

ОСОБЕНОСТИ НА МОДЕЛИРАНЕТО И СИМУЛАЦИЯТА НА РИСКА ПРИ КОМУНИКАЦИОННИ И ОСИГУРИТЕЛНИ СИСТЕМИ

Васил Къдрев, Росен Пасарелски

SPECIFICS OF MODELING AND SIMULATION OF THE RISK ON THE COMMUNICATION AND ENSURE SYSTEMS

Vasil Kadrev, Rosen Pasarelski

Резюме: Цел на предложената работа е изследване на особеностите на моделирането и симулацията на риска при осигурителни системи (като специфични комуникационни системи). При тях интерес представлява вероятностна оценка на риска PRA (Probabilistic Risk Assessment). Оценката се фокусира върху прогнозиране на вероятността за откази, които могат да доведат до нараняване и/или загуба на живот и/или тежки щети на системата и/или поражения на околната среда. Резултат от моделирането на PRA е определяне на вероятността за конкретен резултат, но с тежки последствия и идентифицирането на тези събития или компоненти, които най-вероятно ще доведат до този резултат. Моделите за оценка на риска обикновено се използват, за да се оцени безопасността на системата и да се вземат решения за управлението на ресурсите за предотвратяване на произшествия.

Показани са резултати от извършени изследвания, използващи аналитични модели, както и симулационно моделиране на риска в осигурителни системи, при различни конкретни начални условия. На базата на тези резултати се виждат особеностите (предимствата и недостатъците), както и перспективите на аналитичното и симулационно моделиране. На база на разгледаните примери се илюстрират реално получени резултати, свързани с принципите и особеностите на аналитичното и симулационно моделиране в областта на изследването на риска в ОС, съгласно извадково направения обзорен преглед.

Ключови думи: риск, осигурителна система, моделиране, симулация

Abstract: The aim of the proposed work is to study the characteristics of modeling and simulation of risk on the ensure systems, as specific communication systems. On the ensure systems case of interest is Probabilistic Risk Assessment (PRA). The assessment focuses on predicting the probability of failures that can lead to injury and / or loss of life and / or severe damage to the system and / or environmental damage. The result of PRA modeling is to determine the probability for a particular result, but with severe consequences, and to identify those events or components, which will most likely lead to this result. Risk assessment models are typically use to assess system safety and to decide on resource management to prevent accidents.

Results of analyzes performed using analytical models, as well as simulation modeling of risk on ensure systems, under various specific initial conditions, are presented. Based on these results, the peculiarities (advantages and disadvantages), as well as the perspectives of the analytical and simulation modeling, can be seen. Based on the examined examples are illustrated the actual results, related to the principles and peculiarities of the analytical and simulation modeling in the field of the risk assessment in the ensure systems according to the sampling survey.

Keywords: risk, ensure system, modeling, simulation

1. ВЪВЕДЕНИЕ

За изследване на безопасността и надеждността на осигурителни системи (ОС) се използват различни методи. Методите за оценка на надеждността могат да се разделят най-общо на теоретични и експериментални. Теоретичните от своя страна са аналитични и статистически. Аналитичните са например логико-вероятностни математически модели, марковски и полумарковски математически модели, дърво на отказите и др. [1].

Задача на Европейската железопътна агенция е да установи общи цели на безопасността, както и общи методи за безопасност за железопътните системи в Европа. Стандартът CENELEC EN50126 [2] дефинира безопасността като отсъствие на недопустимо ниво на риска. Изследванията в тази област са актуални, тъй като стандартът предоставя възможност за избор на начина на провеждане на анализа.

В [3] са описани характеристиките и особеностите на най-често използваните методи за анализ и оценка на риска; дадено е съответствието между особеностите на методите и изискванията с оглед на тяхното удовлетворяване.

2. МОДЕЛИРАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА И ОЦЕНКА НА РИСКА

С цел определяне начините как да се увеличи проектният живот и да се елиминира или намали вероятността от повреди, престой и рискове за безопасността в моделирането на надеждността се включва моделиране на начините, по които системите могат да откажат (и да се възстановят) [4]. Изготвя се математическо представяне (модел) на съществуващата или предложената инженерна система (състои от множество компоненти, които работят заедно, за да изпълняват една или повече функции), за да се предскаже работата на системата във времето. Резултатите от тези модели обикновено се състоят от прогнози за параметри като вероятност за безотказна работа и готовност на системата. Моделите могат да се използват за сравняване на алтернативите при проектиране въз основа на показатели, като например производителност, гаранция и/или разходи за поддръжка.

При ОС, както и въобще при комуникационните системи (КС), интерес представлява вероятностната оценка на риска PRA (Probabilistic Risk Assessment), която първоначално се разработва за анализ на сложни системи [4]. Оценката се фокусира върху прогнозиране на вероятността за откази (опасни), които могат да доведат до нараняване и/или загуба на живот и/или тежки щети на системата и/или поражения на околната среда. Резултат от моделирането на PRA е определяне на вероятността за конкретен (малко вероятен) резултат, но с тежки последствия (напр. отказ на системата) и идентифицирането на тези събития или компоненти, които най-вероятно ще доведат до този резултат. Моделите за оценка на риска обикновено се използват, за да се оцени безопасността на системата и да се вземат решения за управлението на ресурсите за предотвратяване на произшествия (например промени в проектирането или експлоатацията при модернизация).

При моделирането на надеждността и оценката на риска има допирни точки (характеристики - например и двете се занимават с откази на различни компоненти и системи), а тези два вида анализи традиционно използват различни типове подходи (тъй като са фокусирани върху различни видове резултати). От друга страна, например динамична вероятностна програма за симулация може да се използва и за двата вида анализи. За преодоляване на някои проблеми на надеждността и оценката на риска могат да се използват подходи базирани на симулации, ако не могат да бъдат решени лесно или реалистично с помощта на традиционни подходи.

При моделиране на надеждността, резултати са показатели за надеждност свързани със система, а при оценка на риска моделирането дава вероятността от специфични последици (например инцидент, водещ до загуба на живот) за подпомагане на управлението на риска за системата. Моделирането също така каталогизира и анализира сценарии за неуспех (отказ), което позволява да бъдат идентифицирани ключови източници на ненадеждност и риск (т.е. анализ на първопричините).

Съществуват мощни инструменти (например GoldSim) измежду малкото съществуващи симулационни софтуерни пакети за оценка на надеждността и риска, като при тях се комбинират мощните характеристики за представяне на отказ (и възстановяване) на сложни системи с гъвкавост, което позволява да се представи истинската динамична

сложност и еволюцията на цялата система. Истинската сила на моделирането е, че при него може да се направи повече, отколкото просто да се изчислят параметри за управление на риска.

3. МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ [5]

Моделиране

Моделирането е процес на създаване на модел, т.е. представяне на конструкцията и функционирането на обекта на изследване. Моделът е максимално подобен, но по-прост от системата, която описва. Една от целите на модела е да се даде възможност в процеса на анализ да се предвиди ефекта от промените в системата. От една страна, моделът трябва да бъде максимално близо до реалната система и да включва повечето от основните характеристики и параметри. От друга страна, моделът не трябва да бъде прекалено усложнен, така че да е невъзможно да се разбере неговия физически смисъл. Добър модел е разумният компромис между реализъм и простота.

На практика се препоръчва сложността на модела итеративно да се увеличава. Важен въпрос при моделирането е валидността на модела. Техниките за валидиране на модели включват симулиране на модела с такива входни данни, за които изходните резултати са предварително известни

Най-общо модел, предназначен за симулационно изследване, може да бъде математически модел, изследван с помощта на софтуер за симулация. Класификациите на математическия модел включват детерминирани (входни и изходни променливи с фиксирани стойности) или стохастични (поне една от променливите е вероятностна) променливи. От друга страна моделирането може да бъде статично (времето не се взема предвид) или динамично (променливите са функция на времето). Обикновено симулационните модели са стохастични и динамични.

Симулация

Симулация на система е процесът на извършване на симулационен експеримент ("проиграване" на модела на системата). Моделът може да бъде динамично преконфигуриран при изследването и експериментирането, което обикновено е невъзможно (твърде скъпо или непрактично) в реалната система, която описва.

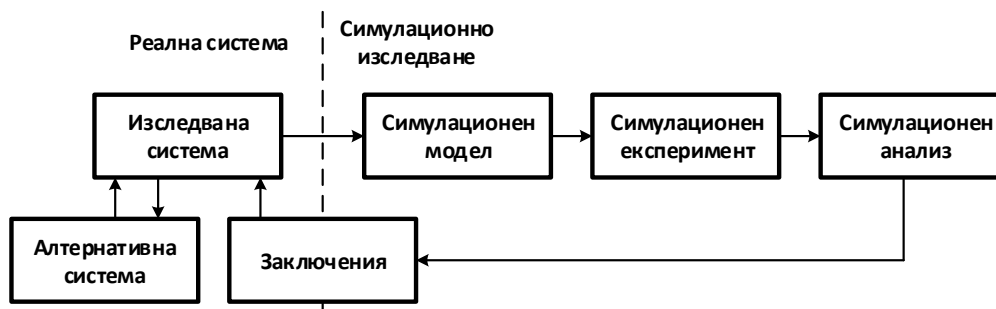
Работата на модела може да бъде изследвана и следователно може да се направи извод за свойствата и поведението на реалната система (или на нейна подсистема). В най-широк смисъл симулацията е инструмент за оценка на функционирането на съществуваща или модернизираща се реална система, въз основа на създадения симулационен модел при различни условия и време на функциониране.

Симулацията се използва, преди да се промени дадена съществуваща система (или да се изгради нова система), да се намалят вероятностите за евентуално неспазване на спецификациите, за откриване и премахване на непредвидени проблеми, за предотвратяване на прекомерно използване (претоварване) на ресурсите, както и за оптимизиране на работата на системата.

Симулацията може да бъде с непрекъснато или с дискретно време (времето се променя с определени стъпки). Симулацията на дискретни събития е по-малко детайлна (зависи от големината на приетата времева единица), отколкото непрекъснатата симулация, но е много по-лесно да се приложи и следователно се използва в най-различни ситуации.

4. СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ

Фигура 1 е схема на симуляционно изследване. Итеративният характер на процеса се индикира от изследваната система, която се превръща в система на филтриране, която след това става изследваната система и цикълът се повтаря.



Фиг. 1. Схема на симуляционно моделиране.

В симуляционното изследване човешкият фактор е съществен на всички етапи - а именно разработване на модел, дизайн на симуляционния експеримент, анализ на резултатите, формулиране на заключения и вземане на решения за промяна на изследваната система. Единственият етап, при който не се изисква човешка намеса, е самото провеждане на симулациите, тъй като повечето симуляционни софтуерни пакети работят ефективно. От такава гледна точка, добрият и мощен симуляционен софтуер сам по себе си няма да осигури успех; решаващ е човешкият фактор.

Приложенията на симулацията основно са в областите на управление, отбрана, компютърни и комуникационни системи, транспорт и транспортни системи, екология и околна среда, икономика и бизнес анализ, анализ и оценка на риска и др.

Разработка на симуляционен модел

Симуляционните модели се състоят например от следните компоненти: системни единици, входни променливи, функции за изпълнение, функционални съотношения и взаимовръзки. Почти всички симуляционни софтуерни пакети осигуряват средства за моделиране на всеки от тези компоненти. Моделирането е най-важната част от симуляционното изследване. На практика симуляционното изследване е толкова добро, колкото и самият симуляционен модел.

Стъпките, свързани с разработването на симуляционен модел, проектиране на симуляционен експеримент и извършване на симуляционен анализ могат да бъдат например следните:

- Стъпка 1. Идентифициране на проблема.
- Стъпка 2. Детайлно формулиране на проблема.
- Стъпка 3. Събиране и обработка на данни от реалната система.
- Стъпка 4. Дефиниране и разработка на модел.
- Стъпка 5. Валидиране на модела.
- Стъпка 6. Документиране на модела (за бъдеща употреба).
- Стъпка 7. Избор на подходящ експериментален дизайн.
- Стъпка 8. Избор на експериментални условия и входни данни.
- Стъпка 9. Извършване на симуляционния експеримент.
- Стъпка 10. Интерпретиране, представяне и анализ на резултатите.
- Стъпка 11. Изводи и препоръки за по-нататъшни действия.

Това е общо представяне и подреждане на отделните стъпки в симулационното изследване - на практика не всички стъпки могат да бъдат възможни и/или необходими, както и може да са необходими допълнителни или повтарящи се стъпки [5].

Проектиране на симулационен експеримент

Симулационен експеримент е тест или серия от тестове, в които се правят планирани съществени промени във входните променливи на симулационния модел, така че да можем да наблюдаваме и идентифицираме причините за промените в изходните резултати. Броят на експериментите в симулационното проучване трябва да е по-голям от броя на въпросите, които се очаква да бъдат решени чрез разработения модел.

Анализ на резултатите от симулационния експеримент

Повечето софтуерни симулационни пакети предоставят статистически данни за наблюдаваните променливи (например минимална стойност, максимална стойност, средна стойност, стандартно отклонение (девиация)). Важно е да се разбере, че тези променливи са случайни величини и целта на анализа е да се оцени например тяхната истинска средна стойност и да се определят границите на изменение.

Независимо от факта, че при симулацията няма грешки при събирането на данни (статистика), основният модел е напълно известен, а повторенията и конфигурациите се контролират от потребителя, резултатите от симулацията са трудни за интерпретиране. Едно наблюдение може да се дължи на съществени характеристики на системата или просто на отделна пренебрежима случайност. Обикновено чрез статистически извод може да се оцени значимостта на дадено наблюдавано явление, но при повечето статистически техники за извеждане се приема, че данните са независими и идентично разпределени; това предположение не винаги е изпълнено, поради факта, че повечето типове симулационни данни са автокорелирани.

Необходимост от симулационно моделиране и особености

Примери за необходимост от симулационно моделиране:

- Когато е невъзможно или е изключително скъпо да се наблюдават определени процеси в реалния свят, зависещи от множество случайни променливи.
- Проблеми, за решаването на които може да бъде формулиран математически модел, но аналитичните решения са или невъзможни или твърде сложни (например изследване на сложни системи).
- В случай, когато не е възможно или изключително скъпо да се валидира дефинираният математически модел, описващ дадена система (например поради недостатъчно данни).

Избор на симулационен софтуер

Симулационният модел може да бъде създаден с помощта на езици за програмиране с общо предназначение, но повечето симулационни изследвания се извършват чрез специализирани симулационни пакети.

Предимствата на такива пакети са намалените изисквания за програмиране, опростена поддръжка на симулационното моделиране, практически концептуални насоки и указания, автоматизирано събиране на статистически данни, графичен интерфейс за комуникация с

потребителя, форми за анимация, гъвкавост по отношение на промени в разработвания модел. Има множество симулационни продукти, много от които с високи ценови нива.

Поради това естествено възниква въпросът как да се избере най-подходящият симулационен софтуер за дадено приложение. Показателите за оценка включват предимства и особености като например гъвкавост при моделиране, лекота на използване, структура на инструментите за моделиране (наличие на йерархичност, обектна ориентираност или вложеност при програмирането), възможност за повторно използване на код, наличие на графичен потребителски интерфейс, наличие на анимация, наличие на динамични графики, хардуерни и софтуерни изисквания, статистически възможности, изходни отчети и графични резултати, наличие на документация.

Средствата за създаване на симулационни модели са симулационни езици и приложно ориентирани симулатори [5].

Симулационните езици предлагат по-голяма гъвкавост, отколкото приложните симулатори. От друга страна, езиците изискват различни експертни умения за програмиране. Приложно ориентираните симулатори са по-лесни за изучаване и имат модели на реализация тясно свързани с приложението. Повечето симулационни пакети включват анимация, което е предимство в процеса на комуникация и може да се използва за отстраняване на грешки в симулационната програма. Анимацията с "правилен поглед" обаче не е гаранция за валиден модел, а по-важното е, че анимацията не е заместител на изходния анализ и интерпретация на резултатите.

Предимства на симулационното моделиране и съпътстващия анализ

От практическа гледна точка, симулационното моделиране и съпътстващия анализ е една от най-често използваните техники от областта на изследване на операциите. Когато се използва целесъобразно, симулационното моделиране и анализ позволява:

- Получаване на по-добро разбиране за функционирането на дадена система чрез разработване на подходящ математически модел и наблюдение на работата на системата в детайли за достатъчно дълги периоди от време.
- Тестване на хипотези за функционална осъществимост на системата.
- Възможности за "компресиране" на времето при наблюдение на определени явления изискващи дълги времеви периоди (редки събития) или за "разширение" на времето при необходимост от наблюдение на сложно явление в детайли.
- Проучване на ефекти от някои информационни, организационни, екологични или политически промени върху работата на дадена системата, чрез промяна на модела на системата; това може да стане без да се засяга реалната система.
- Експериментиране с нови или непознати ситуации, за които има само слаба информация.
- Идентифициране на чувствителни променливи и взаимоотношенията между тях.
- Идентифициране на възможни проблеми в поток от обекти или информация.
- Използване на няколко показателя за ефективност при анализиране на системна конфигурация.
- Използване на системен подход при решаване на проблеми.
- Разработване на добре проектирани и надеждни системи и намаляване на времето за развитие на системата.

Възможни проблеми при симулационното моделиране

Симулационното моделиране, от друга страна, може да отнема много време и да представлява сложен процес. Причини за това може да бъдат:

- Не напълно ясна цел.
- Използване на симулация, когато съществува подходящо аналитично решение.
- Невалидиран модел.
- Симулационният модел е твърде усложнен или твърде опростен.
- Погрешни предположения и приемания.
- Наличие на недокументирани допускания. Това е изключително важно и е задължително предположенията, направени на всеки етап от симулационното моделиране и анализ да бъдат подробно документирани.
- Използване на неправилно или неподходящо разпределение на използваните вероятности.
- Некоректна замяна на разпределение (стохастично) на случайна величина със средна (детерминирана) стойност.
- Използване на погрешни граници или мащаб на стойностите.
- Логически грешки в симулационната програма.
- Използване на стандартни статистически формули, които предполагат независимост при анализа на изходните резултати от симулирането
- Наличие на начално отклонение в изходните резултати.
- Проиграване само на една симулация за дадена конфигурация.
- Неправилно съставен график и планиране на времето.
- Недобра комуникация между участниците в симулационното изследване.

5. НЯКОИ ТИПИЧНИ УПОТРЕБИ НА МЕТОДА МОНТЕ КАРЛО [6]:

Методът Монте Карло продължава да бъде един от най-полезните подходи за научни изследвания поради своята простота и обща приложимост. Следващото поколение техники на метода ще предостави важни инструменти за решаване на все по-сложни задачи за оценка и оптимизация в инженерството, финансите, статистиката, математиката, компютърните науки, физическите и биологичните науки.

Вземане на извадки.

Целта е да се събере информация за обект със случайно поведение, като се наблюдават множество от неговите реализации. Пример за това е симулационното моделиране, където случайният процес имитира поведението на някаква реална система, като производствена линия или телекомуникационна мрежа.

Извършване на оценка.

Извършва се оценяване на определени числени величини, свързани със симулационен модел. Пример в естествената среда на метода Монте Карло е оценката на очакваната пропускателна способност в производствена линия.

Извършване на оптимизация.

Методът Монте Карло е мощен инструмент за оптимизиране на сложни обективни функции. В много приложения тези функции са детерминирани и изкуствено се въвежда елемент на случайност, за да се търси по-ефективно домейнът на целевата функция.

Типични особености на аналитичното моделиране и на симулационното моделиране (метод Монте Карло) са дадени в сравнителен план в табл. 1 [7].

**ОСОБЕНОСТИ НА МОДЕЛИРАНЕТО И СИМУЛАЦИЯТА НА РИСКА ПРИ
КОМУНИКАЦИОННИ И ОСИГУРИТЕЛНИ СИСТЕМИ**

ВАСИЛ КЪДРЕВ, РОСЕН ПАСАРЕЛСКИ

Таблица 1. Особености на аналитичното и на симулационното моделиране (метод Монте Карло).

	Аналитично моделиране	Симулационно моделиране (метод Монте Карло)
Предимства	<ul style="list-style-type: none"> • Дава точни резултати (предвид детерминиранията постановка и предположенията на модела). • След като моделът бъде разработен, резултатите обикновено се получават бързо. • Не е необходимо непременно да се прилага на компютър 	<ul style="list-style-type: none"> • Много гъвкаво. На практика няма ограничения за анализа. Емпиричните разпределения могат да се обработват и прилагат. • Като цяло може лесно да се разширява и развива, съгласно изискванията. • Лесно се разбира физическия смисъл.
Недостатъци	<ul style="list-style-type: none"> • Обикновено изискват рестриктивни предположения и обосновки, за да може проблемът да се поддава на анализ. • Като следствие е по-малко гъвкав от симулационното моделиране. По-специално, обхватът за разширяване при разработване на модел може да бъде ограничен. • Моделът може да бъде разбран предимно от математици. Това може да доведе до проблеми, ако получените резултати са в конфликт с предварително замислени идеи на дизайнери или мениджмънт. 	<ul style="list-style-type: none"> • Обикновено изисква компютър и подходящ софтуер. • Симулацията може да отнема много повече време в сравнение с аналитичните модели. • Решенията не са точни, но зависят от броя на повторените проби, използвани за получаването на изходните статистики. Това означава, че всички резултати са приблизителни, с някаква степен на доверителност.

6. ПРИМЕРНИ ОСОБЕНОСТИ НА МОДЕЛИРАНЕТО И СИМУЛАЦИЯТА НА РИСКА ПРИ ОСИГУРИТЕЛНИ СИСТЕМИ

Показани са резултати от извършени изследвания, използващи аналитични модели, както и симулационно моделиране на риска при осигурителни системи, с използване на различни конкретни постановки и начални условия. На базата на тези резултати се виждат особеностите (предимствата и недостатъците), както и възможностите и перспективите на аналитичното и симулационно моделиране.

В [8] е дадена примерна графика как влияят параметрите при формирането на индивидуалния риск (ИР). Показани са възможните начини за прилагане на теорията на вероятностите при определяне на влияещите параметри за формирането на стойността на опасността.

В [9] е направен анализ на риска за участниците в движението при преминаване през жп прелез, предложен е алгоритъм и е направен анализ на риска на автоматично прелезно устройство (АПУ).

В [10] е показан модел на ОС и е определен риска с отчитане на грешките на оператора, като са направени изводи, свързани с работоспособно състояние (системата не допуска неадекватна намеса на човека) и общият риск зависи от вероятностите за опасни откази и със защитно състояние при което индивидуалният риск зависи от човешките грешки. С нарастването на вероятността за грешка на оператора расте и ИР, като влиянието е пропорционално на вероятността за защитен отказ.

В [11] е показано управление на риска въз основа на изследване на показателите на опасността, породена от системата „човек-машина” (СЧМ).

1. Разработен е итеративен алгоритъм за управление на риска, чрез който на базата на конкретни данни и последователни проверки, се извършва коригиране на параметри въз основа на тяхната съпоставка между съществуваща и нововъвеждаща се система.

2. Въз основа на описание на показателите на опасността (проследени с помощта на специално разработения за целта алгоритъм), е определен ИР, породен от СЧМ. Използван е математически модел за оценка на безопасността на ОС на база на максимално допустимия ИР при зададените условия.

3. Показана е връзка между показателите на безопасността (техническа и на оператора) и показателите на риска на техническа система, въз основа на изведени съотношения.

В [12] е изследвано влиянието на отказите върху ИР при F-K структури и е показано, че с увеличаване на λ_F , λ_K и вероятността за инцидент, коефициентът на опасна работа расте, което води до увеличаване на риска. Вероятността за защитен отказ при увеличаването си води до намаляване на ИР и др.

В [13] е даден подход за моделиране на ОС на базата на допустимия ИР с отчитане на начина на свързване на функционалните единици. В заключение: - В надеждно отношение по-добра е системата от последователно – паралелен тип (сравнена с паралелно – последователната при равен брой функционални единици), тъй като максимално допустимата вероятност за отказ на функционалните единици, от които тя е изградена, е по-голяма. - Постановката е една от актуалните при управление на риска, съобразно с физическия смисъл на модела. Получените резултати дават възможност за опростено изследване на сложни системи като съставени от функционални единици при различни конфигурации (на даден жп участък и др.).

В [14] е направен анализ на ИР за участниците в жп транспортен процес. В общия случай рискът се определя на базата на броя реализирани опасности. Този статистически подход се реализира лесно, но не отразява влиянието на качествата на системата, формираща рисковия фактор.

В [15] е даден подход за разработка на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на ОС в примерен участък; аналогично може да се определи и финансовия риск, както и да се разпредели по места (гари, междугария, прелези).

Предвид на особеностите на разглежданите ОС и характеристиките на търсените вероятностни параметри, за съставяне на симулационен модел е удачно да се използва системата за симулиране на дискретни системи GPSS.

В [16] е предложен симулационен модел за изследване на ИР за ползвателите на пътища на прелеза, оборудван с устройство за автоматично преминаване. Използваният подход и компютърните програми могат да бъдат приложени за разработване на подходящи симулационни модели и изследване на ИР за хората, изложени на въздействието на съответните системи.

В [17] е направено описание на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на ОС на прелез и е разработена блокова схема, като са идентифицирани опасности, свързани с ОС внедрени в прелеза, както и ролята на човешкия фактор. Разгледани са опасни и защитни откази и човешки грешки при функционирането на ОС. Чрез симулационния модел и блоковата схема може да се дефинират условията на функциониране и събиране на статистика, с оглед получаването на зависимости на ИР и други параметри.

В [18] са дадени условията за функциониране на симулационен модел за оценка на риска на прелез, като се отчита влиянието на ОС, а в модела са предвидени: влакове, шосейни превозни средства (ШПС), пешеходци, АПУ на прелеза, опасности, реализирани

опасности (инциденти), последствия от инцидентите. Прелезът е снабден с бариера (полубариера в основния случай, както и с цяла бариера, като вариант), като се отчитат съществуващите връзки на предпрелезен светофор с бариера, както и съществуващите на прелеза ограничено множество опасности, също така и възможно неправилно преминаване (заобикаляне на полубариерата) на прелеза от ШПС и пешеходци. Отчетено е наличието на опасни откази и на комбинация от защитни откази и човешки грешки при функционирането на ОС. Приложението на получената оценка е свързано с изпълнение на изискванията посочени в европейските норми.

В [19] е изследвано влиянието на времето за преминаване през прелез върху ИР, произтичащ от ОС на прелез. Получени са експериментални резултати, на годишна база, за зависимостите на ИР от времето на преминаване на ШПС или влак през прелез.

В [20] е изследвано влиянието на параметри на преминаващите през прелез ШПС върху ИР. Резултатите дават възможност за идентифициране на влияещите параметри и уточняване на степента на тяхното влияние върху ИР в променящи се условия за конкретен прелез. Определящо за качеството на симулационните изследвания е връзката между практиката и допусканията в моделите.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На база на разгледаните примери се илюстрират реално получени резултати, свързани с принципите и особеностите на аналитичното и симулационно моделиране в областта на изследването на риска в ОС, съгласно извадково направения обзорен преглед.

ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ (REFERENCES):

- [1] ХРИСТОВ, Христо. *Основи на осигурителната техника: [Учебник за Техн. унив. - София и ВВБТУ Т. Каблешков - София]*. София: Техника, 1990.; Hristov H. *Osnovi na osiguritelnata tehnika*, Tehnika, S., 1990
- [2] *BS EN 50126-1:2017. Railway Applications – The specification and demonstration of dependability – reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)* [online]. The British Standards Institution, 2017 [viewed 01 June 2021]. ISBN 978-0-580-91692-2. Available from: http://www.gosite.ca/engineering_public/RAMS/BSI%20Standard_Railway%20Acpplications%20-%20The%20Specification%20and%20Demonstration%20of%20RAMS.pdf
- [3] СИМЕОНОВА, Цветелина. Методи за анализ на риска и възможности за приложение в оценката на безопасността на осигурителните системи. В: *Взаимодействието теория-практика: ключови проблеми и решения: Международна конференция, 24-25 юни 2011*. Т. 3. Ред. кол. Петко ЧОБАНОВ и др. Бургас: Бургаски свободен университет, 2011, с. 163-172. ISBN 978-954-9370-80-5.; Simeonova Ts. *Metodi za analiz na riska i vazmozhnosti za prilozhenie v otsenkata na bezопасnostta na osiguritelnite sistemi*. V sb. na mezhdunarodna nauchna konferentsia na BSU, tom 3, str. 163-172, ISBN 978-954-9370-80-5, Burgas, 2011
- [4] *A Dynamic Simulation Approach to Reliability Modeling and Risk Assessment Using GoldSim. White Paper* [online]. GoldSim Technology Group LLC, 2017 [viewed 01 June 2021] Available from: https://media.goldsim.com/Documents/WhitePapers/GoldSim_Reliability_and_PRA.pdf
- [5] MARIA, Anu. Introduction to modeling and simulation [online]. In: *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*. S. ANDRADÓTTIR, K. J. HEALY, D. H. WITHERS, and B. L. NELSON, eds. Binghamton: State University of New York at Binghamton, Department of Systems Science and Industrial Engineering, 1998, pp. 7-13 [viewed 01 June 2021] ISBN 0-7803-4278-X. Available from: <http://acqnotes.com/Attachments/White%20Paper%20Introduction%20to%20Modeling%20and%20Simulation%20by%20Anu%20Maria.pdf>
- [6] KROESE, Dirk P., Tim BRERETON, Thomas TAIMRE and Zdravko I. BOTEV. Why the Monte Carlo Method is so important today. *WIRES computational statistics* [online]. 2014, vol. 6(6), pp. 379-475 [viewed 01 June 2021]. Wiley Online Library. ISSN 1939-0068. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wics.1314>
- [7] ADEKITAN, A. I. *A term paper on Monte Carlo analysis / simulation* [online]. Covenant University Ota Ogun State, Nigeria, University of Ibadan, 2014 [viewed 01 June 2021]. ResearchGate. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/326803384>
- [8] СИМЕОНОВА, Цветелина и Емил ИВАНОВ. Един подход за моделиране на риска с отчитане разпределенията на опасностите. В: *Взаимодействието теория-практика: ключови проблеми и решения: Международна конференция, 24-25 юни 2011*. Т. 3. Ред. кол. Петко ЧОБАНОВ и др. Бургас: Бургаски свободен университет, 2011, с. 172-180. ISBN 978-954-9370-80-5.; Simeonova Ts., E. Ivanov *Edin podhod za*

modelirane na riska s otchitane razpredeleniyata na opasnostite. V sb. na mezhdunarodna nauchna konferentsia na BSU, tom 3, str. 172-180, ISBN 978-954-9370-80-5, Burgas, 2011

[9] ИВАНОВ, Емил, Цветелина СИМЕОНОВА и Калоян ИВАНОВ. Анализ на риска за участниците в движението при преминаване през ж.п. прелез. *Механика, транспорт, комуникации*. 2011, (3), с. 64-69. ISSN 1312-3823.; Ivanov E., Ts. Simeonova, K. Ivanov Analiz na riska za uchastnitsite v dvizhenieto pri preminavane prez zh.p. prelez. V sb. na 20-ta mezhdunarodna nauchna konferentsia na VTU „Т. Kableshkov”, „Mehanika, transport, komunikatsii”, ch. 3, str. VIII-64, Sofia, 2011. ISSN 1312-3823

[10] ИВАНОВ, Емил и Цветелина СИМЕОНОВА. Определяне на риска с отчитане грешките на оператора в рисковите системи. В: *Взаимодействието теория-практика: ключови проблеми и решения: Международна конференция, 24-25 юни 2011*. Т. 3. Ред. кол. Петко ЧОБАНОВ и др. Бургас: Бургаски свободен университет, 2011, с. 54-61. ISBN 978-954-9370-80-5.; Ivanov E., Ts. Simeonova Opredelyane na riska s otchitane greshkite na operatora v riskovi sistemi. V sb. na mezhdunarodna nauchna konferentsia na BSU, tom 3, str. 54-61, ISBN 978-954-9370-80-5, Burgas, 2011

[11] СИМЕОНОВА, Цветелина. Управление на риска въз основа на изследване на показателите на опасността, породена от системата „човек-машина”. *Механика, транспорт, комуникации*. 2012, год. 10(3), с. 22-27. ISSN 1312-3823.; Simeonova Ts. Upravlenie na riska vaz osnova na izsledvane na pokazatelите na opasnostta, porodena ot sistemata „chovek-mashina”. Nauchen seminar „Komunikatsii, elektroenergetika i informatika v transporta – KEIT 2012”, VTU „Todor Kableshkov”, 08-09.06.2012. „Mehanika, transport, komunikatsii”, ISSN 1312-3823, tom 10, broy 3/3, str. BG-7.21, Sofia, 2012

[12] ИВАНОВ, Емил и Цветелина СИМЕОНОВА. Изследване влиянието на отказите върху индивидуалния риск при F-K структури. *Механика, транспорт, комуникации*. 2011, (3), с. 32-38. ISSN 1312-3823.; Ivanov E., Ts. Simeonova Izsledvane vliyanieto na otkazite varhu individualnia risk pri F-K strukturi. V sb. na 20-ta mezhdunarodna nauchna konferentsia na VTU „Т. Kableshkov”, „Mehanika, transport, komunikatsii”, ch. 3, str. VIII-32, Sofia, 2011. ISSN 1312-3823

[13] СИМЕОНОВА, Цветелина. Подход за моделиране на осигурителни системи на базата на допустимия индивидуален риск с отчитане на начина на свързване на функционалните единици. *IX национална младежка научно-практическа сесия, 02-03.05.2011*. София: ФНТС, 2011, с. 148-153. ISSN 1314-0698.; Simeonova Ts. Podhod za modelirane na osiguritelni sistemi na bazata na dopustimia individualen risk s otchitane na nachina na svarzvanе na funktsionalnite edinitsi. V sb. na „IX natsionalna mladezhka nauchno-prakticheska sesia 2011”, 02-03.05.2011, FNTS, ISSN 1314-0698, str. 148-153, Sofia, 2011

[14] ИВАНОВ, Емил и Цветелина СИМЕОНОВА. Анализ на индивидуалния риск за участниците в жп превозния процес. *XIX Международна научно-техническа конференция по транспортна, пътно-строителна, селскостопанска, подемно-транспортна и военна техника и технологии „TRANS&MOTAUTO`11”*: Доклади [онлайн]. 2011, (3), с. 110-112 [прегледан 01.06.2021]. ISSN 1310-3946.

Достъпен на: <http://trans-motauto.com/sbornik/2011/3/34.INDIVIDUAL%20RISK%20ANALYSIS%20FOR%20PARTICIPANTS%20IN%20RAILWAY%20TRANSPORT%20PROCESSES.pdf>; Ivanov E., Ts. Simeonova Analiz na individualnia risk za uchastnitsite v zhп превозния protses. V sb. na mezhdunarodna nauchna konferentsia „TRANS&MOTAUTO`11”, ISSN 1310-3946, str. 102-104, Varna, 2011. <http://mech-ing.com/journal/bg/index.html>

[15] СИМЕОНОВА, Цветелина. Подход за разработка на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи в примерен участък. *IX национална младежка научно-практическа сесия, 02-03.05.2011*. София: ФНТС, 2011, с. 1-6. ISSN 1314-0698.; Simeonova Ts. Podhod za razrabotka na simulatsionen model za otsenka na riska, otchitasht vliyanieto na osiguritelnite sistemi v primeren uchastak. V sb. na „IX natsionalna mladezhka nauchno-prakticheska sesia 2011”, 02-03.05.2011, FNTS, ISSN 1314-0698, str. 1-6, Sofia, 2011

[16] СИМЕОНОВА, Tsvetelina and Emil IVANOV. Simulation model of risk for participants in the movement through level crossing. *Information Technologies and Control*. 2012, (4), pp. 9-16. ISSN 1312-2622.

[17] СИМЕОНОВА, Цветелина, Емил ИВАНОВ и Васил КЪДРЕВ. Разработка на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи на прелез. *Механика, транспорт, комуникации*. 2012, (2), с. 1-8. ISSN 1312-3823.; Simeonova Ts., Ivanov E., Kadrev V. Razrabotka na simulatsionen model za otsenka na riska, otchitasht vliyanieto na osiguritelnite sistemi na prelez. Sp. „Mehanika, transport, komunikatsii”, ISSN 1312-3823, Sofia, broy 2, statia № 0756, 2012

[18] СИМЕОНОВА, Цветелина. Условия на функциониране на симулационен модел за оценка на риска, отчитащ влиянието на осигурителните системи на прелез. *Механика, транспорт, комуникации*. 2012, (2), с.

**ОСОБЕНОСТИ НА МОДЕЛИРАНЕТО И СИМУЛАЦИЯТА НА РИСКА ПРИ
КОМУНИКАЦИОННИ И ОСИГУРИТЕЛНИ СИСТЕМИ**

ВАСИЛ КЪДРЕВ, РОСЕН ПАСАРЕЛСКИ

9-14. ISSN 1312-3823. ; Simeonova Ts. Uslovia na funkcionirane na simulatsionen model za otsenka na riska, otchitasht vliyanieto na osiguritelnite sistemi na prelez. Sp. „Mehanika, transport, komunikatsii”, ISSN 1312-3823, Sofia, broy 2, statia № 0757, 2012

[19] СИМЕОНОВА, Цветелина. Изследване на влиянието на времето за преминаване през прелез върху индивидуалния риск, произтичащ от осигурителните системи на прелез. *Механика, транспорт, комуникации*. 2016, год. 14(3/2), с. 75-80. ISSN 1312-3823.; Simeonova Ts. Izsledvane na vliyanieto na vremeto za preminavane prez prelez varhu individualnia risk, proiztichasht ot osiguritelnite sistemi na prelez. Sp. „Mehanika, transport, komunikatsii”, ISSN 1312-3823, Sofia, broy 3/2, statia № 1403, 2016

[20] СИМЕОНОВА, Цветелина. Изследване на влиянието на параметри на преминаващите през прелез шосейни превозни средства върху индивидуалния риск. *Механика, транспорт, комуникации*. 2016, год. 14(3/2), с. 81-86. ISSN 1312-3823.; Simeonova Ts. Izsledvane na vliyanieto na parametri na preminavashtite prez prelez shoseyni prevozni sredstva varhu individualnia risk. Sp. „Mehanika, transport, komunikatsii”, ISSN 1312-3823, Sofia, broy 3/2, statia № 1404, 2016

Информация за авторите:

Доц. д-р инж. Васил Къдрев, Департамент ”Телекомуникации”, НБУ, ул. Монтевидео № 21, 2-609, Тел.: 02 8110609, e-mail: vkadrev@nbu.bg

Доц. д-р инж. Росен Пасарелски, Департамент ”Телекомуникации”, НБУ, ул. Монтевидео № 21, 2-609, Тел.: 02 8110609, e-mail: rpasareski@nbu.bg

Contacts:

Associate Prof. Vasil Kadrev, PhD, 2-609, Department Telecommunications, New Bulgarian University, 21 Montevideo St. Tel.: (359) 2 8110609, e-mail: vkadrev@nbu.bg

Associate Prof. Rosen Pasarelski, PhD, 2-609, Department Telecommunications, New Bulgarian University, 21 Montevideo St. Tel.: (359) 2 8110609, e-mail: rpasareski@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 30.08.2020

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 27.09.2020