

TECHNICAL SCIENCE

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО АУДИТА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Булах М. А.

*аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой»
Днепропетровского национального университета железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепр, Украина*

Окороков А. М.

*к.т.н., заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой»
Днепропетровского национального университета железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепр, Украина*

OPERATIONAL MODEL OF RISK MANAGEMENT DURING THE TECHNICAL AUDIT OF TRAFFIC SAFETY OF RAILWAY TRANSPORT

Bulakh M.

*Graduate student of Department "Management of operational work",
Dnipropetrovsk National University of Railway
Transport named after Academician V. Lazarian, Dnepr, Ukraine.*

Okorokov A.

*Head of Department "Management of operational work",
Dnipropetrovsk National University of Railway
Transport named after Academician V. Lazarian, Dnepr, Ukraine.*

Аннотация:

В работе построена эксплуатационная модель управления рисками при проведении технического аудита безопасности движения на железнодорожном транспорте. Построенные зависимости транспортных происшествий по факту случаев нарушений безопасности движения и, рассчитанные с помощью полученной модели демонстрируют высокую степень совпадения результатов. На основе полученной модели, осуществлен прогноз количества нарушений безопасности движения (транспортных происшествий) на следующий период при варьировании показателей производительности труда, объемов инвестиций и эксплуатационных расходов. При этом установлено, что наибольшее влияние на число нарушений безопасности движения оказывает производительность труда (объемы грузооборота, объемы пассажирооборота и численность персонала).

Abstract:

An operational risk management model is constructed in the work during the technical audit of traffic safety in railway transport. The constructed dependences of traffic accidents in cases of violations of traffic safety and indicators calculated using the obtained model demonstrate a high similarity of results. Based on the obtained model, a forecast is made of the number of traffic safety violations (traffic accidents) for the next period with varying labor productivity indicators, investment volumes and operating costs. It was found that the greatest impact on the number of traffic safety violations is exerted by labor productivity (cargo turnover, passenger turnover, and headcount).

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, безопасность движения, управление рисками.

Keywords: railway transport, traffic safety, risk management.

После обретения независимости, Украина, как одна из немногих стран бывшего Советского Союза, получила в наследство хорошо развитую железнодорожную инфраструктуру и относительно неплохое материально-техническое оснащение железных дорог.

Будучи одной из базовых отраслей экономики Украины, железнодорожный транспорт обеспечивает ее внутренние и внешние транспортно-экономические связи и потребности населения в перевозках. Эффективность его деятельности в значительной мере влияет на функционирование всех отраслей общественного производства, социальное и экономическое развитие и укрепление обороноспособности государства, а также международное сотрудничество.

Взаимодействуя с другими видами транспорта, предприятия железнодорожного транспорта обеспечивают своевременность и качество перевозки пассажиров и грузов, развитие сферы транспортного обслуживания и безопасность движения. Именно безопасность является одним из главных принципов функционирования железнодорожного транспорта в Украине [1-4].

Нормами действующего в области железнодорожного транспорта законодательства безопасность движения определяется как комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безаварийной работы и содержание в постоянной исправности железнодорожных сооружений, путей, подвижного состава, оборудования, механизмов и устройств [6, 14].

Учитывая принятый Украиной курс на евроинтеграцию, а также реформационные изменения, которые сейчас происходят в области железнодорожного транспорта, возникает необходимость внедрения новых подходов к обеспечению безопасности движения и к оценке безопасности движения поездов.

Согласно действующему Положению о системе управления безопасностью движения поездов на железных дорогах Украины [13, 14] для оценки состояния безопасности движения поездов применяют абсолютные и удельные показатели. В качестве абсолютных, при проведении ежегодного анализа состояния безопасности движения в структуре АО «Укрзалізниця», используются статистические показатели, а именно: количество транспортных происшествий и количество пострадавших – погибших или травмированных в их следствии.

Поскольку существующая методика не обеспечивает комплексного подхода к оценке уровня безопасности движения поездов, тема разработки методов, моделей и подходов к оценке состояния безопасности, которые позволят оценить уровень фактической и прогнозируемой безопасности приобретает все большую актуальность. Новый комплексный подход для оценки уровня безопасности движения поездов на железных дорогах может быть применен при проведении технического аудита, который приобрел более или менее широкое применение в других отраслях народного хозяйства [6, 11, 12].

Анализ предыдущих исследований

Под риском на железнодорожном транспорте понимается вероятность потерь, убытков в процессе осуществления перевозок железнодорожными путями сообщения [5, 11].

Риски на железнодорожном транспорте характеризуются сложностью и разнообразием, поэтому их классификация проводится по отдельным признакам [5, 11] и включает технические риски, как один из видов.

Как правило, под техническими рисками понимают вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня за определенный период функционирования производственного предприятия [5, 11]. Они имеют универсальный характер, могут нанести ущерб имуществу, жизни, здоровью людей и имущественным интересам юридических лиц [5, 11].

Технический риск на железнодорожном транспорте – вероятность потерь, убытков в процессе осуществления перевозок железнодорожными путями сообщения, обусловленных техническим состоянием подвижного состава и железнодорожной инфраструктуры, а именно: заводской брак, механическое повреждение, неисправность подвижного состава инфраструктуры и тому подобное. Риски в процессе эксплуатации связаны с неисправностью основных элементов подвижного состава инфраструктуры и недостаточным контролем их механических свойств [5, 11].

В отечественной практике анализа опасности и оценки рисков широко применяется перечень методик, а именно: «Методика прогнозирования последствий утечки (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте» утверждена совместным приказом Министерства Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций и по делам защиты населения от последствий Чернобыльской катастрофы, Министерства аграрной политики Украины, Министерства экономики Украины и Министерства экологии и природных ресурсов Украины от 27.03.2001 г. № 73/82 / 64/122; «Методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности» утверждена приказом Министерства труда и социальной политики Украины от 4.12.2002 г. № 637; «Методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера» утверждена Постановлением КМУ от 15.02.2002 г. № 175 и др. Однако, ни одна из этих методик не содержит методического обеспечения организации выявления, оценки и управления техническими рисками.

Кроме этого, сегодня, на железнодорожном транспорте отсутствует действенный механизм выявления технических рисков. Несмотря на наличие информации о техническом состоянии объектов, которая становится известной в результате периодических осмотров, ремонтов и обследований, такие данные не всегда фиксируются, редко анализируются и почти никогда не становятся объектами постоянного мониторинга. Как известно, управленческие риски, о существовании или о свойствах которых неизвестно, становятся невозможным. Поэтому задача выявления всех рисков, в том числе технических, является чрезвычайно важной. Внедрение технического аудита может стать первым этапом в создании такого механизма. В ходе аудита может быть создан информационный фонд для организации работы по управлению техническими рисками на предприятии, который будет включать четыре блока информации:

- информация о техническом состоянии оборудования, полученная из документов первичного учета;
- информация об использовании оборудования в течение жизненного цикла (условия эксплуатации, обслуживание, ремонт, модернизация и т.д.);
- информация о количестве отказов и других технических неисправностей, которые фиксировались в течение периода эксплуатации;
- информация о текущем техническом состоянии оборудования.

Такой объем информации об объекте исследования является достаточным для реализации первого и основного этапа анализа риска – идентификации.

По сути, идентификация сводится к выявлению возможных проблем. В этом случае под «проблемой» можно понимать событие, объект, человека, подвижной состав и т.д., то есть все, что может стать причиной возникновения риска или чрезвычайного происшествия.

Цель работы. Целью работы является построение эксплуатационной модели управления рисками при проведении технического аудита безопасности движения на железнодорожном транспорте.

Методика

Под рисками будем понимать общее количество нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте в виде транспортных происшествий.

Обеспечение высокого уровня безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является обязательным условием для поддержания имиджа общества, и повышения эффективности функционирования железных дорог. Для этого необходимо развивать систему поддержки принятия решений в области финансирования объектов транспортной системы. Адресное инвестирование позволяет своевременно исключать сбои в работе технических средств, повышает ритмичность и бесперебойность железнодорожных перевозок. Для этого необходимо создание стратегической модели прогнозирования эксплуатационных рисков или уровня безопасности движения с использованием современных математических методов и алгоритмов [5, 11]. Одним из самых распространенных инструментов прогноза является по-

строение множественной линейной регрессии с последующим анализом влияния переменных модели на конечный результат (число случаев нарушений безопасности движения – транспортных происшествий).

Распространенным средством решения задач прогнозирования непрерывной величины Y по переменным $X_1, \dots, X_n$, является использование метода множественной линейной регрессии. В данном методе связь Y по переменным $X_1, \dots, X_n$, задается с помощью линейной модели в виде:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n + \varepsilon \quad (1)$$

где $a_0, a_1, \dots, a_n$ - коэффициенты регрессионной модели;

ε - случайная величина, которая является ошибкой прогнозирования.

Параметры уравнения множественной регрессии могут быть определены с помощью метода наименьших квадратов, при которых минимизируется сумма квадратов отклонений эмпирических (фактических) значений результативного признака от теоретических, полученных по выбранному уравнению регрессии, то есть:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_{1i} - a_2 \cdot X_{2i} - \dots - a_n \cdot X_{ni})^2 \Rightarrow \min \quad (2)$$

где Y_i – фактические значения прогнозируемых величин;

$\hat{Y}_i$ – прогнозируемое значение.

Результаты

В виде исходных данных для прогнозирования количества нарушений безопасности перевозочного процесса (транспортных происшествий) на

железных дорогах Украины приняты следующие показатели:

- производительность труда – P ;
- инвестиционные вложения в модернизацию железных дорог – I .
- эксплуатационные расходы на содержание объектов железнодорожного транспорта – E .

Значение вышеперечисленных показателей для железных дорог Украины за период 2014-2018 гг. приведены в таблице.

Табл. 1

Значения исходных показателей для железных дорог Украины за период 2014-2018 гг.

Год	Количество транспортных происшествий	Производительность труда, $\times 10^6$, млн. прив. т-км на 1 чел.	Инвестиции, $\times 10^9$, грн	Эксплуатационные расходы, $\times 10^6$, грн
2014	673	0,98424	3,5082	4,175834
2015	602	1,12526	4,5012	3,981232
2016	550	1,14306	6,8858	4,604984
2017	541	1,32567	10,9041	5,523061
2018	481	1,35727	16,5902	6,817788

При моделировании числа случаев транспортных происшествий в АО «Укрзалізниця» значение постоянной составляющей примем равной нулю. При этом, данное действие приводит к нарушению одного из условий Гаусса-Маркова (о равенстве нулю математического ожидания случайного члена). Однако при равенстве нулю в образованной модели факторов в такой модели приводит к нулевому значению количества транспортных происшествий. При наличии постоянной составляющей

число транспортных происшествий будет приравниваться к значению постоянного члена, что не соответствует объективной реальности.

Линейная регрессионная модель состояния безопасности движения примет следующий вид:

$$N = a_1 \cdot P + a_2 \cdot I + a_3 \cdot E$$

где a_1, a_2, a_3 – регрессионные коэффициенты.

Результаты определения регрессионных коэффициентов с помощью Microsoft Excel приведены на рис. 1.

1	Вывод итогов	
2		
3	Регрессионная статистика	
4	Множественный R	0,999723533
5	R-квадрат	0,999447143
6	Нормированный R-квадрат	0,498894285
7	Стандартная ошибка	21,3040226
8	Наблюдения	5
9		
10	Дисперсионный анализ	
11		df
12	Регрессия	3
13	Остаток	2
14	Итого	5
15		
16		Коэффициенты
17	У-пересечение	0
18	Переменная X 1	71,68965186
19	Переменная X 2	-55,02306167
20	Переменная X 3	189,3785395
21		
22		
23		

Рис. 1 Результаты определения регрессионных коэффициентов с помощью Microsoft Excel

Таким образом, используя вычисленные значения элементов с помощью Microsoft Excel, модель будет представлять собой следующую зависимость:

$$N = 72 \cdot P - 55 \cdot I + 189 \cdot E. \quad (4)$$

Регрессивные коэффициенты для показателя инвестиционных вложений в результате расчетов получились негативными, из чего следует, что увеличение указанного показателя положительно влияет на состояние безопасности движения. При повышении инвестиционных расходов и инвестиционных вложений в модернизацию и ремонт объектов железнодорожного транспорта число случаев транспортных происшествий будет уменьшаться. Эксплуатационные расходы негативно влияют на безопасность движения (транспортные происшествия), а также производительность труда имеет такую же тенденцию.

Для оценки качества полученной модели можно использовать множественный коэффициент корреляции. В связи с тем, что постоянная составляющая модели принята равной нулю, нецентрированный коэффициент детерминации может быть рассчитанный по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \hat{N}_i)^2}{\sum_{i=1}^n N_i^2} \quad (5)$$

где N_i – фактическое количество транспортных происшествий;

$\hat{N}_i$ – расчетное количество транспортных происшествий, полученное в соответствии с уравнением регрессии.

С помощью Microsoft Excel установлено, что коэффициент детерминации равен $R^2=0,9891$.

Высокое значение нецентрированного коэффициента детерминации говорит о тесной связи между исследуемыми показателями. При этом средняя относительная ошибка для полученной регрессионной модели составила величину равную 21,3%.

На рис. 2 представлена зависимость транспортных происшествий по факту случаев нарушений безопасности движения и рассчитанных с помощью модели.

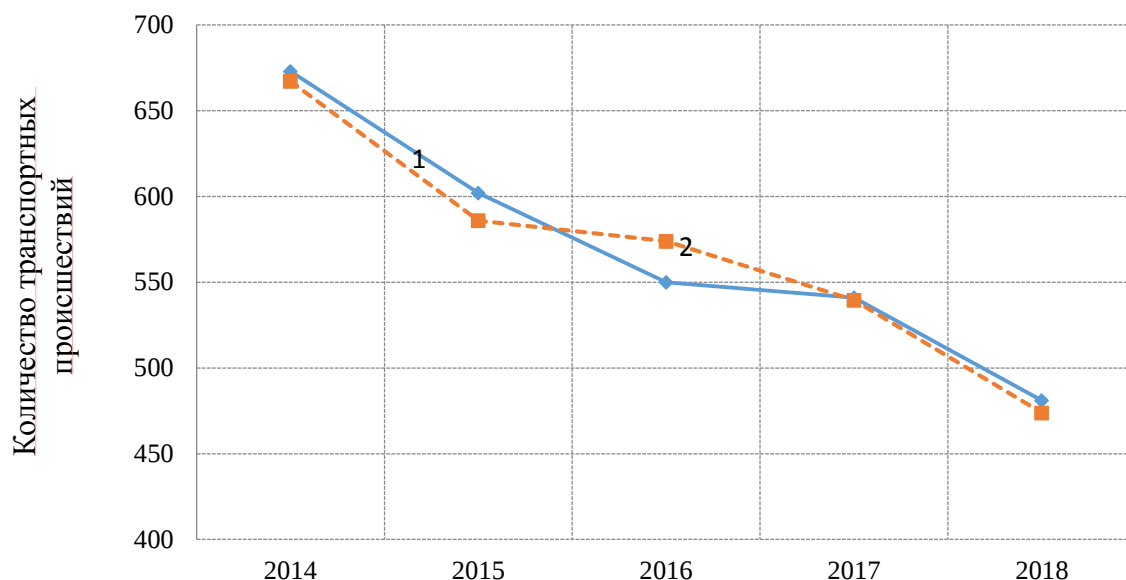


Рис. 2. Допущенные по факту (1) и рассчитанные (2) с помощью модели случаи транспортных происшествий в АО «Укрзалізниця»

На основе полученной модели, возможно, осуществить прогноз количества нарушений безопасности движения (транспортных происшествий) на

следующий период при варьировании показателей производительности труда, объемов инвестиций и эксплуатационных расходов (рис. 3).

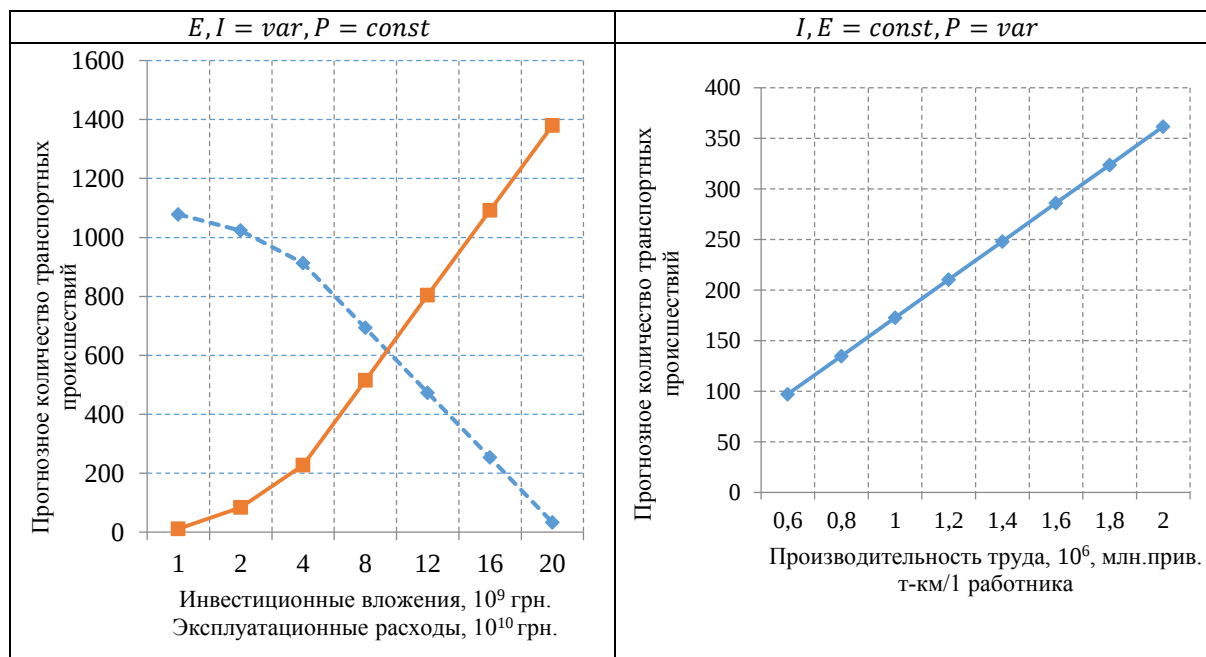


Рис. 3. Прогнозное число нарушений безопасности движения при изменении факторов, влияющих на регрессионную модель

Наибольшее влияние на число транспортных происшествий оказывает производительность труда (объемы грузооборота, объемы пассажирооборота и численность персонала). При увеличении в 2 раза (с $0,6$ до $1,2 \times 10^6$ млн. прив. т-км / 1 человека) производительности труда, количество транспортных происшествий может вырасти в 2,2 раза (с 97 до 210 случаев).

Инвестиционные вложения влияют на число транспортных происшествий в большей степени, чем эксплуатационные расходы. Так, например,

при увеличении в 2 раза (с 1000 до 2000 млн. грн.) инвестиционных вложений число транспортных происшествий снижается на 50% (рис.3). При увеличении эксплуатационных расходов наблюдается повышение количества транспортных происшествий.

Выводы

В работе построена эксплуатационная модель управления рисками при проведении технического аудита безопасности движения на железнодорож-

ном транспорте. Построенные зависимости фактических транспортных происшествий и рассчитанных с помощью разработанной модели показывают высокую сходимость результатов.

На основе полученной модели, осуществлен прогноз количества нарушений безопасности движения (транспортных происшествий) на следующий период при варьировании показателей производительности труда, объемов инвестиций и эксплуатационных расходов. При этом установлено, что наибольшее влияние на число транспортных происшествий оказывает производительность труда (объемы грузооборота, объемы пассажирооборота и численность персонала). При увеличении в 2 раза (с $(0,6 \text{ до } 1,2) \times 10^6$ млн. прив. т-км / 1 человека) производительности труда, количество транспортных происшествий может вырасти в 2,2 раза (с 97 до 210 случаев). Инвестиционные вложения влияют на число транспортных происшествий в большей степени, чем эксплуатационные расходы.

Список литературы:

1. Metodologia prognozowania trwałości silników diesla w lokomotywach // Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L. P. Lingaitis, S. V. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // *Eksplotacja i Niezawodność*. - 2012. - Vol. 14, № 2. - P. 154-159.
2. Badania eksperymentalne operacyjnej niezawodności eksploatacyjnej silników diesel dla spalinowozów // Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines / L. P. Lingaitis, S. V. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. - 2012. - № 1. - P. 5-10.
3. Myamlin, S.V. & Baranovskiy, D.M. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport "Problems of Transport Economics. 2014. Issue 7. P. 61-66.
4. Grushevska, K. Institutional rail reform: The case of Ukrainian Railways / K. Grushevska, Th. Notteboom, A. Shkliar // *Transport Policy*. – 2016. – Vol. 46. – P. 7–19. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.11.001.
5. Okorokov, A.M. Proposals for improving the process of forming programs of reforming the railway transport industry / A. M. Okorokov, M. O. Bulakh // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. – 2018. – №2 (74). – С. 57-66. doi: 10.15802/stp2018/130463
6. Ozkan, T. Railway Transport Liberalization: A Case Study of Various Countries in the World / T. Ozkan, G. Yanginlar, S. Kalayci // *Journal of Management and Sustainability*. – 2016. – Vol. 6. – Iss. 4. – P. 140–149. doi: 10.5539/jms.v6n4p140.
7. Pittman, R. Railways restructuring and Ukrainian Economic Reform / R. Pittman // *Man and the Economy. The Journal of The Coase Society*. – 2015. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 87–107. doi: 10.1515/me-2015-0006.
8. Айван С.А., Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. / Айван С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. / М.: Финансы и статистика, 1989 – 371 с.
9. Кацман М.Д. Методологические основы организации управления экологической безопасностью при ликвидации последствий аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте: дис. ... д-ра техн. наук: 21.06.01. Киев, 2018. – 420 с.
10. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 330 с.
11. Окорок, А. М. Расширение целей практического применения технического аудита на предприятиях железнодорожного транспорта / А. М. Окорок, М. А. Булах // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. – 2017. – № 6 (72). – С. 30-39. doi 10.15802/stp2017/117551
12. Погорелов И. М. Методика проведения технологического аудита инновационной деятельности / И. М. Погорелов, М. И. Погорелов // *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ"* : зб. науч. раб. Сер.: Экономические науки. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2016. – № 47 (1219). – С. 54-63.
13. Рачинская А. В. Классификация рисков на железнодорожном транспорте как основа формирования системы экономической безопасности его функционирования / А. В. Рачинская // *Экономика и общество*. – 2016. – № 6. – С. 81-87.
14. Розсоха, О.В. Анализ и особенности существующих научных подходов к определению уровня безопасности движения [Текст] / О.В. Розсоха, Ю.В. Смачило // *Сборник научных работ ДЕТУТ*. – Киев: ДЕТУТ, 2016. – Вип. 28. – С. 202–214.