

## **РАЗРАБОТКА НА СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА РИСКА, ОТЧИТАЩ ВЛИЯНИЕТО НА ОСИГУРИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ НА ПРЕЛЕЗ**

**Цветелина Симеонова, Емил Иванов, Васил Къдрев**  
[ts.b.simeonova@abv.bg](mailto:ts.b.simeonova@abv.bg), [eivanov.09@abv.bg](mailto:eivanov.09@abv.bg), [vkadrev@gmail.com](mailto:vkadrev@gmail.com)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, катедра СОТС  
ул. “Гео Милев” 158, София 1574,  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** риск, опасност, експлоатация, осигурителни системи*

***Резюме:** Разработена е блокова схема на симулационен модел за оценка на индивидуалния риск, отчитащ влиянието на осигурителни системи в прелез. Направено е детайлно описание на сегментите предвидени в модела: влакове, шосейни превозни средства, пешеходци, автоматично прелезно устройство на прелеза, опасности, реализирани опасности (инциденти), последствия от инцидентите. При описанието са отчетени съществуващите връзки на предпрелезен светофор с бариера, както и приетите на прелеза опасности, допусната е и възможността за неправилно преминаване (заобикаляне на полубариерата) на прелеза от шосейни превозни средства и пешеходци. Блоквата схема на симулационния модел илюстрира начините чрез които да се изследват зависимостите на влияещите параметри върху индивидуалния риск, с оглед на изпълнение на изискванията на европейските норми.*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ.**

Работата е посветена на изследване на индивидуалния риск произтичащ от осигурителните системи на прелез, като настоящата 1 част е Разработка на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи на прелез. Следващите части са: част 2 Условия на функциониране на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи на прелез, част 3 Процес на събиране и обработка на статистика в симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи на прелез и част 4 Изследване на влиянието на опасностите върху индивидуалния риск за пътниците в шосейни превозни средства и пешеходците, произтичащ от осигурителните системи на прелез.

Оценка на риска е задължително условие за доказване годността на системите за сигнализация. В съответствие със стандарта CENELEC EN 50126 [1] се предвижда свободен избор на използваните методи. С цел оценка на влиянието на тези системи и грешките на човешкия фактор върху риска породен от тях, се използват различни методи [2, 3, 4]. Сравнително точни резултати се получават при използването на математически модели с различна степен на подробност. В някои случаи е трудно да се получи математически модел на сложна система поради голямата размерност на

различните процеси в нея. В такива случаи е удобно да се използва симулационен модел, чрез който да се получат статистически оценки, допълващи и разширяващи резултатите от математическия модел [5, 6].

В настоящата работа се изгражда блокова схема на симулационен модел за оценка на индивидуалния риск (ИР), отчитащ влиянието на осигурителни системи (ОС) в прелез, както и да се направи детайлно описание на сегментите предвидени в модела: влакове, шосейни превозни средства (ШПС), пешеходци, автоматично прелезно устройство (АПУ) на прелеза, опасности, реализирани опасности РО (инциденти), последици от инцидентите. В разработката се отчитат съществуващите връзки на предпрелезен светофор с бариера, приетите на прелеза опасности, възможността за неправилно преминаване (заобикаляне на полубариерата) на прелеза от ШПС и пешеходци. Крайната цел е да се определят зависимостите на влияещите параметри върху ИР и др., като се отчете наличието на опасни откази и на комбинация от защитни откази и човешки грешки при функционирането на ОС.

Актуалността на разработката, въз основа на получената систематизирана информация, се определя от възможността да се получи програмен продукт с относително широка област на приложение за получаване на резултати (в зависимост от конкретни входни данни) за оценка на риска в едни от рисковите участъци на жп системата.

Предмет на изследване, на базата на общ модел на примерен участък [6], е модел на прелез с АПУ, снабден с бариера (полубариера, а като вариант и цяла бариера) и светлинна сигнализация (предпрелезен светофор). Отчита се движение на влаковете (по разписание), движение в предпрелезния участък и последващо пресичане на прелеза, както и движение и пресичане на прелеза от ШПС и пешеходци<sup>1</sup>.

Влияещите фактори върху ИР са вероятност за опасен отказ (която се проявява чрез безопасностните параметри на ж.п. автоматика), параметрите на транспортния процес (интензивността на влаковия, на автомобилния и на пешеходния поток) и интензивността на опасните човешките грешки.

Включването в модела и на възможните случаи на нарушаване на разписанието на движение на влаковете (което е част от реалния случай на обслужване) не е предвидено, защото е отделна много сложна задача. Изследването на влиянието на категорията на влака или неговата скорост е предмет на бъдещи разработки.

## **2. ОПИСАНИЕ НА МОДЕЛА**

Даден индивид е изложен на въздействието на опасностите, възникващи при пресичане на прелез, когато е пешеходец или пътуващ в ШПС. Приема се, че пътниците във влака са защитени, не са изложени на риск.

ОС (спрямо опасните и защитните откази) са многократно преоразмерени по отношение на риска, който могат да породят. От друга страна, за някои фактори на прелез, които могат да доведат до по-високи стойности на риска, се приема, че са действащи извън ОС (например неправилно преминаване през прелез). В съответствие с това, един от възможните подходи за изследване на риска предполага намиране на условията за получаване на неговите гранични стойности, като се задават области на изменение на реални стойности на влияещите параметри. Използваният при разработката подход се базира на модифициране на горното, т.е. на нормиране на параметрите на прелеза чрез баланс спрямо максимално допустимата стойност на индивидуалния риск [7], като се изследва неговото изменение в зависимост от различни

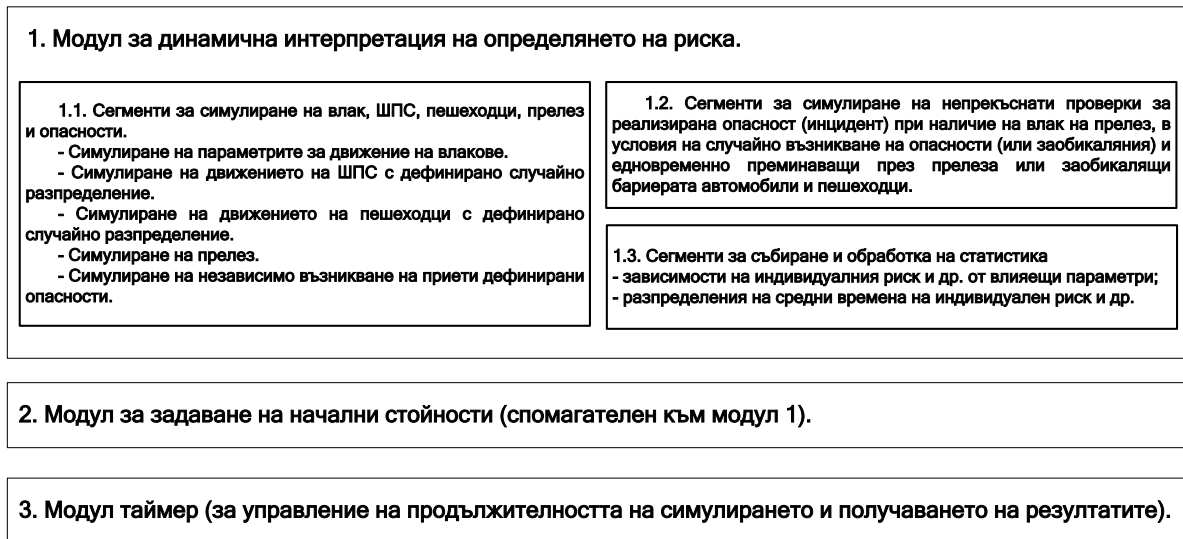
---

<sup>1</sup> Пешеходците са включени като параметър в модела, но предвид на спецификата на тяхното влияние, изследванията са проведени основно за влиянието на ШПС.

групи влияещи параметри (намират се областите на изменение на влияещите параметри, при които се получават гранични стойности на риска).

## 2.1. Блокова схема. Условия на функциониране.

Блоковата схема на модела се състои от три модула, както е показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Блокова схема на симулационния модел.

Сегментите на модул 1 (сегмент 1.1 и сегмент 1.2) се описват последователно по-долу, а сегмент 1.3, модул 2 и модул 3 са предмет на следваща работа.

Приема се, че автомобилният път е двулентов, а релсовият път е двупосочен, като АПУ в основния модел е с полубариери.

## 2.2. Сегменти в модела

Сигнализацията в железопътния транспорт изпълнява функции, подобни на пътната сигнализация в автомобилния транспорт. Сигналите дават информация на машиниста за състоянието на железния път, за максималната скорост на движение, за специални правила за преминаване през определени места. Чрез сигналите се дават заповеди за спиране, придвижване и намаляване на скоростта.

### а) Влакове

Влаковете последователно преминават през прелез въз основа на прието разписание за движение. Използвано е действащо разписание за движение на влаковете (в права и в обратна посока) за 2011/2012 г. за участъка София – Пловдив (тръгващите от София в посока Пловдив и тръгващите от Пловдив в посока София) – табл. 1.

За товарните влакове е прието движение по условно разписание (маркирани са в таблицата).

Приема се, че маневри на прелеза не се извършват.

Табл. 1. Разписание за двупосочно движение на влаковете (с денонощен цикъл).

<b>Разписание в права посока</b>
00-00, 02-00, 04-00, 06-00, 06-30, 06-45, 07-35, 08-30, 10-45, 11-00, 12-00, 13-45, 14-10, 15-00, 15-30, 16-30, 17-00, 17-30, 18-30, 19-15, 19-25, 20-00, 22-40, 23-10
<b>Разписание в обратна посока</b>
01-00, 03-00, 05-00, 05-25, 05-52, 06-50, 07-00, 07-25, 08-36, 09-20, 10-09, 10-20, 10-35, 12-00, 12-10, 14-11, 15-12, 15-30, 16-00, 17-22, 18-35, 19-14, 20-34, 20-46, 21-58

По отношение на „тежестта“ на инцидентите (последствията – загинали, ранени, материални щети и др.) се приемат изменяеми коефициенти въз основа на въведена функция.

Приемаме наличието на риск при пресичането на прелеза от влак, поради възможността точно тогава да пресичат и ШПС и пешеходци и да възникне инцидент (реализация на опасност).

## **б) Функционални събития: шосейни превозни средства (с пътници) и пешеходци**

### **Функционални събития**

Когато имаме влак, който пресича прелез се прави проверка за наличие едновременно на опасност<sup>2</sup> и събитие, като определена комбинация, която води до реализация на опасността (инцидент) с определена вероятност. При наличие на инцидент се определят последствията (брой загинали, размер на щети и т.н.).

В модела приетите функционални събития са преминаване през прелеза на ШПС и пешеходци (при вдигната бариера) и неправилно преминаване (заобикаляне на бариерата) на ШПС и пешеходци (при спусната бариера).

Преминаването през прелеза е действие, което крие риск – от една страна за преминаващия пешеходец, а от друга за пътуващия в преминаващото ШПС; рискът е различен за пешеходците и за пътниците.

### **Шосейни превозни средства**

- приети са следните типове ШПС: лек автомобил (ЛА), микробус (МБ), автобус (АА), товарна машина (ТМ). Средните стойности (със случайно разпределение чрез генератор на случайни числа) на процентното съотношение между тези видове ШПС, постъпващи на прелеза, са променливи в модела.

- приет е денонощен цикъл на движение на ШПС през прелеза с различна интензивност (като средно време и нормално разпределение). Стойностите на параметрите на интензивността на движение са променливи в модела. В табл. 2 са показани приетите периоди с различна интензивност на движение в денонощието.

**Табл. 2. Периоди в денонощието с различна интензивност на движение на ШПС.**

<b>Час от денонощието</b>	<b>Интензивност на движение</b>		
00 – 05 и 23 - 24			минимална
05 – 07, 09 – 15, 17 - 23		средна	
07 – 09 и 15 - 17	максимална		

- приема се съответен брой (в зависимост от вида ШПС) на пътуващите в ШПС, като този брой се определя от зададена средна стойност, която се избира със случайно разпределение.

- приема се броят на загиналите да се определя чрез зададена процентна стойност (в зависимост от броя на пътуващите в момента) при настъпване на инцидент (избира се със случайно разпределение) за всеки тип ШПС:

- приема се допускането за неправилно преминаване през прелез (заобикаляне на бариерата) на постъпващите ШПС с определена вероятност (изменяема за модела).

- приемат се съответно - време (променливо за модела) за преминаване на ШПС (с пътуващи в тях пътници) през прелез, както и време (изменяемо за модела) за заобикаляне на бариерата от ШПС (с пътуващи в тях пътници) през прелез.

- приети са цени на всеки тип ШПС с оглед на последващото определяне на финансовите загуби.

<sup>2</sup> Опасността е от технически или човешки характер, като тя изразява параметри свързани с вградените на прелез осигурителни системи; ще изследваме за определен диапазон на приетите изменяеми в модела величини как се променя ИР, броят на инцидентите и т.н.

- приета е средна стойност (с нормално разпределение) на финансовите загуби за отделните ШПС при инцидент, за всеки тип ШПС (при заобикалящи бариерата и при преминаващи през прелеза при вдигната бариера).

- приета е средна стойност (с нормално разпределение) на финансови загуби за ж.п. администрацията при инцидент, за всеки тип ШПС (при заобикалящи бариерата и при преминаващи през прелеза при вдигната бариера).

### Пешеходци.

- приет е денонощен цикъл на движение на пешеходци през прелеза с различна интензивност (във вид на средно време с нормално разпределение), променлива в модела. В табл. 3 са показани приетите периоди в денонощието с различна интензивност на движение на пешеходци.

Табл. 3. Периоди в денонощието с различна интензивност на движение на пешеходци.

Час от денонощието	Интензивност на движение
00 - 08	ниска
08 - 24	висока

- приема се, че при настъпване на инцидент, пешеходецът загива.

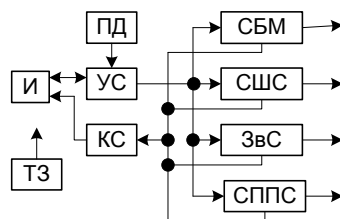
- приема се допускането за неправилно преминаване през прелез (заобикаляне на бариерата) на постъпващите пешеходци с определена вероятност (изменяема за модела).

- приемат се съответни времена, изменяеми за модела - време за преминаване на пешеходец през прелез, както и време за заобикаляне на бариерата.

### в) Прелез. Схема на автоматично прелезно устройство (АПУ)

Техническите средства за съоръжаване на железопътни прелези с АПУ, както и правилата за тяхното функциониране, са описани в различни нормативни документи (Наредби № 4, № 55, № 59 и др. на НК „ЖИ” [8, 9, 10]).

Разгледана е типична схема на АПУ (фиг. 2) с обособени отделни части - ТЗ (токозахранване), ПД (пътни датчици), И (информация), КС (контролна схема) и УС (управляваща схема). Структурата е достатъчно обща, за да отразява функционирането на различните модификации и изпълнения. Управляващата схема (УС) осъществява управлението и реализацията на функционалния алгоритъм на прелезното устройство. УС и КС оказват влияние на СБМ (схема на бариерния механизъм), СШС (схема на шосейните светофори), ЗвС (схема на звуковата сигнализация), СППС (схема на предпрелезните светофори) и, поради наличието на зависимост между тях, не участват самостоятелно при описанието на опасността. ПД подават информация за навлизането на влака в предпрелезния участък и го проследяват до излизането му. СБМ управлява двигателя, задвижващ гредата, а СШС подава сигнал към шосейните превозни средства за наличието на влак в предпрелезния участък.



Фиг. 2. Обща структура на АПУ.

Схемата на предпрелезния сигнал (ППС) подава информация към машиниста за състоянието на прелеза, към който приближава. Ако прелеза не е сигнализиран, машинистът трябва да премине през него с безопасна скорост.

Тук ще бъдат уточнени само функциите, имащи отношение към безопасността:

- **Спускане на бариерата.**

Сигнал за спускане се подава от ПД, когато влакът навлезе в предпрелезния участък (ППУ). Този сигнал е причина за задействане на шосейния сигнал и спускане на бариерата. На предпрелезния сигнал се включва разрешително показание с проверка задействането на шосейния сигнал. Това е указание, че към водачите е подадена информация за приближаване на влак и той може да премине през прелеза с максимална скорост. Ако предпрелезният сигнал не свети с разрешително показание, това означава, че прелезът не е обезопасен и машинистът намалява скоростта до безопасна.

- **Вдигане на бариерата.**

Вдигане на бариерата става след освобождаване на прелеза от влака, проследява се фактическото преминаване на влака през прелеза.

Отказите породени от ОС биват опасни и защитни. Възникването на опасен отказ е достатъчно да предизвика инцидент при наличието на ШПС (или пешеходец) и влак. Възникването на защитен отказ води до инцидент само в комбинация с човешка грешка.

В структурата на модела, при функционирането на АПУ, са взети под внимание опасности, които възникват независимо.

**г) Опасности; идентификация на опасностите**

Опасност е обективно съществуваща възможност за негативно развитие на технологическия процес, в резултат на което може да последват значими материални щети. Опасностите носят потенциален, т.е. скрит характер. Под идентификация се разбира процесът на откриване на опасностите.

- прието е (табл. 4) в модела да се отчитат опасностите, свързани с действието на системите за сигнализация на АПУ, съгласно описанието по-горе. Тези опасности са извадка от възможните опасности, които възникват при различните типове прелезни устройства.

**Табл. 4. Приети опасности, свързани с прелезното устройство.**

№	Опасности:
	<b>1. От страна на бариерния механизъм.</b>
O <sub>11</sub>	Опасни откази, предизвикващи преждевременно нормализиране на АПУ
O <sub>12</sub>	Опасни откази, предизвикващи непадане на бариерата - не спускане
O <sub>13</sub>	Опасен отказ - грешна манипулация по далечно отваряне - преждевременно нормализиране или вдигане
	<b>2. От страна на светлинна сигнализация за машиниста.</b>
O <sub>21</sub>	Опасен отказ на светлинна сигнализация за машиниста
O <sub>22</sub>	Защитен отказ на светлинна сигнализация за машиниста
O <sub>23</sub>	Грешна манипулация при защитен отказ на светлинната сигнализация за машиниста (грешна манипулация на машиниста при преминаване покрай предпрелезен светофор)

- допускането на неправилно преминаване (заобикаляне на бариерата) на прелеза от ШПС и пешеходци води до непредсказуема опасност (опасност, която не е свързана с осигурителните системи) и е пряко заложено в модела чрез съответна, променяща се, вероятност;

- в модела е прието опасният отказ да води директно до инцидент (при съвпадение; опасният отказ е опасен, защото не се изявява докато не стане катастрофа), а защитният отказ води до инцидент само в комбинация с човешка грешка (също при съвпадение);

- възникването на дефинираните опасности е с приета средна стойност на интензивността за всяка от тях (или средно време между възникванията) и нормално разпределение);

- предвидени са индикатори за различните случаи на действие на опасностите (например индикатор за опасен отказ причиняващ разрешително показание –  $O_{21}$  в табл. 4);

- предвидено е време (изменяемо в модела) за възстановяване - да отпадне опасността, при настъпил опасен отказ или защитен отказ и грешка. Времето за възстановяване е съобразено с типа и характера на опасността, като са предвидени различни времена за възстановяване за следните групи опасности (табл. 4): ( $O_{13}$  и  $O_{23}$ ), ( $O_{11}$ ,  $O_{12}$  и  $O_{21}$ ) и  $O_{22}$ .

В модела е предвидена технологична времезадръжка – време от настъпването на инцидент до възстановяване на движението. Технологичната времезадръжка е зависима от времето на възстановяване и е най-малко равна на максималното време на възстановяване. От друга страна наличието на технологична времезадръжка позволява в модела да не се отчита погрешно повече от един инцидент вследствие на дадена възникнала опасност (или комбинация от възникнали опасности).

#### д) Реализирани опасности (инциденти). Последствия от инцидентите.

В модела са предвидени различни индикатори, активирането и деактивирането на които във всеки момент непрекъснато показва наличието или отсъствието на влак на прелеза, наличието или отсъствието на ШПС или пешеходец на прелеза, възникнала опасност, заобикаляне. Инцидентите на прелез (отбелязваме ги с  $PO_i$ )<sup>3</sup>, които се отчитат чрез тези индикатори са пояснени в табл. 5. Приемаме, че при сблъсък с влак, това се случва в началото на влака, а не в средата или в края.

Табл. 5. Проверка за реализирана опасност.

	Причини за реализация на опасностите - едновременно наличие на влак и:				Реализирани опасности
	опасности	заобикаляне	ШПС	пешеходец	
$PO_1$	-	да	да	-	сблъсък на влак със заобикалящо ШПС
$PO_2$	група 1 <sup>4</sup>	-	да	-	сблъсък на влак с ШПС при възникнал опасен отказ
$PO_3$	група 2 <sup>5</sup>	-	да	-	сблъсък на влак с ШПС при възникнал защитен отказ и човешка грешка
$PO_4$	-	да	-	да	сблъсък на влак със заобикалящ пешеходец
$PO_5$	група 1	-	-	да	сблъсък на влак с пешеходец при възникнал опасен отказ
$PO_6$	група 2	-	-	да	сблъсък на влак с пешеходец при възникнал защитен отказ и човешка грешка

<sup>3</sup> Под „инцидент” ще разбираме „реализация на опасност -  $PO$ ”; за удобство ще използваме термина инцидент.

<sup>4</sup> Група 1 са опасности  $O_{11}$ ,  $O_{12}$ ,  $O_{13}$  и  $O_{21}$  (табл. 5).

<sup>5</sup> Група 2 са опасности  $O_{22}$  и  $O_{23}$  (табл. 5).

Последствия от инцидент са брой загинали и евентуални финансови загуби (за ШПС и за железопътната администрация). Начинът на отчитане на броя загинали и финансовите загуби е описан по-горе.

В модела се отчита както броят инциденти (и техния среден брой по типове на годишна база), така и разпределението на средното време между тяхното възникване.

### **3. ИЗВОДИ**

Направено е описание на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи на прелез и е разработена блокова схема, като са идентифицирани опасности, свързани с ОС внедрени в прелеза, както и ролята на човешкия фактор. Отчетено е наличието на опасни откази и на защитни откази и човешки грешки при функционирането на ОС. Въз основа на описанието на симулационния модел и блоковата схема може да се дефинират условията на функциониране и събиране на статистика, с оглед получаването на характерни зависимости на ИР и други параметри.

Параметрите на транспортните процеси (ж.п. и шосеен), надеждностните и безопасностни параметри, времепараметрите и щетите при инцидент, получени с използване на симулационен модел, са статистика на етап проектиране. По-пълни резултати биха се получили, ако са допълнени с данни от статистика на етап експлоатация. В момента със статистика на етап експлоатация не разполагаме, но това не променя стойността на модела.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1.] EN 50126. Railway Applications – The specification and demonstration of dependability – reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). CENELEC. September 1999.
- [2.] Христов Х. Основи на осигурителната техника, Техника, С., 1990.
- [3.] Христов Х, М. Христова, Н. Георгиев „Аналитичен подход и модел за анализ и оценка на безопасността на човекомашинни системи за управление на експлоатационния процес в транспорта” Mechanics Transport Communications, ISSN 1312-3823, issue 2, 2010.
- [4.] Иванов Е., Ц. Симеонова, К. Иванов Анализ на риска за участниците в движението при преминаване през ж.п. прелез. В сб. на 20-та международна научна конференция на ВТУ „Т. Каблешков”, „Механика, транспорт, комуникации”, ч. 3, стр. VIII-64, София, 2011.
- [5.] Голева Р. И., В. М. Къдрев, Ц. Б. Симеонова Изследване на качеството на обслужване в UMTS мрежи. В сб. на международна научна конференция „Транспорт 2008”, стр. VIII-32, София, 2008.
- [6.] Симеонова Ц. Подход за разработка на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи в примерен участък. В сб. на „IX национална младежка научно-практическа сесия 2011”, 02-03.05.2011, ФНТС, ISSN 1314-0698, стр. 1-6, София, 2011.
- [7.] Mokkapatil S. A practical risk and safety assessment methodology for safety critical systems. Ansaldo Signal Union Switch & Signal Inc., 1000 Technology Drive Pittsburgh, PA 15219.
- [8.] Наредба № 4 от 27 март 1997 г. за железопътните прелези. Обн. ДВ. Бр. 32 от 18 април 1997 г. (изм. ДВ. бр. 145 от 9 декември 1998 г.).
- [9.] Наредба № 55 от 29.01.2004 г. за проектиране и строителство на железопътни линии, железопътни гари, железопътни прелези и други елементи от железопътната инфраструктура. Обн. ДВ, бр. 18 от 5.03.2004 г. (попр.: бр. 20 от 12.03.2004 г., бр. 42 от 21.05.2004 г.).
- [10.] Наредба № 59 за управление на безопасността в железопътния транспорт.