

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ РИСКОВИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ ПРИ РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ВЪЗ ОСНОВА НА МЕТОДА ДЪРВО НА ОТКАЗИТЕ (FAULT TREE)

Цветелина Симеонова

ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT OF RISK TECHNICAL SYSTEMS TO DEVELOP OF METHODOLOGY FOR TEACHING STUDENTS USING THE METHOD FAULT TREE

Tsvetelina Simeonova

Резюме: Цел на настоящата работа е да се разработи методика за провеждане на упражнения по анализ, оценка и управление на риска чрез уеб базиран инструмент, като се определи и анализира рискът за възникване на опасно събитие чрез метода дърво на отказите.

Като резултат е показана разработка съгласно предложена методика, приложима в обучението на студенти по анализ, оценка и управление на риска, като съгласно направени приемания са показани подходи за качествено и количествено определяне на риска при приета стойност на вредите.

Като принос е разработена и предложена методика за анализ и оценка на риска, приложима за обучение на студенти по анализ и управление на риска.

Ключови думи: дърво на отказите, риск, анализ на риска, оценка на риска, методика за обучение.

Abstract: The aim of the present work is to develop a methodology for conducting exercises for analysis, assessment and management of risk, using a web based tool by identifying and analyzing the risk of occurrence of a dangerous event through the fault tree method.

As a result, a framework is presented according to the proposed methodology applicable to the students' training in risk analysis, evaluation and management, and according to accepted assumptions. Approaches for qualitative and quantitative risk assessment are presented at the assumed value of the damages.

In addition, a methodology for risk analysis, assessment and management applicable to student training on risk analysis and management has been developed and proposed.

Keywords: Fault Tree, risk, risk analysis, risk assessment, methodology for training.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Дървото на отказите (FT - Fault Tree) е качествен и количествен метод [1, 2, 3, 4, 5], при който се задава нежеланото събитие и се търсят причините¹, които могат да го породят. От вероятността за поява на тези причини се определя общата вероятност за поява на нежелано събитие. Дървото на отказите съдържа множество от логически елементи и събития (свързани чрез тези логически елементи) [1, 2, 3, 4, 5].

Анализът чрез метода дърво на отказите е дедуктивен анализ на отказ "отгоре-надолу", при който се анализира нежелано състояние на системата. Този метод на анализ се използва главно в областта на инженерната безопасност и инженеринга на надеждността, за да се разбере как системите могат да откажат, както и да се идентифицират най-добрите начини за намаляване на риска или за определяне на влиянието на дадено събитие.

¹ Причините са събития, а събитията може да са причини.

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ РИСКОВИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ ПРИ
РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ВЪЗ ОСНОВА НА
МЕТОДА ДЪРВО НА ОТКАЗИТЕ (FAULT TREE)**

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА

Методът дърво на отказите се използва в космическите и аеро технологии, жп транспорта, енергетиката, фармацевтична, нефтохимическа и други отрасли, включващи рискови технически системи. Също така, с цел отстраняване на грешки може да се използва и в софтуерното инженерство.

Дървото на отказите е графично представяне на събитията в дървовидна структура. Методът е широко разпространен и се основава на Булевата алгебра и вероятностната логика.

Събитие в дървото на отказите може да бъде: отказ на елемент, човешки грешки, дестабилизиращ фактор и т.н. Събитията се разделят на два типа: входни (input events) и изходни (output events).

За построяване на дървото на отказите се задава нежеланото изходно събитие (върхов отказ - "top event") и се търсят причините, които могат да го породят. Причините за поява на нежеланото събитие на изхода се представят графично в логическа дървовидна йерархична структура (отгоре-надолу), в която събитията се моделират посредством символи, а логически елементи отразяват отношението между тях.

Когато дървото съдържа само стандартни логически символи за връзка, то се нарича **статично дърво** и добре познатите логически преобразования могат да се използват за изчисляване на общата вероятност за отказ.

Логическият анализ се използва за построяване на дървовидна структура и намиране на комбинация от събития (откази на елементи), които водят до отказ на системата. Логическата връзка между елементите се представя във вид на логическа схема, по която се търси вероятността за поява на опасен отказ или друг показател на надеждността (например интензивност). Дървото на отказите позволява както качествен (логически), така и количествен (вероятностен) анализ.

Последователност на анализа по метода дърво на отказите:

1. Определяне на финалното събитие - отказ на разглежданата система (върхово събитие).
2. Задълбочено изучаване на възможното поведение и предполагаемия режим на използване на системата.
3. Анализиране на причините за финалното събитие с цел да се проведе задълбочен анализ на поведението на системата и намиране на логически свързаните събития на най-ниско ниво, довеждащи до финалното събитие.
4. Построяване на "дърво на отказите" за логически свързаните събития на входа. Те трябва да са определени като независими първични откази. За да се получат количествени резултати за финалното събитие е необходимо да бъдат зададени параметрите характеризиращи първичните (иницииращи) събития, при условие, че няма повтарящи се събития.

Основните етапи от този процес са:

- построяване на "дървото на отказите" в подходяща компютърна моделираща програма;
- задаване показателите на надеждност за всяко от въвеждащите се (иницииращите) събития;
- съставяне на списък на събитията, водещи до финално събитие (отказ на системата) и списък на минималните сечения;
- изчисляване на риска.

Особености на метода дърво на отказите [6]: предимства (Дървото на отказите концептуално е прост модел с добре усвоена техника за построяване, приложимо е както за софтуер, така и за хардуер; използва се и за отчитане на човешки грешки. Той се

изгражда от събития и логически елементи между събитията. Събитията в дървото могат да са поддървета, т.е. могат да описват различни нива на системната абстракция. Виждат се ясно причините, които довеждат до отказ на системата. Запомнената информация за дървото на отказите може да се използва по-късно за изследване на други процеси, в т.ч. и за тестване на нови системи) и **недостатъци** (Получаване на големи и комплексни дървета на отказите за по-сложните системи, които са трудни за разбиране, т.е. методът е зависим от способностите на анализиращия да построи дървото. Методът може да бъде неприложим за идентифициране на всички опасни събития на големи системи или на системи с много критични откази; трудно се въвежда информация за времето).

2. ОЦЕНКА НА РИСКА ЧРЕЗ МЕТОДА ДЪРВО НА ОТКАЗИТЕ (FAULT TREE)

Целта на настоящата методика е да се определи и анализира рискът за възникване на опасно събитие чрез метода дърво на отказите (метод за качествен и количествен анализ). Пример за задание в процеса на обучение на студентите може да бъде по зададени схематично дървовидни структури да се определи риска² чрез метода дърво на отказите, като се определи вероятността за поява на финалното събитие $P(t)$ и като се извършат изчисления за определяне на риска, при различни начини на задаване на параметрите и при различни условия, както следва:

1. системата е невъзстановима³ (изградена от невъзстановими елементи), разпределението на входните опасности не е известно; вероятностите за поява са зададени в табл. 1.
2. системата е невъзстановима², разпределението на входните опасности е експоненциално; времевият интервал за изследване и интензивностите на поява са зададени в табл. 2.
3. системата е възстановима² (изградена от възстановими елементи), а разпределението на интензивностите (на отказ и на възстановяване) на входните опасности е експоненциално; времевият интервал за изследване и интензивностите на поява са зададени в табл. 3.

Поставените задачи за изпълнение ще включват изчисления с помощта на софтуерен продукт (условия 1, 2 и 3). Може да бъдат направени следните приемания:

1. Приема се, че всички елементи са с еднакви параметри⁴.
2. Вредата (тежест на очакваната вреда) в измерителни единици (например левове загуба, дни на неработоспособност, левове за възстановяване) е с приета и еднаква стойност за гореописаните случаи.

² Рискът се определя на база на надеждностните параметри на елементите на моделираната система.

³ Фактори от които зависи надеждността на системата [<https://prezi.com/-rh8mj-hgc4y/redundancy/>]:

- Надеждност на градивните елементи;
- Режим на работа на системата – непрекъснат, периодичен, повторно-кратковременен;
- Режим на възстановяване след отказ - възстановима или невъзстановима;
- Структурата на системата от гледна точка на надеждност.

⁴ Събитие е отказ на елемент

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ РИСКОВИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ ПРИ
РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ВЪЗ ОСНОВА НА
МЕТОДА ДЪРВО НА ОТКАЗИТЕ (FAULT TREE)**

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА

Табл. 1. Невъзстановима система.

| № | p (t) Вероятност за реализиране на инициращото събитие (отказ на елемент на техническата система) | Зададено дърво на отказите | |
|---|---|---|------------------|
| | | P(t) Вероятност за реализиране на финалното събитие (отказ на техническата система) | R Риск |
| 1 | 0,01 | | |
| 2 | 0,0001 | | |
| 3 | 0,000001 | | |

Продължителността на разглеждания интервал от време $\epsilon: t = 100 \text{ h}$.

Табл. 2. Невъзстановима система при експоненциално разпределение на входните опасности.

| № | $\lambda (t), 1/h$ Интензивност за реализиране на инициращото събитие (отказ на елемент на техническата система) | Зададено дърво на отказите | |
|---|---|---|------------------|
| | | P(t) Вероятност за реализиране на финалното събитие (отказ на техническата система) | R Риск |
| 1 | 0,01 | | |
| 2 | 0,0001 | | |
| 3 | 0,000001 | | |

Продължителността на разглеждания интервал от време $\epsilon: t = 100 \text{ h}$.

Табл. 3. Възстановима система.

| № | $\lambda (t), 1/h$ Интензивност за реализиране на инициращото събитие (отказ на елемент на техническата система) | Зададено дърво на отказите | |
|---|---|--|------------------|
| | | P (t) Вероятност за реализиране на финалното събитие (отказ на техническата система) | R Риск |
| 1 | 0,01 | | |
| 2 | 0,0001 | | |
| 3 | 0,000001 | | |

Продължителността на разглеждания интервал от време $\epsilon: t = 100 \text{ h}$.

Интензивност на възстановяване $\mu(t) = \text{const} = 1 \text{ 1/h}$

Зададените структури са описание чрез дърво на отказите на примерни технически системи. Те са изградени от елементи, които при изграждането на системата са свързани от гледна точка на надеждност по определен начин, който е отчетен в дървото на отказите. По зададените структури, най-високото събитие в структурата се нарича финално събитие (отказ на обекта като цяло), то се явява следствие от събития (откази на елементи). При изследването и оценката на риска появата на финалното събитие представлява интерес за безопасността, а неговото отсъствие – за надеждността [2]. По принцип когато е построено пълното дърво на отказите, се търсят неговите минимални сечения и те се свързват в еквивалентно дърво на отказите, което не съдържа повтарящи се събития (в нашия случай отказ на елемент). В зададените структури, се приема, че няма повтарящи се събития.

Заданието за всяко от условията 1, 2 и 3 се изпълнява по следния начин.

Техническите системи може да се изградят с различни елементи, като при това еднотипните елементи може да са с различна надеждност (изразена с различни параметри). Таблицы 1, 2 и 3 се отнасят за различни технически системи и в таблиците приемаме, че техните елементи са със съответните параметри.

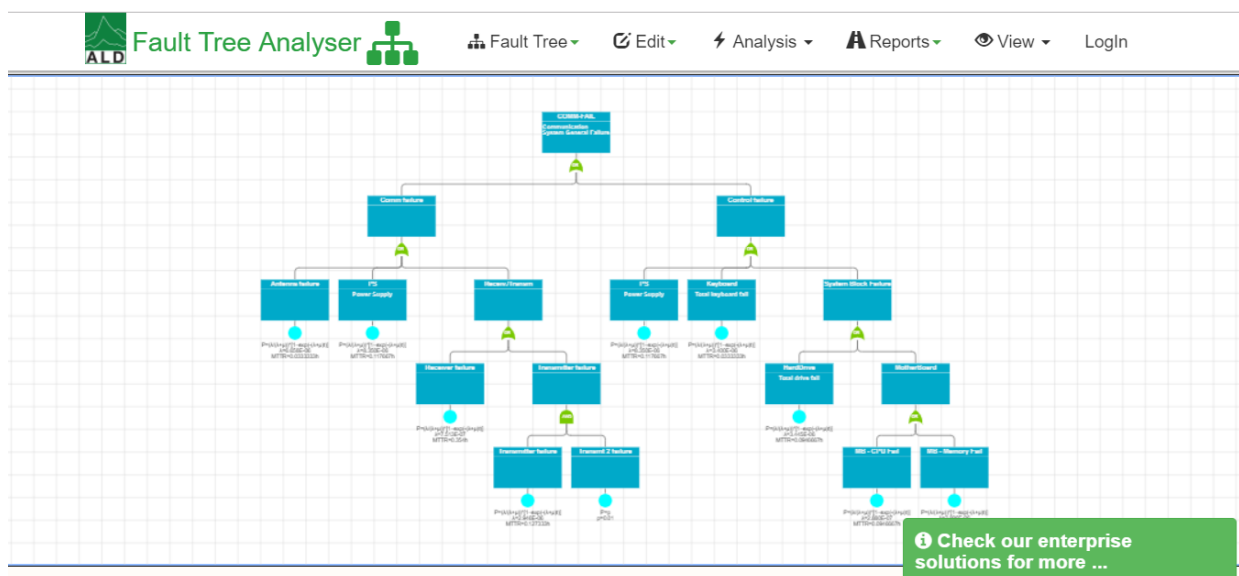
Данните за всяко от събитията (отказ на елемент) се попълват за всяка от задачите при построяването на дървото на отказите, а резултатите от анализа на дървото на отказите се попълват в съответните таблици съгласно методиката. Чрез тези резултати се изчислява риска.

Методиката включва също и следните стъпки.

Софтуерният продукт, който се използва за условия 1, 2 и 3, е **Fault Tree Analyser** (на фирмата ALD Software, web-базиран, free).

1. Зарежда се началният прозорец - фиг. 1. [7]:

<https://www.fault-tree-analysis-software.com/fault-tree-analysis?type=Railway>



Фиг. 1. Начален прозорец на Fault Tree Analyser.

От меню Login се извършва регистрацията на нов потребител, като веднага след регистрацията се преминава в работен режим (пояснен по-долу), при което се стартира сесия, която се идентифицира с параметрите на създадения Login. В рамките на тази сесия, всички означения трябва да бъдат уникални (да няма повторения).

Софтуерният продукт има следните менюта: Fault Tree, Edit, Analysis, Reports и View.

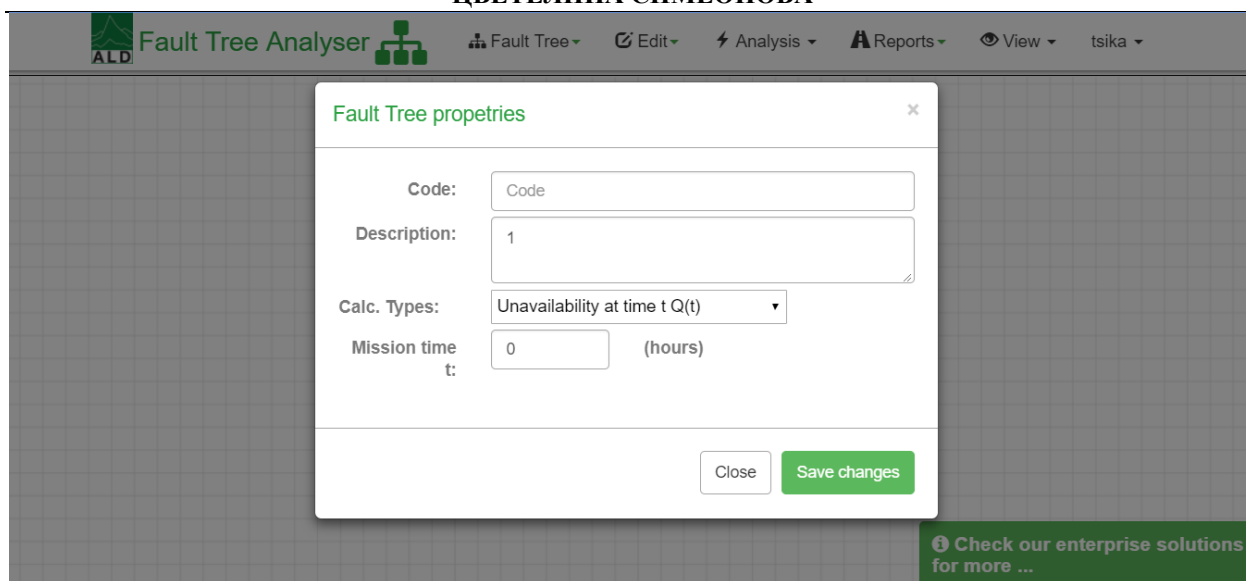
2. Стартира се построяването на ново дърво (Create New) от меню Fault Tree - фиг. 2.

Построяването на ново дърво е "отгоре-надолу".

В диалоговия прозорец се задават идентификационни параметри на създаваното дърво:

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ РИСКОВИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ ПРИ
РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ВЪЗ ОСНОВА НА
МЕТОДА ДЪРВО НА ОТКАЗИТЕ (FAULT TREE)**

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА



Фиг. 2. Построяване на ново дърво.

| | |
|---------------|--|
| Code: | цифра или име, които да не се повтарят (повторенията се отхвърлят) |
| Description: | цифра или име, които да не се повтарят (повторенията се отхвърлят) |
| Calc. Types: | Unavailability at time t Q(t) |
| Mission Time: | съгласно заданието на конкретната задача |

За построяването на дърво на отказите е необходимо да специфицираме логическите елементи и събитията за зададената фигура (въз основа на зададена структура се получава фиг. 5, по-долу).

3. Построяване на дърво на отказите

Построяването на дърво на отказите се извършва чрез следните стъпки:

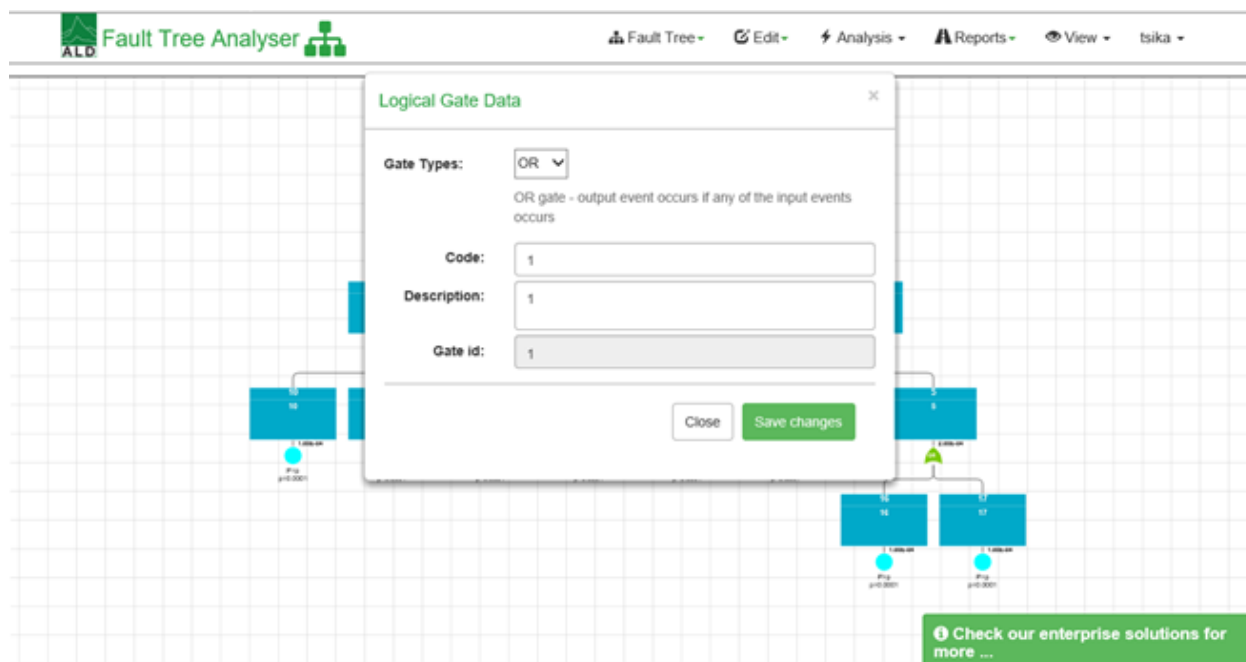
3.1. Специфициране на логически елемент е чрез двойно кликуване върху него, съобразно следващия прозорец - фиг. 3:

В диалоговия прозорец се избира типа на логическия елемент (Gate Type) и се задават неговите идентификационни параметри:

| | |
|--------------|---|
| Gate Type: | OR, AND, K/N |
| Code: | цифра или име, които да не се повтарят (повторенията се отхвърлят) |
| Description: | цифра или име, които да не се повтарят (повторенията се отхвърлят) |
| Gate ID: | неизменяемо и е съгласно зададените идентификационни параметри на създаденото дърво |

Съобразно заданието (вж фиг. 5) имаме: Gate Type = (OR, AND, K/N) и Description = (цифра или име). Gate ID се присвоява автоматично от системата. Code = цифра или име, които да не се повтарят след това.

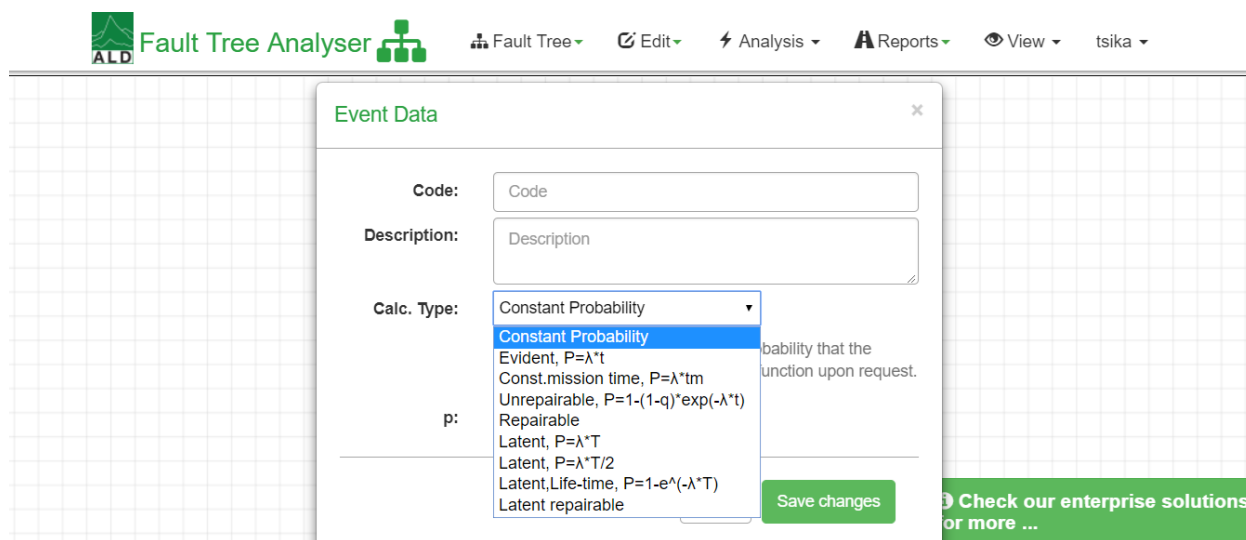
3.2. След това чрез меню Edit (виж фиг. 5) добавяме три логически елемента OR, OR и AND (специфицирани по гореописания начин), като за всеки от тях преди добавянето маркираме финалното събитие. Междинните събития се присвояват автоматично към добавените три логически елемента, като ги обозначаваме в Description.



Фиг. 3. Специфициране на логически елемент.

3.3. След това чрез меню Edit (виж фиг. 5) добавяме 6 инициращи събития (Add New Event), като преди това за всяко от тях сме маркирали съответно всеки един от добавените три логически елемента.

Пояснения за използвания тип на изчисленията (Calc. Types) са на фиг. 4 и в табл. 4.



Фиг. 4. Използван тип на изчисленията.

В диалоговия прозорец се задават идентификационните параметри:

| | |
|---------------------------------------|--|
| Code: | цифра или име, които да не се повтарят (повторенията се отхвърлят) |
| Description: | цифра или име, които да не се повтарят (повторенията се отхвърлят) |
| Calc. Types: | използван тип на изчисленията |
| Параметри според типа на изчисленията | в таблицата, съгласно заданието на конкретната задача |

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ РИСКОВИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ ПРИ
РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ВЪЗ ОСНОВА НА
МЕТОДА ДЪРВО НА ОТКАЗИТЕ (FAULT TREE)**

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА

Таблица 4. Параметри според използвания тип на изчисленията.

| Задача № | Използван тип на изчисленията Calc. Types= | Параметри според използвания тип на изчисленията |
|----------|---|---|
| 4.1 | Constant Probability | p - вероятност за реализиране на разглежданото събитие $p(t)$; взема се от табл. 1, съгласно заданието на конкретната задача: зададени вероятности за възникване на събитието (откази на елементи). |
| 4.2 | Unrepairable | $\lambda(t)$ - интензивност на събитието (отказа на елементите) при прието експоненциално разпределение; взема се от табл. 2, съгласно заданието на конкретната задача: зададени вероятности за възникване на събитието (откази на елементи) при продължителност на разглеждания интервал от време $t = 100$ h. Calculation by equation $P(t) = 1 - (1 - q) \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$, where λ – failure rate (1/hour); t – failure exposure time (hours); FR: (failures/hour) |
| 4.3 | Repairable | $\lambda(t)$ - интензивност на отказите и $\mu(t)$ - интензивност на възстановяване, при прието експоненциално разпределение; взема се от табл. 3, съгласно заданието на конкретната задача: зададени вероятности за възникване на събитието (откази на елементи) при продължителност на разглеждания интервал от време $t = 100$ h. Calculation by equation $P(t) = (\lambda / (\lambda + \mu)) \cdot [1 - \exp(-(\lambda + \mu)t)]$, $P = \lambda / (\lambda + \mu)$, where λ – failure rate (1/hour); μ - repair rate (1/MTTR) per hour Параметри, които се изчисляват са: FR: (failures/hour) и MTTR: (hours) |

3.4. След това чрез меню Edit (виж фиг. 5) добавяме нов логически елемент OR (като преди това маркираме логическия елемент AND, към който той се отнася). Междинното събитие се присвоява автоматично към добавения логически елемент OR, като го обозначаваме в Description със символа: A.

3.5. След това по гореописания начин, чрез меню Edit (виж фиг. 5) добавяме две инцираци събития (Add New Event), като преди това за всяко от тях сме маркирали добавения логически елемент OR.

Заб.: Освен чрез меню Edit, достъп до горните операции има чрез маркиране на компонента и отваряне на съответно меню чрез десен бутон.

С това дървото на отказите е построено - фиг. 5.

Могат да се видят резултатите (като описание и стойност на вероятността) за всички междинни събития и за **финалното събитие**.

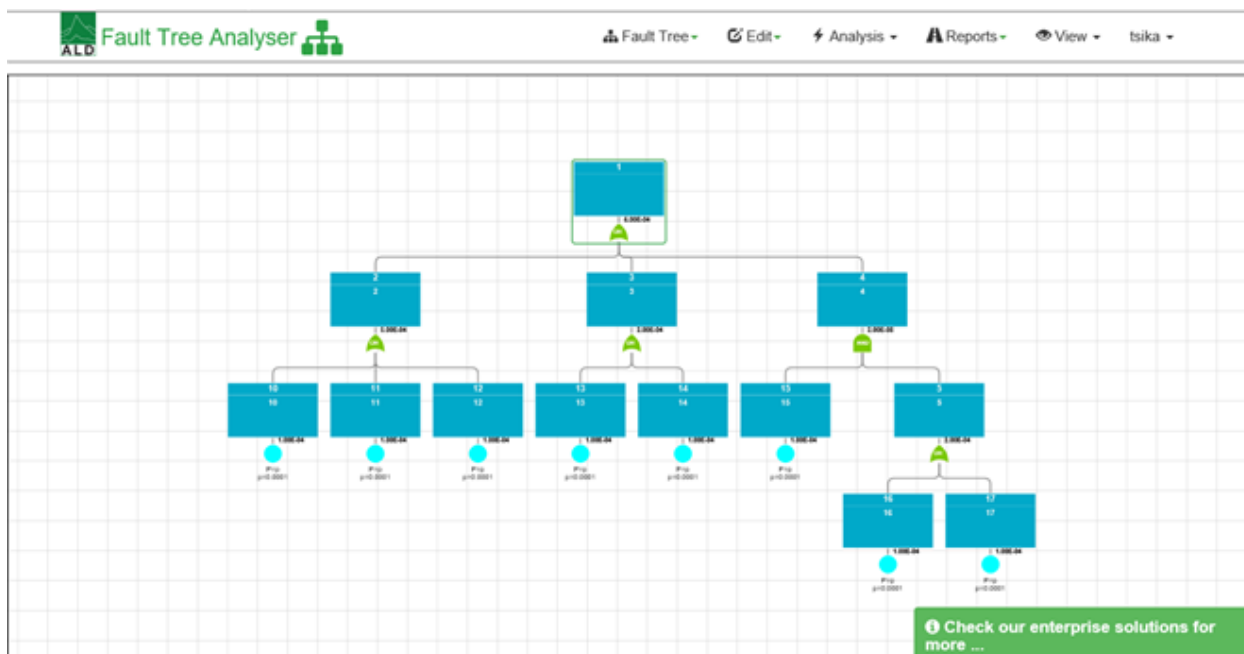
4. Анализ на построеното дърво на отказите

4.1. Въз основа на построеното дърво на отказите (в което сме задали структурата, логическите елементи и параметрите на събитията), от меню **Reports** се избира **Gate Report** (фиг. 6).

4.2. Въз основа на построеното дърво на отказите от меню **Analysis** се избира **Probability Calculation** (MCS - Minimal Cut Set's) - фиг. 7.

Въз основа на получените стойности може да се направят изводи за минималните сечения. Минимални сечения на дървото на отказите [8]: Качествената и количествената оценка се основават на минималните сечения на дървото на отказите. Най-малката подгрупа на всяко сечение, която предизвиква отказ на системата, се нарича минимално сечение. Може да се даде следното определение: *минимално сечение е такава група, която се*

състои от най-малко на брой елементи, чиито едновременен отказ ще предизвика отказ на системата.



Фиг. 5. Построено дърво на отказите (структурата отговаря на зададената в заданието).

| Code | Description | Type | Probability |
|------|-------------|------|-------------|
| 1 | | OR | |
| 2 | 2 | OR | |
| 3 | 3 | OR | |
| 4 | 4 | AND | |
| 5 | 5 | OR | |

Фиг. 6. Структура на Gate Report.

За да се получи количествена оценка за вероятността за отказ (вероятност за безотказна работа) на системата трябва да се комбинират нейните минимални сечения.

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ РИСКОВИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ ПРИ
РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕТОДИКА ЗА ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ВЪЗ ОСНОВА НА
МЕТОДА ДЪРВО НА ОТКАЗИТЕ (FAULT TREE)**

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА

| # | CutSet prob. | Event prob. | Calc parameters | Event Type | Event code | Event Description |
|---|--------------|-------------|-----------------|------------|------------|-------------------|
| 1 | 1.00E-04 | | | | | |
| | | 1.00E-04 | p=0.0001 | Evident | 10 | 10 |
| 2 | 1.00E-04 | | | | | |
| | | 1.00E-04 | p=0.0001 | Evident | 11 | 11 |
| 3 | 1.00E-04 | | | | | |
| | | 1.00E-04 | p=0.0001 | Evident | 12 | 12 |
| 4 | 1.00E-04 | | | | | |
| | | 1.00E-04 | p=0.0001 | Evident | 13 | 13 |

Фиг. 7. Резултати от Minimal Cut Set's.

5. Изчисляване на риска [5]

Изчисляването на риска се предхожда от предварителен анализ, като е необходимо да се определи стойността на вероятностната променлива и възможните последствия. Това е необходимо за да може да се извърши количествена оценка на дефинирания риск, така че да може да бъде приоритизиран за целите на последващо модифициране на системата.

От друга страна за възможните последствия има значение точния момент на реализирането на риска - въз основа на вероятността и последствията може да се построи т.нар. матрица за оценка на степента на риска [6, 9].

Обичайно рискът се дефинира въз основа на оценката на ефективността на технико-икономическите системи и се получава като произведение на вероятността за претърпяване на вреда и тежестта на вредата, отнесено към дадена времева единица [10], т.е. рискът се изчислява посредством степента на риска, която се определя като математическо очакване на вредата от нежеланото събитие, т.е.:

$$R = P.W,$$

където: P – вероятност за поява на събитието (например отказ на техническа система), W – вреда, нежелани последствия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описана е методика за анализ и оценка на риска използваща метода дърво на отказите въз основа на уеб базиран инструмент. Методиката е приложима за обучение на студенти по анализ и управление на риска, включваща задавани структури и примерни изчисления по тях.

В резултат на методиката може да се направят например следните изводи:

- анализ кои от събитията (откази) оказват най-съществено влияние върху стойността на риска по така построената дървовидна структура.
- анализ на възможните варианти за намаляване на риска, в случай, че получената му стойност е неприемлива.
- анализ на резултатите съгласно целевата стойност на риска и варианти за управление на риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN IEC 61025 *Анализ чрез дървото на отказите* (FTA). BDS EN IES 61025 Analiz chrez darvoto na otkazite (FTA).
2. Гиндев Е. *Увод в теорията и практиката на надеждността* - част 1 и 2: АИ "Проф. Марин Дринов". 2000, 2002. Gindev E. *Uvod v teoriyata i praktikata na nadezhdnostta* - chast 1 i 2: AI "Prof. Marin Drinov". 2000, 2002
3. Христов Хр. *Основи на осигурителната техника*. София, изд. Техника, 1990. Hristov Hr. *Osnovi na osiguritelnata tehnika*. Sofiya, izd. Tehnika, 1990
4. Христов Хр., В. Трифонов. *Надеждност и сигурност на комуникациите*. София, Изд. Нови знания, 2005. Hristov Hr., V. Trifonov. *Nadezhdnost i sigurnost na komunikatsiite*. Sofiya, Izd. Novi znaniya, 2005
5. Симеонова Ц. Изследване влиянието на средствата за сигнализация и комуникации върху индивидуалния риск за участниците в транспортния процес. Дисертация за придобиване на ОНС „доктор”, София, Изд. ВТУ „Тодор Каблешков”, 2013. Simeonova TS. *Izsledvane vliyaniето na sredstvata za signalizatsiya i komunikatsii varhu individualniya risk za uchashtnitsite v transportniya protses*. Disertatsiya za pridobivane na ONS „doktor”, Sofiya, Izd. VTU „Todor Kableshkov”, 2013
6. Управление на риска. Уикипедия. [Accessed on: 11 Nov. 2018]. Viewed in: [https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BD%D0%B0_%D1%80%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B0]. Upravlenie na riska. Uikipediya.
7. Софтуерен продукт за изследване на "дърво на отказите" (online) [Accessed on: 12 Dec. 2018]. Viewed in: <https://www.fault-tree-analysis-software.com/fault-tree-analysis?type=Railway> ; Softueren produkt za izsledvane na "darvo na otkazite"
8. Манчев Б. (Рис инженеринг ООД), Б. Маринов (Рис инженеринг ООД), н.с. I ст. Б. Ненкова (ИИ - БАН). Приложение на метода "дърво на отказите" за анализ на системи. [Accessed on: 12 Dec. 2018]. Viewed in: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/007/32007930.pdf; Manchev B. (Ris inzhenering OOD), B. Marinov (Ris inzhenering OOD), n.s. I st. B. Nenкова (II - BAN). Prilozhenie na metoda "darvo na otkazite" za analiz na sistemi.
9. Стойчева Н. Монография. *Управление на безопасността и ролята му в инвестиционния процес на съвременните железопътни осигурителни системи*. Изд. ВТУ „Тодор Каблешков” София, 2013. Stoycheva N. *Monografiya. Upravlenie na bezopasnostta i rolyata mu v investitsionniya protses na savremennite zhelezopatni osiguritelni sistemi*. Izd. VTU „Todor Kableshkov” Sofiya, 2013
10. Юридическият термин „риск“ в националната сигурност на Република България. [Accessed on: 11 Nov. 2018]. Viewed in: <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp15/7/7-24.pdf>; YUridicheskiyat termin „risk“ v natsionalnata sigurnost na Republika Balgariya

Информация за автора:

Ас. д-р инж. Цветелина Богданова Симеонова, София 1574, ул. Гео Милев 158, ВТУ „Т. Каблешков”, Тел.: 02 9709296, e-mail: ts.b.simeonova@abv.bg

Contacts:

Assist. professor Tsvetelina Simeonova PhD, T.Kableshkov University of Transport, 158 Geo Milev St., Sofia, office phone: +359 2 9709296, e-mail: ts.b.simeonova@abv.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 05.01.2019.

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 05.03.2019.