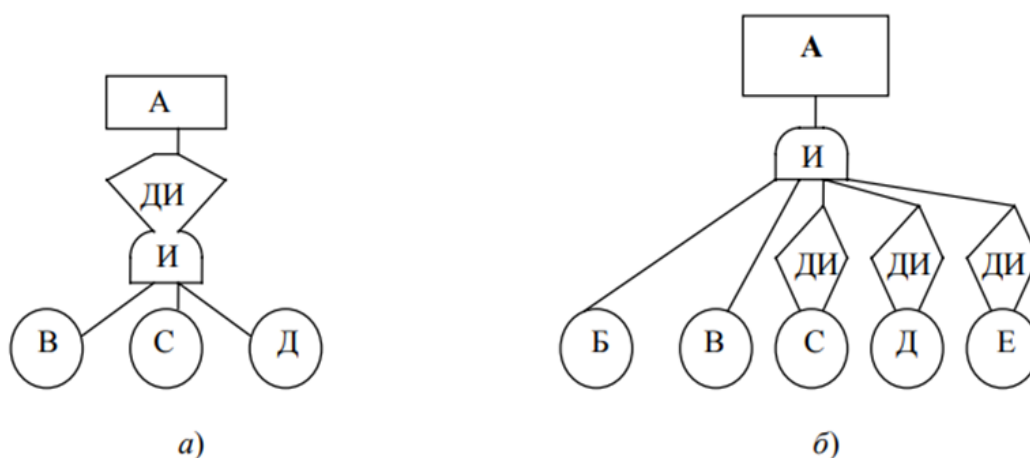
За случая, изобразен на фиг. 2 в), в съответствие с формула (5):
(8)

$$P(\Gamma) = P(D) + P(E) + P(J) - P(DE) - P(EJ) - P(DJ) + P(DEJ)$$

Врата „ДИ“ (фиг. 2 д)) показва, че независимите събития имат два взаимно изключващи се резултата, т.е. събитие A_I бъде противоположно на A :
(9)

$$P(A_I) = 1 - P(A)$$

На фиг. 3 са показани примери за приложение на комбинации от сценарии за анализиране на вероятностите от събития:



Фигура 3. Примери за използване на врати

Във фиг. 3 с а) се изобразява вероятността от повреда на системата, където $P(B)$, $P(C)$ и $P(D)$ са вероятностите за безотказна работа на елементите на системата („ДИ“ и „И“ врати). С б) се изобразява рискът от смърт на човек (R), когато е изложен на опасен фактор, където $R(B)$ е вероятността от опасна ситуация; $P(B)$ – вероятността от излагане на опасни фактори с нива, които са фатални за хората; $P(C)$, $P(D)$ и $P(E)$ – вероятности за независими събития, отразяващи ефективността на средствата за защита на пътниците (врата „И“ за събития B и V и врати „И“ и „ДИ“ за събития C , D и E).

За случая показан на фиг. 3 а), вероятността на събитието може да се изрази по следния начин:

(10)

$$P(A) = 1 - P(B)P(C)P(D)$$

За случая показан на фиг. 3 б), вероятността на събитието може да се изрази по следния начин:

(11)

$$R = P(A) = P(B)P(V)(1 - P(C))(1 - P(D))(1 - P(E))$$

3. Приложение на метода

Като обобщение, рискът от кризисни събития в железопътния превоз може да се представи като съчетанието от два основни негови компонента:

(12)

$$\text{Риск} = \sum \text{Вероятност}_{\text{събитие}} \cdot \text{Последствия}_{\text{събитие}}$$

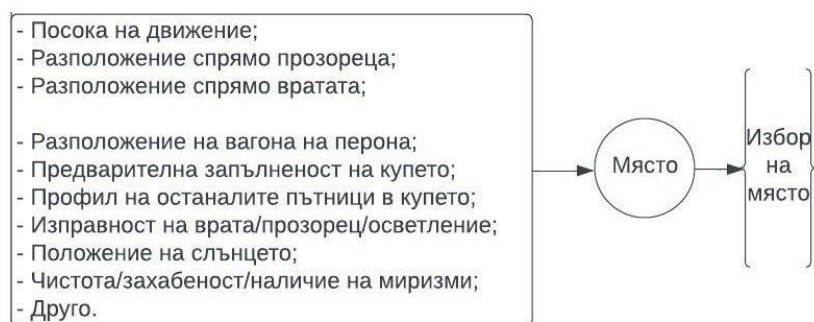
Първият компонент се основава на отговорите на следните два въпроса: какво кризисно събитие може да се реализира, колко е вероятно то да се реализира.

Вторият компонент се основава на отговора на въпроса: какви са потенциалните последици [3].

Основни показатели за намиране на отговорите на тези въпроси са честотата и вероятността на използваните места във вагоните на железопътния състав. Именно те идентифицират разпределението на пътници в обема на железопътния състав. Тази информация, съчетана с информацията за групата от кризисни сценарии, които могат да възникнат и оценката на вероятността за възникване на тези сценарии ще допринесе за анализа и оценката на риска.

За целите на изследването са идентифицирани най-често използваните места и най-малко предпочитаните, за да се предложат адекватни смекчаващи мерки за намаляване на риска и поддържане на безопасността в прагови граници. На база искане за достъп до обществена информация до „БДЖ-Пътнически превози” ООД с въпроси относно най-често и най-рядко запазваните места в различните серии пътнически вагони, се установява че е невъзможно да бъде извадена такава информация от билетоиздаващата система. Това наложи алтернативен изследователски подход – провеждане на обширно анкетно проучване след пътниците, използващи услугите на „БДЖ-Пътнически превози”.

На фиг. 4 са представени факторите, които най-често обуславят избора на дадено място. Тези фактори могат да се обуславят в две групи: постоянни и относителни. Посоката на движение, разположението спрямо прозореца и разположението спрямо врата са постоянни предпочитания на индивида. Останалите фактори са относителни и зависят от моментното състояние. Посочените постоянни фактори са заложи при формирането на въпросите в анкетния лист.



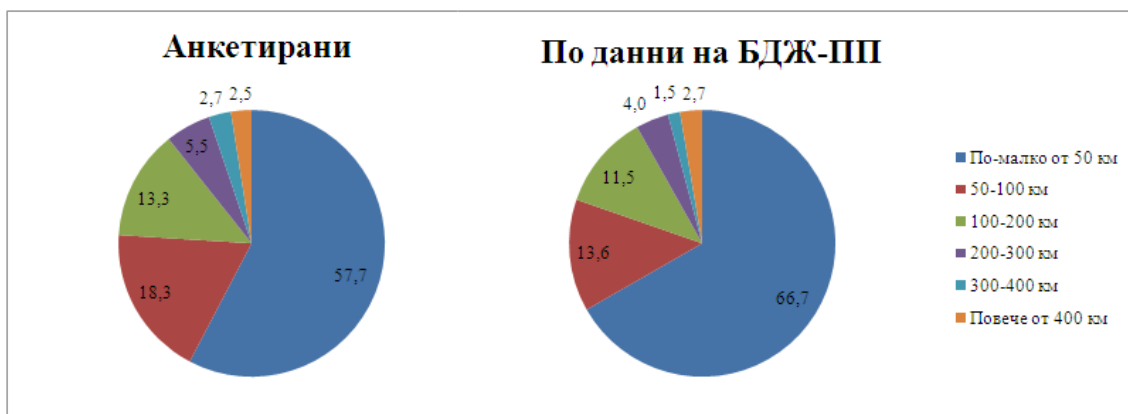
Фигура 4. Фактори, които най-често обуславят избора на дадено място

Анкетата е проведена на Централна ЖП гара в гр. София в периода май-август 2022 г. и чрез платформата Google Survey. Респондентите са избрани на случаен принцип. Водещо при избора е да са равномерно разпределени като брой и пол в различните възрастови групи. Общият брой анкетирани (респонденти) е 385. Първите два въпроса от анкетния лист целят да проверят дали респондентите са представителна извадка на пътуващите с БДЖ. Съпоставят се данните предоставени от „БДЖ-Пътнически превози“ ООД, представени в таблица 1, относно броя пътуващи на различни разстояния с относителния дял анкетирани, пътуващи на същите разстояния.

Км зона	Брой превозени пътници
По-малко от 50 км	4 579 207
50-100 км	932 606
100-200 км	791 556
200-300 км	274 068
300-400 км	101 061
Повече от 400 км	184 045
Общо	6 862 543
Забележка: данните са за периода от 01.01.2022 г. до 30.06.2022 г.	

Таблица 1. Брой пътуващи на различни разстояния с относителен дял респонденти, пътуващи на същите разстояния

Сравнението е представено на фиг. 5. От нея става видно, че относителният дял [в %], пътуващи на определени разстояния и относителният дял анкетирани, пътуващи на същите разстояния са съпоставими, което прави респондентите представителна извадка на пътуващите.



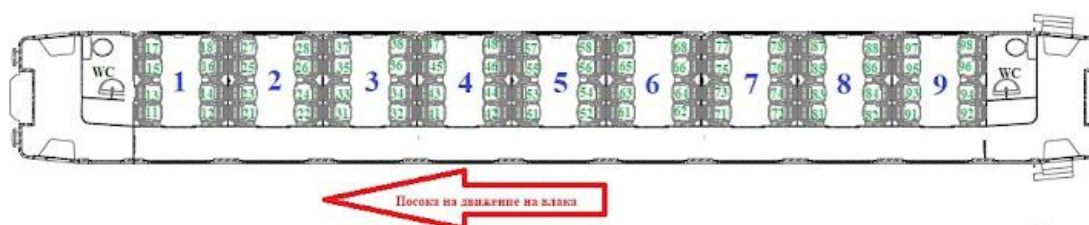
Фигура 5. Относителен дял [в %], пътуващи на определени разстояния и относителен дял анкетирани, пътуващи на същите разстояния

От отговорите, дадени на въпрос №3 от анкетата се установи, че по-голямата част от респондентите (74,55%) предпочитат да пътуват в купеен вагон, а едва 25,45% предпочитат да пътуват в еднообемен вагон. Най-висок процент от

предпочитащите да пътуват с купеен вагон са посочили, че пътуват на разстояние 100-200 км, а именно 16,36% от общия брой. Най-нисък процент от предпочитащите да пътуват с купеен вагон са посочили, че пътуват на разстояние по-малко от 50 км, а именно 8,83%. От пътуващите, които са избрали да пътуват с еднообемнен вагон, най-висок процент са отчели пътуващите на разстояние от 100-200 км, а именно 6,49%. Най-нисък процент са отчели хората, които предпочитат да пътуват на разстояния от 300-400 км и разстояния над 400 км, а именно 2,08%.

При анализа на въпроса относно предпочитанията към типа седалки става видно, че най-големият брой хора предпочитат да пътуват на единична седалка в купеен вагон. Най-ниският резултат даден за предпочитанията на хората е от 4 човека, които предпочитат да пътуват на двойна седалка на разстояние от 300 до 400 км.

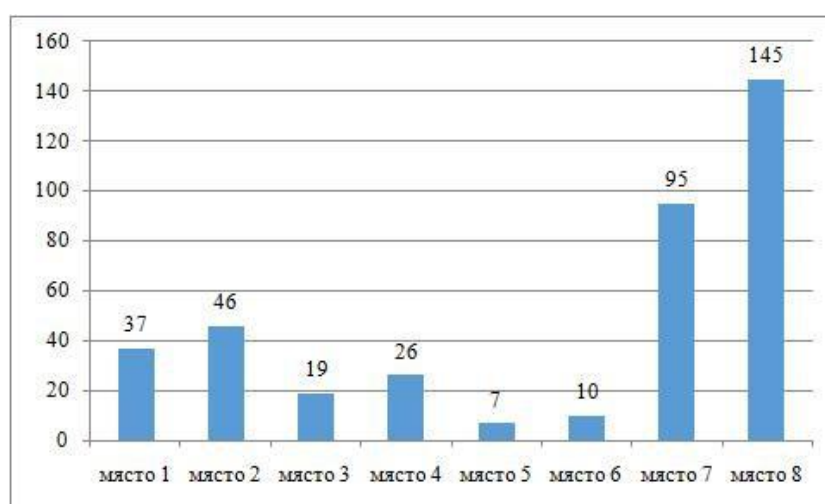
За целите на дипломната работа са най-важни отговорите на въпрос №5 и въпрос №6 относно предпочитанията при избор на купе и избор на място съгласно фиг. 6.



Фигура 6. Разпределение на купетата в купеен пътнически вагон втора класа

Най-предпочитано е купе № 2 от $\frac{1}{4}$ от пътуващите (25,71%). Едва 12 респонденти (3,64%) предпочитат купе №8.

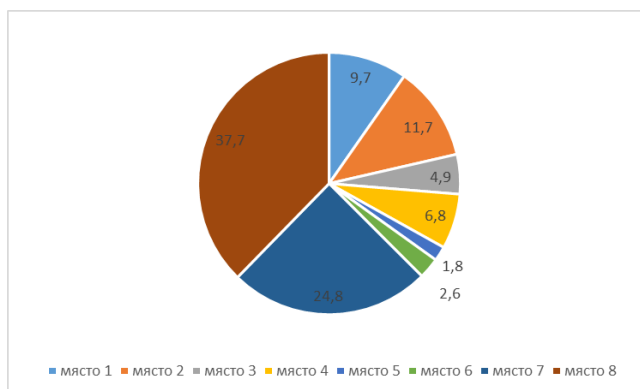
Резултатите по отношение предпочитанията при избор на място в купето са най-красноречиви. Фиг. 7 представя дадените отговори.



Фигура 7. Предпочитания на респондентите при избор на място в купе на купеен пътнически вагон

При анализирането на отговорите на този въпрос, обобщението гласи, че най-предпочитаните места за пътуване са №7 и №8, а най-непредпочитаните места за пътуване като най-нисък процент от отговорите хората са дали за места №5 и №6.

Вероятностното (процентно) разпределение на предпочитанията за избор на места в купето са представени на фиг. 8.



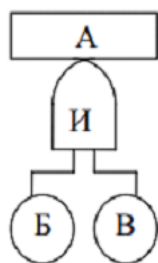
Фигура 8. Процентно разпределение на предпочитания на респондентите при избор на място в купе на купеен пътнически вагон

Анализ на резултатите

На база проведеното анкетно проучване, се установяват следните изводи:

1. Най-предпочитаното купе от пътниците е второ по посока на движение на влака.
2. Най-предпочитаните места за пътуване, без значение от купето, са до прозореца.
3. Най-малко предпочитаното купе за пътуване е осмо.
4. Най-малък процент от пътуващите предпочитат да пътуват на средни седалки обратно на посоката на движение.
5. Пътуващите предпочитат преимуществено по-дълги разстояния.

Тези изводи са основание да се счита, че най-експлоатирано е място №8 в купе №2, а най-малко експлоатирано е място №5 в купе №8. От тук следва хипотезата, че е възможно да има разлика в нивото на безопасност за пътниците на тези две места.



А – вероятност за смърт на пътник

Б – вероятност за смъртоносно въздействие на точно определено място в купето (от пожар, дерайлиране, сблъсък и др.)

В – вероятност за наличие на пътник на съответното място

Фигура 9. Логическо произведение („И“ врата) на вероятности за събития „Смъртоносно въздействие на точно определено място за сядане“ и „Наличие на пътник на съответното място за сядане“

Така, следвайки логиката на фиг. 2 с а) може да се изобрази логическо произведение („И“ врата), като се присвоят конкретни сценарии на кризисно събитие – фиг. 9:

Съгласно формула (6), вероятността за смърт на пътник да се реализира ще е равна на произведението на вероятностите **B** и **B**:

(13)

$$P_{(\text{смърт})} = P_{(\text{смъртоносно въздействие на точно определено място за сядане})} P_{(\text{наличие на пътник на мястото})}$$

След направените статистически анализи, вторият компонент е известен. Първият също може да се установи при набор на данни от железопътни произшествия, което ще е предмет на бъдещи изследвания.

На база установените изводи от проведеното анкетно проучване, могат да се приложат различни технически и организационни мерки за смекчаване на риска, като обезопасителни колани, засилване на конструкцията, създаване на организация за спазване на място, съгласно билетоиздаващата система и др.

Методът би намерил приложения и в етапа на издирване и спасяване при вече настъпило кризисно събитие.

Заклучение

Железопътните състави като сложни технически системи са предмет на постоянни изменения във времето. Тези изменения могат да бъдат физически (в резултат на модификации, модернизации, реконструкции и т.н.), експлоатационни (в резултат на подобряване на процедурите, инструкциите и др.) и организационни. Наред с това се променя, подобрява и усъвършенства разбирането за опасностите, поради:

- натрупаните умения и знания;
- анализ на експлоатационния опит;
- създаването и поддържането на системите за събиране на данни;
- разработване на подобрени модели и т.н.

Следователно, за да бъде използван приложеният метод адекватно, той трябва да бъде периодично актуализиран, за да отрази реалната действителност.

Методът трябва да се документира по такъв начин, че да може да бъде пряко свързан със съществуващата информация, документация или допусканията на анализаторите при липса на такава информация. Чрез усъвършенстването му, могат да се достигат значителни нива на безопасност, както за пътниците, така и за операторите на железопътни превози.

References // Литература

- [1] Hmaruk, O.H. (2007). “Ocenka veroyatnosti vznikovenie opasnah situacii” (in Russian), V. // [Хмарук, О. Н. Оценка вероятности возникновения опасных ситуаций. В., 2007.
- [2] International Electrotechnical Commission (2019). “Risk management - Risk assessment techniques”, IEC 31010:2019, Geneva, Switzerland, ISBN 978-2-8322-6989-3, 2019.
- [3] Mladenova, M. (2015). “Veroyatnosten analiz na bezопасnostta” (in Bulgarian), Sofia, 2015. // [Младенова, М. Вероятностен анализ на безопасността. С., 2015.]

Received: 03-04-2023

Accepted: 29-06-2023

Published: 24-07-2023

Cite as:

Arabadzhiya, S.; Parvanov, S. (2023). “Probability Analysis of Passenger Safety When Using Rail Transport”, Science Series “Innovative STEM Education”, volume 05, ISSN: 2683-1333, pp. 142-152, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55630/STEM.2023.0517>