

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА БЕЗОПАСНОСТТА В ЖЕЛЕЗОПЪТНИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Николай Георгиев, Виолина Вельова

ngeorgiev@vtu.bg, vili_tuk@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”

1574 София, ул. Гео Милев № 158

БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: железопътен транспорт, безопасност, функционалност, подходи и методи

Резюме: В статията са разгледани общометодологичните въпроси на безопасността в железопътните предприятия, значението на системите за управление на безопасността, тяхната структура и основните им елементи. Описани са принципите за управлението на железопътния транспорт и предприятия. Системите за управление на безопасността трябва да имат: фирмена политика по безопасност, вътрешно фирмени правила и процедури, методи за популяризиране на безопасността, обучение на персонала и методи за идентифициране на опасностите. Описани са седем типа анализи на безопасността: концептуален, първоначален (идеен), подробен и системен, функционален, на работното място, съобразно изискванията за безопасност. Методите за анализ и оценка на безопасността могат да се разделят на следните групи: според преследваните цели, според вида на анализа, според избраните логически подходи. В статията са разгледани едни от най-подходящите методи за изследване на безопасността: анализ чрез граф на отказите (Fault Tree Analysis), анализ чрез граф на събитията (Event Tree Analysis), анализ на Парето, изследване на опасностите и работоспособността (Hazard and Operability Study-HAZOP), анализ на комбинираните графи (X-tree Analysis) и анализ на причините и влияещите фактори (Events and Causal Factors Analysis). Представени са основните им цели и техните силни и слаби страни както и насоки за използването им. Определено е значението и ролята на безопасността при усъвършенстването на работата на железопътното предприятие.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В настоящата статия са представени в обобщен вид системния подход в сферата на безопасността и значението на системите за управление на безопасността в железопътния транспорт. В тази връзка са представени специфичните характеристики, които трябва да притежава системата за управление на безопасността и принципите, на които трябва да се подчинява тя. Анализирани са възможностите за приложение на научни подходи и методи за подобряване функционирането на системите за управление на безопасността.

2. СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТТА В ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ

2.1. Същност и задачи на системите за управление на безопасността

Относно техническата експлоатация в железопътния транспорт, което и да е железопътно предприятие (превозвач, управител на инфраструктурата или доставчик на услуги) се състои от различни подсистеми и в границите на Европейската общност дейността на тези предприятия се основава на ред нормативни документи, например: [1], [2], [3], [4]. Следва да се подчертае, че системите за управление на железопътното предприятие (включително и на безопасността в него) се състоят от немалко на брой и вид взаимовръзки между човек и „машина“, като всяка такава взаимовръзка може да бъде източник на риск (за хората, техническите средства, финансовия резултат, екологията и т.н.). Тези рискове могат да бъдат идентифицирани и оценявани само при провеждане на задълбочен и качествен анализ. Например, трудове [5], [6] разглеждат подходи и методи за управление на финансовия риск. Що се отнася до информацията относно някои екологични и социални показатели, такава се съдържа в нефинансовата декларация на предприятието [7]. Известни са следните по-важни принципи, свързани с мениджмънта на безопасността:

- Управлението трябва да бъде безпристрастно по време на експлоатационния процес.

- Не съществуват очевидни проблеми на безопасността, а само инженерни, технологични и управленски такива.

- Всеки проблем на безопасността води до необходимостта за взимане на оптимално решение за подобряване на ситуацията.

Повечето събития и условия, които оказват влияние върху безопасността имат стохастичен характер. Опасностите могат да възникнат по всяко време на експлоатационния процес и то многократно. Трябва да се знае, че провеждането на каквито и да са мероприятия за намаляване на риска не предполага неговото пълно елиминиране.

Концепцията за управление на безопасността включва следните два нови подходи:

- *Проактивен подход към проблемите на безопасността* – характеризира се с надграждане на традиционния подход на планирани одити и разработването и прилагането на процедура за управление на риска. Комплексът „Опасност-Бариера-Обект-Риск“ е основен елемент на оценката на безопасността и предпоставка за предлагането и провеждането на адекватни мероприятия за подобряването ѝ [8],[9],[10]:

- Приложение на концепцията за системна безопасност* – проблемите на безопасността се разглеждат не по отделно, а в тяхната цялост и взаимозависимост.

Системата за управление на безопасността на железопътно предприятие трябва да поддържа:

- Фирмена политика по безопасност* - реализира се посредством декларация за политиката по безопасност. Обикновено приема формата на писмен документ от най-високо ниво на управление и трябва да бъде разпространен до всички служители.

- Вътрешнофирмени правила и процедури* – наличие на фирмена стратегия и на строги изисквания за непрекъснат контрол по изпълнение на правилата и процедурите от експлоатационния персонал.

- Популяризиране на безопасността* - включва следните основни елементи:

- Култура на безопасност* - всеки един служител на компанията е отговорен за безопасността в съответствие с неговите персонални отговорности относно техническата експлоатация.

-Обучение на персонала и разпространение на информацията.

-Идентифициране на опасностите - етап от процеса на управление на риска като включва документиране на опасностите в специален „Регистър на опасностите“. Във връзка с управлението на безопасността, могат да бъдат използвани различни методи, например: техниката на мозъчната атака, HAZOP (Изследване на опасностите и работоспособността), What-if Analysis или FMEA/FMECA и оценка на риска. Най-добрият подход в повечето случаи е разглеждането на множество от варианти, като най-подходящите се определят въз основа на предварително приети критерии. Подобряването на безопасността се постига чрез изграждането на система за наблюдение дейността на предприятието посредством вътрешни и външни одити, и корективни действия.

В следващите точки на настоящата разработка са разгледани най-приложимите и универсални за решаване на ред проблеми на експлоатационната безопасност подходи и методи.

2.2. Подходи и методи в управление на безопасността

В системната безопасност са известни седем типа анализи, като всеки от тях е свързан с идентифицирането на опасностите и определянето на техните елементи:

-Концептуален анализ на безопасността. Целта на този анализ е съставянето на списък (регистър) на опасностите на най-ранен етап от жизнения цикъл на системата.

-Първоначален (идеен) анализ на безопасност - извършва се по време на предварителната фаза на проектирането.

-Подобен анализ на безопасността - провеждан въз основа на нова и по-подробна информация по отношение на дизайна и функционирането на разглежданата система.

-Системен анализ на безопасността – свързан с анализа на взаимодействието между всички изграждащи системата елементи.

-Функционален анализ на безопасността - анализира всички основни и спомагателни дейности при функционирането на системата.

-Анализ на безопасността на работното място – систематично определяне на опасностите за здравето на човека и провеждане на мероприятия за намаляване на риска.

-Анализ на изискванията за безопасност – провежда се за проверка и потвърждаване на съществуващите изисквания за безопасност.

Съществуват не малко методи за анализ и оценка на безопасността, които биха могли да се категоризират по следния начин:

-според преследваните цели - методи, които осигуряват системна, графична и структурирана рамка за подпомагане събирането на информация относно реализирането на даден процес или събитие и методи, използвани за определяне на критичните (опасните) събития и явления;

-според вида на анализа: методи за качествен анализ (ползват качествени критерии при анализа и оценката на опасностите, свързания с тях риск и безопасността като цяло) и *методи за количествен анализ* (използват наличната количествена (числова) информация, и въз основа на нея осигуряват количествен краен резултат);

-според избрания логически подход за анализ на риска - методи с дедуктивен и индуктивен подход. Методите с дедуктивен подход за анализ и оценка са изследователски подходи и основаните на тях методи използват така наречения процес на дедуктивно мислене (анализ чрез граф на отказите) [8]. Методите с индуктивен подход за анализ и оценка се основават на анализ „от долу-нагоре“, проучвайки бъдещи събития (анализ чрез граф на събитията). В безопасността тези методи се използват

предимно за идентифициране и оценка на последствията след възникнали нежелани събития.

Най-подходящите методи за изследване и анализ на безопасността могат да бъдат сведени до: FTA (*Fault Tree Analysis*), ETA (*Event Tree Analysis*), *X-tree Analysis*, *Изчисляване на загубите от произшествия*, анализ на Парето (*Pareto analysis*), HAZOP (*Hazard and Operability Study*) и *Events and Causal Factors Analysis*.

2.2.1 Анализ чрез дърво на отказите (граф на отказите)

Анализът на графа на отказите FTA (*Fault Tree Analysis*) е техника за системен анализ, използвана за определяне на основните причини и вероятността за възникване на определено нежелано събитие. Графът на отказите е модел, който се състои от различни комбинации от възможни събития и логическите взаимовръзки от едно нежелано събитие отгоре до всички възможни основни причини. Представява дедуктивен подход. Моделират се причинно-следствените връзки между допринасящите събития и главния отказ, като може да се комбинира използването на софтуер, хардуер и човешката логика. Основното предимство: доказана техника с многогодишна успешна употреба. Недостатъци: създаването на модел е времеемко, може да стане по-скоро цел, отколкото инструмент и FTA изисква известно обучение и практически опит [8]. Основните елементи на графът на отказите са: главно събитие, междинни, основни, съставни събития и логически връзки.

2.2.2 Анализ чрез граф на събитията

Според [8], анализът чрез графа на събитията ETA (*Event Tree Analysis*) е аналитична техника за идентифициране и оценка на последователността от събития в случай на отказ или аварийно събитие след възникване на началното събитие. ETA може да доведе до много различни възможни резултати от едно начално събитие и е мощен инструмент за идентифициране и оценка на всички възможни последствия за системата. Моделът ETA показва 3 различни резултати: безопасна/безотказна ситуация, понижена оперативна ситуация и опасна ситуация или възникване на отказ. Основните предимства: добре структуриран и методичен подход. Моделът показва взаимовръзките причина-следствие и се възприема относително лесно. Недостатъци: в анализа може да има само едно начално събитие и техниката изисква обучение и практически опит.

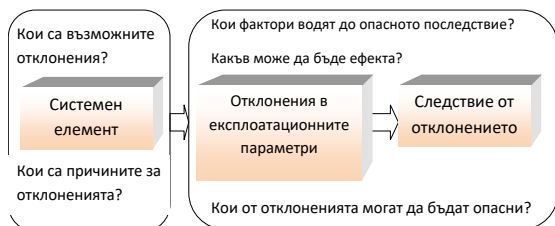
2.2.3 Анализ на Парето

Анализът на Парето се основава на принципа че: "Повечето от ефектите се дължат на няколко причини"[8],[11],[12]. Този принцип е известен и като правилото 80/20, следващо идеята че 80% от проблемите на дадена ситуация са резултат от 20% от причините. При управлението на безопасността на дадена железопътна организация, анализът "Парето" може да се осъществи чрез следните основни стъпки:

- Изготвяне на списък на източниците на опасност (риск);
- Оценка на величината на риска на всяка дейност;
- Класификация на източниците на опасност в низходящ ред за оценка на риска;
- Изчисляване на кумулативните резултати;
- Анализиране на източниците и кои от тях са допринесли за 80% от проявлението на общия риск. Акцентът е върху тези дейности (източници на опасност), които най-много допринасят за общия операционен риск в изследваното железопътното предприятие.

2.2.4 Изследване на опасностите и работоспособността (*Hazard and Operability Study-HAZOP*)

Този метод е разработен и въведен за първи път през 1970 г. Той се базира на предположението, че една система е надеждна (и безопасна), когато всичките ѝ експлоатационни параметри са в нормални (приемливи) граници например:



Фиг. 2.1. Основни процедури - метод HAZOP

температура, налягане, рН, вискозитет и други. Главна цел на метода HAZOP е идентифицирането на възможните критични отклонения. Техническите откази на отделните елементи, експлоатационните условия и субективните грешки се разглеждат като причини за промяна в поведението на производствените единици, водещи до загуба на работоспособността на системата като цяло. Фигура 2.1 онагледява основните процедури на метода HAZOP. [8],[10]

HAZOP се провежда от малък екип (3-4 човека), в състава на който се включват специалисти с богат експлоатационен и теоретичен опит в областта на инженерното направление. Анализът към метода

Табл. 2.1 Категории на елементи на риска

Вероятност за поява		Последствия	
Ранг	Описание	Ранг	Описание
A	Често	1	Катастрофални
B	Вероятно	2	Критични
C	Случайно	3	Средни
D	Малко вероятно	4	Незначителни
E	Невъзможно		

включва: дефиниране на областта и целите на изследването, определяне на необходимата информация, съставяне на изследователски екип и проектопрограма на работните срещи и регистриране на получените резултати. Чрез

HAZOP анализ										
Описание на системата:				Изследователски екип:						
№	Елемент	Функция	Параметър	Ключова дума	Последствия	Причина	Опасност	Риск	Препоръки	Допълнителен коментар
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
...	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
n	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Фиг.2.2 Примерен работен лист на HAZOP анализ

ключови думи се описва сценарий, чрез който се идентифицират вероятните опасности и причини за

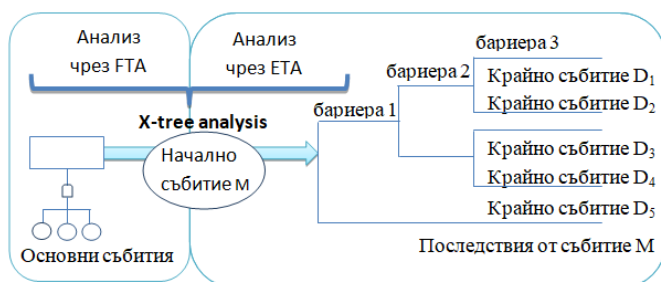
загуба на работоспособността на системата. Анализът завършва с формулирането на препоръки за промени в технологията или експлоатацията.

В таблица 2.1 са представени препоръчаните от [8],[13] нива на тези елементи, а получените вследствие на анализа резултати се регистрират в работен лист (Фиг. 2.2).

Предимство на метода: неговата простота на приложение и че осигурява необходимата основа за прилагане на други методи за моделиране на отказите и опасностите. Недостатъци: HAZOP не позволява разкриването на външни причини за възникване на откази и опасности, определяне на последствията от сложни вериги от събития, необходимост от достатъчна информация.

2.2.5. Анализ на комбинираните графи (X-tree Analysis)

Този метод е известен още като Bow-tie Analysis, защото използва модела



Фиг. 2.3. X-tree анализ – същност и елементи

отказите (FTA). Впоследствие се провежда анализ въз основа на граф на събитията,

„Опасност-Бариера-Обект” (Bow-tie Diagram). Той комбинира възможностите за анализ, които предлагат FTA и ETA (фиг. 2.3) с цел получаване оценка на множество потенциални резултати. Анализът започва с идентифицирането на нежеланото (началното) събитие и влияещите фактори, като се построява граф на

като се преценява „поведението на бариерите” (междинни събития на графа на събитията) за недопускане на негативни последствия след възникването на началното събитие. Чрез *X-tree* последователно се оценяват двата елемента на риска, свързани с изследвано събитие (опасност): вероятността за поява – посредством FTA и последствията – посредством ЕТА.

Към *X-tree* анализа може да се направи и **анализ на загубите**. При този подход с помощта на FTA и ЕТА първо се оценяват двата елемента на риска: вероятност за поява на опасността и последствията от нейното евентуално реализиране. За унифициране на загубите по отношение на човешките жертви за изследвания тип произшествие се използва показателя *потенциална еквивалентна смъртност* - $P_{екв.}$ (привеждане на ранени хора към убити такива) [8], [13]. Прието е, че: 1 убит = 10 тежко ранени, 1 тежко ранен = 20 леко ранени.

Например, за инфраструктурния обект железопътен прелез от експлоатационна гледна точка са възможни следните три резултата (изходи): *безопасно състояние, предотвратен удар между влак и автомобил и удар между влак и автомобил*.

Таблица 2.2 Таблица на загубите

Произшествие (изход)	Вероятност за поява	Потенциална еквивалентна смъртност		Загуби за година	
		Във влак	В автомобил	Във влак	В автомобил
Предотвратен удар	$P(A)$	$P_{a,екв.}$	$P_{aa,екв.}$	$P(A)*P_{a,екв.}$	$P(A)*P_{aa,екв.}$
Удар между влак и МПС на прелез	$P(B)$	$P_{b,екв.}$	$P_{bb,екв.}$	$P(B)*P_{b,екв.}$	$P(B)*P_{bb,екв.}$
			Общо	Σ	Σ

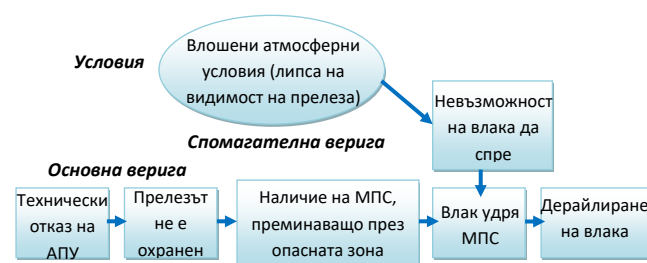
Всеки един от изходите се характеризира с определена вероятност на поява, която всъщност представлява комбинация (произведение) на вероятността за поява на съответната опасност (определена посредством

FTA) и вероятностите за реализиране на възможните последствия (определени чрез ЕТА). За така цитираното транспортно произшествие резултатите са показани в таблица 2.2. Годишните загуби представляват произведение между вероятностите на отделните изходи и *потенциалната еквивалентна смъртност* за единично произшествие.

Подходът на комбинирано използване на *X-tree Analysis* и количествения анализ на загубите дава възможност за оценка не само на моментното състояние на безопасността, но и на ефективността на различни мероприятия за подобряването ѝ.

2.2.6 Анализ на причините и влияещите фактори (*Events and Causal Factors Analysis*)

Целта на този анализ е осигуряването на методологична база за подпомагане, събирането, обработката и анализа на информацията за възникнало произшествие. Той дава възможност за идентифициране хронологията на събитията в структурата на



Фиг. 2.4. Вариант на диаграма на причините и влияещите фактори

сценария на произшествието, като по този начин улеснява разкриването на основната и непосредствена причина за неговото възникване. Основава се на построяването на *Диаграма на причините и факторите*, която представлява графичен израз на веригата от събития довели до възникване на произшествието. С помощта на стандартизирани

символи и въз основа на прости правила тази диаграма изобразява последователното реализиране на събитията, явленията и процесите от сценария на произшествието. Обикновено диаграмата има две вериги. На фигура 2.4 е показана примерна диаграма

на причините и влияещите фактори, отнасяща се за железопътно произшествие на прелез. Различават се *основна (първична) верига* – съдържаща основните събития от сценария и *спомагателна (вторична) верига* – съдържаща съпътстващи събития и условия. *Анализът на причините и влияещите фактори* използва дедуктивен подход за изследване и се характеризира със следните особености и етапи на провеждане: *изработване на диаграмата и проучване значимостта на всяко събитие като се спазват определени правила*. Събитията се анализират за значимост последователно, като се започва от най-близкото до произшествието. Значимостта на изследваното събитие се установява посредством задаването на въпроси. Разследващият (анализиращ) експертен екип може да счете дадено събитие за *незначимо*. Събитие, което на предходен етап не е оценено като *незначимо* се подлага на допълнителен анализ. Значимите събития, както и събитията и условията, които са довели до възникването им се считат за причини за произшествието и в зависимост от същността им се определят като главни или непосредствени.

Анализът на причините и влияещите фактори е изключително полезен метод за качествено разследване на произшествия, като осигурява причинно обяснение за възникването на инцидента. Изводите могат да се използват с цел предотвратяване на бъдещи произшествия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тази статия се разглеждат условията и изискванията, на които трябва да отговарят системите за управлението на безопасността.

Основните и съпътстващите събития и статистическа информация е всичко, което е необходимо за реализиране на моделирането на FTA и ETA, които са едни от най-често използваните методи за анализ за оценка на безопасността и те са подходящо решение за получаване на вероятността за възникване на произшествие. За разлика от тези два анализа има и други, които са по-иновативни и представляват подходящи инструменти за описание и изграждане на взаимовръзките между причините и последствието от възникването на произшествието. Такива техники са методите: изследване на опасностите и работоспособността (HAZOP), анализ на Парето, анализ на комбинираните графи и анализ на причините и влияещите фактори. Тези методи предстои да навлизат в български условия и са база за предлагане за мероприятия за подобряване на безопасността.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Директива 2001/13/ЕО относно лицензиране на железопътните предприятия. 2001.
- [2] Директива 2001/16/ЕО за оперативната съвместимост на трансевропейската конвенционална железопътна система. 2001.
- [3] Регламент (ЕС) № 1158/2010 на Комисията от 9 декември 2010 г. относно общ метод за безопасност за оценка на съответствието с изискванията за получаване на сертификат за безопасност на железопътния транспорт;
- [4] Регламент (ЕО) № 352/2009 на Комисията от 24 април 2009 г. за приемане на общ метод за безопасност относно определянето и оценката на риска в съответствие с член 6, параграф 3, буква (а) от Директива 2004/49/ЕО на Европейския парламент и на Съвета;
- [5] Vaysilova, E., Development of Management Decisions in the Conditions of Economic Risk, The 23th International Scientific Conference “Crisis Situations Solution in the Specific Environment”, 23th and 24th May 2018, Zilina, Slovakia, 2018

- [6] Vaysilova E., Assessment and Management of Enterprise Liquidity in Conditions of Crisis. The Twenty International Scientific Conference Crises Situations Solution in the Specific Environment, Zilina, Slovakia, E.U.; 20–21 May 2015.
- [7] Vaysilova, E., Integrated report - a new challenge for the undertakings in the transport sector of republic of bulgaria, Second International Conference “Transport for Today’s Society”, 17-19 May 2018, Republic Macedonia. 2018
- [8] Георгиев, Николай. Монография „Интегриран и системен подход към експлоатационната безопасност на железопътния транспорт”. София. 2015.
- [9] Georgiev, N. Knowledge management system for improvement of quality of railway transport service. XXI International Scientific-technical Conference “Trans&Motauto”, Varna, 2013.
- [10] Georgiev, N. Use of scientific approaches and methods for performance improvement of safety management systems in railways. XXII International Scientific-Technical Conference “Trans&Motauto”, Varna, 2014.
- [11] Georgiev, Nikolay. Guidelines for Achieving Successful Decisionmaking on Risk Acceptance in Rail Transport Undertakings. 20 International Scientific Conference Solving. Crisis Situations in a specific environment. Zilina 20-21 May 2015.
- [12] Georgiev, N. Managerial Ways for Avoidance of Crisis of Safety Management in Railways. The Nineteen International Scientific Conference Crisis Situations Solution in the Specific Environment, Zilina, Slovak Republic, 2014.
- [13] MIL-STD-882E, System Safety, U.S. Department of Defense, Standard Practice, Washington, D.C., 2012.

OPPORTUNITIES FOR IMPROVEMENT SAFETY IN RAILWAY UNDERTAKINGS

Nikolay Georgiev, Violina Velyova
ngeorgiev@vtu.bg, vili_tuk@abv.bg

Todor Kableschkov University of Transport
1574 Sofia, 158 Geo Milev str.
BULGARIA

Key words: railway transport, safety, functionality, approaches and methods

Abstract: *The article discusses the methodological safety issues in railway undertakings, the importance of safety management systems, their structure and their basic elements. In this connection the principles of the management of railway transport and railway enterprises are described. Safety management systems should have: enterprise safety policy, internal company rules and procedures, safety promotion methods, staff training and methods for hazard identification. Seven types of safety analyzes are described: conceptual, initial, detailed, systematic, functional, analysis during exploitation (at work), and according to the safety requirements. The methods of safety analysis and assessment can be divided into the following groups: according to the objectives that are pursued, according to the type of analysis and to the chosen logical approaches. The article explores some of the most appropriate methods for safety research: Fault Tree Analysis, Event Tree Analysis, Pareto Analysis, Hazard and Operability Study (HAZOP), X-Tree Analysis and analysis of consequences and factors, called Event and Causal Factors Analysis. Their main goals and their strengths and weaknesses, as well as guidelines for their use are presented. The importance and the role of safety in the improvement of the work of the railway undertaking is defined.*