

Българско списание за Инженерно ПРОЕКТИРАНЕ

брой №43, януари 2021г.

ЦЕЛ И ОБХВАТ

„Българско списание за инженерно проектиране” е периодично научно списание с широк научен и научно-приложен профил. Целта му е да предостави академичен форум за обмен на идеи между учените, изследователите, инженерите, потребителите и производителите, работещи в областта на машиностроенето, транспорта, логистиката, енергетиката, технологиите, съвременното компютърно проектиране, а също така и в областта на различни интердисциплинарни научни и научно-приложни проблеми. Издателите приветстват научни публикации с високо качество и значими научни, научно-приложни и творчески приноси.

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

Председател

Б. Григоров, ТУ-София, България

М.Т.Георгиев	ТУ-София, България	К.Деметрашвили	ТУ, Тбилиси, Грузия
Г.Дюкенджиев	ТУ-София, България	С.Симеонов	ТУ, Бърно, Чехия
М.Денчев	ТУ-София, България	В.Николич	Университет в Ниш, Сърбия
И.Малаков	ТУ-София, България	А.Янакиев	Nottingham Trent University, UK
П.П.Петров	ТУ-София, България	Н.Чернев	University of Auvergne, France
В.Панов	ТУ-София, България	B.Lepadatescu	Transilvania University of Brashov, Romania
М.З.Георгиев	ТУ-София, България	N.Zrnic	University of Belgrad, Serbia
Н.Л.Николов	ТУ-София, България	M.Jovanovic	University of Nish, Serbia
М.Георгиев	МГТУ Станкин, Москва, Россия	D.Michalopoulos	University of Patras, Greece
В.Христов	ТУ-София, България	N.Kubota	Tokyo Metropolitan Univer- sity, Japan
Ch.Apostolopoulos	University of Patras, Greece	С.Емельянов	Юго-Западный гос. уни- верситет, Курск, Россия
Л.Червяков	Юго-Западный гос. уни- верситет, Курск, Россия	В.Спасов	ВТУ „Т.Каблешков“, Со- фия, България
О.Лисовиченко	Национален технически университет, Украйна	В.Кирилович	Государственный универ- ситет "Житомирская поли- техника", Украина

Редактор

Р.Митрев, ТУ-София, България

Издател: Машиностроителен факултет, Технически университет-София. ISSN 1313-7530; **Адрес на редакцията:** София, бул.Климент Охридски №8, Технически Университет-София, бл.4, Машиностроителен факултет; **Електронна версия:** bjed.tu-sofia.bg.

Списанието се индексира в Index Copernicus: www.indexcopernicus.com

Всички статии в списанието се рецензират от членове на редакционната колегия и външни специалисти.

Bulgarian journal for Engineering Design

issue №43, January 2021

AIM AND SCOPE

Bulgarian Journal for Engineering Design is a periodical scientific issue covering wide scientific and application areas of engineering activities. The aim of the journal is to provide an academic forum for exchange of ideas and information between scientists, engineers, manufacturers and customers working in the spheres of mechanical engineering, transport, logistics, power engineering, modern computer – aided design and technology and solving different interdisciplinary scientific and applied problems. The editors welcome articles of substantial quality bearing significant contribution to the engineering knowledge.

EDITORIAL BOARD

Chairman

B.Grigorov, TU-Sofia, Bulgaria

M.T.Georgiev	TU-Sofia, Bulgaria	K.Demetrashvili	TU, Tbilisi, Georgia
G.Diukendzhiev	TU-Sofia, Bulgaria	S.Simeonov	TU, Brno, Czech Republic
M.Denchev	TU-Sofia, Bulgaria	V.Nikolich	Nish university, Serbia
I.Malakov	TU-Sofia, Bulgaria	A.Ianakiev	Nottingham Trent University, UK
P.P.Petrov	TU-Sofia, Bulgaria	N.Chernev	University of Auvergne, France
V.Panov	TU-Sofia, Bulgaria	B.Lepadatescu	Transilvania University of Brashov, Romania
M.Z.Georgiev	TU-Sofia, Bulgaria	N.Zrnic	University of Belgrad, Serbia
N.L.Nikolov	TU-Sofia, Bulgaria	M.Jovanovic	University of Nish, Serbia
M.Georgiev	MG TU Stankin, Moscow, Russia	D.Michalopoulos	University of Patras, Greece
V.Hristov	TU-Sofia, Bulgaria	N.Kubota	Tokyo Metropolitan University, Japan
Ch. Apostolopoulos	University of Patras, Greece	S.Emelianov	South West State University, Kursk, Russia
L.Cherviakov	South West State University, Kursk, Russia	V.Spassev	VTU „T.Kableshekov“, Sofia, Bulgaria
O.Lisovychenko	National technical university, Ukraine	V.Kirilovich	Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine

Editor

R.Mitrev, TU-Sofia, Bulgaria

Publisher: Mechanical Engineering Faculty, Technical University-Sofia. ISSN 1313-7530; **Publisher Address:** Bulgaria, Sofia, Kliment Ohridski blvd. №8, Technical University-Sofia, Mechanical engineering faculty; **Electronic version:** bjed.tu-sofia.bg.

The journal is indexed in Index Copernicus: www.indexcopernicus.com

All papers are reviewed by the members of Editorial Board and by external specialists.

Съдържание:

Приложение на тензометричния метод и двупараметричния подход за експериментално определяне на коефициента на интензивност на напреженията K_I.....	5
Г.Тодорова	
Автоматизирано проектиране на предложение за конструкция на водеща шина и задвижване на нишководачите при плоскоплетачен автомат.....	11
Р. Манолова	
Интелигентна система за детектиране на компрометирани ИОТ устройства в резултат на кибератака.....	17
А.Христов	
Вероятностно-статистическо моделиране на експлоатационните характеристики на комплект минни машини.....	23
Р.Митрев	
Оптимизация на комплект машини чрез вероятностно-статистическо моделиране.....	45
Р.Митрев	
Задачи и проблеми свързани с проектирането на експозиционни щандове, представени чрез реализации с универсални модулни конструкции.....	59
С.Илиева	
Автоматизирано проектиране на предложение за нови конструкции на системи осъществяващи основните процеси на бримкообразуване за плоскоплетачен автомат.....	65
Р.Манолова	
Convolutionary neural networks regarding problem of monitoring data balancing in de bruijn topology.....	73
A. Volokyta, H. Loutskii, P. Rehida, O. Honcharenko, D. Korenko, V. Rusinov, B. Ivanishchev, A. Kaplunov	
Methods for creating templates for machine learning.....	83
A. Yakovlev, O. Lisovychenko	
Разширен анализ на регистри за аварии на индустриално оборудване чрез вероятностни методи.....	87
Р.Митрев	
Анализ на регистри за аварии чрез методите на машинното обучение.....	107
Р.Митрев	

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТЕНЗОМЕТРИЧНИЯ МЕТОД И ДВУПАРАМЕТРИЧНИЯ ПОДХОД ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ИНТЕНЗИВНОСТ НА НАПРЕЖЕНИЯТА K_I

Галина ТОДОРОВА

катедра „Съпротивление на материалите”, Технически университет - София, България
e-mail: gtodor@tu-sofia.bg

Резюме: В статията са представени параметрите на линейната механика на разрушаването - коефициентите на интензивност на напреженията K_I , K_{II} и K_{III} . Разгледано е приложението на тензометричния метод за експериментално определяне на коефициента на интензивност на напреженията K_I .

Ключови думи: тензометричен метод, линейна механика на разрушаването, коефициент на интензивност на напреженията K_I

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Приложенията на експерименталните методи в механиката на деформируемостта са насочени в следните основни направления:

- Определяне на механичните характеристики на материалите;
- Изследване на напрегнатото и деформираното състояние на конструкционни елементи от различни материали;
- Изследване на процесите на разрушаване (зараждане и развитие на пукнатини, натрупване на дефекти и др.);

В началото на 21 век има богат набор от добре разработени експериментални методи за нуждите на механиката на деформируемостта. Всеки от тези методи е доказал своята ефективност в едно или няколко от посочените по-горе направления.

Най-често използваните експериментални методи в механиката на деформируемостта през последните години са тензометричният метод и оптичните методи: поляризационно-оптични, моаре, каустики, холографска интерферометрия, спекъл-метрология и методи, използващи обработка на цифрови изображения. Последните се развиват бързо през последното десетилетие.

2. МЕХАНИКА НА РАЗРУШАВАНЕТО

Интересът към механиката на разрушаването е свързан основно с широкото използване на метални съоръжения във всички сфери. За съвременните метални конструкции е характерно

непрекъснатото увеличаване на якостта на материалите, от които са изработени при едновременно намаляване на тяхната металоемкост, работа при ниски температури, нарастване на скоростите на движение на транспортните средства, увеличаване на динамиката на натоварването и въздействие на агресивни среди. Тези фактори рязко увеличават опасността от възникване на разрушавания от развитие на пукнатини, които са съпроводени с материални и финансови загуби, а нерядко и със загуби на човешки живот. Типични представители на такива конструкции са газопроводите и железопътните релси. Необходимостта да се сведе до минимум опасността от възникване на такива случаи се явява основна причина за бързото развитие на механиката на разрушаването.

Известно е, че всеки дефект като пукнатина или прорез води до локална концентрация на напрежението. Повишената концентрация на напреженията може да доведе до преждевременно разрушаване под действие на външно натоварване. Двата параметъра, които са приети за охарактеризиране на локалното напрежение при върха на концентратора, са коефициент на концентрация на напреженията – K_{KN} и коефициент на интензивност на напреженията – K_{IH} . K_{KN} дава само стойност на максималното напрежение при върха на концентратора. K_{IH} дава параметрично представяне на полето на напрежение при решаване на задачи за тела с пукнатини и прорези. Използването на K_{IH} е известно като силов

поход в линейната механика на разрушаването. Ролята на *КИН* е значителна поради факта, че инженерното проектиране изисква познаването на напреженията във всяка точка на детайла.

Изразените посредством *КИН* напрежения са функция на натоварването и геометрията на изследваното тяло. Въпреки огромния труд, посветен на получаването на аналитични решения чрез комплексни функции, аналитичните решения са ограничени на брой и се отнасят за тела с относително проста геометрия и гранични условия [10,11].

В механиката на разрушаването пукнатините се разделят на три типа [2,5] според вида на деформациите, които се развиват в околността на техните брегове (фиг.1). На трите типа съответстват коефициентите на интензивност на напреженията - *KI*, *KII* и *KIII* [3,5].

При първия тип (фиг.1а) приложеното натоварване отваря пукнатината.

Вторият тип (фиг.1б) натоварване отговаря на равнинно (надлъжно) плъзгане, при което единият бряг на пукнатината приплъзва спрямо другия.

Третият тип (фиг.1в) натоварване отговаря на напречно плъзгане.

Типове I и II могат да се разглеждат като равнинни задачи на теория на еластичността [2] съответно при условията на равнинно напрегнато или деформирано състояние.

Най-често в конструкционните елементи се среща разрушаване от тип I пукнатина.

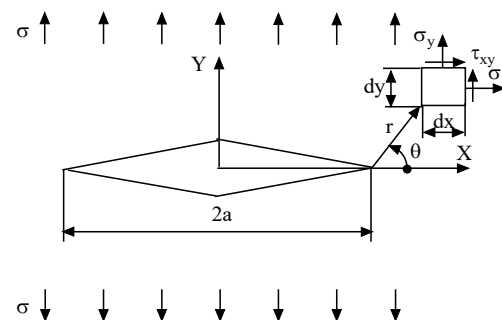
Пукнатина от тип I е пукнатината на Westergaard [15]. Той е първият изследовател, който извежда функцията на напреженията за

плоча с централна пукнатина и безкрайна ширина, която е подложена на опън (фиг.2).

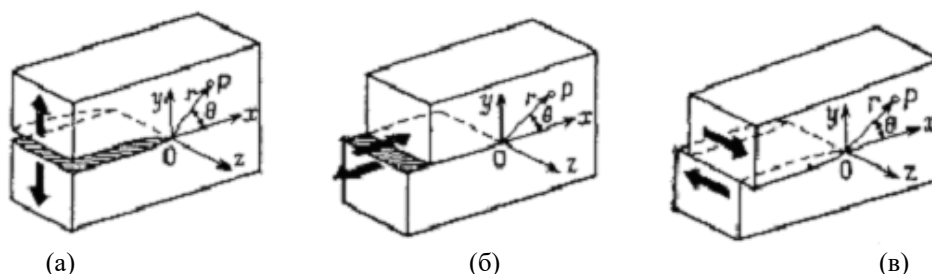
В едни случаи коефициентите на интензивност на напреженията е възможно да се определят аналитично [10,11,14] и/или числено [1]. Това са случаите на остри пукнатини, при които радиусът на закръгление във върха на пукнатината е нула.

В останалите случаи *КИН* е необходимо да се изчислят посредством резултати от прецизно проведено експериментално изследване с цел измерване на преместване, деформация или напрежение [5,14].

Коефициентът на интензивност на напреженията (*КИН*) определя големината на напреженията в близост до върха на пукнатината или колко бързо те нарастват с приближаване към върха на пукнатината (фиг.3). *КИН* зависи от натоварването, дължината на пукнатината, нейната форма и от геометричните ѝ граници.



фиг.2 Плоча с безкрайна ширина и централна пукнатина с дължина $2a$ (пукнатина на Westergaard)



фиг.1 Типове пукнатини според деформациите във върха на пукнатината

- (а) тип I – Отваряне на пукнатина ($KI \neq 0$, $KII = KIII = 0$)
- (б) тип II – Надлъжно плъзгане ($KII \neq 0$, $KI = KIII = 0$)
- (в) тип III – Напречно плъзгане ($KIII \neq 0$, $KI = KII = 0$)

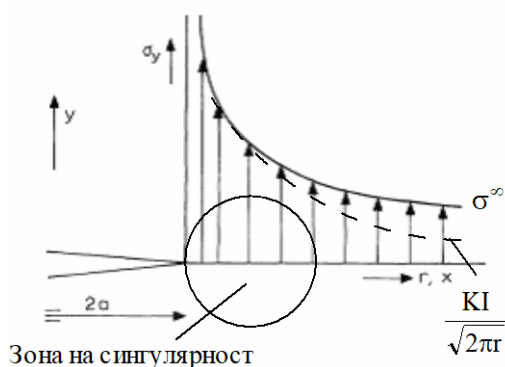
За тип I пукнатина (фиг.3) напреженията при $r \rightarrow 0$ в условията на равнинно напрегнато състояние (РНС) и линейно-еластичен материал се описват от [3,13,14]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma \sqrt{\frac{a}{2r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] = \\ &= \frac{KI}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \\ \sigma_y &= \sigma \sqrt{\frac{a}{2r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] = \\ &= \frac{KI}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \\ \tau_{xy} &= \sigma \sqrt{\frac{a}{2r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} = \\ &= \frac{KI}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \\ \sigma_z &= 0\end{aligned} \quad , \quad (1)$$

където:

$$KI = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

е коефициентът на интензивност на напреженията за тип I пукнатина (фиг.1a) - KI ;
 a - половината от дължината на пукнатината (фиг.2).



фиг.3 Разпределение на еластичното напрежение σ_y при върха на пукнатината при $\theta=0$ за тип I пукнатина

Условието за нарастване (разпространение) на пукнатината е: $KI \geq KI_c$, където KI_c е критичната

стойност на коефициента на интензивност на напреженията.

3.ТЕНЗОМЕТРИЧЕН МЕТОД

Методът използва електросъпротивителни тензодатчици и се прилага от около 75 години за измерване на предимно на деформации. Тези измервания са основани на принципа на тензоефекта, породен от съответното механично въздействие. Такъв подход изисква и специално разположение на тензообразувателите при всеки конкретен случай на измерване. Тензообразувателите са устойчиви по отношение на температура и време. Точността им е в порядъка $\pm 1 \mu m/m$ при диапазон на деформацията $\pm 5\%$. Съвременните производители предлагат тензодатчици с малка база (до 1 mm), с малка инертност и линейна реакция. [9].

Методът е намерил широко приложение в индустриалните и научни лаборатории основно за измерване на деформации.

4.ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТЕНЗОМЕТРИЧНИЯ МЕТОД И ДРУПАРАМЕТРИЧНИЯ ПОДХОД В ЛИНЕЙНАТА МЕХАНИКА НА РАЗРУШАВАНЕТО

Тензометричният метод се използва в Механиката на разрушаването за измерване на деформации в околността на върха на пукнатини през последните около 30 години, въпреки че тяхната употреба е предложена много по-рано.

Възможно е да се определи KI като функция на натоварването чрез използването на един или повече тензодатчици за измерване на деформации в близост до върха на пукнатината и заместване на стойностите им във функциите на напреженията. Съществено при този метод е правилното позициониране на тензодатчиците.

Функциите на напреженията при равнинно напрегнато състояние (РНС) и представяне с два параметъра (при използване на два члена – с номера 0 и 1 от развитието в ред на функциите) в околността на върха на пукнатина се определят от [12]:

$$\left. \begin{aligned}
 E\varepsilon_{xx}(r_i, \theta_i) &= \\
 &= \frac{A_0}{\sqrt{r_i}} \cos \frac{\theta_i}{2} \left[(1-\mu) - (1+\mu) \sin \frac{\theta_i}{2} \sin \frac{3\theta_i}{2} \right] + 2B_0 + \\
 &+ A_1 \sqrt{r_i} \cos \frac{\theta_i}{2} \left[(1-\mu) + (1+\mu) \sin^2 \frac{\theta_i}{2} \right] \\
 E\varepsilon_{yy}(r_i, \theta_i) &= \\
 &= \frac{A_0}{\sqrt{r_i}} \cos \frac{\theta_i}{2} \left[(1-\mu) + (1+\mu) \sin \frac{\theta_i}{2} \sin \frac{3\theta_i}{2} \right] - \\
 &- 2\mu B_0 + A_1 \sqrt{r_i} \cos \frac{\theta_i}{2} \left[(1-\mu) - (1+\mu) \sin^2 \frac{\theta_i}{2} \right] \\
 \frac{(1+\mu)}{E} \gamma_{xy}(r_i, \theta_i) &= \frac{A_0}{2\sqrt{r_i}} \sin \frac{\theta_i}{2} \cos \frac{3\theta_i}{2} - \\
 &- \frac{A_1}{2} \sqrt{r_i} \left(\sin \theta_i \cos \frac{\theta_i}{2} \right)
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

където A_0 , A_1 и B_0 са неизвестни коефициенти, които зависят от геометрията на пробното тяло и външното натоварване.

Зависимостта между A_0 и KI се определя от [12]:

$$A_0 = \frac{KI}{\sqrt{2\pi}} \quad (4)$$

В общия случай са необходими най-малко три измерени стойности на деформации посредством тензодатчици, както и на съответните им полярни радиуси (r) и ъгли (θ) [12,13]. След това се съставя система линейни уравнения при използване на (3) за изчисляването на неизвестните коефициенти с цел получаване на стойността на KI посредством (4).

Irwin и Washington [8] предлагат използването на четири тензодатчика за измерване на деформации в околността на върха на пукнатина от тип I.

По-късно Dorogoy предлага използването на розетка от три датчика за измерване на деформации при върха на наклонена пукнатина (комбинация от тип I и тип II).

Ограничение на този подход е, че измерените деформации е необходимо да са в област, за която е изпълнено $\frac{r}{a} < 0.3$ [12] (r - радиус на зоната, в

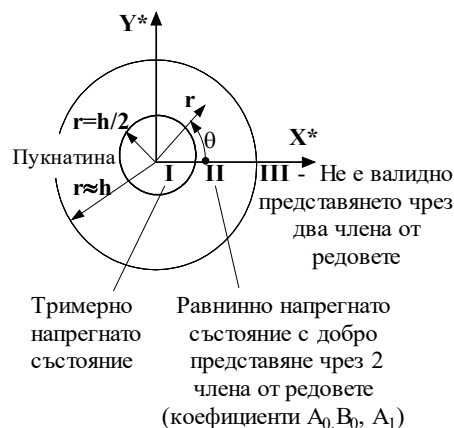
която се измерва деформация, a - половината от дължината на пукнатината) за да е валидно представянето на полето на напреженията (3).

За областта $\frac{r}{h} < 0.5$ (h - дебелина на тялото с пукнатина) напрегнатото състояние е тримерно и зависимостите (3) за равнинно напрегнато състояние не са валидни [12]. Тези ограничения дават границите на зоната, в която трябва да бъдат извършени измерванията - $0.3a > r_{\text{измерване}} > 0.5h$ [12].

Според Shukla [12] границите, в които трябва да се извърши измерване на деформации също трябва да отговарят на: $h > r_{\text{измерване}} > 0.5h$.

Според тези геометрични ограничения [12,13] областта около върха на пукнатината се разделя на три зони (фиг.4):

- I – поле във върха на пукнатината;
- II – поле близо до върха на пукнатината;
- III – поле, отдалечено от върха на пукнатината;



фиг.4 Зони в околността на върха на пукнатината

След определянето на приблизителното положение на зона II (фиг.4) се закрепват тензодатчиците, които в общия случай могат да бъдат ориентирани на произволен ъгъл спрямо върха на пукнатината [7].

Възможно е броят на тензодатчиците, необходими за определянето на A_0 (съответно на KI) да бъде намален до един [6,12]. Условието за това е тензодатчикът бъде ориентиран под ъгъл α

и позициониран по направление на ос Px' , както е показано на фиг.5. Спрямо завъртаната координатна система XY' (фиг.5) напрежението в точка P по направление на ос X' в хомогенен и изотропен материал е [6]:

$$2G\varepsilon_{x'x'} = A_0 \frac{1}{\sqrt{r}} \left[k \cos \frac{\theta}{2} - \frac{1}{2} \sin \theta \sin \frac{3\theta}{2} \cos 2\alpha + \frac{1}{2} \sin \theta \cos \frac{3\theta}{2} \sin 2\alpha \right] + B_0 (k + \cos 2\alpha) + A_1 \frac{1}{\sqrt{r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[k + \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos 2\alpha - \frac{1}{2} \sin \theta \sin 2\alpha \right], \quad (5)$$

където:

G - модул на плъзгане на материала

$$k = \frac{1-\mu}{1+\mu},$$

μ - коефициент на Поасон

Коефициентът B_0 се елиминира чрез избора на ъгъла α като:

$$\cos 2\alpha = -k = -\frac{1-\nu}{1+\nu} \quad (6)$$

Коефициентът A_1 се елиминира, ако се избере ъгълът θ като:

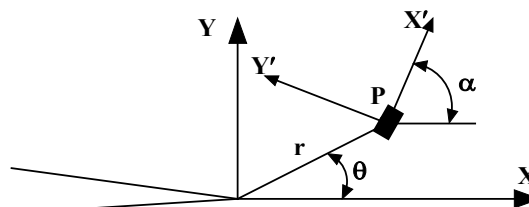
$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = -\cot g 2\alpha \quad (7)$$

Изборът на ъглите α и θ зависи само от коефициента на Поасон на материала на изследваното тяло.

Проблеми при прилагането на тензометричния метод, съчетан с двупараметричното представяне на полетата (напрежение, деформация, преместване) за определяне на коефициента на интензивност на напреженията KI :

- Въвеждане на неподвижна координатна система за определянето на текущото положение на върха на пукнатината, както и определянето на

текущото положение на тензодатчика по време на процеса на деформиране на изследваното пробно тяло - непостоянната големина на ъглите θ (и α) по време на процеса на натоварване, както и на полярния радиус r .



фиг.5 Ориентация на тензодатчик спрямо полярна координатна система (r, θ) с начало във върха на пукнатината

- Малка ширина на зона II (фиг.4) при изследване на пробни тела с малка дебелина (при РНС), което изисква използване на тензодатчици с малка база;

- За съвременни тензодатчици с малка база са необходими значителни финансови средства;

- Двупараметричният подход за определяне на KI е неприложим при пробни тела с дебелина по-малка от 2 mm, дори при използването на тензодатчици с база 1 mm.

- Двупараметричният подход за определяне на KI е неприложим при пробни тела с пукнатини с малка дължина.

5.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въпреки широкото приложение на тензометричния метод както в лабораторни, така и в реални условия при решаване на задачи на линейната механика на разрушаването за експериментално определяне на коефициентите на интензивност на напреженията използването му е с нееднозначна ефективност. Това се отнася основно за случаите, когато телата са с малка дебелина и къси пукнатини.

При тела с малка дебелина (РНС) е удачно използването на оптични методи, при които се измерват стойности от полето на напрежението, деформацията или преместването. В последствие се съставя и се решава определена или преопределена система линейни уравнения при използване на два или повече от два члена от

съответната функция с цел намирането на неизвестните коефициенти, определящи

коефициента на интензивност на напреженията K_I .

Литература

1. Морозов Е. М., Муйземенк А. Ю., Шадский А.С., ANSYS в руках инженера. Механика разрушения, Москва, Ленанд, 2007.

2. Сиратори, М., Миеси Т., Мацусита Х., Вычислительная механика разрушения, Москва, Мир, 1986

3. Anderson T.L., Fracture mechanics Fundamentals and Applications, Boca Raton, CRC press, 1995

4. Atluri S.N., Computational methods in the mechanics of fracture, Atlanta, Georgia Institute of Technology, 1986

5. Broek D., Elementary engineering fracture mechanics, Springer, 1986

6. Dally J. W., Stanford R. J., Strain-gage methods for measuring the opening-mode stress-intensity factor K_I , Experimental Mechanics, 1987, vol.7, p.381–388.

7. Dorogoy A., Rittel D., Optimum location of a three strain gauge rosette for measuring mixed mode stress intensity factors, Engineering Fracture Mechanics, 2008, vol.75, p.4127–4139

Irwin, G.R., Washington D.C., Analysis of Stresses and Strains Near the End of a Crack Traversing a Plate, J. Applied Mechanics, 1957, vol.24 (3).

9. Kobayashi A. S., Atluri S.N., Sharpe W.N., Handbook of Experimental Solid Mechanics, Springer, 2008

10. Murakami Y., Stress intensity factors handbook-I, The Society of Materials Science, Pergamon Pr, 1990

11. Murakami Y., Stress intensity factors handbook-II, The Society of Materials Science, Japan, Pergamon Pr, 1990

12. Shukla A., Dally J., Experimental Solid Mechanics, Knoxville, College House Enterprises Llc, 2014

13. Shukla A., Practical Fracture Mechanics In Design, Marcel Dekker, 2005

14. Tada H., Paris P.C., Irwin G. R., The Stress Analysis of Cracks Handbook, ASME press, 2000

15. Westergaard H. M., Bearing pressures and cracks, Journal of applied mechanics, 1958, vol.6, A49-A53

APPLICATION OF THE STRAIN GAUGE METHOD AND THE TWO-PARAMETRIC APPROACH FOR EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STRESS INTENSITY COEFFICIENT K_I

Galina TODOROVA

Department of Strength of materials, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: gtodor@tu-sofia.bg

Abstract: This article presents the parameters of the linear fracture mechanics - stress intensity factors K_I , K_{II} and K_{III} . The application of the strain gauge method for experimental determination of the stress intensity factor K_I is considered.

Keywords: strain gauge method, linear fracture mechanics, stress intensity factor K_I

АВТОМАТИЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА КОНСТРУКЦИЯ НА ВОДЕЩА ШИНА И ЗАДВИЖВАНЕ НА НИШКОВОДАЧИТЕ ПРИ ПЛОСКОПЛЕТАЧЕН АВТОМАТ

Росица МАНОЛОВА

катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България
e-mail: rositza_manolova@tu-sofia.bg

Резюме: В публикацията е представено предложение за нова конструкция на водеща шина за нишководачи предназначена за съвременни плоскоплетачни автомати. Конструкцията е проектирана с помощта на САД системата Solidworks. Предложената конструкция е създадена за работа с точно определен вид нишководачи с нова конструкция на механизма на нишкодоставяне, представени в предходна публикация. Новата конструкция цели възможно най-голямо опростяване на механизмите и премахване на допълнителни елементи, които могат да доведат до увеличаване на амортизацията. Конструкцията е разработена в среда на Solidworks, което дава отлични възможности както за динамична визуализация, така и за последващи изследвания на натоварването между игленото легло и иглите в процеса на работа.

Ключови думи: плоскоплетачни, 3D, Solidworks, нишководачи, нишкодоставяне, плоскоплетачни автомати

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Нишкоподаването е един от основните параметри в процеса на плетене и оказва основно влияние върху качеството на произвежданите плетива. Поради тази причина е силно застъпен контрола на нишкодоставянето, включващ както осъвременяване на конструкциите на нишководачите, така и добавяне на допълнителни механизми за контрол на опъването на нишката в процеса на плетене. Това дава възможност за постигане на по-високи мострени възможности на машините и по-голяма мобилност в промяната на моделите. [2,3,4]

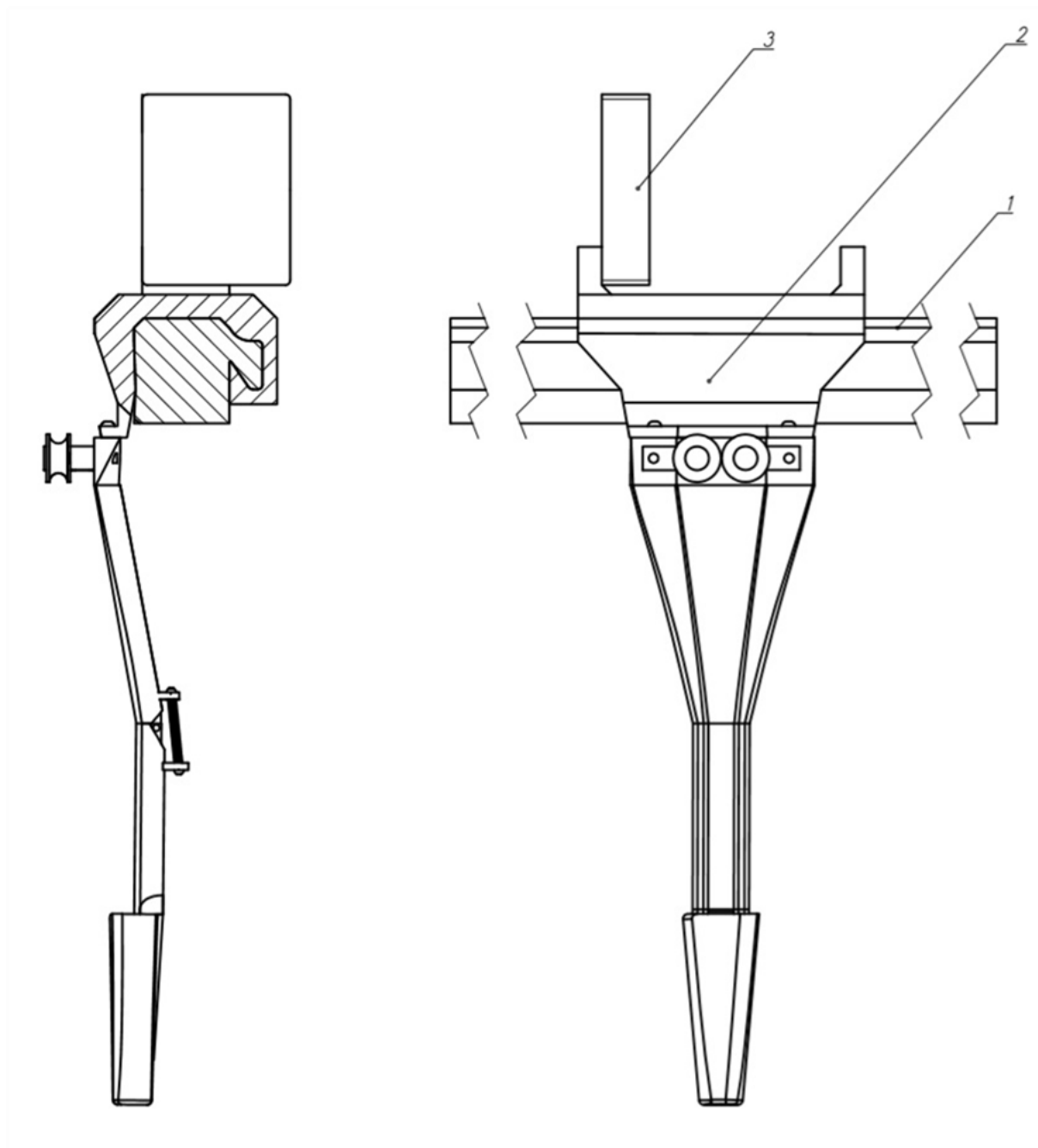
Задвижването на самите нишководачи и контролирането на движението им в конкретна зона на плетене също е от решаващо значение за подобряване на мострените възможности на машините. Повечето съвременни фирми производителки на плоскоплетачна техника са избрали принцип на програмируемо индивидуално задвижване на всеки един нишководач, посредством водещи елементи задвижвани чрез електромагнитно, което позволява индивидуално и отделно задвижване на всеки един нишководач посредством предварително създадена програма за всяко конкретно плетиво предавана от плетачната глава. Както и крайни ограничители позволяващи

изключване на електромагнитните водачи в края на полето на плетене. [2,3,4]

От не по-малка важност за коректното и безпроблемно осъществяване на процеса на нишкодоставяне е също така и конструкцията както на водещата шина, по която по придвижва нишководача, но също така и профилът на самият нишководач в зоната на задвижване който бе разгледан в предходна публикация.[1]

2. РЕАЛИЗАЦИЯ

От представеното във въведението става ясно, че от основно значение за добрите мострени и експлоатационни условия на нишкодоставяния механизъм са възможностите за индивидуалното задвижване на всеки нишководач, както и специфичния профил на нишководача и водещата шина които да позволяват безпроблемно придвижване на нишководача и минимално триене между тях, което само по себе си ще доведе до по-малко износване на частите и респективно по-ниски разходи за амортизация. Поради тази причина се търси решение за промяна в профила на нишководача и водещата шина, за да се постигна намаляване на съпротивителните сили и триенето между двата елемента.

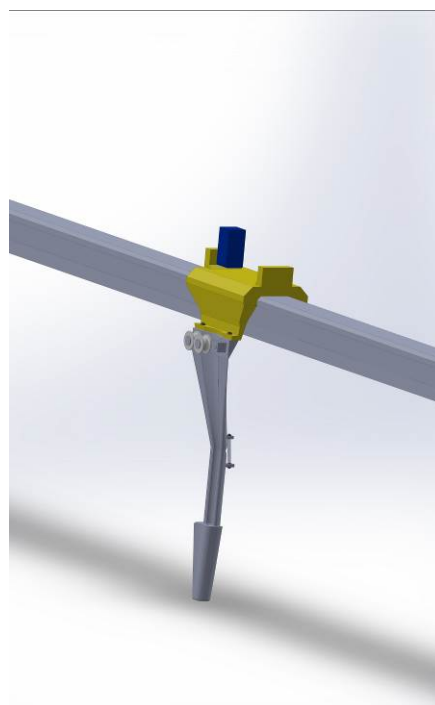


а б
фиг. 1 Двумерен чертеж на сглобената единица на нишководача, водещата шина и водещия елемент.

Проектираната конструкция, е създадена за работа със точно определен вид нишководач. [1] На фиг.1 е представен двумерен чертеж в 2 проекции на сглобената единица на нишководача, водещата шина и водещия елемент. Като съответно на фиг.1-а е представена проекцията в изглед отдясно и частичен разрез на възела между нишководача и водещата шина, за да бъде показан профила и съответно свързването на двата елемента. Както се вижда и от фигурата профилът на шината и водещата част на нишководача са реализирани с такава конструкция, която да позволява оптимално контролирани при задвижването на нишководача. Хлабината между нишководача и шината е от порядъка на 0,5 мм, като ограничава аксиалното и тангенциалното му изместване при съприкосновение с водещия елемент, както и осъществяване на минимално триене между тях, осъществено също така и чрез смазване на шината и нишководача, както и наличието на тefлоново покритие на нишководача, а водещата шина е обработена DLC покритие. На фиг.1-б е представен фронтален изглед на сглобената единица, в който са означени позиционните номера на отделните елементи участващи в задвижването на нишководача, а именно: 1-водеща шина; 2-нишководач и 3-водещ елемент задвижван от електромагнит, разположен в плетачната глава (не показана на чертежа) осъществяващ индивидуалното задвижване на нишководача.

На фиг.2 е показано тримерно изображение на контактната област при задвижването на нишководача в работен режим, както се вижда и от фигурата, използва се наличният към момента принцип на задвижване, чрез електромагнит, който спуска задвижващият елемент, който от своя страна контактува с задвижващия профил на нишководача и го привежда в движение. Разликата се състои в профила на водещата шина и горната част на нишководача която установява задвижването му. При този профил е проектирана по-широка контактна област на нишководача и задвижващият елемент, с което се цели да има по-ниски натоварвания при началния контактен удар между двата елемента. Другият ключов момент е промяната в профила на водещата шина и на горната задвижваща част на нишководача,

като за разлика от произвежданите към момента профили, в представения са премахнати острите ръбове, които въпреки осигуряването на малка контактна площ водат до по-бърза амортизация на елементите и по-малка устойчивост при началният удар на задвижването на нишководача. По-широките контактни плащи са компенсирани с обгъръването на профила на шината от нишководача, което позволява малко по-голяма хлабина между тях без това да наруши стабилността на нишководача при придвижването му и се избягва възможността от заклиняване. [3,4]

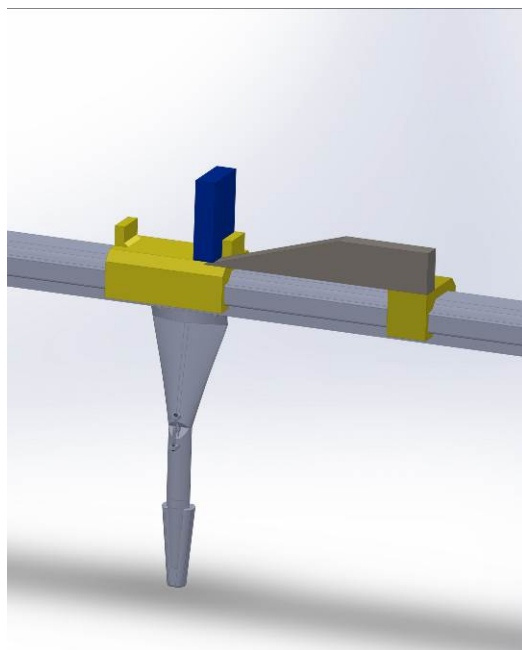


фиг. 2 3D изображение областта на задвижване нишководача.

За освобождаването и изключване на водещият елемент в края на полета на плетене са приложени стандартни стопери служещи за постепенното повдигане на водещият елемент до достигането му в крайна точка където при включен на електромагнит водещият елемент се залепва за него и остава в горно изключено положение. [3,4]

На фиг.3 и фиг.4 е представен детайлно процеса на освобождаване на нишководача от

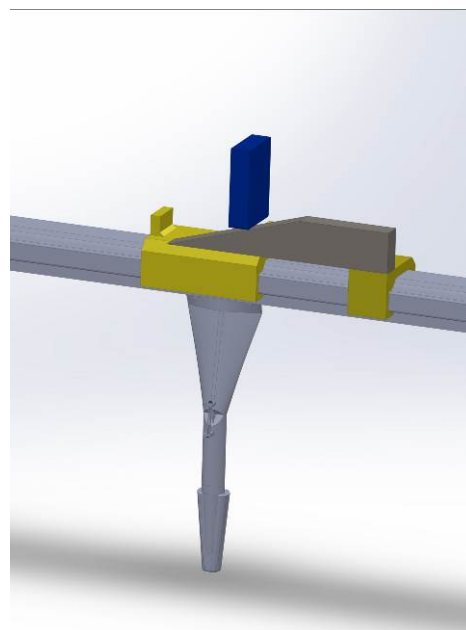
водещият елемент. Както се вижда от двете фигури конструкцията на трите елемента е съобразена с принципа на задвижване и освобождаване на нишководача. Задвижващият елемент е с по-голяма ширина от тачи на контактното стъпало за задвижване на нишководача, което дава възможност за навлизането в контакт на водещият елемент с профила на стопера, като по този начин при движението си от ляво на дясно както е показано на двете фигури, водещият елемент плавно се изкачва по профила на стопера, като малко преди достигане на платото на стопера където се осъществява изключването на водещият елемент който залепва за електромагнита на плетачната глава се осъществява освобождаването на нишководача.



фиг. 3 Позиция нишководача и на стопера при първоначалното навлизане на изключващия елемент в дясно положение.

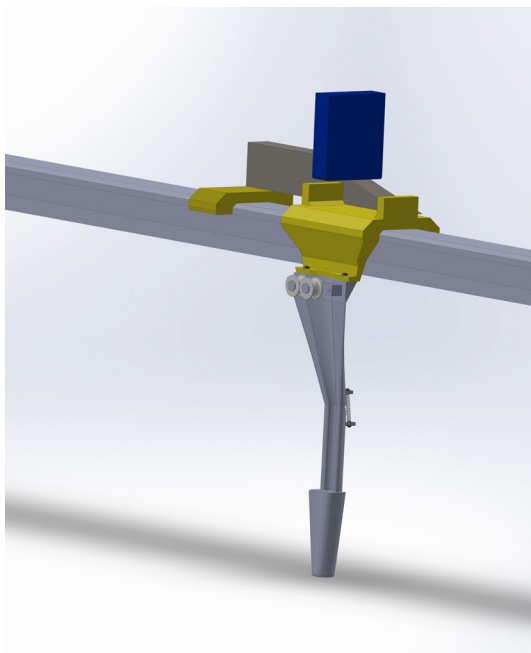
В тази зона показана на фиг.4 практически освобождаването се осъществява, като водещият елемент се издига на височина по-голяма от височината на стъпало за задвижване на

нишководача. Тъй като стъпалото на нишководача е по-тясно, респективно се осъществява безпрепятствено, а самият стопер е разположен на височина непредизвикваща контакт между обхващащата част на нишководача и стопера осигурено от скосяването в долната част на стъпалото за задвижване на нишководача, то навлизането на нишководача под стопера за изключването му се осъществява без никакво триене между двата елемента.



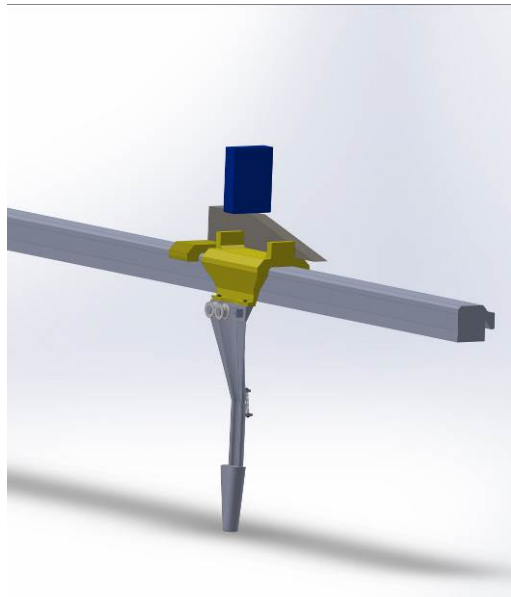
фиг. 4 Позиция нишководача и на стопера при освобождаването на нишководача от изключващия елемент в дясно положение.

Процеса по изключване на движението на нишководача при движение на плетачната глава от дясно на ляво е представен на фиг.5 и фиг.6 е представен детайлно процеса на освобождаване на нишководача от водещият елемент. Както на фиг.6 е показана крайната позиция на задвижващия елемент, където се извършва изключването му.



фиг. 5 Позиция на нишководача и стопера при първоначалното навлизане на изключващия елемент в дясно положение.

фиг. 6 Позиция на нишководача и стопера при



освобождаването на нишководача от изключващия елемент в дясно положение.

Тук е представено разположението между трите елемента: нишководач, водещ елемент и стопер, което дава възможност да се види съотношението между пропорциите и оптимизацията на профилите на отделните детайли участващи пряко в процеса. Създаването на тази сглобена единица в среда на Solidworks дава възможност на по-късен етап от проектирането допълнително да бъдат симулирани с предвидените видове покрития за отделните контактни области на участващите детайли и да се анализира натоварването, което само по себе си може да даде ясни насоки относно допълнителни подобрения и оптимизации, които да доведат до по-добри адхезионни свойства между контактните участъци и респективно намаляване на амортизационните им разходи.

3.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложената конструкция в настоящата публикация е проектирана съобразно изискванията за съвременните за плоскостелачни автомати, като са въведени промени в конструкцията на водещата шина и конкретно в профилът с който е изработена цялостно намаляване на амортизацията и водещите с нея разходи за поддръжка на машините. Също така в предложената конструкция са предвидени и иновативни покрития за контактните елементи, които да осигурят сигурност и ниска амортизация при процеса на нишкодоставяне .

Литература

1. **Манолова Р.** "Автоматизирано проектиране на предложение за нова конструкция на нишководач за плоскостелачен автомат" БСИП, бр.41/2020г. стр. 27-34.
2. **Стоилов Т.** Машини и процеси в трикотажното производство. София: издателство на Технически университет - София, 2008.
3. **H. STOLL GMBH & CO. KG.** Stoll Service Center Basic Training CMS. Stollweg 1, D-72760 Reutlingen: GERMANY, 2004.
4. **SHIMA SEIKI MFG. LTD.** SES 122RT Product manual. Japan: Osaka , 2005.

AUTOMATED DESIGN OF A PROPOSAL FOR CONSTRUCTION OF A GUIDE RAIL AND DRIVE OF THE YARN FEEDER FOR FLAT KNITTING AUTOMATIC MACHINE.

Rositza MANOLOVA

Fundamentals and technical means for design department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: rositza_manolova@tu-sofia.bg

Abstract: The publication presents a proposal for a new construction of a guide rail for yarn feeder designed for modern flat knitting machines. The construction is designed using the CAD system Solidworks. The proposed design is designed to work with a specific type of yarn feeder with a new design of the thread delivery mechanism, presented in a previous publication. The new design aims to simplify the mechanisms as much as possible and eliminate additional elements that can lead to increased depreciation. The construction is developed in the environment of Solidworks, which provides excellent opportunities for both dynamic visualization and subsequent studies of the load between the needle bed and the needles in the process of work..

Keywords: flat knitting, 3D, Solidworks, yarn feeder guide rail, yarn feeder control systems, flat knitting automat

ИНТЕЛИГЕНТНА СИСТЕМА ЗА ДЕТЕКТИРАНЕ НА КОМПРОМЕТИРАНИ ИОТ УСТРОЙСТВА В РЕЗУЛТАТ НА КИБЕРАТАКА

Александър ХРИСТОВ
катедра „ИТИ“, ТУ- София, България
e-mail: ahristov@tu-sofia.bg

Резюме: Целта на настоящата статия е да се предложи система за детектиране на компрометирани IoT устройства в резултат на кибератака. Предложената интелигентна система използва Wavelet трансформации и филтър на Хаг. Системният монитор записва синхронно във времето индекси за натоварването на процесор, памет и мрежов порт). Записват се синхронно във времето индексите на нормално работещи IoT устройства и тези индексите на компрометирани устройства при някои конкретни широкоизвестни кибератаки в интернет на нещата. След което, използвайки така получените индекси се уточняват параметрите на системата, така че да се разграничават (филтрират) двете състояния на IoT устройствата- нормално работещи или компрометирани.

Ключови думи: Информационна сигурност, Системи с изкуствен интелект, Интернет на нещата, Wavelet, IoT устройства

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Днес информационните и комуникационни технологии се превръщат в основа на всички дейности в икономиката, администрацията, обществото и личния живот. Дигиталните инфраструктури [1] се превръщат от поддържаща среда в основен и критичен фактор за управлението и нормалното функциониране на всички ресурси и системи с национално значение, на развитието на конкурентна и иновативна икономика, прозрачно управление и на модерно демократично гражданско общество.

Непрекъснато нараства интересът към Интернет на нещата (IoT), към Индустриалния интернет на нещата (IIoT) и в частност информационната сигурност [2] на IoT устройства.

Извършеният литературен обзор показва, че в световен мащаб проблемът за информационната сигурност на IoT устройствата е все още слабо разработен [2, 3, 4 и цитираната там литература] и липсват достъпни системи за детектиране на компрометирани IoT устройства в резултат на кибератака, поради което се счита, че получените резултати ще бъдат с национално и международно значение, имайки предвид Националната стратегия за научни изследвания и обществените предизвикателства, определени в нея, както и институционалните и европейски приоритети.

В [4] е предложен един конкретен подход за идентифициране на компрометирани устройства в резултат на кибератака, който се базира на мониторинг на използването на процесорните ядра, паметта и мрежовия комуникационен интерфейс за определяне състоянието (компрометирано/некомпрометирано) на IoT устройствата. Решаващото правило (функция, разделяща пространството на две непресичащи се множества) на алгоритъма намира съответствието на състоянието от постъпващите времеви редове от стойности. Особеност на подхода е предобработката, т.е. използвайки обучаващи извадки от времевите редове от стойности (използването на процесор, памет и мрежов интерфейс) се определят три клъстерни области и центъра на всеки от трите клъстера. Първият клъстер съответства на некомпрометирано състояние, а вторият и третият съответстват на състояния след SQL Injection, като се реализира филтрация по предварително зададено поле на таблицата, или се реализира добавяне на данни към таблица след преобразуването им. Предимство на горния подход е, че се разграничават тези две конкретни състояния, а недостатък, че не може да идентифицира всевъзможните други компрометирани състояния на IoT устройството.

Целта на настоящата работа е на базата на анализ на методите и средствата на системите за информационна сигурност чрез инструменти с

научно – приложен характер да се разработи модел за идентифициране на компрометирани устройства в резултат на кибератака в IoT.

2. МЕТОД ЗА ИДЕНТИФИЦИРАНЕ НА КОМПРОМЕТИРАНИ СЪСТОЯНИЯ

По-долу се предлага универсален метод за идентифициране на различни компрометирани състояния. Методът използва коефициенти, получени от Wavelet трансформация за процентното натоварване на паметта на IoT устройството.

Wavelet трансформацията [5] е трансформация, която осигурява едновременно представяне на сигнала във времева и честотна област. Тя предава сигнал във времева област през високочестотен и нискочестотен филтри, като филтрира съответно ниската и високата честота на сигнала. Процедурата се повтаря, докато част от сигнала, съответстващ на дадена честота, се премахва от сигнала. Процедурата се нарича разлагане. Разлагането се повтаря до предварително зададено ниво на декомпозиция. След това се образува множество от сигнали, които всъщност представят оригиналния сигнал.

За натоварването на паметта на IoT устройството, следва да се използва Wavelet дискретното преобразуване. Haar трансформацията [5] разлага дискретния сигнал на два подсигнала. Единият подсигнал е текущата средна стойност или тенденция T ; другият подсигнал е текущата разлика или флукутация d .

Енергията на тенденцията на подсигнала T се счита за по-голямата част от енергията на преобразувания сигнал [5]. Следователно, може да се пресметне енергията, отчитайки само коефициентите на тенденцията на първото ниво на разлагането:

$$E_T = \sum_{j=1}^n T_j^2 \quad (1)$$

Алгоритъм

Методът за идентифициране на различни компрометирани състояния на IoT устройствата използва като мярка енергията [5] чрез Wavelet трансформацията върху натоварването на паметта на IoT устройството. Методът за тестване се състои от две фази. В първата фаза (Първоначална фаза), Wavelet енергийната стойност на

некомпрометираното IoT устройство се измерва и запамятава. Във втората фаза (Тестова фаза), Wavelet енергията на тестваното IoT устройство се измерва и сравнява със съответната стойност получена през първата фаза. Идентифицирането на различни компрометирани състояния ще бъде успешна, когато Wavelet енергията превишава дадени граници на толеранс. Тези граници са въведени, за да се вземат под внимание вариациите на натоварването на паметта на IoT устройството при различни компрометирани състояния и неточностите от измерването (системния монитор).

Опционално, накрая може итеративно да се обновяват дефинициите на Wavelet енергията за некомпрометирано IoT устройство и границите на толеранс за откриване на компрометирани състояния. Дадено е множество от n на брой некомпрометирани състояния на IoT устройството, множеството $E_{T,i}$ е енергийната стойност за натоварването на паметта на IoT устройството при различни некомпрометирани състояния, $E_{T,mean}$ е средната стойност на Wavelet енергията на некомпрометирани състояния и $E_{T,lim}$ е толерансният лимит на $E_{T,i}$.

Стъпките на алгоритъма са описани по-долу:

Стъпка 1: За всяко от множеството некомпрометирани състояния на IoT устройството се изчислява и запамятава $E_{T,i}$ ($i=1, \dots, n$).

Стъпка 2: Изчислява се:

$$E_{T,mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{T,i} \quad (2)$$

Стъпка 3: Изчислява се $E_{T,lim} = k \times E_{T,mean}$

Стъпка 4: След всеки цикъл на работа (измерване) t на системния монитор:

- Измерва се и запамятава $E_{T,t}$

- Ако $|E_{T,mean} - E_{T,t}| > E_{T,lim}$, то състоянието на устройството се приема за компрометирано.

Стойността на $E_{T,lim}$ е избрана да е равна на $k \times E_{T,mean}$ (Стъпка 3), за да се вземат под внимание вариациите на натоварването на паметта на IoT устройството при различни компрометирани състояния и неточностите при измерването от системния монитор. Трябва да се отбележи, че тази стойност оказва влияние върху откриваемостта на компрометирани състояния и

следва да се избере евристично, на базата на предишен опит и/или литературните източници [3, 4].

3. ЕКСПЕРИМЕНТ

С цел да се сравнят експерименталните резултати със съществуващи подобни реализации на системи за идентифициране на различни компрометирани състояния на IoT устройства тук са използвани изходните данни от [4] за натоварването на паметта на IoT устройството, в проценти (Не е реализирана стъпка 1 на алгоритъма, тъй като IoT полигона, включително системата за мониторинг са в процес на разработване и/или доставяне на IoT устройства и мрежово оборудване).

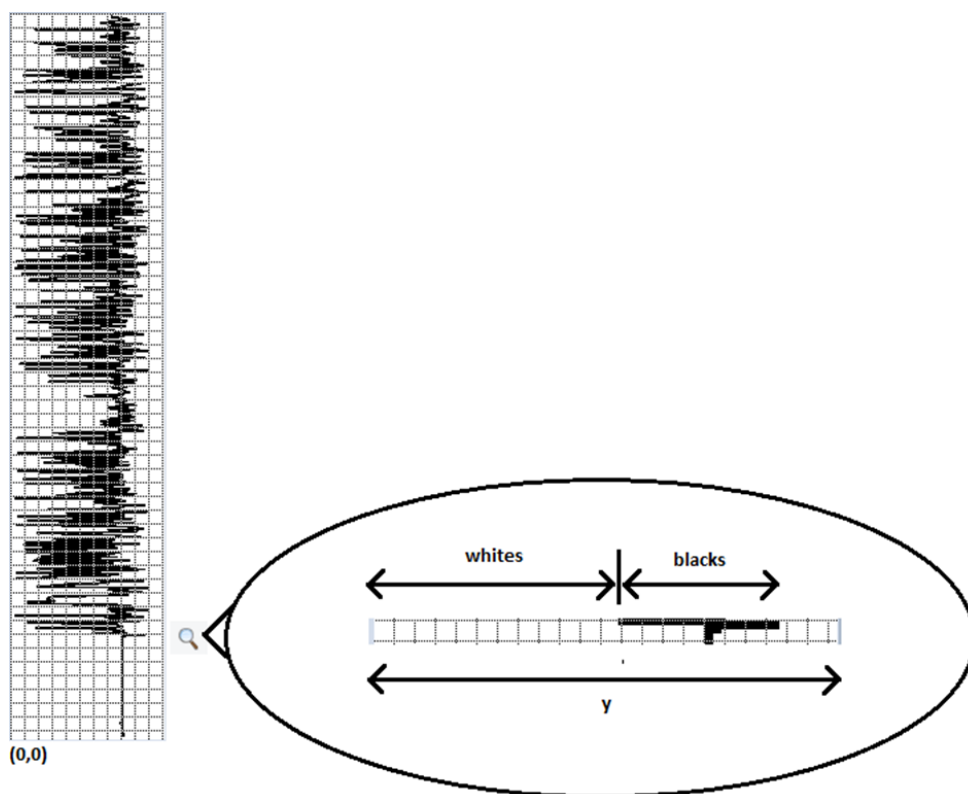
За целта първо чрез Snipping Tool са взети (без самите абсциса и ордината) графиките за натоварването на паметта на IoT устройството, в

случаите, когато е некомпрометирано [4, фиг. 2] и когато е компрометирано (вследствие на SQL Injection) и реализира филтрация по предварително зададено поле на таблицата [4, фиг. 3].

След това всяка от фигурите се обработва чрез графичния редактор Paint. Обработката цели получаването на bmp файл, съдържащ само бели и черни пиксели, като началото на координатната система е разположена най-долу най-ляво на изображението и включва следните етапи:

- Rotate 90°;
- Flip Horizontal;
- Resize;
- Save as...

На фиг. 1 са показани основни моменти от преобразуване на изображенията.



фиг.1 Обработка на изображение в графичния редактор Paint.

```

import os
import platform
import pandas as pd
import pywt

cwd = os.getcwd()
df = pd.read_csv(cwd + "/EMO-Calculated/Square/Pr3.csv")
testValues = df['Value'].to_list()
cA , cD = pywt.dwt(testValues, 'haar')
sum = 0

for i in range(0, len(cA)):
    sum = sum + pow((cA[i]*100),2)

print(sum)

```

фиг.2 Python скрипт за предложения алгоритъм.

След това всеки от тези bmp файлове [8] се обработва чрез авторска приложна програма написана на С. В резултат на обработката се получава текстов файл с толкова редове колкото има изображението в bmp файла. Форматът на bmp файла включва header с описание на структурата и размера на изображението, последван от кодовете на пикселите в редовете на изображението (кодовете на пикселите в първия ред се изобразяват най-долу в изображението). Данните се прехвърлят в таблицата на Excel, като всеки ред от таблицата съдържа съответно броя (започвайки от абсцисата) бели и броя на последващите ги черни пиксели в изображението. След това данните се обработват като се записва индекса за използването на паметта, т.е. усреднената стойност в относителни единици, (брой бели пиксели + $\frac{1}{2}$ от броя черни пиксели)/брой пиксели по абсцисата в изображението, (Вж. дясната част от фиг. 1).

Накрая, данните във всяка таблица на Excel (относителните единици) се мащабират към (ординатата) процентите на натоварването на паметта на IoT устройството [4].

Така от графиките в [4] се получават в табличен вид изходните данни за провеждане на експеримента.

Поради ограничения обем на работата в github [6] са дадени предложената програма на С и получените bmp и excel файлове (данните са представени графично и таблично) за натоварването на паметта на IoT устройството, в случаите, когато е некомпromетирано и когато е компromетирано.

Разработен е авторски скрипт на Python, основната част на който е показана на фиг. 2. В

скрипта се извиква библиотечната функция *pywt.dwt (testValues, 'haar')*, пресмята се сумата от квадратите на коефициентите на тенденцията (елементите в масива *cA* от тип *numpy.ndarray*) и така изчислената стойност за енергията- *E* се отпечатва.

Резултатите от работата на Python скрипта върху данните за натоварването на паметта на IoT устройството, в случаите, когато е некомпromетирано, и когато е компromетирано са показани в табл. 1.

табл. 1. Резултати за натоварването на паметта

	E
Некомпromетирано	315904,4
Компromетирано	343753,5
Разлика в енергията	8,8 %

В първия ред е дадена енергията *E* за натоварването на паметта на некомпromетираното IoT устройство, във втория ред - енергията *E* за компromетираното IoT устройство, а в третия ред- разликата в проценти между енергията *E* за компromетираното и некомпromетираното състояние.

табл. 2. Резултати за натоварването на процесора

	E
Некомпromетирано	210209.9
Компromетирано	203995.6
Разлика в енергията	-3,0 %

табл. 3. Резултати за натоварването на мрежовия порт

	E
Некомпromетирано	55775.2
Компromетирано	53406.4

Разлика в енергията	4,2 %
---------------------	-------

Получените резултати за натоварването на процесора и мрежовия интерфейс на не/компрометирано IoT устройство, съответно са показани в табл. 2 и табл. 3.

От сравняването на получените резултати използвайки индексите за натоварването на паметта (табл. 1), процесора (табл. 2) и мрежовия интерфейс (табл. 3) се вижда, че най-голяма е разликата между енергията E за компрометираното и некомпрометираното състояние на устройството при натоварването на паметта $\Delta E = 8.8\%$. Това напълно съответства на резултатите и изводите от [4], което е вид верификация на получените тук резултати. От друга страна, целесъобразно е стойността на k да се избере равна на 0.08 (стъпка 3), т.е. малко под $\Delta E = 8.8\%$ (табл. 1), за да се вземат под внимание вариациите на натоварването на паметта на IoT устройството при различни компрометирани състояния и неточностите при мониторинга.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена е система за детектиране на компрометирани IoT устройства в резултат на кибератака използваща Wavelet трансформация на Хаар върху индексите за натоварване на паметта записвани от системния монитор. Резултатите получени в настоящата работа се очаква да намерят приложение в инженерната практика, както и могат да бъдат внедрени в процеса на обучение във ФКСТ на Технически университет София, където авторът е докторант.

Предстои допълнителна работа, свързана с изследване на приложимостта на разработените модели в киберсигурността на Интернет на нещата и по-точно идентифициране на компрометирани IoT устройства (в резултат на кибератака) на базата на анализ на методите и средствата на системите с изкуствен интелект чрез мониторинг на използването на процесора, паметта и мрежовия им комуникационен

интерфейс. Предстоящата работа включва следните етапи:

- Разработване на хардуерна реализация върху FPGA на системата за детектиране на компрометирани IoT устройства в резултат на кибератака;
- Разработване на програмната част на системата за мониторинг на натоварването на паметта на устройствата в IoT полигона;
- Уточняване на параметрите на системата за идентифициране на компрометирани IoT устройства в резултат на кибератака;
- Верификация и валидация чрез измерване и/или сравняване с резултатите от известни такива модели.

Благодарности

Изследванията, отразени в настоящата статия са финансирани от НИС към ТУ-София по договор 212ПД00001-09

Литература

1. **Hristov, A., Trifonov R.** An application for temperature monitoring of integrated circuits of bitcoin miners, CAX Technologies Journal, issue No 7, December 2019, ISSN 1314-9628, pp. 19-24.
2. **Trifonov, R., et. al.** Network and Information Security, Avangard Prima, 2013, ISSN 978-619-160-183-7 (in Bulgarian).
3. **Hristov, V.,** REMOTE CONTRL OF DEVICES TROUGH SSH TUNNEL, Bulgarian Journal for Engineering Design, issue 38, January 2019, ISSN 1313-7530, pp.21-26
4. **Sukhoparov M., Lebedev I.** Identification the Information Security Status for the Internet of Things Devices in Information and Telecommunication Systems. Systems of Control, Communication and Security, 2020, no. 3, pp. 252-268 (in Russian).
5. **Tan L., Jiang J.** Digital Signal Processing 2nd Edition, Academic Press, ISBN: 9780124158931, 2013
6. <https://github.com/sashkinaaa/readValuesFromBMP> Посетен на 19.04.2021г.
7. https://github.com/sashkinaaa/Haar_1D_Filter/blob/main/pywt-haar1D.ipynb Посетен на 19.04.2021г.
8. <https://api-2d3d-cad.com/bmp/> Посетен на 13.03.2021г.

INTELLIGENT SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF COMPROMISED INTERNET OF THINGS DEVICES AFTER CYBERATTACK

Aleksandar HRISTOV

Department "Information technologies in industry", Technical University- Sofia, Bulgaria

e-mail: ahristov@tu-sofia.bg

Abstract: The purpose of present paper is to propose an intelligent system for identification of compromised Internet of Things (IoT) devices due to cyberattack, using Wavelet transformation and Haar filter. Monitoring is being made and the state is identified through time-synchronized series of indexes for usage of processor, memory and network port. Using system monitor the time-synchronized indexes of non-compromised IoT devices are saved as well as indexes of compromised IoT devices due to some well-known cyberattacks in Internet of Things are saved. The parameters of the proposed system are being specified in order to distinguish (filter) the two states of the IoT devices (non-compromised or compromised) by these indexes.

Keywords: Information Security, Artificial Intelligence Systems, Internet of Things, Wavelet transformation, IoT devices

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КОМПЛЕКТ МИННИ МАШИНИ

Росен МИТРЕВ

катедра „Инженерна логистика, подемно-транспортна и строителна техника”, Технически университет - София,
България

e-mail: rosenm@tu-sofia.bg

Резюме: В статията е разработен вероятностно-статистически математичен модел за определяне на експлоатационните характеристики на комплект машини „минен багер - автосамосвали“ и определяне на броя автосамосвали. Моделът отчита неопределеността на входните параметри и оценява чувствителността на експлоатационните характеристики. Извършени са изследвания на статистическите характеристики на системата и е определена точковите и интервалните им оценки. Дефинираните абсолютни и относителни показатели дават възможност за извършване на сравнителен анализ на алтернативни варианти на комплекти машини и избор на оптимален комплект по частен или глобален критерий.

Ключови думи: комплект машини, вероятностно-статистически модел, Монте Карло

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Основната цел на статията е да се разработи и изследва числен вероятностно - статистически модел на комплект минни машини „минен багер - автосамосвали“, който да отчита стохастичния характер (неопределеността) както на собствените параметри на комплекта машини, така и на параметрите на околната среда. Моделът следва да позволява определянето на експлоатационните характеристики на комплекта и степента на рационално използване на техническите ресурси.

За постигането на тази цел се използва метода Монте Карло, основан на многократното провеждане на еднотипни числени експерименти с последваща статистическа обработка и визуализация на получените резултати.

2. РАЗРАБОТВАНЕ НА ДЕТЕРМИНИРАН МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА КОМПЛЕКТ МАШИНИ „МИНЕН БАГЕР - АВТОСАМОСВАЛИ“

Основното предназначение на комплекта „минен багер - автосамосвали“ е добив и транспорт на медна руда в открити рудници. Разглежда се процесът на извършването на добив на руда чрез минен хидравличен багер с права лопата, натоварването на рудата на автосамосвали и последващ транспорт на рудата до челюстна

трошачка за последващо раздробяване.

Минният багер и автосамосвалите са съвместно работещи машини с циклично действие, поради което тяхната производителност зависи от конкретната схема на разположение и характеристиките на движението на машините. На фиг.1 е показана геометричната схема на разположението на машините, а също така и характерните геометрични и кинематични параметри – транспортни разстояния и скорости на движение. Изобразена е схема на разположение, при която надлъжната ос на автосамосвала е разположена успоредно на фронта на забоя, а натоварването му е странично.

Основните технически параметри на минния багер и на автосамосвала, които определят както експлоатационните характеристики на машините поотделно, така и на комплекта са:

- Номинален обем на кофата на багера $q_{баг}$;
- Честота на завъртане на платформата на багера при изпълнение на транспортни операции $n_{пл}$;
- Ъглови/линейни скорости на елементите на работното съоръжение на багера;
- Геометричен обем на каросерията на автосамосвала $q_{сам}$;
- Транспортни скорости на линейното движение при пълен v_1 и празен v_2 автосамосвали.

На фиг.1 са означени следните параметри на системата:

$$n_{\text{баг}} = \frac{3600}{T_{\text{баг}}}, \text{ h}^{-1} \quad (3)$$

където $T_{\text{баг}}$ е продължителността на работния цикъл на багера (в секунди). Чрез анализ на последователността на операциите на багера от фиг.1 се определя продължителността на работния цикъл на багера като се сумират продължителностите на отделните работни операции (в секунди):

$$T_{\text{баг}} = t_1 + 2t_2 + t_3, \text{ s} \quad (4)$$

където: t_1 - време за позициониране на кофата спрямо забоя и напълване на кофата; t_2 - време за завъртане на платформата с пълна кофа. Коефициентът 2 е във формулата поради допускането, че времето за завъртане с пълна кофа е равно на времето за завъртане с празна кофа (при обратното движение на платформата от автосамосвала към забоя). Тъй като завъртането се съвместява с движенията на работното съоръжение, то времето t_2 включва и движенията на работното съоръжение за позициониране на кофата над автосамосвала за разтоварване, също така и при обратното движение; t_3 - време за разтоварване на кофата в автосамосвала.

При известен ъгъл на завъртане на α (в градуси) и честота на въртене на платформата n (в min^{-1}) времето t_2 се пресмята като:

$$t_2 = \frac{\alpha}{6n_{\text{пл}}} \quad (5)$$

2.2. Определяне на експлоатационната производителност на един автосамосвал

Експлоатационната производителност на автосамосвала $Q_{\text{сам}}$ се пресмята по следната зависимост [1,2,19]:

$$Q_{\text{сам}} = q_{\text{сам}}^* n_{\text{сам}} k_{\text{с}}^{\text{сам}}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (6)$$

където: $k_{\text{с}}^{\text{сам}}$ – коефициент на използване на автосамосвала по време; $q_{\text{сам}}^* = z q_{\text{баг}} \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{р}}}$ - реално

натовареното в самосвала количество работен материал; z - брой кофи, с които се натоварва автосамосвала. Определя се по следната зависимост:

$$z = \min([z_{\text{маса}}], [z_{\text{обем}}]) \quad (7)$$

където чрез $\min$ е означена математическа операция, чрез която се избира по-малката от двете

цели стойности, които се определят от съображения за недопускане на претоварване на автосамосвала по маса или обем. Тези стойности се определят по следния начин:

$z_{\text{обем}}$ - брой необходими кофи за натоварване, пресметнати от обема на каросерията на самосвала $q_{\text{сам}}$:

$$z_{\text{обем}} = \frac{q_{\text{сам}}}{q_{\text{баг}} \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{р}}}} \quad (8)$$

Полученият брой кофи $z_{\text{обем}}$ обикновено е дробно число, което следва да се закръгли до цяло число $[z_{\text{обем}}]$. В случай, че числото се закръгли нагоре е възможно да се получи претоварване на автосамосвала, в случай че се закръгли надолу – недонатоварване. Закръгленият брой кофи $[z_{\text{обем}}]$ се пресмята чрез следната зависимост, която определя посоката на закръгление:

$$[z_{\text{обем}}] = \begin{cases} \text{ако } \frac{z_{\text{обем}}}{[z_{\text{обем}}]} > k_{\text{обем}}, \text{ тогава } \lfloor z_{\text{обем}} \rfloor \\ \text{иначе } \lceil z_{\text{обем}} \rceil \end{cases} \quad (9)$$

където $\lceil \cdot \rceil$ означава закръгление нагоре до по-голямо цяло число, а $\lfloor \cdot \rfloor$ - закръгление надолу до по-малко цяло число. Чрез $k_{\text{обем}}$ е означен допустимият коефициент на претоварване по обем на автосамосвала, чиято стойност е по-голяма от 1, обикновено неговата стойност е не повече от 1.1. Конкретната стойност следва да се избира с отчитане на факта, че стохастичния характер на останалите величини може да доведе до допълнително претоварване по обем.

Аналогично, чрез $z_{\text{маса}}$ е означен броя необходими кофи, пресметнати от ограничението по допустима маса на материала в автосамосвала:

$$z_{\text{маса}} = \frac{m_{\text{сам}}}{q_{\text{баг}} \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{р}}} \rho} \quad (10)$$

където: $m_{\text{сам}}$ - допустима маса на работния материал в каросерията на автосамосвала; ρ - плътност на натоварвания материал, kg/m^3 ;

$$[z_{\text{маса}}] = \begin{cases} \text{ако } \frac{[z_{\text{маса}}]}{z_{\text{маса}}} > k_{\text{маса}}, \text{ тогава } [z_{\text{маса}}] \\ \text{иначе } [z_{\text{маса}}] \end{cases} \quad (11)$$

$n_{\text{сам}}$ – брой извършени цикли от автосамосвала за единица време, h^{-1} :

$$n_{\text{сам}} = \frac{3600}{T_{\text{сам}}} \quad (12)$$

където $T_{\text{сам}}$ е продължителността на работния цикъл на автосамосвала (в секунди).

Продължителността на работния цикъл на автосамосвала (в секунди) се определя като сума на продължителностите на отделните работни операции в цикъла (виж фиг.1):

$$T_{\text{сам}} = \sum_{i=4}^{10} t_i \quad (13)$$

където: $t_4 = zT_{\text{баг}}$ – време за натоварване на автосамосвала, s ; $t_5 = \frac{L}{v_1}$ – време за пътуване на пълен

автосамосвал до мястото за разтоварване, s ; t_6 – време за маневриране и разтоварване на автосамосвала; t_7 – време за маневриране и обръщане на посоката на движение на автосамосвала, s ;

$t_8 = \frac{L}{v_2}$ – време за пътуване до изходна позиция на

празен автосамосвал, s ; t_9 – време за изчакване за приключване на натоварването на предния автосамосвал, s ; t_{10} – време за позициониране на автосамосвала в позиция за натоварване, s ;

2.3. Определяне на необходимия брой автосамосвали за обслужване на багера

Основно изискване при формиране на комплект машини е водещата машина (в случая – хидравличния багер) да не престоява. При определени вече производителности на багера и на автосамосвала, необходимият брой автосамосвали k за обслужване на багера се определя от следната зависимост:

$$k = \frac{Q_{\text{баг}}}{Q_{\text{сам}}} \quad (14)$$

Така определеният брой автосамосвали, закръглен нагоре или надолу до най-близкото цяло число ще доведе до определена разлика в производителностите на багера и на системата от автосамосвали.

2.4. Определяне на производителността на комплекта машини

Поради стохастичния характер на величините, производителността на системата от автосамосвали може да бъде както по-голяма от производителността на багера, така и по-малка. В случай, че сумарната производителност на системата от автосамосвали е по-малка от производителността на багера, то ще са налице престои на багера, получени поради изчакването на пристигане на автосамосвал за натоварване. В случай че сумарната производителност на системата от автосамосвали е по-голяма от производителността на багера, то ще се натрупват автосамосвали, чакащи натоварване, а багерът няма да престоява. Ако се съпоставят числените стойности на производителността на багера и сумарната производителност на системата от автосамосвали, то във всеки един момент от време производителността на комплекта машини ще се определя от по-малката от двете производителности [2]:

$$Q_{\text{сист}} = \min(Q_{\text{баг}}, kQ_{\text{сам}}) \quad (15)$$

2.5. Време за добив на зададено количество работен материал

При вече известна производителност на комплекта машини (15), зададено количество работен материал V може да се добие, натовари и превози за време T :

$$T = \frac{V}{Q_{\text{сист}}} \quad (16)$$

2.6. Разходи за експлоатация на комплекта машини

Разходите за единица време при експлоатация C на комплекта машини се формират като сума на разходите за експлоатация на багера $C_{\text{баг}}$ за единица време и разходите $C_{\text{сам}}^k$ за експлоатацията на k броя автосамосвали за единица време [2,3]:

$$C = C_{\text{баг}} + C_{\text{сам}}^k \quad (17)$$

Разходите за единица време за експлоатация на автосамосвалите се разделят на:

1) Постоянни разходи $C_{\text{пост}}$ при експлоатацията на един автосамосвал, не зависещи от изминатото разстояние;

2) Променливи разходи $C_{\text{пром}}$ при експлоатацията на един автосамосвал, зависещи от из-

минатото разстояние:

$$C_{\text{пром}} = 2LC_{\text{сам}}^L n_{\text{сам}} \quad (18)$$

като се приема, че разходите $C_{\text{сам}}^L$ за измината единица разстояние при пълен и празен самосвал са еднакви.

Тогава, общите експлоатационни разходи за k автосамосвала са:

$$C_{\text{сам}}^k = k(C_{\text{пост}} + C_{\text{пром}}) \quad (19)$$

а сумарните експлоатационни разходи за единица време на комплекта машини придобиват следния вид:

$$C = C_{\text{баз}} + kC_{\text{пост}} + 2LkC_{\text{сам}}^L n_{\text{сам}} \quad (20)$$

Приходите за единица време от експлоатацията на комплекта са пропорционални на количеството превозен материал, т.е. са в пряка зависимост от производителността на системата:

$$P = P_1 Q_{\text{сист}} \quad (21)$$

където P_1 са приходите от превозването на 1 m^3 материал.

Печалбата за единица време при работата на комплекта ще бъде разлика между приходите и разходите:

$$H = P - C \quad (22)$$

2.7. Критерии за оценка на алтернативни варианти на комплекта

Експлоатационните характеристики дават количествена оценка на възможностите на комплекта машини по различни показатели, които могат да се използват за сравняване на алтернативи и взимане на решения. Зависимостта (14) определя необходимия брой автосамосвали k единствено от гледна точка на равенство на производителността на багера и производителността на системата от автосамосвали. Окончателният избор на броя автосамосвали следва да се извърши въз основа на сравнителен анализ на алтернативни варианти, различаващи се по броя автосамосвали, и последваща оценка на експлоатационните характеристики на системата за всеки от тях. Като критерии за избор ще се използват както абсолютни критерии - T , $Q_{\text{сист}}$, H и др., така и относителни критерии, които са функция на два или повече абсолютни критерия. Един възможен вариант за определяне на броя автосамосвали k е сравнение на вариантите по следните относителни критерии [2]:

- Отношение на печалбата H и времето T за изпълнение на зададеното количество работа:

$$O = \frac{H}{T} \rightarrow \max \quad (23)$$

Също така, този критерий може да се пресметне и за едно транспортно средство:

$$N = \frac{O}{k} \rightarrow \max \quad (24)$$

И по двата критерия следва да се избере брой автосамосвали, за който критериите са положителни и имат максимум.

- Себестойност на единица продукция – отношение на експлоатационните разходи C за единица време и производителността на системата $Q_{\text{сист}}$:

$$R = \frac{C}{Q_{\text{сист}}} \rightarrow \min \quad (25)$$

Съгласно този критерий следва да се избере варианта с най-ниска себестойност.

- Производителност на системата за един автосамосвал:

$$M = \frac{Q_{\text{сист}}}{k} \rightarrow \max \quad (26)$$

Съгласно този критерий следва да се избере варианта с най-висока производителност.

Освен по относителни критерии е възможно и сравнението на алтернативни варианти по следните абсолютни критерии:
 $Q_{\text{сист}} \rightarrow \max$, $T \rightarrow \min$, $H \rightarrow \max$,
 $P \rightarrow \max$, $C \rightarrow \min$.

3. РАЗРАБОТВАНЕ НА ЧИСЛЕН ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА КОМПЛЕКТА МАШИНИ

Численото моделиране и изследването на характеристиките на комплекта машини се извършва чрез метода на статистическото моделиране, още известен като метод Монте Карло [4,5,6]. Теоретичната основа на метода е Закона за големите числа [6], съгласно който ако в N независими опита при неизменни условия се наблюдават стойности $r_1, r_2, \dots, r_N$ на случайната величина R , то при $N \rightarrow \infty$ средно аритметичното на наблюдаваните стойности на случайната величина клони към нейното математическо очакване a , т.

е. при всяко малко $\varepsilon > 0$ е изпълнено:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i - a \right| \geq \varepsilon \right\} = 0 \quad (27)$$

Методът Монте Карло се основава на многократното итеративно провеждане на еднотипни симулационни експерименти с математическия модел на системата, в който входните параметри са случайни величини, дефинирани чрез вероятностни разпределения [4]. Получените резултати за експлоатационните характеристики на комплекта също имат вероятностен характер, което позволява да се определят техните точкови и интервални оценки. Провежданите симулационни експерименти са напълно независими един от друг, като за получаване на достоверни резултати, броят на експериментите трябва да бъде голям.

Методът Монте Карло, адаптиран за моделиране на разглеждания комплект машини, може да бъде описан със схема, която има следните основни етапи [4,5]:

1. Разработване на детерминиран математически модел на комплекта машини, в който изходните експлоатационни характеристики са представени като функция на входните параметри - това са вече получените зависимости (1) – (26);

2. Разработване на вероятностно-статистически модел, основан на детерминирания модел. За целта се определят вида и числените стойности на вероятностните разпределения на входните параметри, а впоследствие се генерират извадки от случайни стойности с тези разпределения;

3. Многократно провеждане на числени експерименти с вероятностно-статистическия модел като се използват генерираните извадки от случайни стойности за получаване на стойностите на експлоатационните характеристики;

4. Извършване на статистическа обработка на получените за експлоатационните характеристики на комплекта резултати – построяване на хистограми, определяне на характеристиките на положението, разсейването и формата, определяне на доверителни интервали, вероятности за събъждане на събития и др.

5. Извършване на оценка на точността на получените резултати;

6. Извършване на верификация и корекция на вероятностно-статистическия модел.

3.1 Моделиране на входните параметри на математическия модел чрез вероятностни разпределения

Проведените натурни експерименти в условията на открити рудник и анализа на възможностите за точно определяне на стойностите на числените характеристики на вероятностните разпределения показваха, че стохастичната вариацията на входните параметри може да се моделира чрез следните вероятностни разпределения:

- Нормално разпределение, дефиниращо се чрез следната плътност на разпределение [5]:

$$f(p) = \frac{1}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(p-\mu_p)^2}{2\sigma_p^2}}, \quad (28)$$

$$p_{\min} < p < p_{\max}, \sigma_p > 0$$

където чрез μ_p е означено математическото очакване, а чрез σ_p - средно квадратичното отклонение на случайната величина. За практически цели се използва оръзаното нормално разпределение [4], при което се задават долна $p_{\min}$ и горна $p_{\max}$ граници на случайната величина. При липса на подробни статистически данни за моделирания чрез нормално разпределение параметър, но при известни негови долна $p_{\min}$ и горна $p_{\max}$ граници на промяна се използва нормално разпределение със следните числени характеристики (използвайки правилото на трите сигми [7]):

$$\mu_p = \frac{p_{\min} + p_{\max}}{2} \quad (29)$$

$$\sigma_p = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{6} \quad (30)$$

- Триъгълно разпределение [8], подходящо за моделиране на параметри с ограничена статистическа информация, но подаващи се на субективна оценка на числената им стойност. То се дефинира чрез три стойности, които се оценяват: $p_{\text{нес}}$ – най-ниска възможна оценка на стойността на параметъра (песимистична оценка), $p_{\text{онт}}$ – най-висока възможна оценка на стойността на параметъра (оптимистична оценка), $p_{\text{вер}}$ – най-вероятна оценка на стойността на параметъра (мода). Стойностите се определят чрез измерване или експертна оценка на параметъра, като при задаване на горната и долната граници следва да се използват стойности, които е възможно да възникнат при нормални условия на работа, а не

при аварийни ситуации. При така въведените означения, плътността на триъгълното разпределение е:

$$f(p) = \begin{cases} \frac{2(p - p_{\text{нес}})}{(p_{\text{онт}} - p_{\text{нес}})(p_{\text{вер}} - p_{\text{онт}})}, & \text{ако } p_{\text{нес}} \leq p < p_{\text{вер}} \\ \frac{2}{p_{\text{онт}} - p_{\text{нес}}}, & \text{ако } p = p_{\text{вер}} \\ \frac{2(p_{\text{онт}} - p)}{(p_{\text{онт}} - p_{\text{нес}})(p_{\text{онт}} - p_{\text{вер}})}, & \text{ако } p_{\text{вер}} < p \leq p_{\text{онт}} \end{cases} \quad (31)$$

• Равномерно разпределение [9], подходящо за моделиране на случайни величини, променящи се в интервал $[a, b]$ с еднаква вероятност за появяване:

$$f(p) = \begin{cases} \frac{1}{b - a}, & \text{ако } a \leq p \leq b \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (32)$$

Вида и числените характеристики на вероятностното разпределение на част от параметрите на математическия модел в т.2.1 – т.2.6 се подават на промяна в определени граници от операторите на машините и помощния персонал, най-вече чрез стила на работа, професионално обучение, квалификация на оператора, мотивацията на персонала, промяна на условията на работа и др. фактори. От гледна точка на възможността за въздействие на операторите на машините и помощния персонал върху вида и числените характеристики на вероятностните разпределения, параметрите могат да бъдат класифицирани в две групи, показани в табл.1.

табл.1 Класификация на входните параметри в зависимост от възможността за тяхното управление от операторите на машините и помощния персонал

	Поддаващи се на управление	Не поддаващи се на управление
Багер	$k_{\text{и}}, k_{\text{в}}^{\text{баг}}, k_{\text{н}}, n_{\text{пл}}, t_1, t_3$	$q_{\text{баг}}, C_{\text{баг}}$
Автосамосвал	$k_{\text{с}}^{\text{сам}}, V_1, V_2, t_6, t_7, t_{10}, \alpha$	$m_{\text{сам}}, q_{\text{сам}}, k_{\text{маса}}, k_{\text{обем}}, L, t_9, C_{\text{пост}}, C_{\text{сам}}^L, P_1$
Работен материал	-	k_p, ρ

3.2 Определяне на числените стойности на вероятностните разпределения на входните параметри

Определянето на числените стойности на вероятностните разпределения на входните параметри е важен въпрос, тъй като тяхната точност, а също така и приетите допускания влияят върху вида и точността на статистическите характеристики на експлоатационните характеристики на комплекта машини.

В табл.2 – табл.4 са показани параметрите на вероятностно-статистическите разпределения на входните параметри, установени чрез някои от следните методи:

1) Натурен експеримент (НЕ) – провежда се в експлоатационни условия в открития рудник, като се използват съответните измервателни уреди;

2) Анкета (А) – в експлоатационни условия се провежда анкета на операторите на машините, помощния и ръководния персонал. Използва се

когато не е налице достатъчно количество публикувана информация за изследваният параметър;

3) Каталожни данни (КД) – добива се информация от каталожни данни, най-вече за техническите характеристики на машините;

4) Литературни данни (ЛД) – използва се техническа, справочна и научна литература за добиване на данни. Използва се когато е налице достатъчно количество публикувана информация за изследваният параметър;

5) Експертна оценка (ЕО) – добива се информация (недостъпна по друг начин) чрез експертна оценка. Използва се когато не е налице достатъчно количество публикувана информация.

Всички входни параметри, показани в табл.2 – табл.4 са независими един от друг, т.е. не съществува взаимна корелация между тях. Използвани са следните означения за параметрите на разпределенията:

- Орязано нормално - $N(\mu, \sigma, \min, \max)$, къ-

дето μ е математическото очакване, σ е средно квадратичното отклонение, min е минималната стойност на случайната величина, max е максималната стойност на случайната величина;

- Триъгълно – $Tr(p_{нес}, p_{вер}, p_{опт})$, където $p_{нес}$ е песимистичната оценка на случайната величина, $p_{вер}$ е най-вероятната оценка на случайната величина, $p_{опт}$ е оптимистичната оценка на случайната величина;

- Равномерно – $U(a, b)$, където a е минимална стойност на случайната величина, b е максималната стойност на случайната величина.

- Постоянна стойност – $C(v)$, където v е стойността на константата. Използва се представяне на постоянни стойности, участващи в математическия модел.

Числените данни за техническите параметри на машините съответстват на използваните в открития рудник минен хидравличен багер и на автосамосвали, а числените данни за разстоянията съответстват на експериментално определените.

табл.2 Параметри на хидравличния багер

Случайна величина	Вид на разпределението и числени стойности	Начина на определяне
k_{η}	N(0.925, 0.0083, 0.9, 0.95)	ЕО, ЛД
$k_{\alpha}^{баг}$	N(0.875, 0.025, 0.8, 0.95)	ЕО, ЛД
k_{η}	N(1.006, 0.035, 0.9, 1.112)	ЕО, ЛД
$q_{баг}$, m ³	C(15.4)	КД
α , deg	Tr(84, 90, 105)	ЕО, НЕ
$n_{пл}$, min ⁻¹	Tr(4.4, 4.7, 5.5)	А, КД, ЛД, ЕО
t_1 , s	N(10, 0.67, 8, 12)	НЕ
t_3 , s	N(4.5, 0.167, 4, 5)	НЕ
$C_{баг}$, лв/ч	N(375, 8.33, 350, 400)	А, ЛД, ЕО

табл.3 Параметри на автосамосвала

Параметър	Вид на разпределението и числени стойности	Начина на определяне
$k_{\alpha}^{сам}$	N(0.875, 0.025, 0.8, 0.95)	ЕО, ЛД

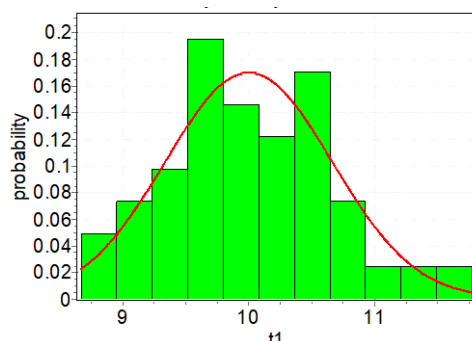
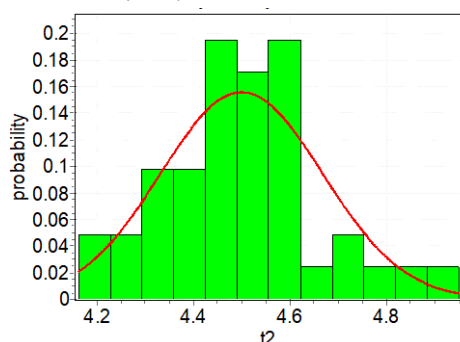
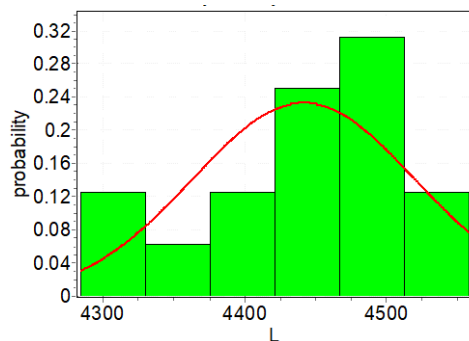
$m_{сам}$, kg	C(130000)	КД
$q_{сам}$, m ³	C(67)	КД
$k_{маса}$	C(1.1)	КД
$k_{обем}$	C(1.1)	КД
L , m	N(4450, 83.33, 4200, 4700)	НЕ
V_1 , m/s	U(7,8)	А, ЕО
V_2 , m/s	U(11,14)	А, ЕО
t_6 , s	Tr(30, 45, 55)	ЕО, НЕ
t_7 , s	Tr(25, 30, 33)	ЕО, НЕ
t_9 , s	Tr(0, 80, 120)	ЕО, НЕ
t_{10} , s	Tr(15, 20, 25)	ЕО, НЕ
$C_{пост}$, лв/ч	N(190, 3.33, 180, 200)	А, ЛД, ЕО
$C_{сам}^L$, лв/м	N(0.0225, 0.0005, 0.021, 0.024)	А, ЛД, ЕО
P_1 , лв/м ³	C(7)	А

табл.4 Параметри на работния материал

Параметър	Вид на разпределението и числени стойности	Начина на определяне
k_p	N(1.205, 0.015, 1.16, 1.25)	ЕО, ЛД
ρ , kg/m ³	N(2395, 65, 2200, 2590)	ЛД

На фиг.2 са показани хистограмите на експериментално измерените чрез хронометриране времена t_1 и t_2 и разстоянието L , измерено чрез приборите на автосамосвала, а също така и чрез GPS навигация. Големините на извадките за двете времена са 41 бр. и 22 бр. за разстоянието L .

За апроксимация на експериментално получените хистограми чрез нормално разпределение и определяне на числените му характеристики е използван критерия на Пирсън, основан на χ^2 разпределението [9].

а) t_1 , $\mu = 10$, $\sigma = 0.67$ б) t_2 , $\mu = 4.5$, $\sigma = 0.167$ в) L , $\mu = 4450$, $\sigma = 83.33$

фиг.2 Експериментални хистограми и апроксимиращи разпределения

3.3. Генериране на извадки от случайни числа

Генерирането на стойности на входните параметри с показаните в табл.2 - 4 вероятностни разпределения се извършва чрез генератори на равномерно разпределени взаимно независими псевдослучайни числа с разпределение $U(0,1)$ (базови числа). За генериране на базовите случайни числа се използва следния комбиниран

генератор с период от порядъка на 10^{13} [10]:

$$\begin{aligned} x_i &= 171x_{i-1} \bmod 30269 \\ y_i &= 172y_{i-1} \bmod 30307 \\ z_i &= 170z_{i-1} \bmod 30323 \\ R_i &= \left(\frac{x_i}{30269} + \frac{y_i}{30307} + \frac{z_i}{30323} \right) \bmod 1 \end{aligned} \quad (33)$$

където R_i е генерираното базово случайно число на стъпка i , а чрез математическата функция $\bmod$ се означава остатък от деленето на две числа. За стартиране на пресмятанията се задават три независими стойности на корените x_0 , y_0 , z_0 .

Нормално разпределени случайни числа p_i се генерират по следните зависимости, основани на централната гранична теорема [11]:

$$p_i = \mu_p + \sigma_p \left(\sum_{k=1}^{12} R_k - 6 \right), \quad i=1, n \quad (34)$$

Случайни числа p_i с триъгълно разпределение се генерират по следната зависимост [9]:

$$p_i = \begin{cases} p_{\text{нec}} + \sqrt{R_i (p_{\text{онm}} - p_{\text{нec}})(p_{\text{вep}} - p_{\text{нec}})}, & \text{ако } 0 < R_i < \frac{p_{\text{онm}} - p_{\text{нec}}}{p_{\text{вep}} - p_{\text{нec}}} \\ p_{\text{онm}} - \sqrt{(1-R_i)(p_{\text{онm}} - p_{\text{нec}})(p_{\text{онm}} - p_{\text{вep}})}, & \text{ако } \frac{p_{\text{онm}} - p_{\text{нec}}}{p_{\text{вep}} - p_{\text{нec}}} \leq R_i < 1 \end{cases} \quad (35)$$

Случайни p_i числа с равномерно разпределение в интервала $[a, b]$ се генерират по следната зависимост [9]:

$$p_i = a + R_i (b - a) \quad (36)$$

За да се избегне корелацията между независимите входни параметри на всяка стъпка, за генериране на случайните извадки за всеки входен параметър се използват базови случайни числа с различен корен.

4. ПРОВЕЖДАНЕ НА ЧИСЛЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ, ОЦЕНКА НА ТОЧНОСТТА НА МОДЕЛА И АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Симулационният модел е реализиран в среда на Excel, като са извършени 10^4 симулации. Получените данни за изходните технико-икономически характеристики на комплекта машини са обработени и представени във вид на хистограми. Чрез статистическа обработка на генерираните случайни стойности [12,13,14,17] са получени числените характеристики на вероят-

ностните разпределения на експлоатационните характеристики на комплекта:

Характеристики на положението

- Точкова оценка $\bar{p}$ на математическото очакване на параметъра p :

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (37)$$

където n е големината на извадката;

Характеристики на разсейването

- Средно квадратично отклонение s_p :

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n-1}} \quad (38)$$

- Коефициент на вариация v_p :

$$v_p = \frac{s_p}{\bar{p}} \quad (39)$$

- Медиана Me ;
- Минимум p_{min} , максимум p_{max} и размах $R = p_{max} - p_{min}$.

Характеристики на формата

- Коефициент на асиметрия A_p :

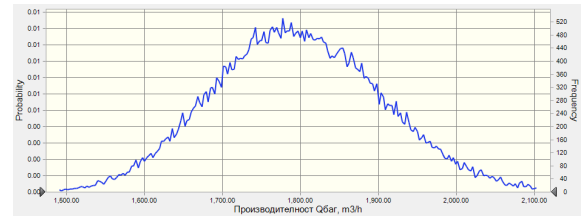
$$A_p = \frac{n\sqrt{n-1}}{n-2} \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^3}{\left(\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2\right)^{3/2}} \quad (40)$$

- Ексцес E_p :

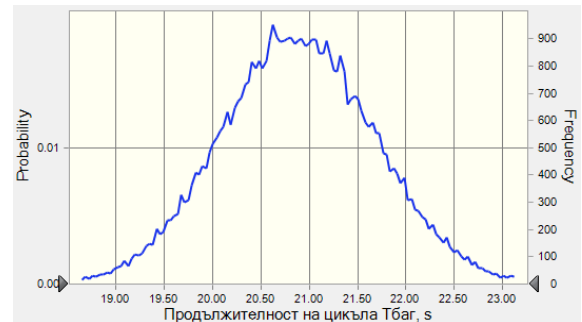
$$E_p = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2\right)^2} - 3 \quad (41)$$

4.1 Статистически характеристики на разпределенията на експлоатационните характеристики на багера

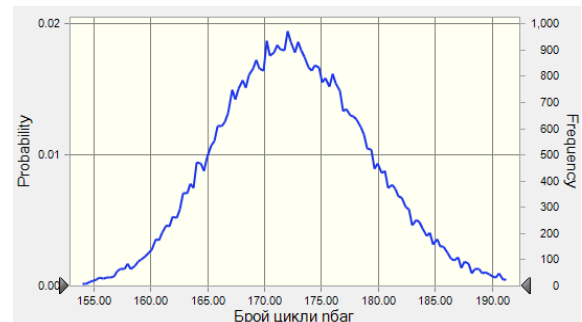
На фиг.4 са показани полигоните на разпределение на производителността на багера Q_{bag} , на продължителността на цикъла на багера T_{bag} и на броя цикли за единица време n_{bag} , а в табл.5 - техните статистически характеристики.



а)



б)



в)

фиг.4 Полигон на разпределението на: а) производителността на багера Q_{bag} ; б) продължителността на работния цикъл на багера T_{bag} ; в) броя цикли за единица време n_{bag}

От графичните и числените резултати се вижда, че неопределеността във входните параметри на математическия модел се разпространява и върху изходните характеристики – експлоатационната производителност на багера Q_{bag} има значително разсейване около математическото очакване в границите $1391.8 \div 2354.2 \text{ m}^3/\text{h}$.

табл.5 Статистически характеристики на експлоатационните характеристики на багера

	Математическо очакване	Медиана	Средно квадратично отклонение	Коефициент на вариация	Мин. ÷ макс. стойности
$Q_{\text{баз}}$	1796.6 m ³ /h	1703.3 m ³ /h	109.8 m ³ /h	0.061	1391.8 ÷ 2354.2 m ³ /h
$T_{\text{баз}}$	20.9 s	20.9 s	0.81 s	0.032	17.65 ÷ 24.9 s
$n_{\text{баз}}$	172.7 h ⁻¹	172.4 h ⁻¹	6.68 h ⁻¹	0.039	149.4 ÷ 204.0 h ⁻¹

• **Оценка на точността на получените статистически характеристики**

Точковата оценка на статистическите характеристики в табл. 5 не съдържа в себе си никаква информация за грешки и отклонения на получената чрез извадката стойност от точната стойност на търсения параметър на генералната съвкупност. Също така, точковата оценка не отчита обема на извадката n , въз основа на която тя се пресмята. Интервалните оценки на статистическите характеристики дават представа за възможните интервали, в които се намират истинските стойности на статистическите характеристики с определена доверителна вероятност. При голям брой опити, математическото очакване е с нормално разпределение и тогава доверителният интервал за математическото очакване $\bar{Q}_{\text{баз}}$ при ниво на значимост α е [12]:

$$\left[\bar{Q}_{\text{баз}} - z_{1-\alpha/2} \frac{s_{Q_{\text{баз}}}}{\sqrt{n}}, \bar{Q}_{\text{баз}} + z_{1-\alpha/2} \frac{s_{Q_{\text{баз}}}}{\sqrt{n}} \right] \quad (42)$$

където: $z_{1-\alpha/2}$ - квантил от ред $1-\alpha/2$ на стандартното нормално разпределение; $s_{Q_{\text{баз}}}$ - средно квадратично отклонение на производителността на багера. Още, доверителния интервал може да се представи във вида:

$$[\bar{Q}_{\text{баз}} - \Delta, \bar{Q}_{\text{баз}} + \Delta] \quad (43)$$

където Δ е половината от ширината на доверителния интервал:

$$\Delta = z_{1-\alpha/2} \frac{s_{Q_{\text{баз}}}}{\sqrt{n}} \quad (44)$$

Използвайки (42), за доверителния интервал за математическото очакване $\bar{Q}_{\text{баз}}$ се получава:

$$\bar{Q}_{\text{баз}} = [1794.4, 1798.7] \quad (45)$$

като за доверителна вероятност $1-\alpha=0.95$ от таблиците за стандартното нормално разпределение

е отчетено $z_{1-\alpha/2} = 1.96$.

Доверителният интервал за средно квадратичното отклонение на производителността на багера $s_{Q_{\text{баз}}}$ е [12]:

$$\left[s_{Q_{\text{баз}}} \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{1-\alpha/2, n-1}}}, s_{Q_{\text{баз}}} \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{\alpha/2, n-1}}} \right] \quad (46)$$

където $\chi^2_{1-\alpha/2, n-1}$ и $\chi^2_{\alpha/2, n-1}$ са квантили на χ^2 разпределението при ниво на значимост α и $n-1$ степени на свобода. Отчитайки, че при повече от 30 степени на свобода χ^2 разпределението с висока точност се апроксимира с нормално разпределение с математическо очакване $n-1$ и дисперсия $2(n-1)$, то се определят следните стойности на квантилите: $\chi^2_{1-0.05/2, 9999} = 10278.1$ и $\chi^2_{0.05/2, 9999} = 9723.7$, при което доверителния интервал за средно квадратичното отклонение е:

$$s_{Q_{\text{баз}}} = [108.3, 111.34] \quad (47)$$

Определяне на доверителните интервали е извършено и за останалите статистически характеристики на експлоатационните показатели на комплекта машини, като е установено, че и те се определят с достатъчно висока точност за практическо приложение. При необходимост от повишаване на точността на определяне на математическото очакване (т.е. намаляване на ширината на доверителния интервал) следва да се увеличи броя на експериментите n . Ако предварително се зададе необходимата ширина на доверителния интервал 2Δ , то необходимия брой експерименти се пресмята по следната зависимост [9]:

$$n \geq \left(\frac{z_{1-\alpha/2} s_{Q_{\text{баз}}}}{\Delta} \right)^2 \quad (48)$$

• **Оценка на чувствителността на ста-**

тистическите характеристики

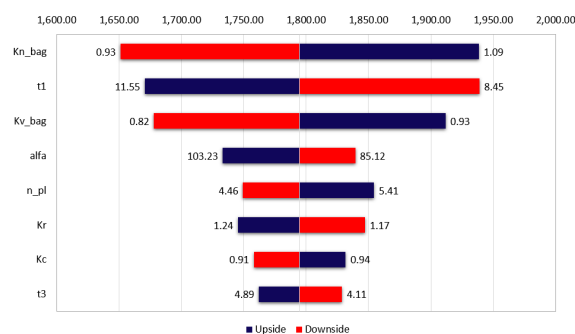
Важен въпрос при изследване на комплекта машини е установяване на степента на влияние на промяната на числените характеристики на входните параметри върху промяната на експлоатационни характеристики на комплекта машини [20]. Анализът на чувствителността позволява по-добре да се разберат връзките между входните параметри и изходните характеристики, давайки възможност за отграничаване на най-силно влияещите върху изходния резултат фактори. Определянето на най-силно влияещите фактори върху стойностите на изходните характеристики позволява: 1) Да се синтезират комплекти машини с изходни характеристики, променящи се в предварително зададени граници; 2) Да се намали или напълно премахне влиянието на негативно влияещите върху експлоатационните характеристики входни фактори; 3) Да се синтезират робастни системи, притежаващи малка чувствителност спрямо промяната на входните фактори; 4) Да се установят зоните на промяна на стойностите на входните параметри при които изходните характеристики имат оптимални или субоптимални стойности; 5) Да се опрости математическия модел като слабо влияещите входни параметри се считат за детерминирани и се фиксират на определени стойности.

Изследването на чувствителността се извършва чрез методи, които се прилагат преди симулацията или след симулацията [18].

Чрез методите, които се прилагат преди симулацията се изследва промяната на изходните характеристики при промяна само на един входен параметър във възможния му интервал на промяна при фиксирани на базови нива стойности на останалите входни параметри. Ако входните параметри са независими, то точно се отчита влиянието на вариация входен параметър върху изходната характеристики, в противен случай, при наличие на корелация между входните параметри тя не се отчита, което води до определено изкривяване на резултатите. На фиг.5 е показана торнадо диаграмата [18] за производителността на багера, която е построена въз основа на резултатите от варирането на осем входни параметъра на 10 нива в определени граници и последващото им ранжиране (отгоре надолу в диаграмата) по степента им на влияние върху

производителността на багера.

По ординатата са нанесени входните параметри, влияещи върху производителността, а по абсцисата са показани диапазоните, в които се варират входните параметри (при фиксирани стойности на останалите параметри) и съответстващите им диапазони на промяна на производителността. Вижда се, че с най-голямо влияние върху производителността на багера са: коефициентът на напълване на кофата k_n , коефициентът на използване по време k_g^{bag} , времето за позициониране и напълване на кофата t_l и ъгъла на завъртане на платформата α . Увеличаването на някои от параметрите намалява производителността, т.е. връзката е отрицателна.



Фиг.5 Торнадо диаграма за производителността на багера Q_{bag}

Като допълнителни показатели на чувствителността се използват и следните два показателя [15], за пресмятането на които се използват данните от торнадо диаграмата:

1) Абсолютна чувствителност SA , която представлява отношение на абсолютното изменение на изходната характеристика $\Delta y = y_{\max} - y_{\min}$ и абсолютното изменение на входната величина $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$:

$$SA = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (49)$$

2) Относителна чувствителност SR (еластичност), дефинирана като относително изменение на изходната характеристика спрямо относителното изменение на входната характеристика, като относителното изменение се определя спрямо минималните стойности на двете величини:

$$SR = \frac{x_{\min}}{y_{\min}} \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (50)$$

В табл.6 са показани числените данни, въз основа на които е построена торнадо диаграмата. В колонката „Кумулативна обяснена вариация“ е показана кумулативната вариация на производителността вследствие на промяната на входните параметри. Както се вижда, вследствие на промяната на първите четири параметъра от табли-

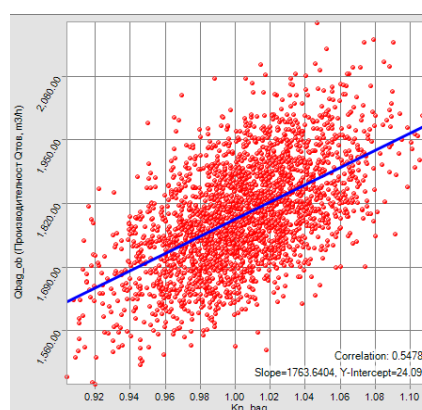
цата се обяснява около 88% от вариацията на производителността. Относителна чувствителност със стойност 1 съответства на параметрите, на които производителността е пропорционална в (1) - k_n , k_e^{bas} , k_p , k_u , а тази със стойност по-малка от 1 съответства на тези параметри, които формират продължителността на работния цикъл - t_1 , α , t_3 , n_{nl} .

табл.6 Данни за определяне на чувствителността на производителността Q_{bas}

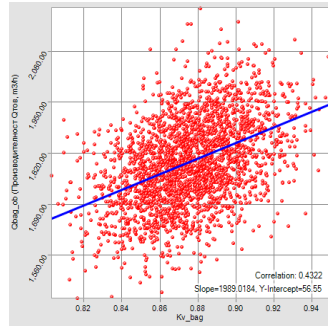
Входна променлива	Производителност				Интервали на входните променливи			Чувствителност	
	Долна граница	Горна граница	Интервал на промяна	Кумулативна обяснена вариация	Долна граница	Горна граница	Интервал	SR	SA
k_n	1651.2	1938.6	287.4	32.80%	0.93	1.09	0.16	1.00	1784.2
t_1	1938.9	1670.7	-268.2	60.50%	8.45	11.55	3.10	-0.38	-86.5
k_e^{bas}	1677.9	1911.8	233.8	80.90%	0.82	0.93	0.11	1.00	2051.3
α	1839.4	1733.2	-106.2	86.70%	85.12	103.23	18.10	-0.27	-5.86
n_{nl}	1749.4	1854.5	105.1	92.7%	4.46	5.41	0.95	0.28	110.8
k_p	1854.0	1745.3	-108.7	96.20%	1.17	1.24	0.07	-1.00	-1589
k_u	1758.0	1831.7	73.7	98.04%	0.91	0.94	0.04	1.00	1940.4
t_3	1828.8	1762.1	-66.7	100.00%	4.11	4.89	0.78	-0.19	-86.0

Получените при извършването на симулацията данни позволяват да се използват следните методи за оценка на чувствителността:

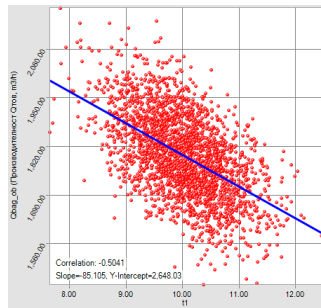
1) Построяване на корелационно поле, което визуализира отношението между една от входните променливи и изходната характеристика, но при отчитане на промяната и на другите входни променливи поради техния стохастичен характер, т.е. тук не е възможно разграничаване на влиянието на отделните променливи. На фиг.6 са показани корелационните полета за първите три параметъра от фиг.6, влияещи най-силно върху производителността Q_{bas} . Те са построени като за всеки от проведените числени експерименти е изобразена точка с координати (входен параметър, производителност).



a)



б)



в)

фиг.6 Корелационни полета: а) $Q_{baz} = f(k_n)$;

б) $Q_{baz} = f(k_e^{baz})$; в) $Q_{baz} = f(t_1)$

За да се оцени силата на връзката между входната и изходната променливи се използва коефициента на линейна корелация на Пирсън [16] при който се предполага, че двете променливи са линейно свързани:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (51)$$

където $\bar{x}$ и $\bar{y}$ са математическите очаквания на двете величини, а s_x и s_y са средно квадратичните им отклонения. Стойностите на коефициентите на линейна корелация са показани на всяка от графиките. Както се вижда от фиг.6 а) коефициентът на корелация за зависимостта $Q_{baz} = f(k_n)$ е равен на 0.548, а за зависимостта $Q_{baz} = f(t_1)$ е -0.504, т.е. съгласно всеобщо приетата терминология тези две корелационни зависимости са “значителни”, като първата е положителна, а втората отрицателна. Корелационната зависи-

мост $Q_{baz} = f(k_e^{baz})$ е „умерена“ и положителна.

Доверителният интервал за коефициента на корелация в генералната съвкупност се пресмята чрез статистическата оценка на коефициента на корелация r_{xy} за определена доверителна вероятност и има следния вид [21]:

$$[L, U] = \left[\frac{e^{2z_1} - 1}{e^{2z_1} + 1}, \frac{e^{2z_2} - 1}{e^{2z_2} + 1} \right] \quad (52)$$

където: $Z_1 = \mu - \frac{z_{1-\alpha/2}}{\sqrt{n-3}}$, $Z_2 = \mu + \frac{z_{1-\alpha/2}}{\sqrt{n-3}}$,

$$\mu = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r_{xy}}{1-r_{xy}}.$$

2) Връзката между входните и изходните променливи се онагледява и чрез построяване на линията на линейна регресия върху диаграмата на разсейването, както е показано на фиг.6. Върху всяка от графиките са изписани стойностите на коефициентите в регресионното уравнение.

3) Чрез пресмятане на коефициента на рангова корелация на Спирмън [22], който се използва за оценяване на силата и знака на връзката и между нелинейни монотонни зависимости:

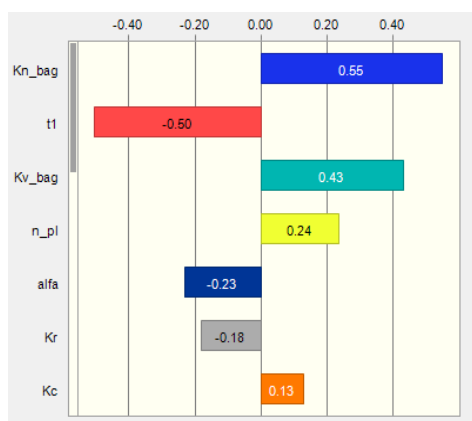
$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (53)$$

където $d_i = \text{rg}(x_i) - \text{rg}(y_i)$ е разликата между ранговете на всяко от наблюденията, а n е броя на наблюденията. Ранговете $\text{rg}(x_i)$ и $\text{rg}(y_i)$ са цели числа. На фиг.7 а) са показани определените коефициенти на рангова корелация за производителността.

3) Чрез декомпозиция на дисперсията на изходната характеристика (обяснена вариация) [18]. Този метод се основава на установяване на чувствителността чрез определяне на дяла от дисперсията на изходната характеристика, дължаща се на дисперсията на изследвания входен параметър. Числената стойност на тази характеристика представлява коефициента на детерминация в проценти, като полученото число показва процента на промени в изходната величина, причинени от измененията на входната променлива. На фиг.7 б) е показана обяснената вариация за различните входни фактори.

4.2 Статистически характеристики на автосамосвала

На фиг.8 са показани полигоните на разпределение на производителността на автосамосвала Q_{cam} , на продължителността на работния цикъл на автосамосвала T_{cam} и на броя цикли за единица време n_{cam} , а в табл.7 техните статистически характеристики.

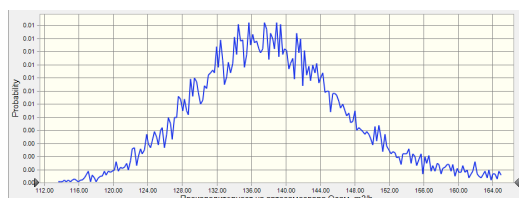


а)

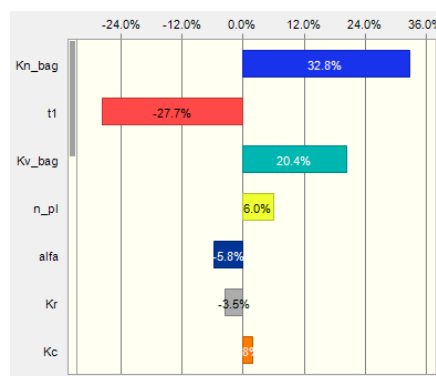
табл.7 Статистически характеристики на автосамосвала

	Математическо очакване	Медиана	Средно квадратично отклонение	Коефициент на вариация	Мин. - макс. стойности
Q_{cam}	138.8 m ³ /h	137.9 m ³ /h	9.45 m ³ /h	0.068	108.1 ÷ 189.8 m ³ /h
T_{cam}	1184.8 s	1184.5 s	46.2 s	0.039	1014.2 ÷ 1359.1 s
n_{cam}	3.04 h ⁻¹	3.04 h ⁻¹	0.12 h ⁻¹	0.039	2.65 ÷ 3.55 h ⁻¹

Показаните на фиг.9 характеристики на чувствителността показват, че най-силно върху производителността на автосамосвала влияят коефициентът на използване по време на автосамосвала, скоростта на движение, транспортното разстояние, а също така и коефициентът на напълване на кофата на багера.



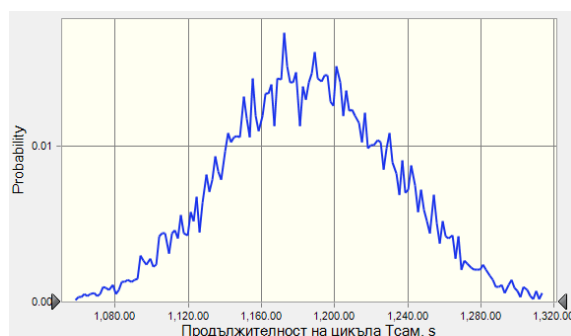
а)



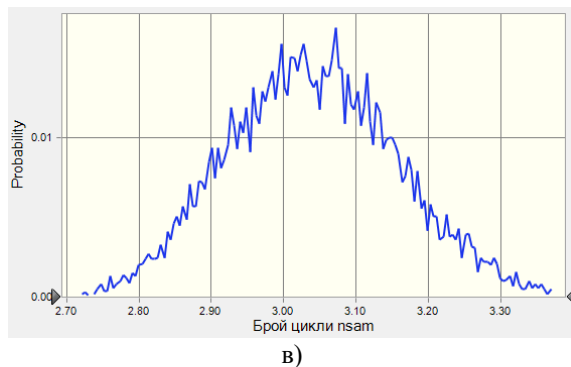
б)

фиг.7 Характеристики на чувствителността на производителността на багера Q_{bag} : а) коефициент на рангова корелация; б) обяснена вариация

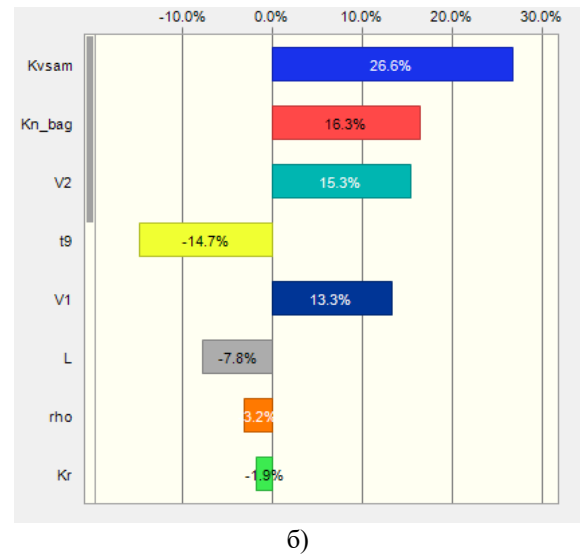
Както се вижда и тук, аналогично на статистическите характеристики на багера, разсейването на стойностите е значително. Една допълнителна особеност е, че полигона на разпределение на производителността на автосамосвала е с дясно изтеглена опашка.



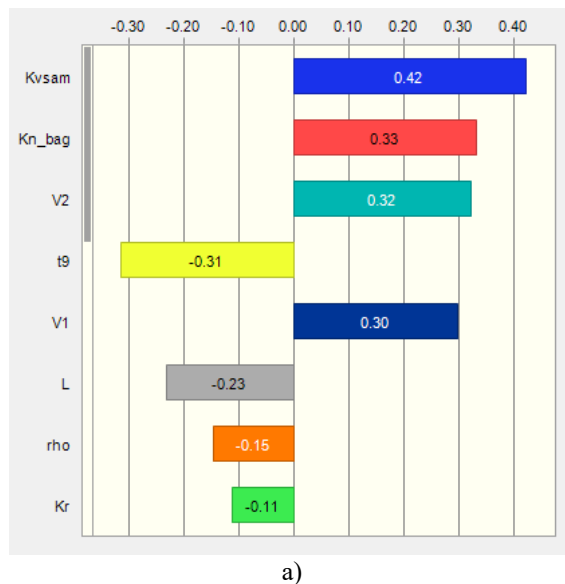
б)



в)
фиг.8 Полигон на разпределението на: а) производителността на автосамосвала $Q_{сам}$; б) продължителността на работния цикъл на автосамосвала $T_{сам}$; в) броя цикли за единица време $n_{сам}$



б)
фиг.9 Характеристики на чувствителността на производителността на автосамосвала: а) коефициент на рангова корелация; б) обяснена вариация



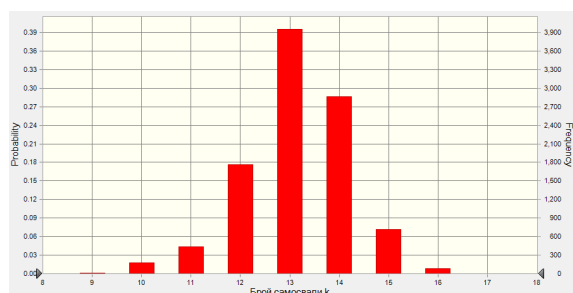
а)

4.3 Статистически характеристики на комплекта машини

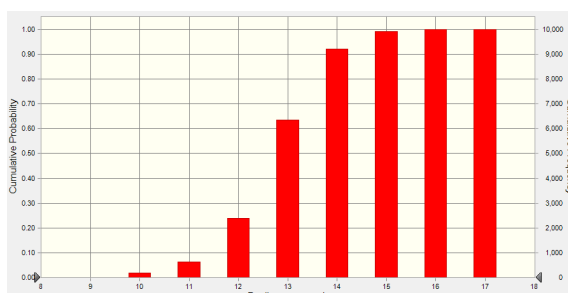
На фиг.10 е показана диаграмата на относителните честоти на необходимия брой автосамосвали k за обслужване на багера, пресметнат по (14), а на фиг.11 – кумулативната диаграма на относителните честоти. Както се вижда, разпределението е несиметрично и обхваща всички възможни случаи на комбинации на входните параметри. В табл.8 са показани вероятностите за различните стойности на k . Както се вижда, в около 40% от случаите са необходими 13 автосамосвала, като това е и стойността, определена по детерминирана методика. За всички реализирани комбинации на стойностите на входните параметри необходимия брой автосамосвали варира от 9 до 16 с различна вероятност, като с най-голяма вероятност след 13 бр. са 12 и 14.

табл.8 Относителни честоти H_i на броя самосвали k

k	9	10	11	12	13	14	15	16
$H_i, \%$	0.12	1.77	4.32	17.65	39.52	28.6	7.19	0.78



фиг.10 Диаграма на относителните честоти на броя самосвали k

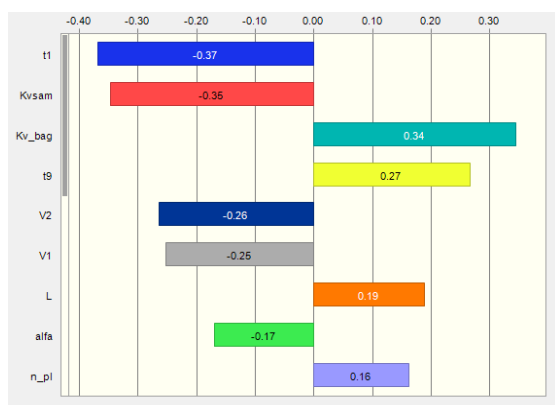


фиг.11 Кумулативна диаграма на относителните честоти на броя самосвали k

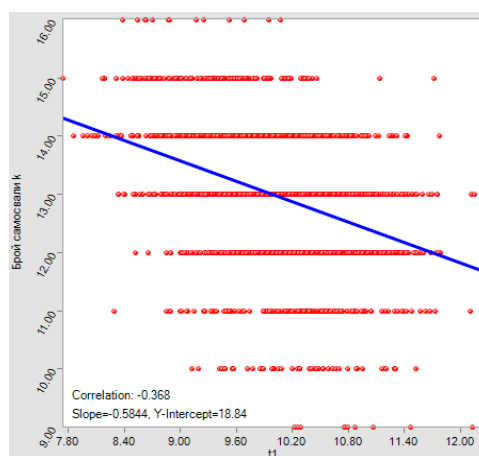
табл.9 Статистически характеристики на разпределението на броя самосвали k

	Мат. очакване	Медиана	Мода	Средно кв. откл.	Коеф. на вариация	Мин. - макс. стойности
k	13.13	13	13	1.08	0.082	9 ÷ 16

На фиг.12 са показани характеристиките на чувствителността на броя автосамосвали k , който зависи най-силно от следните фактори (в намаляваща степен) - t_1 , $k_{\text{сам}}^{\text{сам}}$, $k_{\text{баг}}^{\text{баг}}$, t_9 , V_2 , v_1 , L , α , $n_{\text{пл}}$. Както се вижда от фиг.4.12 а), с най-висок коефициент на корелация са коефициентите на използване по време и на автосамосвала и на багера, също така и на времето t_1 , като и в трите случая връзката е “умерена”.



а)



б)

фиг.12 Характеристики на чувствителността на броя автосамосвали k : а) коефициенти на рангова корелация; б) корелационно поле, коефициент на линейна корелация и регресионна линия на t_1

От останалите стойности на коефициентите на корелация се вижда, че няма силно доминиращи фактори, чрез промяната на които да се въздейства ефективно върху k с цел неговото намаляване. От корелационното поле за $k = f(t_1)$ се вижда, че увеличаването на t_1 води до намаляване на необходимия брой втосамосвали. Причина за това е, че увеличаването на продължителността за напълване на кофата намалява производителността на багера и от (14) следва, че k също на-

малява.

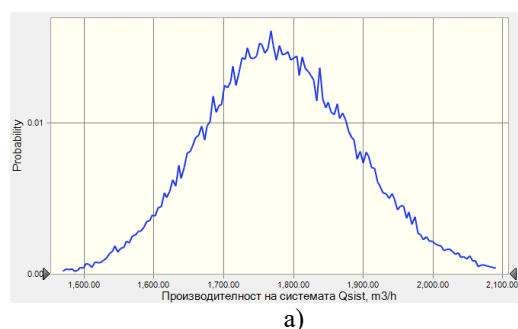
На фиг.13 са показани полигоните на разпределения и корелационните коефициенти на останалите експлоатационни характеристики на системата, а в табл.10 - статистическите им характеристики. Те са определени по зависимостите в т.2.1 – т.2.7, като за различните реализирани комбинации на входните параметри са използ-

вани стойностите от хистограмата на броя на автосамосвалите k – фиг.10. Тези „идеални“ характеристики са построени за производителност на багера, която винаги е равна на производителността на системата от автосамосвали.

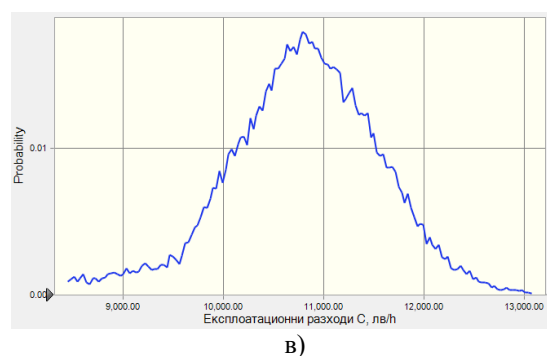
От табл.10 се вижда, че характеристиките H , O и N са с висок коефициент на вариация, поради което те се променят в много широк интервал.

табл.10 Статистически характеристики на експлоатационните характеристики на комплекта

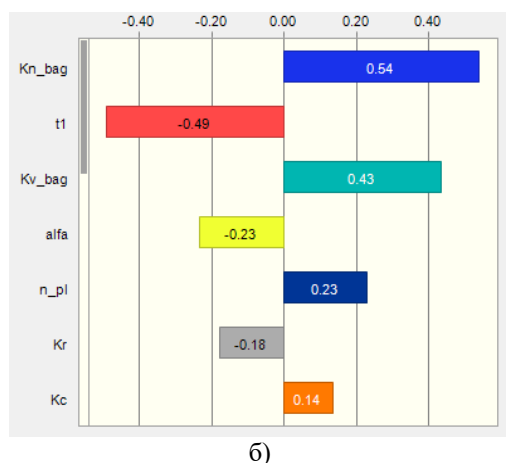
	Математ. очакване	Медиана	Ср. квадрат. отклонение	Коефициент на вариация	Мин. - макс. стойности
$Q_{сист}$	1779.8 м ³ /h	1776.1 м ³ /h	111.5 м ³ /h	0.063	1362.4 ÷ 2280.1 м ³ /h
C	10756.5 лв./h.	10802.9 лв./h.	831.1 лв./h	0.077	7144.3 ÷ 15417.3 лв./h
P	12458.5 лв./h.	12432.7 лв./h.	780.2 лв./h	0.063	9536.6 ÷ 15960.5 лв./h
H	1701.2 лв./h.	1670.1 лв./h.	666.9 лв./h	0.39	-927 ÷ 4720.2 лв./h
T	33.8 h	33.7 h	2.1 h	0.063	26.3 ÷ 44.0 h
O	50.9	49.6	21.1	0.41	-31.3 ÷ 159.1
M	137.5	136.6	9.4	0.069	107.9 ÷ 189.8
N	4.0	3.8	1.81	0.45	-1.7 ÷ 14.5



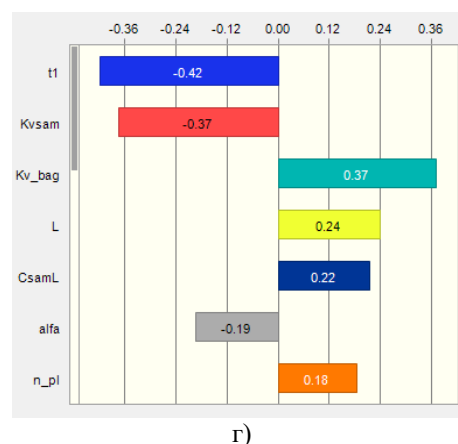
а)



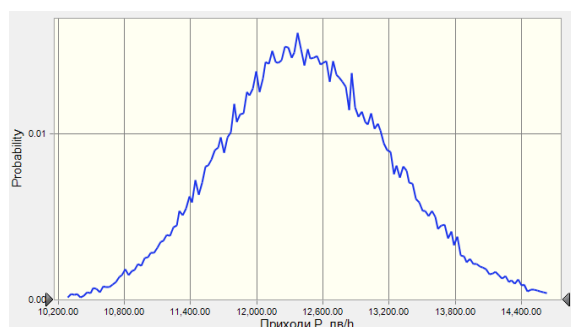
б)



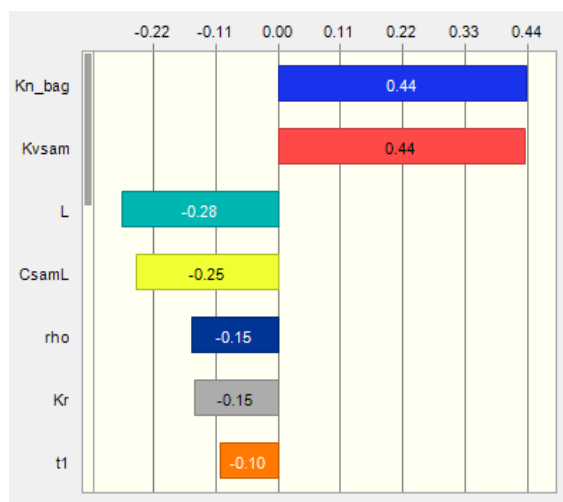
в)



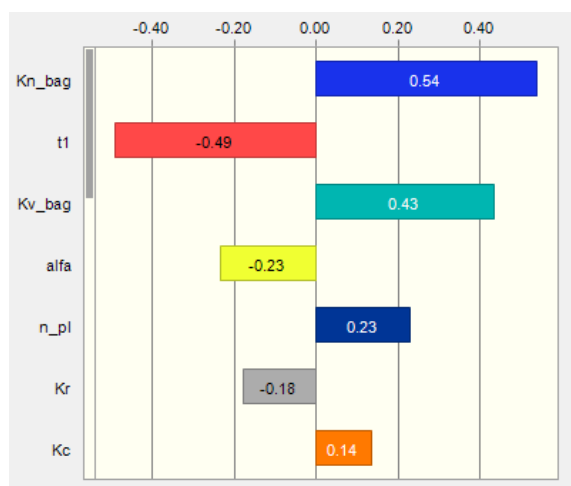
г)



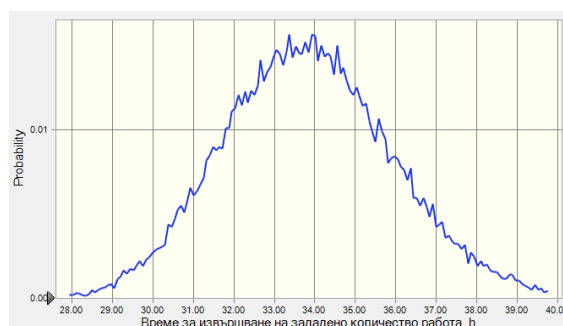
д)



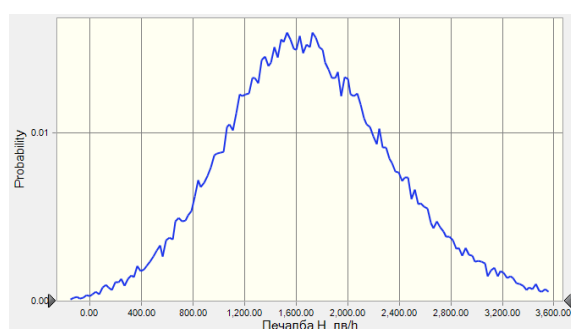
з)



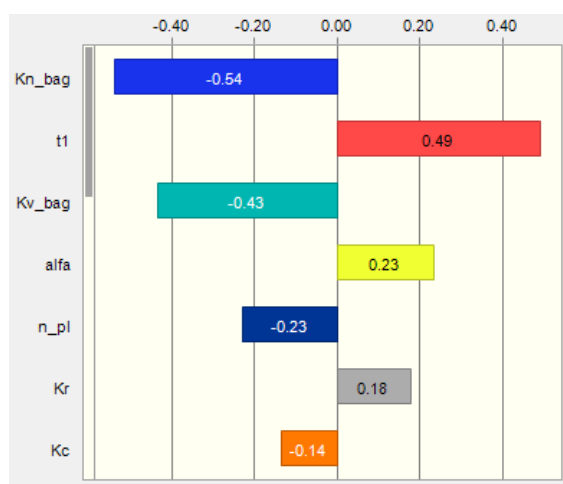
е)



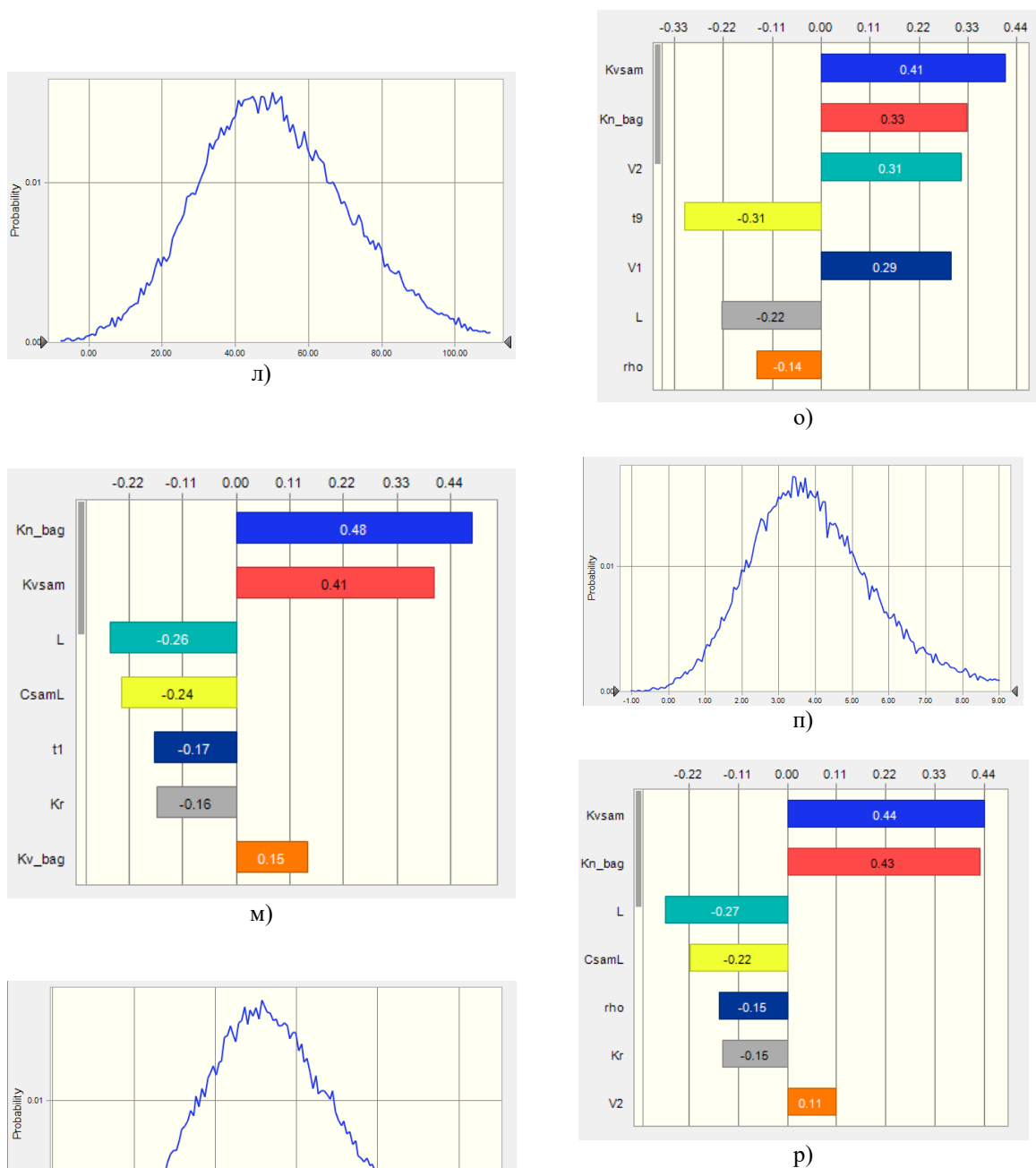
и)



ж)



к)



фиг.13 Полигони на разпределението и характеристики на чувствителността на характеристиките на системата: а) и б) производителност на системата $Q_{суст}$; в) и г) експлоатационни разходи C ; д) и е) приходи P ; ж) и з) печалба H ; и) и к) продължителност T ; л) и м) критерий O ; н) и о) критерий M ; п) и р) критерий N

Следва да се отбележат следните установени чрез анализ на графиките на фиг.13 особености:

- Производителността на системата $Q_{сист}$ (фиг.13а) и б)) най – силно зависи от параметрите, които определят производителността на багера (в намаляващ ред) - k_n , t_l , k_6^{6az} , α , n_{nl} ;

- Експлоатационните разходи C зависят както от параметрите на багера, така и от изминатото разстояние и коефициента на напълване на самосвала - t_l , k_6^{cam} , k_6^{6az} , L , C_{cam}^L , α , n_{nl} ;

- Приходите P зависят основно то параметрите, определящи производителността на багера - k_n , t_l , k_6^{6az} , α , n_{nl} ;

- Печалбата H зависи от следните параметри - k_n , k_6^{cam} , L , C_{cam}^L , ρ , k_p ;

- Времето за извършване на зададено количество работа T зависи най-силно от параметрите, определящи производителността на багера - k_n , t_l , k_6^{6az} , α , n_{nl} ;

- Критерият O зависи най-силно от следните параметри - k_n , k_6^{cam} , L , C_{cam}^L , t_l , k_p ;

- Критерият M зависи най-силно от параметрите, определящи производителността на самосвала - k_6^{cam} , k_n , V_2 , t_9 , V_l , L , ρ ;

- Критерият N зависи най-силно от параметрите, определящи производителността на самосвала - k_6^{cam} , k_n , L , C_{cam}^L , ρ , k_p , V_2 ;

Като обобщение на представените на фиг.12 и фиг.13 резултати за експлоатационните характеристики на комплекта може да се каже следното:

- От параметрите, определящи производителността на багера зависят следните експлоатационни характеристики – $Q_{сист}$, P , T ;

- От параметрите, определящи производителността на автосамосвала зависят следните експлоатационни характеристики – N , M ;

- От параметрите, определящи и производителността на багера и на автосамосвала зависят следните характеристики – C , H , O , k .

5. ИЗВОДИ

Извършените изследвания позволяват да се направят следните изводи:

1) Разработеният вероятностно-статистически

модел на комплект машини „минен багер - автосамосвали“ при извършване на земекопно-транспортни операции адекватно възпроизвежда поведението на реалната система. Методът на статистическото моделиране е ефективен при извършване на симулация, като същевременно отчита дискретния характер на задачата и дава възможност за оценка на точността на получените резултати;

2) Извършените изследвания показват, че е налице неопределеност в изходните експлоатационни характеристики на комплекта, която е породена както от стохастичния характер на входните параметри, така и от неточности в концептуалния математически модел. Получените резултати за експлоатационните характеристики на багера, автосамосвала, а също така и на целия комплект показват, че те приемат стойности в определени интервали с определена вероятност, което следва да се отчита при планиране на технологичните процеси, оценка на времевите и финансовите характеристики на системата, а също и при сключване на договори;

3) Оценката на чувствителността на изходните характеристики към промяна на входните параметри дава възможност да се установи степента на тяхното влияние и отграничат параметрите с най-силно или най-слабо влияние, като по-този начин се установяват най-ефективните начини за подобряване на характеристиките на системата;

Литература

1. Данчев Д., Христов Д. Основи на пътни и строителни машини. Техника, София, 1990.
2. Митрев Р. Изследване на комплект машини за механизация на земекопно-транспортните работи с отчитане на неопределеността: Част I – дефиниране на стохастичен математически модел. Българско списание за инженерно проектиране, бр.36, 2018 г.
3. Кудрявцев Е. Комплексная механизация строительства. Москва, АСВ, 2013.
4. Kroese D, Taimre T., Botev Z. Handbook of Monte Carlo methods. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ 2011.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. Москва, Советское радио, 1972
6. Савелова Т. Метод Монте Карло. НИЯУ МИФИ, Москва, 2011.
7. Pukelsheim F. The Three Sigma Rule. The American Statistician 48, no. 2, 88-91, 1994. doi:10.2307/2684253.
8. Evans M., Hastings N., Peacock, B. Triangular Distribution." Ch. 40 in [Statistical Distributions, 3rd ed.](#)

- New York: Wiley, pp. 187-188, 2000.
9. **Banks J., Carson J., Neslon B., Nicol D.** Discrete-event system simulation. Third edition. Prentice Hall, NJ, 2001.
10. Wichmann–Hill. <https://en.wikipedia.org/wiki/Wichmann%E2%80%93Hill>, посетен на 20.04.2020.
11. **Boiroju N., Reddy K.** Generation of standard normal random numbers, May 2012., Interstat journal, ISSN 1941-689X.
12. **Haldar A., Mahadevan S.** Probability, Reliability, and Statistical methods in Engineering Design. John Wiley & Sons. New York, 2000.
13. **Bruce P., Bruce A.** Practical Statistics for Data Scientists. 50 Essential Concepts. O'Reilly Media, 2017.
14. **Montgomery D., Runger G.** Applied Statistics and Probability for Engineers. Wiley, 2018.
15. **Salteli A., Tarantola S., Campolongo F., Ratto M.** Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models, John Wiley & Sons, 2004.
16. **Daly F., Hand D., Jones M., Lunn A., McConway K.** Elements of statistics. Pearson Education, 1995.
17. **Brown S.** Measures of Shape: Skewness and Kurtosis. <https://brownmath.com/stat/shape.htm>, посетен на 23.04.2020.
18. Crystal Ball User's guide. 11.1.2.4.850, 2017, Oracle.
19. **Кътов П., Беновски А., Стоянова М., Габровски К., Василев К.** Ръководство за упражнения по строителни машини. София, Техника, 1986.
20. **Митрев Р.** Изследване на комплект машини за механизация на земекопно-транспортните работи с отчитане на неопределеността: част II – Вероятностно-статистически характеристики. Българско списание за инженерно проектиране, бр. 36, юли 2018.
21. **Bonett D., Wright T.** Sample size requirements for estimating Pearson, Kendall and Spearman correlations. Psychometrika, vol. 65, no. 1, 23-28, March 2000.
22. **Corder G., Foreman D.** Nonparametric statistics. A Step-by-Step Approach. Wiley, 2014.

ОПТИМИЗАЦИЯ НА КОМПЛЕКТ МАШИНИ ЧРЕЗ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ

Росен МИТРЕВ

катедра „Инженерна логистика, подемно-транспортна и строителна техника”, Технически университет - София,
България

e-mail: rosenm@tu-sofia.bg

Резюме: В настоящата работа посредством дефинирани абсолютни и относителни критерии, описващи експлоатационните възможности на комплект машини „хидравличен багери – автосамосвали“ е извършен избор на алтернативни варианти и избор на оптимален по частен и глобален критерий вариант на комплект машини. Дефинирането на функции на състоянието дава възможност да се отчита неопределеността на експлоатационните характеристики при сравнение на варианти и да се извършва сравнение между вариантите на вероятностна основа. Основно предимство на предлаганият подход е, че освен оптималното решение, се намират и субоптимални решения, което значително разширяват възможностите за избор между повече от един комплект машини. Извършената верификация на разработения вероятностно статистически модел посредством затворена система за масово обслужване показва удовлетворителна точност на съвпадение на резултатите.

Ключови думи: комплект минни машини, вероятностно-статистически модел, оптимизация

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В [1] е разработен вероятностно - статистически модел на комплект минни машини „минен багер - автосамосвали“, който отчита стохастичния характер както на собствените параметри на комплекта машини, така и на параметрите на околната среда. В настоящата работа, дефинираните абсолютни и относителни показатели, характеризиращи експлоатационните възможности на комплекта машини, се използват за сравнителен анализ на алтернативни варианти на комплекти машини с последващ избор на оптимален брой автосамосвали по частен или глобален критерий. Използването на функции на състоянието позволява да се отчете неопределеността на експлоатационните характеристики при сравнение на алтернативни варианти на вероятностна основа. Основна задача е и верификацията на разработения вероятностно-статистически модел на комплекта машини.

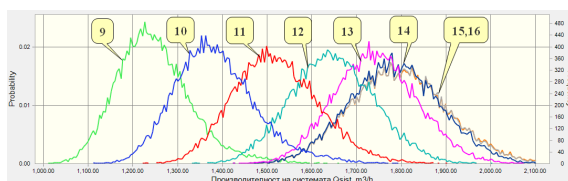
2. ОЦЕНКА НА АЛТЕРНАТИВНИ ВАРИАНИ ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН БРОЙ АВТОСАМОСВАЛИ

2.1 Статистически характеристики на комплект машини при различен брой автосамос-

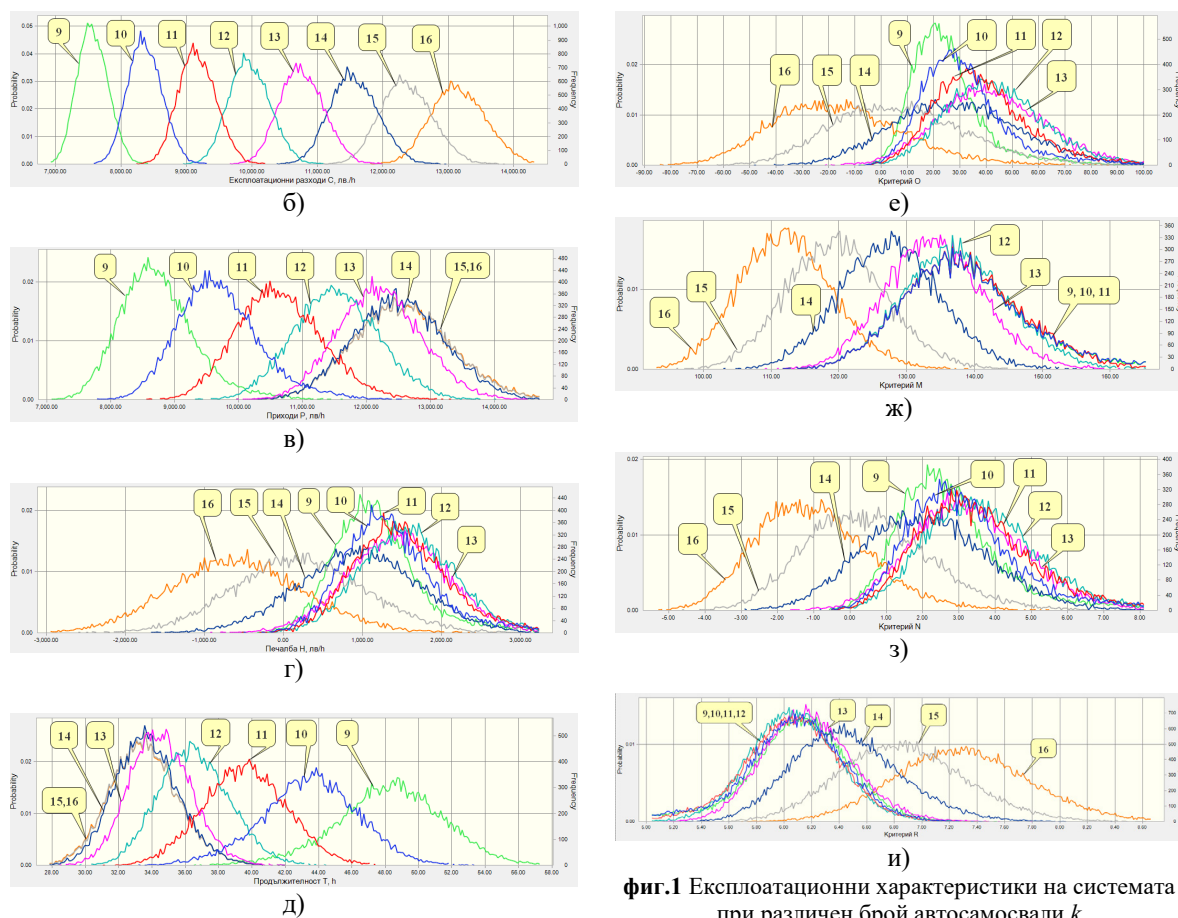
вали

Показаните на фиг.13 в [1] „идеални“ експлоатационни характеристики са построени за брой автосамосвали в комплекта, който е променлив съгласно хистограмата на фиг.10 в [1]. В реалния комплект машини броя автосамосвали k е постоянен, което ще доведе до определено отклонение на характеристиките от „идеалните“. В този случай възниква въпроса за определяне и изследване на експлоатационните характеристики на комплекти машини с различен брой автосамосвали и последващ избор на оптимален по определен критерий брой автосамосвали.

На фиг.1 са показани експлоатационните характеристики на системата $Q_{сист}$ при брой автосамосвали, променящ се от 9 до 16, а в табл.1 са показани статистическите им характеристики – математическото очакване $\bar{p}$ и средно квадратичното отклонение s_p .



а)



фиг.1 Эксплоатационни характеристики на системата при различен брой автосамосвали k

табл.1 Статистически характеристики на експлоатационните характеристики при различен брой автосамосвали k

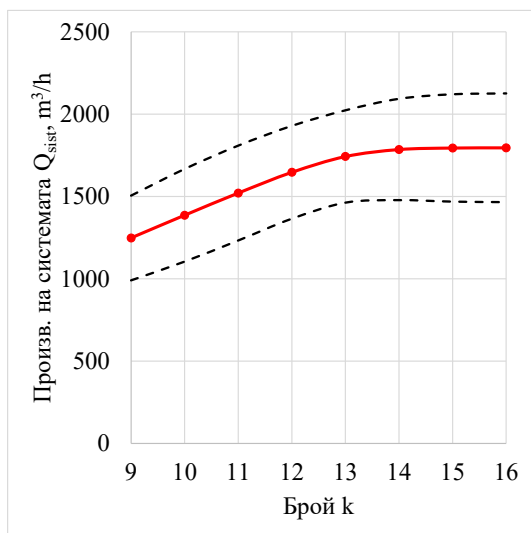
	$Q_{сист}$		C		P		H	
k	$\bar{p}$	s_p	$\bar{p}$	s_p	$\bar{p}$	s_p	$\bar{p}$	s_p
9	1248.2	85.8	7567.3	236.1	8737.3	600.6	1169.9	557.2
10	1386.3	93.8	8366.5	262.3	9704.2	656.8	1337.7	608.4
11	1521.1	96.1	9165.6	288.5	10647.3	672.5	1481.7	615.0
12	1647.2	94.1	9964.8	314.7	11530.6	658.3	1565.8	594.8
13	1743.2	93.6	10763.9	341.0	12202.0	655.3	1438.1	636.7
14	1785.8	102.7	11563.1	367.2	12500.7	718.8	937.6	760.7
15	1795.0	108.8	12362.2	393.4	12565.3	761.7	203.0	830.0
16	1796.1	110.2	13161.4	419.6	12572.9	771.4	-588.5	853.0

табл.1 – продължение

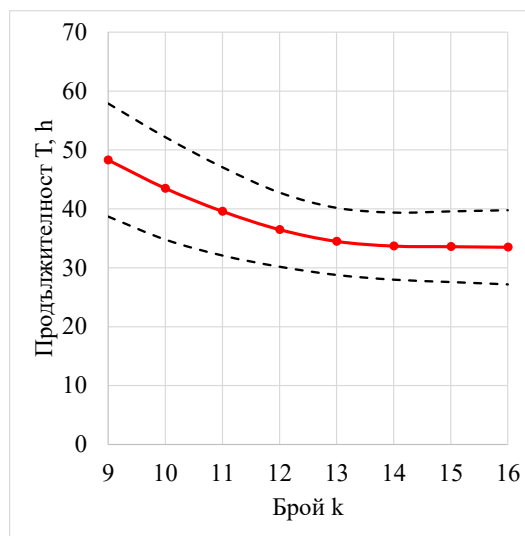
	T		O		M		N		R	
k	$\bar{p}$	s_p	$\bar{p}$	s_p	$\bar{p}$	s_p	$\bar{p}$	s_p	$\bar{p}$	s_p
9	48.3	3.2	25.1	13.8	138.7	9.5	2.8	1.5	6.1	0.37
10	43.5	2.9	31.8	16.7	138.6	9.4	3.2	1.7	6.1	0.37

11	39.6	2.5	38.5	18.2	138.3	8.7	3.5	1.7	6.1	0.35
12	36.5	2.1	43.8	18.7	137.3	7.8	3.7	1.6	6.1	0.32
13	34.5	1.9	42.6	20.6	134.1	7.2	3.3	1.6	6.2	0.32
14	33.7	1.9	29.1	24.2	127.6	7.3	2.1	1.7	6.5	0.39
15	33.6	2	7.4	25.4	119.7	7.3	0.5	1.7	6.9	0.45
16	33.5	2.1	-16.3	24.9	112.3	6.9	-1.0	1.56	7.3	0.49

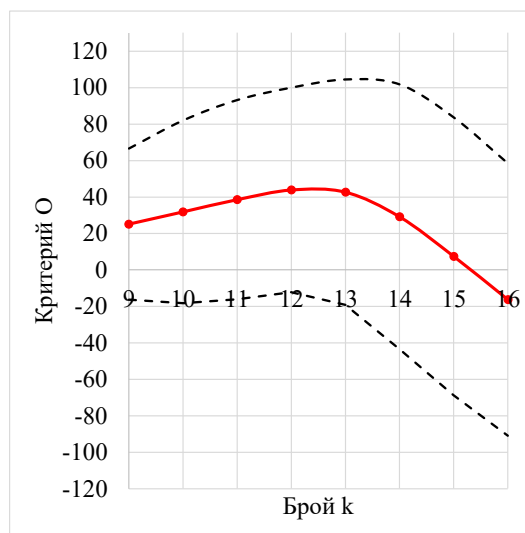
По представените на фиг.1 и табл.1 данни са построени графики (фиг.2 и фиг.3), показващи експлоатационните характеристики на комплекта в зависимост от броя автосамосвали k в комплекта. С плътна линия са показани характеристиките, които отговарят на математическото очакване $\bar{p}$ на съответната експлоатационна характеристика, а пунктирните линии изобразяват границите на характеристиката, променяща се в интервала $\bar{p} \pm 3s_p$. Трите линии могат да бъдат условно наречени “оптимистична” (построена с използване на стойностите $\bar{p} + 3s_p$), “песимистична” (построена с използване на стойностите $\bar{p} - 3s_p$) и “стандартна” (построена чрез математическото очакване $\bar{p}$). Както се вижда, интервалите на вариация на експлоатационните характеристики са с различна ширина, като особено голяма е тя при относителните критерии, което ще затрудни избора на брой автосамосвали, оптимален по тези критерии.



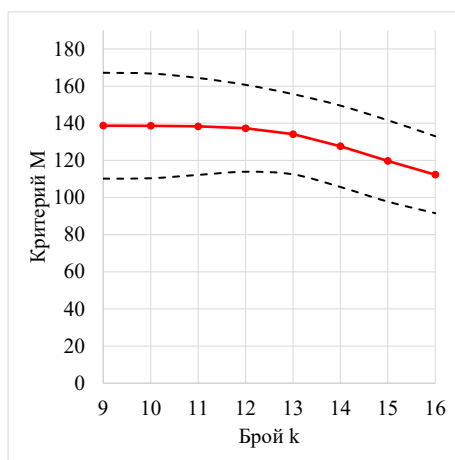
а)



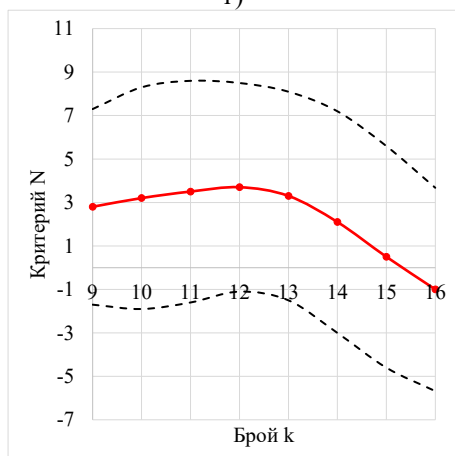
б)



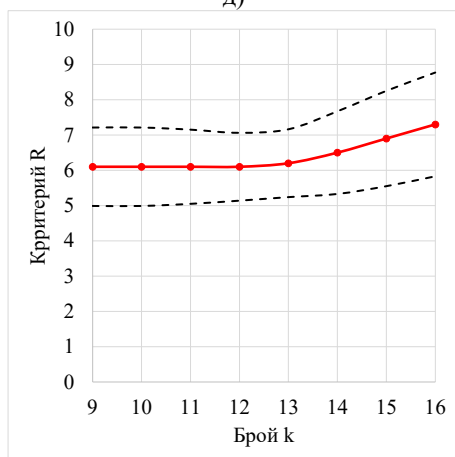
в)



г)

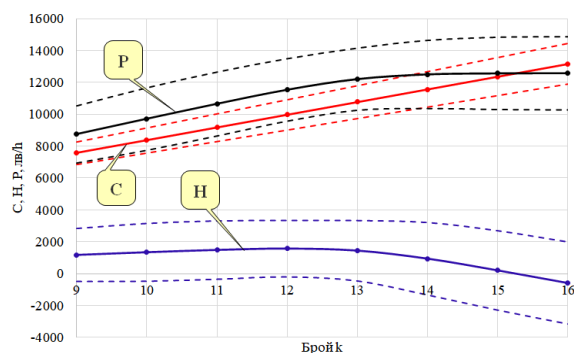


д)



е)

фиг.2 Експлоатационни характеристики на комплекта като функция на броя автосамосвали k



фиг.3 Финансови характеристики на комплекта в зависимост от броя автосамосвали k

Както се вижда от фиг.2 а), най-висока е производителността на системата $Q_{суст}$ при $k=14, 15$ и 16 , а много близка стойност има и математическото очакване на производителността при $k=13$. Видът на графиката след $k=14$ показва, че производителността на системата почти не нараства при добавянето на още автосамосвали, обслужващи багера.

Причината за това е, че производителността на системата е ограничена от производителността на багера и максималния брой автосамосвали, които може да обслужи багера е 14 бр/ч. Друга особеност е, че при увеличаване на k от 9 до 16 средно квадратичното отклонение на производителността нараства с около 30%.

От фиг.3 се вижда, че печалбата H силно зависи от избрания брой автосамосвали в системата и е с ясно изразен максимум при $k=12$, но с много близки стойности са $k=11$ и $k=13$. Обяснение за наличието на максимум е, че при увеличаване на броя автосамосвали в комплекта експлоатационните разходи C нарастват пропорционално, докато приходите P нарастват само до броя, до който се увеличава производителността на комплекта. Подобен ясно изразен максимум имат и графиките на критериите O и N , но при тях интервалите на вариация са значително по-големи. От фиг.2 б) се вижда, че времето за извършване на зададеното количество работа T има най-ниски стойности при 14, 15 и 16 автосамосвала, а интервала на вариация намалява с нарастването на броя автосамосвали и е значително по-малък отколкото при останалите характеристики. Графиката на фиг.2 г) показва, че производителността на системата за единица транспортно средство

(критерий M) намалява с увеличаване на k и е най-висока при 9, 10, 11, 12 и 13 автосамосвала. Критериите O (фиг.2 в)) и N (фиг.2 д) също имат ясно изразени максимуми, но налице са големи интервали на вариация на стойностите.

2.2 Оптимален избор на броя автосамосвали с отчитане на вероятностния характер на експлоатационните характеристики

2.2.1. Оптимален избор на броя автосамосвали чрез частни критерии

Чрез използване на стойностите на математическите очаквания на експлоатационните ха-

рактеристики, показани на фиг.2 и фиг.3, могат да бъдат избрани една или повече оптимални или субоптимални стойности на броя на автосамосвалите k^* , при които се максимизират или минимизират критериите (23) ÷ (26) от [1]. За целта, представените на фиг.2 и фиг.3 линии на математическите очаквания на критериите се апроксимират чрез полиноми. Стойностите на коефициентите на полиномите и коефициентите на детерминация на получените регресионни уравнения са показани в табл.2. както се вижда от стойностите на коефициентите на детерминация, степента на приближение е много висока.

табл.2 Коефициенти на апроксимиращите полиноми

Частни критерии	$y = ak^4 + bk^3 + ck^2 + dk + e$					
	a	b	c	d	e	$R^2, \%$
$Q_{сум} \rightarrow \max$	0	0	-14.174	434.94	-1532.2	99.67
$T \rightarrow \min$	0	0	0.4452	-13.188	130.85	99.82
$H \rightarrow \max$	3.6154	-186.94	3475.4	-27680	81351	99.90
$O \rightarrow \max$	0.1201	-6.2523	117.18	-939.68	2761.4	99.84
$M \rightarrow \max$	0	0	-0.8298	16.999	52.346	99.50
$N \rightarrow \max$	0.0101	-0.5119	9.3573	-73.608	214.07	99.89
$R \rightarrow \min$	0	0	0.0446	-0.953	11.115	98.86
$C \rightarrow \min$	0	0	0	799.15	374.95	100
$P \rightarrow \max$	0	0	-99.203	3044.2	-10724	99.67

Определянето на оптималните стойности на броя автосамосвали k^* се извършва по метода на главния критерий [2], при който единият от критериите се приема за главен и чрез оптимизационен метод се търси неговата екстремална стойност, а останалите критерии се превръщат в ограничителни условия от типа $=$, $\geq$ или $\leq$, които трябва да удовлетворяват предварително зададени числени стойности. Съществена подробност тук е, че решението за оптималния брой автосамосвали k^* има целочислен характер.

Оптимизационната задача е решена като за главен критерий се приема критерия O , чийто максимум се търси:

$$O \rightarrow \max \quad (1)$$

при следните ограничителни условия:

$$\begin{aligned} Q &\geq 1600 \\ T &\leq 38 \\ H &\geq 1500 \\ M &\geq 130 \\ N &\geq 2 \\ R &\leq 6.2 \\ C &\leq 12000 \\ P &\geq 10000 \\ 9 &\leq k \leq 16 \\ k &= \text{integer} \end{aligned} \quad (2)$$

Ограничителните условия за H и N могат да приемат и отрицателни стойности в разглеждания интервал на промяна на аргумента k , но зададените положителни стойности на десните части премахват необходимостта от налагането на допълнителни ограничения за неотрицателност на

решението. Числените стойности на десните части се избират в зависимост от необходимите технико-икономически показатели на комплекта, които трябва да се постигнат.

Решаването на нелинейната оптимизационна задача дава следните оптимални стойности: $k^*=12$, $O^*=45.58$, $Q^*=1646$, $T^*=36.7$, $H^*=1585.2$, $M^*=136.8$, $N^*=3.1$, $R^*=6.1$, $C^*=9964.8$, $P^*=11521.2$ и както се вижда всички ограничителни условия са изпълнени.

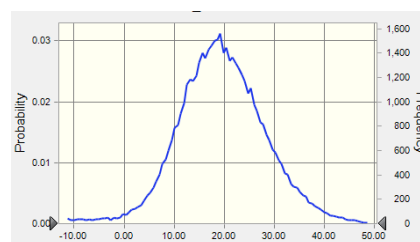
Изборът на оптимален брой k^* , основан на математическото очакване (средните линии) не отчита интервала на разсейването на стойностите на експлоатационните характеристики, обозначено чрез „оптимистичната“ и „песимистичната“ линии на фиг.2 и фиг.3. С известна вероятност са възможни случаи, когато поради разсейването оптимален ще бъде брой автосамосвали, различен от определения чрез математическото очакване. Особено важни в това отношение са субоптималните стойности на броя автосамосвали, при които експлоатационните характеристики могат да имат по-голямо разсейване, отколкото при оптималните стойности. В този случай, най-приемливия вариант е сравняването на експлоатационните показатели при различен брой автосамосвали чрез техните вероятностни разпределения, което ще даде допълнителна информация за потвърждаване или отхвърляне на стойността на избрания чрез математическото очакване оптимален брой автосамосвали k^* . За целта се дефинират функции на състоянието, включващи критериите, по които се извършва оптимизацията [3,4].

За да се сравни оптималния вариант с 12 автосамосвала с останалите варианти (т.е. от 9 до 16 автосамосвала) по критерий O при отчитане на неопределеността се дефинират следните функции на състоянието:

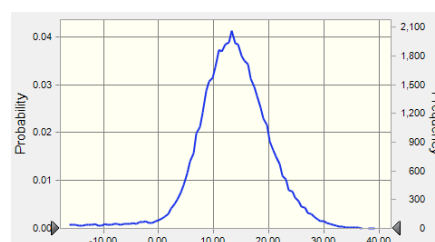
$$FO_{12-j} = O_{12} - O_j, j=9,10,11,13,14,15,16 \quad (3)$$

Вероятностния характер на функцията на състоянието дава възможност да се определи вероятността $P(FO_{12-j} \geq 0)$ функцията на състоянието да е положителна. За целта се пресмята отношението на броя на случаите, за които функцията на състоянието е по-голяма от нула и общия брой на случаите (зависимост 6). На фиг.4 са показани полигоните на разпределение на функциите на

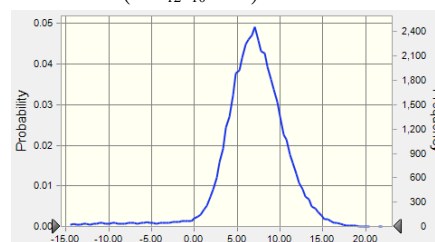
състоянието (3) и пресметнатите вероятности $P(FO_{12-j} \geq 0)$, които показват вероятността стойността на показателя O при 12 автосамосвала да бъде по-голяма от стойността на показателя O при j автосамосвала. От получените числени стойности за вероятностите се вижда, че най-малка е вероятността критерият O при 12 автосамосвала да бъде по-голям от критерия O при 13 автосамосвала - $P(FO_{12-13} \geq 0) = 32.8\%$.



$$P(FO_{12-9} \geq 0) = 96.5\%$$



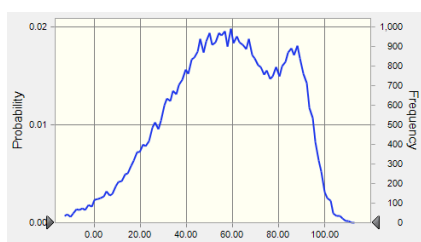
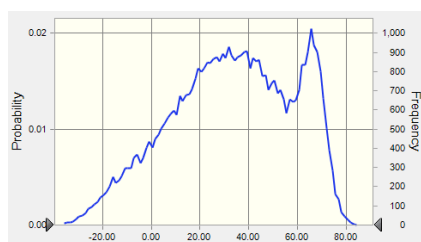
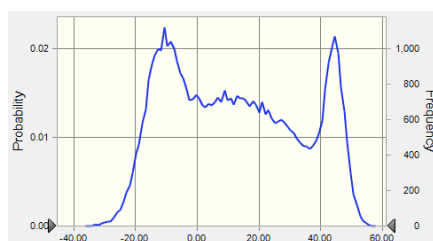
$$P(FO_{12-10} \geq 0) = 94.4\%$$



$$P(FO_{12-11} \geq 0) = 91.7\%$$



$$P(FO_{12-13} \geq 0) = 32.8\%$$



фиг.4 Полигони на разпределение на функциите на състоянието и вероятностите $P(FO_{12-j} \geq 0)$

За да се извърши подобно сравнение и за други субоптимални варианти с различен брой автосамосвали (по-конкретно за 11 и 13) са дефинирани и следните функции на състоянието:

$$FO_{11-j} = O_{11} - O_j, \quad j=9,10,12,13,14,15,16 \quad (4)$$

$$FO_{13-j} = O_{13} - O_j, \quad j=9,10,11,12,14,15,16 \quad (5)$$

и са определени вероятностите $P(FO_{11-j} \geq 0)$, $P(FO_{13-j} \geq 0)$.

Един друг възможен вариант за сравнение между алтернативните варианти (11, 12 и 13 бр.) е сравнението по средноаритметичните стойности на определените вероятности. Например, средноаритметичната стойност на вероятностите за $k=12$ е пресметната като средноаритметично на

стойностите на вероятностите от фиг.4. Получените стойности за изследваните алтернативни варианти показват, че средноаритметичната вероятност е най-висока за 13 машини, който брой може да се счита за оптимален по този критерий:

$$\bar{P}(FO_{11-j} \geq 0) = 66.2\%, \quad \bar{P}(FO_{12-j} \geq 0) = 81.0\%,$$

$$\bar{P}(FO_{13-j} \geq 0) = 83.2\%.$$

Както се вижда, средната вероятност при 13 автосамосвала е по-висока от средната вероятност при 12 автосамосвала с 2.2%. Близостта на тези две стойности както и близостта на математическите им очаквания (фиг.2 в) показва, че 13 автосамосвала също е един възможен избор, но с цел повишаване на надеждността на комплекта машини по-рационално е да се избере варианта с най-малък брой автосамосвали – 12 бр. Чрез подобно сравнение посредством функции на състоянието могат да бъдат изследвани и останалите критерии.

Определените точкови оценки на вероятностите за събъждане на определено събитие са с нормално разпределение и се пресмятат по следната зависимост:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n I_i(FO_{12-j} \geq 0)}{n} 100\% \quad (6)$$

където $I_i(FO_{12-j} \geq 0)$ е индикаторна променлива, приемаща следните стойности:

$$I_i(FO_{12-j} \geq 0) = \begin{cases} 1, & \text{ако } FO_{12-j} \geq 0, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (7)$$

Средно квадратичното отклонение на вероятността се пресмята така [5,6]:

$$s_P = \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \quad (8)$$

а доверителният интервал на вероятността е:

$$\left[P - z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}, P + z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \right] \quad (9)$$

Пресметнатите стойности за доверителните интервали на определените вероятности показват, че точността им е достатъчно висока за практически приложения.

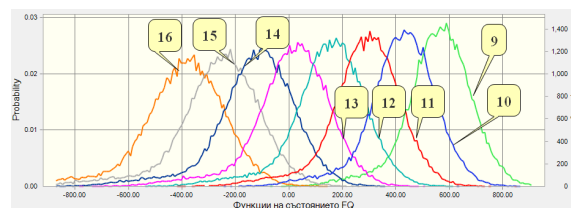
Определените производителности на багера и на системата от автосамосвали се сравняват чрез следните функции на състоянието FQ_k ($k=9 \div 16$):

$$FQ_k = Q_{\text{баз}} - kQ_{\text{сам}} \quad (10)$$

При отрицателна стойност на функцията, производителността на системата от автосамосвали е по-висока от тази на багера, поради което ще е налице изчакване на автосамосвалите за натоварване поради недостатъчна производителност на багера. Аналогично, когато функцията е положителна, производителността на системата от автосамосвали е по-ниска от тази на багера, поради което багера ще престоява. На фиг.5 са показани получените полигони на разпределение на FQ_k .

В табл.3 са показани вероятностите $P(FQ_k \leq 0)$. За тези вероятности може да се утвърждава, че са в определена зависимост от вероятностите за възникване на опашка от автосамосвали, чакащи натоварване от багера. Вероятностите $1-P(FQ_k \leq 0)$ представляват вероятностите производителност-

та на багера да е по-голяма от производителността на системата от автосамосвали, т.е. на вероятностите багера да престоява. От гледна точка на приемлива вероятност (18.7%) за престой на водещата машина в комплекта (багера) е подходящ избора на 14 автосамосвала в комплекта.



фиг.5 Полигони на разпределение на функциите на състоянието FQ_k ($k=9 \div 16$)

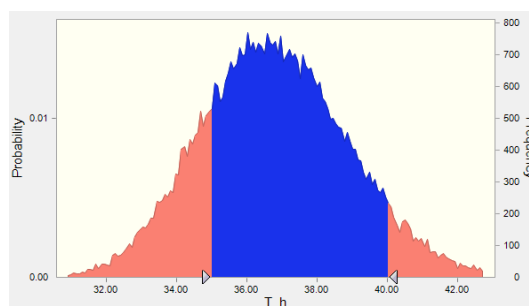
табл.3 Вероятности $P(FQ_k \leq 0)$ и $1-P(FQ_k \leq 0)$ (в проценти)

k	9	10	11	12	13	14	15	16
$P(FQ_k \leq 0)$, %	0.026	0.73	3.75	12.13	43.50	81.30	97.14	99.78
$100-P(FQ_k \leq 0)$, %	99.97	99.27	96.25	87.87	56.50	18.70	2.86	0.22

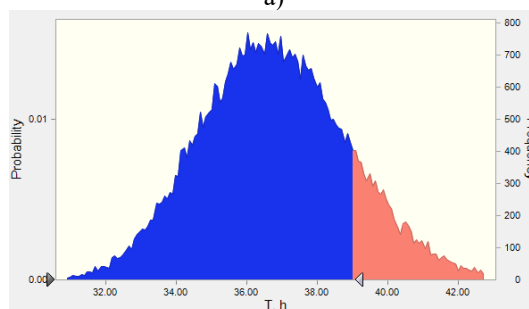
Оптималният брой автосамосвали $k=12$, получен чрез решаване на оптимизационната задача (1), позволява да се направи допълнителна вероятностна оценка на останалите експлоатационни показатели. Например, с голямо значение за практиката е извършването на вероятностна оценка на времето за извършване на зададено количество работа T . На фиг.6 а) е показана хистограмата на разпределението на T при $k=12$, като чрез броя на случаите в синята зона, която загражда интервала $[35,40]$ h е установено, че вероятността времето да лежи в този интервал е $P(35 \leq T \leq 40) = 73.1\%$. Аналогично, от фиг.6 б) се установява, че $P(T \leq 39) = 84.8\%$.

2.2.2. Оптимален избор на броя автосамосвали чрез глобален критерий

За да се отчете значимостта на всички експлоатационни показатели p_i (частни критерии) при избор на оптимален брой автосамосвали в комплекта, те могат да бъдат обединени в един глобален критерий F [7]. Важността на всеки от критериите се отчита чрез тегловни коефициенти k_i .



а)



б)

фиг.6 Извършване на вероятностна оценка на времето T

Частните критерии се нормират по математическото им очакване и тогава глобалния критерий, чийто максимум се търси, придобива вида:

$$F = \sum_{i=1}^9 k_i F_i \rightarrow \max \quad (11)$$

където F_i са нормираните частни критерии, които се променят в интервала $[0,1]$ и имат вида:

$$F_i = \frac{p_i - p_i^{\min}}{p_i^{\max} - p_i^{\min}} \quad (12)$$

$p_i^{\min}$ - минимална стойност на математическото очакване на частния критерий p_i , $p_i^{\max}$ - максимална стойност на математическото очакване на частния критерий p_i , а $\sum_{i=1}^9 k_i = 1$, $k_i \geq 0$. В сумата

(11) със знак „+“ участват частните критерии, които трябва да се максимизират, а със знак „-“ частните критерии които следва да се минимизират [7]. В настоящата задача се търси: $p_1=C \rightarrow \min$, $p_2=H \rightarrow \max$, $p_3=M \rightarrow \max$, $p_4=N \rightarrow \max$, $p_5=O \rightarrow \max$, $p_6=P \rightarrow \max$, $p_7=Q_{\text{сум}} \rightarrow \max$, $p_8=R \rightarrow \min$, $p_9=T \rightarrow \min$

Произведенията $k_i F_i$ се представят по следния начин:

$$k_i F_i = s_i p_i - d_i \quad (13)$$

където $s_i = \frac{k_i}{\Delta p_i}$, $d_i = \frac{k_i p_i^{\min}}{\Delta p_i}$ и $\Delta p_i = p_i^{\max} - p_i^{\min}$.

Тъй като p_i е случайна променлива, то изразът (12) представлява нейна линейна трансформация. При нормално разпределение на p_i математическото очакване и средно квадратичното отклонение на $k_i F_i$ съответно са:

$$\mu_{k_i F_i} = s_i \mu_{p_i} - d_i \quad (14)$$

$$\sigma_{k_i F_i} = s_i \sigma_{p_i} \quad (15)$$

където μ_{p_i} е математическото очакване на p_i , а σ_{p_i} е неговото средно квадратично отклонение.

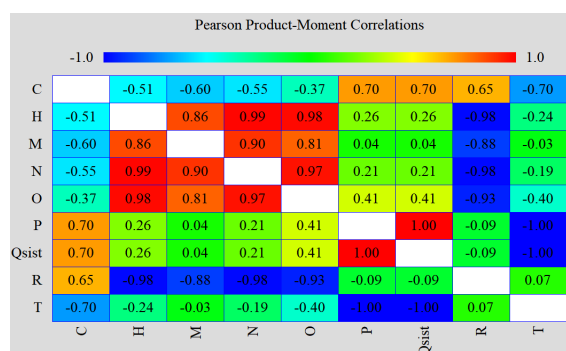
Математическото очакване на глобалния критерий F има вида [8]:

$$\mu_F = \sum_{i=1}^9 \mu_{k_i F_i} \quad (16)$$

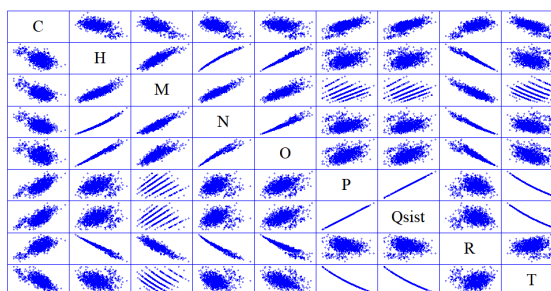
а дисперсията му в случай на корелирани променливи е:

$$\sigma_F^2 = \sum_{i=1}^9 \sigma_{k_i F_i}^2 + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^9 r_{ij} \sigma_{k_i F_i} \sigma_{k_j F_j}, \quad i \neq j \quad (17)$$

където r_{ij} са коефициентите на корелация между променливите p_i и p_j . Коефициентите на корелация между променливите, получени след обработка на резултатите от симулацията, са дадени в корелационната матрица на фиг.7 а), а на фиг. 7 б) е показана матрица на корелационните полета.



а)



б)

фиг.7 а) Корелационна матрица; б) Матрица на корелационните полета

Чрез използване на получените математически очаквания и дисперсии на експлоатационните показатели (табл.1) на фиг.8 са показани математическото очакване и границите на критерия F при различни съотношения на тегловните коефициенти:

а) критерият O е с най-голяма тежест $k_5 = 0.6$ и равни тегла на останалите критерии;

б) критерият T е с най-голяма тежест $k_9 = 0.6$ и равни тежести на останалите критерии;

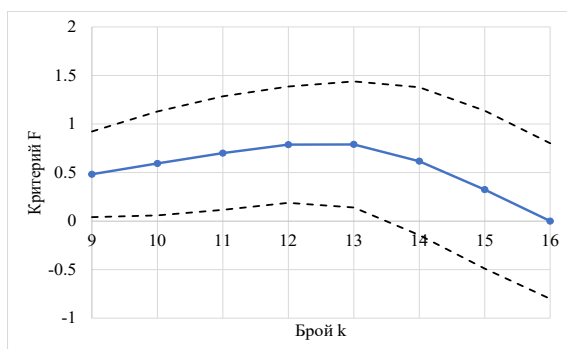
в) критерият C е с най-голяма тежест $k_1 = 0.6$

и равни тежести на останалите критерии;

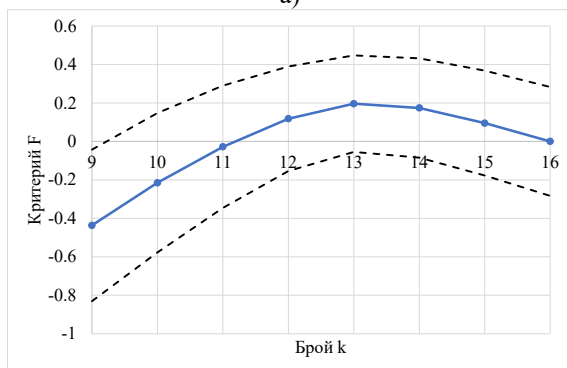
г) критерият R е с най-голяма тежест $k_8 = 0.6$ и равни тежести на останалите критерии;

д) отчитат се само критериите $Q_{\text{сист}}$ и H и те са с равни тежести - $k_2 = k_7 = 0.5$;

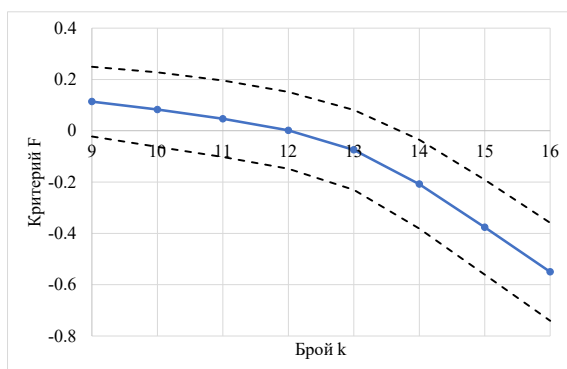
е) отчитат се само критериите C и T и те са с равни тежести $k_1 = k_9 = 0.5$.



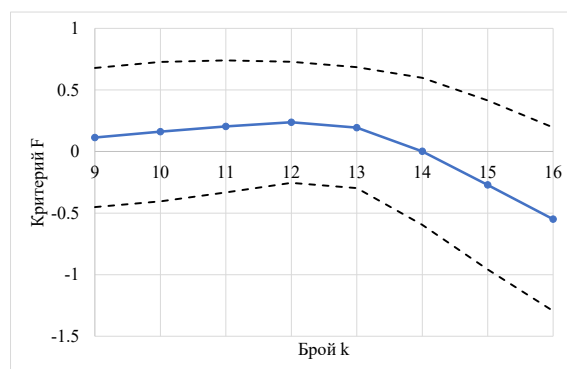
а)



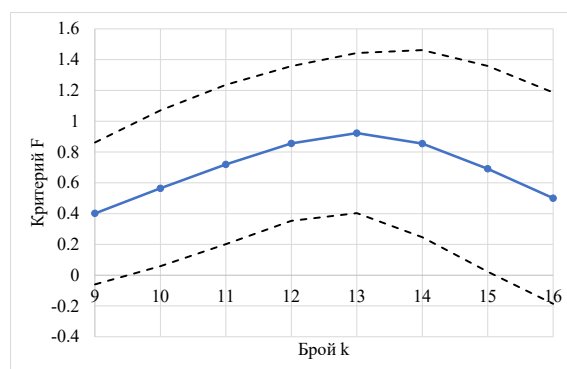
б)



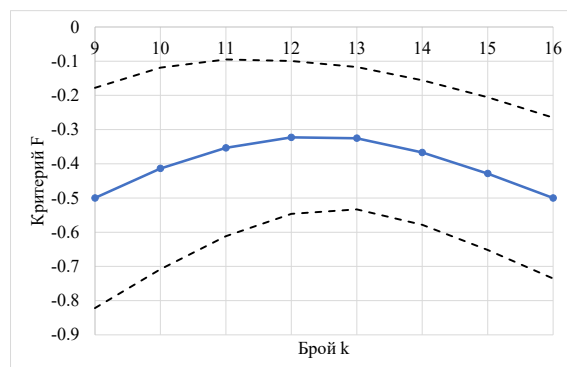
в)



г)



д)



е)

фиг.8 Графики на глобалния критерий F при различни тегловни коефициенти

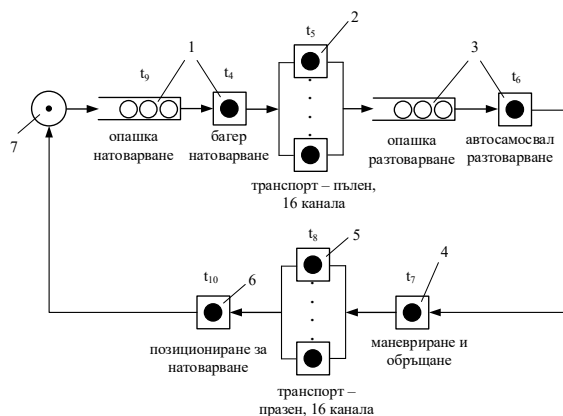
Видът на глобалния критерий (11) предполага определянето на неговия максимум. Както се вижда от фиг.8, графиката на глобалния критерий F има вид, определян от стойностите на тегловните коефициенти като колкото по-близо е неговата стойност до максимално възможната

стойност 1, толкова съответния оптимален брой машини k^* по-пълно удовлетворява всички частни критерии със зададените им тегловни коефициенти. И в този случай, след оптималния избор на броя на автосамосвали k , при който глобалния критерий F има максимум, може да се извърши сравнение на алтернативни варианти на вероятностна основа.

3. ВЕРИФИКАЦИЯ НА МАТЕМАТИЧЕСКИЯ МОДЕЛ

Верификацията на разработения вероятностно-статистически модел се извършва чрез сравнение на някои от получените резултати с резултати, получени от симулационен модел на комплекта машини, представен като затворена многофазна система за масово обслужване, чиято структурна схема е показана на фиг.9.

1 – Едноканално обслужващо устройство с неограничена опашка, представляващо багера, натоварващ автосамосвалите (заявките). Продължителността на обслужване е апроксимирана с нормално разпределение - $t_4 = N(83.5, 3.23)$ и е определена при натоварване на автосамосвала с четири кофи на багера;



фиг.9 Структурна логическа схема на затворена многофазна система за масово обслужване

Системата за масово обслужване се състои от елементи със следните позиции:

2 – Шестнайсетканално обслужващо устройство, представляващо транспортния участък с дължина L при движението на пълен автосамосвал със скорост V_1 . Броят на каналите на това

обслужващо устройство е така избран, че да се отчете възможността в транспортния участък едновременно да се намират повече от един автосамосвала, в случая броят е равен на максималния възможен брой автосамосвали в системата. Продължителността на обслужване се определя по следната зависимост: $t_5 = N(4450, 83.33)/U(7, 8)$;

3 – Едноканално обслужващо устройство с неограничена опашка, представляващо трошачката и чакащите за разтоварване автосамосвали. Продължителността на обслужване е $t_6 = Tr(30, 45, 55)$;

4 – Едноканално обслужващо устройство, представляващо времето за маневриране и обръщане на автосамосвалите с продължителност $t_7 = Tr(25, 30, 33)$;

5 – Шестнайсетканално обслужващо устройство, представляващо транспортния участък с дължина L

при движението на празен автосамосвал със скорост V_2 . Продължителността на обслужване се определя по следната зависимост: $t_8 = N(4450, 83.33)/U(11, 14)$;

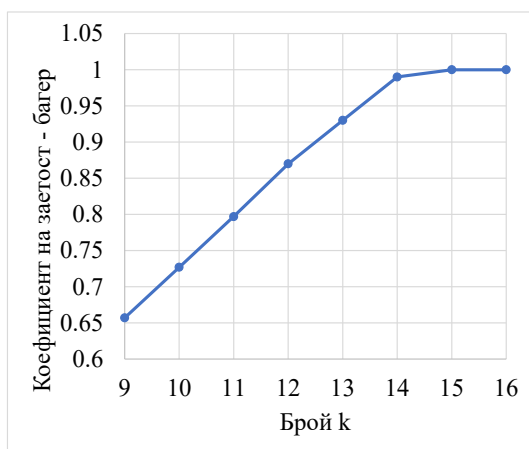
6 – Едноканално обслужващо устройство, представляващо времето за позициониране на автосамосвалите за натоварване с продължителност $t_{10} = Tr(15, 20, 25)$;

7 – Източник на заявки в системата.

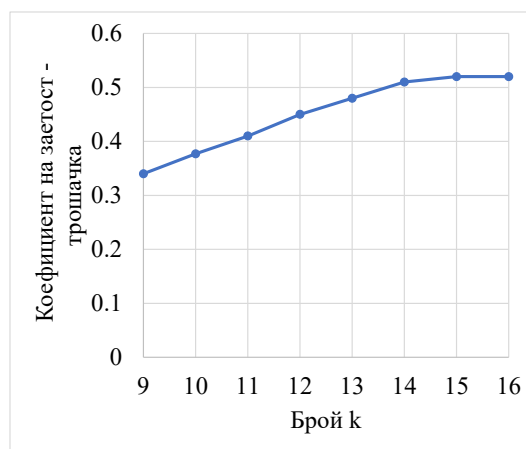
Симулационният модел на показаната на фиг.9 система за масово обслужване е реализиран в среда на програмата GPSS World [9].

За да се намали влиянието на преходния период в началото на симулацията върху резултатите е извършена симулация с голяма продължителност – 800 h. На фиг.11 са показани графиките на усреднените характеристики на системата при вариране на броя автосамосвали в системата в интервала $k=[9, 16]$. Получени са данни за коефициентите на заетост, средната дължина на опашката и средното време за чакане за багера и трошачката, а също така и за броя натоварени самосвали за единица време.

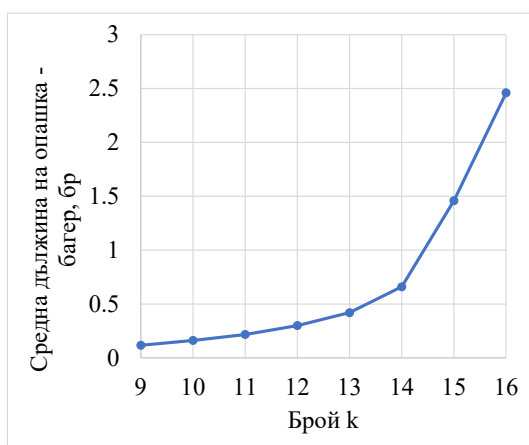
На фиг.12 са показани хистограмите на времето за чакане на автосамосвалите за натоварване – а) и на автосамосвалите за разтоварване – б) при 13 автосамосвала в системата.



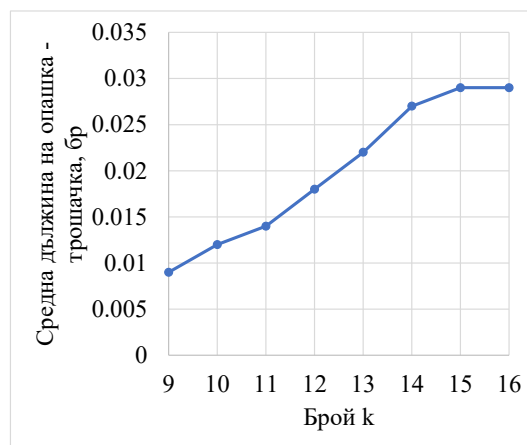
а) Коефициент на заетост – багер



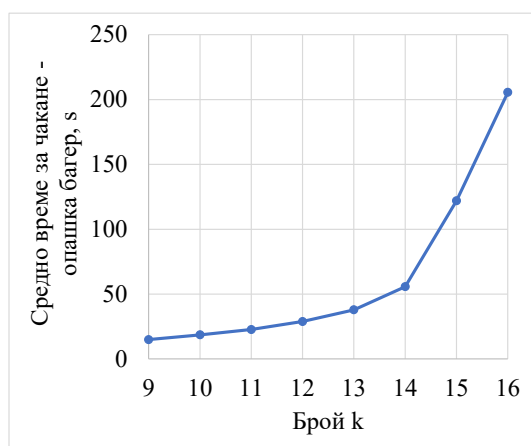
г) Коефициент на заетост – трошачка



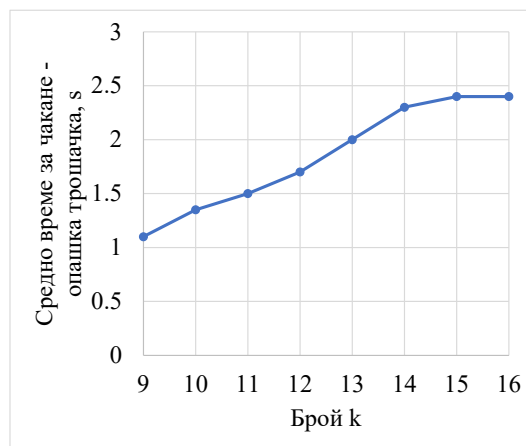
б) Средна дължина на опашка – багер



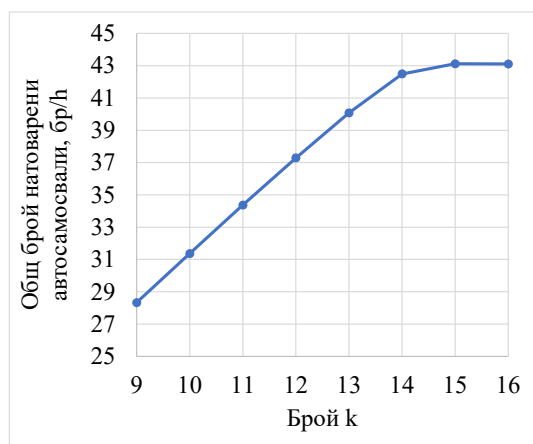
д) Средна дължина на опашка - трошачка



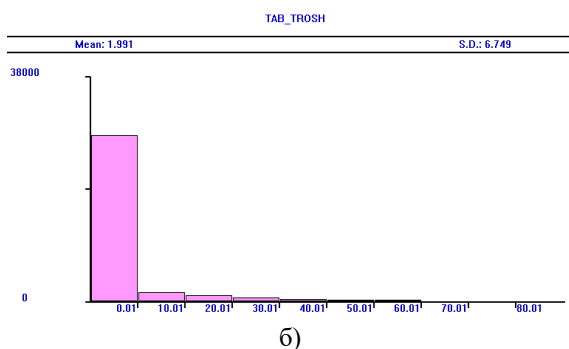
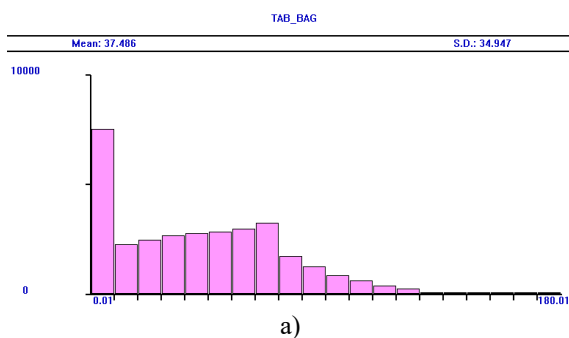
в) Средно време за чакане – опашка багер



е) Средно време за чакане – опашка трошачка



ж) Брой натоварени автосамосвали
фиг.11 Характеристики на системата за масово обслужване, получени от симулацията



фиг.12 Хистограми на: а) времето за чакане на автосамосвалите за натоварване (опашка багер); б) автосамосвалите за разтоварване (опашка трошачка) при k=13

От представените на фиг.11 резултати могат да се направят следните заключения:

- Коефициентът на заетост на багера (фиг.11 а) нараства линейно от 0.66 до 1 при промяна на k от 9 до 14 автосамосвала в системата. Този брой автосамосвали отговаря на максималната производителност на багера и това е максималния брой автосамосвали, които той може да обслужва за час;
- Средната дължина на опашката от автосамосвали (фиг.11 б), чакащи обслужване от багера при промяна на k от 9 до 14 нараства плавно от 0.11 до 0.66, след което при 15 и 16 автосамосвала нараства рязко, съответно на 1.46 и 2.46;
- Аналогично, средното време за чакане на автосамосвалите (фиг.11 в) при промяна на k от 9 до 14 нараства плавно от 14.5 s до 55.7 s, след което при 15 и 16 автосамосвала нараства рязко, съответно до 122 s и 205.5 s;
- Коефициентът на заетост на трошачката (фиг.11 г) нараства от 0.34 до 0.51 при увеличаване на k от 9 до 14, след което е равен на 0.52 при 15 и 16 автосамосвала. От фиг.11 д) се установява, че средната дължина на опашката от автосамосвали, чакащи разтоварване е много малка и тя се увеличава линейно от 0.009 до 0.027 при увеличаване на k от 9 до 14, а средното време за чакане (фиг.11 е) е от 1.11 s до 2.30 s;
- От фиг.11 ж) се вижда, че максималния брой натоварени автосамосвали е около 43 бр/ч и той се постига при 14 автосамосвала в системата. Чрез тази графика е построена и графиката на производителността на системата (фиг.11 з), поз.1) при отчитане на коефициента на използване по време на автосамосвалите, като тя е сравнена с производителността на системата (фиг.11 з), поз.2), пресметната чрез вероятно статистическия модел (табл.1 и фиг.2 а). Налице са разлики от 2.2% до 7.5% между двете графики като основната причини за това са: 1) Концептуални различия в структурата на двата сравнявани модела; 2) Различията в начина на определяне на времето за чакане на опашка при натоварване на автосамосвалите;

- От представената на фиг.12 а) хистограма за дължината на опашката пред багера при k=13 се вижда, че значителна част от автосамосвалите се натоварват без чакане (първия интервал на хистограмата), друга голяма част чака до 70 s, а една малка част – до 140 s. От хистограмата за времето за чакане за разтоварване в трошачка нас

фиг.12 б) се вижда, че по-голямата част автосамосвали се обслужват без чакане, а малък брой – с незначително чакане.

Представените графики и извършения анализ показват, че въпреки концептуалните различия в структурата на двата модела и различията в изходните предпоставки, степента на съвпадение между получените резултати е задоволителна.

4. ИЗВОДИ

Дефинираните абсолютни и относителни критерии, описващи експлоатационните възможности на комплекта машини дават възможност за сравнение на алтернативни варианти и избор на оптимален по частен или глобален критерий вариант.

Дефинирането на функции на състоянието дава възможност да се отчита неопределеността на експлоатационните характеристики при сравнение на варианти и да се извършва сравнение между вариантите на вероятностна основа. Основно предимство на предлаганият подход е, че освен оптималното решение, се намират и субоптимални решения, което значително разширяват възможностите за избор между повече от един комплект машини. Извършената верифи-

кация на разработения вероятностно статистически модел посредством затворена система за масово обслужване показва задоволителна точност на съвпадение на резултатите.

Литература

1. **Митрев Р.** Вероятностно-статистическо моделиране на експлоатационните характеристики на комплект минни машини. Българско списание за инженерно проектиране, бр.43, 2021.
2. **Мадера А.** Моделирование и принятие решений в менеджменте. Руководство для будущих то-менеджеров. URSS, Москва, 2016.
3. **Chang K-H.** Product performance evaluation using CAD/CAE. Academic Press, 2013.
4. **Rao S.** Reliability engineering. Pearson India Education Services, 2016.
5. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. Москва.: Советское радио, 1972
6. **Haldar A., Mahadevan S.** Probability, Reliability, and Statistical methods in Engineering Design. John Wiley & Sons. New York, 2000.
7. **Федоренко И., Морозова С.** Оптимизация и принятие решений в агроинженерных задачах. Лань, Санкт – Петербург - Москва – Краснодар, 2016.
8. **Booker J., Raines M., Swift K.** Designing capable and reliable products. Butterworth Heinemann, Oxford, 2000.
9. **Karian Z., Dudewicz E.** Modern Statistical, Systems, and GPSS Simulation, Second Edition, CRC Press 1998

ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМИ СВЪРЗАНИ С ПРОЕКТИРАНЕТО НА ЕКСПОЗИЦИОННИ ЩАНДОВЕ, ПРЕДСТАВЕНИ ЧРЕЗ РЕАЛИЗАЦИИ С УНИВЕРСАЛНИ МОДУЛНИ КОНСТРУКЦИИ

Силвина ИЛИЕВА

катедра „Механика“, Технически университет - София, България, филиал Пловдив
e-mail: silvina@tu-plovdiv.bg

Резюме: Разгледани са основните задачи и проблеми, с които се сблъсква проектантът при създаването на експозиционни щандове, като едни от основните изяви на рекламния дизайн. От заданието през комуникацията с клиента, идейната и работна фаза, чак до реализацията на готовия щанд. Добре подготвеният художник-проектант разполага с голям арсенал от възможности, с които да преодолее проблемите, възникващи в течение на работата. Представени са реализации на две серии експозиционни щандове, чрез които се илюстрират проблемите, идеите и решенията, възникващи в течение на работата по всеки проект. За всеки конкретен случай чрез всички средства на експозиционния дизайн трябва да се създава уникална хармония на мисли и идеи, която най-целенасочено да стига до съзнанието на зрителя, а създаденият образ да оставя трайно въздействие във визуалната комуникация.

Ключови думи: рекламен дизайн, експозиционни щандове, универсални модулни конструкции

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Експозиционните щандове са една от многобройните форми на изява на рекламния дизайн. Фирмената експозиция е доказано високоефективна форма на рекламния дизайн, както и средство за визуална информация, комуникация и реклама.

Основни елементи от изграждането на експозиционния дизайн са конструкциите, изложбената графика, реквизитът, осветлението, аудио-визуални и мултимедийни средства и пр. Чрез конструкцията се изгражда обемно-пространствената конфигурация на щанда на базата на темата, идеята и експоната. Чрез реквизита се реализира аранжировката, която трябва да подкрепи и основната идея, а чрез осветлението се акцентира или моделира пространството. Изложбената графика със своята специфика е едно от най-ефективните средства за визуална комуникация и информация. [5]

При проектирането на рекламния дизайн в обемно-пространствената конфигурация следва органически да се включат елементите на графичната визуална комуникация на фирмата. Общата цветова композиция и осветлението – общо или акцентиращо, трябва да следват художествения замисъл, визуално да моделират и подчертават същественото. Формоизграждането не трябва да е безидейно и повърхностно, а да

бъде съобразено с обема на графичната информация, цялостната композиция и най-вече с експоната. Връзката с графичната комуникация на фирмата, с целия тотал дизайн, започвайки от логото и минавайки през всички рекламни материали, създава определения, характерен фирмен образ, който силно и бързо комуникира с потребителя и установява трайна взаимовръзка. [6]

2. ПРОБЛЕМИ И ЗАДАЧИ

Проектирането на експозиционни щандове по реално задание поставя много проблеми пред проектанта.

На първо място най-често е недобре формулирано задание, подкрепено с желание за нискобюджетна реализация на максимално атрактивен проект. Предизвикателство пред художника е и комуникацията с клиента, както и възможността за формиране на вкус чрез прокарване на идеи и реализации, проектирани с високи естетически стандарти. Нерядко в тази комуникация се налагат компромиси и от двете страни, за да се получи интересна интерпретация на темата и основната идея.

Освен тези основни въпроси проблемите на проектанта се фокусират върху идеята, използването на различни прийоми за работата с обемно-пространствената композиция, цветовете

и конструктивните решения, които трябва да се осмислят предварително в детайли, за да може след това реализацията да бъде лесна и успешна. Немалък проблем са и финансовите ограничения, наложени от поръчителя още при поставяне на заданието. [4]

Добре подготвеният художник-проектант разполага с голям арсенал от възможности, с които да преодолее проблемите, възникващи в течение на работата. Първоначалните въпроси и уточнения, които поставя той в разговор с клиента, са проучващи и в голяма степен насочващи по отношение на заданието. Започва се с най-важните уточнения по отношение на вида на щанда според различните критерии, дали е на открито или на закрито, дали е островен, ъглов, еднолицев и пр., през насочване в посока ситуацията на обемно-пространствената композиция, използването на изложбената графика, цветовия климат, реквизита, осветлението и другите съвременни аудио-визуални средства.

Следва същинският етап на проектиране, в който трябва да изкристализира основната идея, а след това тя да бъде облечена в най-подходящ вид. След взимане на множество нелеки решения за визията на проекта се преминава към решаване на проблемите на композиционно ниво. От смелите решения на изложбената графика, през цялостното архитектурно-пространствено разпределение, до цялостната визия – всичко се решава чрез основните принципи на композицията като пропорции, баланс, контраст, ритъм, мащаб, единство. [1] Всяко решение се основава на познанията на художника в изкуството на композицията или в желанието да наруши статуквото и да експериментира смело, разбивайки всички правила. В композицията участват всички изграждащи експозиционния дизайн елементи със своята различна роля по отношение на оформлението. Всяко решение е индивидуално спрямо темата и идеята на проекта.

Друг проблем представлява цветовото решение на дизайна. Най-често то се базира на фирмените цветове и експонатите, но когато се използва силна рекламна графика, се търсят различни хармонични съчетания, които да подкрепят темата и идеята чрез премерен колорит и умели графични решения. Анализирайки

цветовете като психо-физиологично въздействие върху публиката, се взимат ясни и адекватни решения за цветовия климат на експозиционния щанд, съобразен с осветлението и ситуацията в интериора или екстериора. [2] Чрез взаимодействие на фирмения стандарт и колорит в хармонично единство с идеята се получават интересни и модерни взаимовръзки на композиция, цвят и стил. Експериментите с контрастни или аналогични комбинации, с триади или монохроматични решения имат своето място в експозиционния дизайн за създаването на жив и хармоничен образ.

Как да се използва и/или да се доразвие фирменият стил също е нелек проблем пред дизайнера. Дали да се съобрази изцяло с него или ще заложи на интерпретация, която ще създаде нов комплексен образ, основа за нов рекламен подход в цялостната стратегия на фирмата? Много са въпросите, на които трябва да се отговори още преди проектирането на самия щанд. Във всички случаи обаче не може да се пренебрегне установеният графичен стандарт и да не се заложи на ясната комуникация между него и посетителя. Дали водещ ще бъде цветът, логото или друг графичен елемент – лайдмотивът може да изведе свършено нова логика или да бъде съчетан с всеки един елемент от фирмения стил. [4]

След решението на проблемите от художественотворческо естество, които извеждат визията на проекта, трябва да се разрешат и други въпроси от архитектурно-конструктивен характер. Предвид заданието и най-вече финансовия аспект се налага да се реши подходът към възможността за реализация. Уникална или универсална модулна конструкция или мокри процеси? Изборът по-често е чисто финансов, а идеята трябва да се интерпретира с много вкус и въображение. Стандартните модулни конструкции като „Октанорм“, „Сима“, „Мероформ“, „Милош“ и пр. със своите възможности и модификации са изключително ценен инструмент в ръцете на проектанта, но при условие че тяхната универсалност не увлича дизайнера към стандартно мислене, а активира творческите му възможности. [6]

Трудното в случая е, използвайки възможностите на тези конструкции, да се

създаде експозиционен дизайн, който се справя с функционалните и художествено-естетически проблеми чрез оформление, подчинено на темата, заданието и характеристиките на експоната с цел да постигне най-добра художествено-визуална информация, действена, целенасочена комуникация и реклама. Използването при проектиране на най-новите и нетрадиционни материали и технологии във всички области по отношение на форма, цвят, осветление, мултимедийни и аудио-визуални средства дава отражение върху експозиционния дизайн. Те допринасят за излизане от статуквото и за проектиране с целенасочена осмисленост.

-долу изискванията за оформление на литературните източници.

3. РЕАЛИЗАЦИИ С УНИВЕРСАЛНИ МОДУЛНИ КОНСТРУКЦИИ

Съвременният рекламен дизайн е подчинен изцяло на разкриването на темата, на експоната и тяхното най-добро представяне. Едновременно с това той трябва да е функционален и целенасочен, да представя най-пълно характеристиката на проблема, да създава условия за максимално задълбочен контакт между зрителя, идеята и експоната, както и възможност за най-активна комуникация между тях.

Всички представени щандове са реализирани и експонирани на панаири и изложения, признати от UFI за международни, а част от тях са в чужбина. Повечето са реализирани на МПП, който е първият, най-голям и световнопризнат форум в България вече почти от 130 години. [4]

3.1 Експозиционни щандове на фирма ИТД ЕООД, реализирани на Международен панаир – Пловдив (МПП), в периода 2003–2007 г.:

3.1.1 Серия от 5 щанда (2003–2005), базирани на един проект с различни конфигурации на пространството при различните изложения, площ, ситуация и промяна на начина на експониране на изделията през годините.

Заданието включва цялостно представяне на фирмата на МПП. Площта, заявена от клиента, е около 50 м², ситуацията е ъглов щанд в пропорция 13 x 4 = 52 м². Щандът трябва да има и закрит офис за срещи, сервизно помещение – склад,

както и един или няколко инфодеска за по-добра комуникация с посетителите, той трябва да акцентира на логото като визуална идентификация на фирмата. Условието е щандът да е визуално-атрактивен и едновременно с това икономически изгоден, проектът да може да се интерпретира и за следващи участия в изложения на фирмата и едновременно с това да я представя по възможно най-запомнящ се начин пред нейните клиенти и партньори.

Темата на щанда е „Цвят и форма – абстрактно и реално“.

Идеята в проектирането на щанда е акцент върху изделията, представени по абстрактно атрактивен начин, засилвайки въздействието чрез подчертаване на интересните положителни качества и функции на изделията. Цветовете и формите създават единна визуална колаборация, която ползва прийоми едновременно на фотографията, живописа и колажа в съчетание с възможностите на съвременните технологии. Другата нишка, допълваща темата, е представянето на втората голяма група изделия – матриците. Тяхното присъствие се интерпретира чрез използването на метала като контрапункт на пластмасата. Вкарването на метала като материал, цвят и усещане дава контраст и прави идейна препратка към другото производство на фирмата. Третият елемент, но не по важност, на който стъпва идеята, е логото. Неговото присъствие в запазения цвят, мултиплицирано върху металните повърхности, създава допълнително ритъм на цялата композиция, а цветовият климат се допълва от запазения цвят, използван и за настилка.



фиг.1 Щанд ИТД на МПП пролет 2003

Реализацията на щанда е изключително успешна и той със своята атрактивна визия привлича вниманието както на посетителите, така и на специалистите, като получава номинация за най-добър щанд на изложението от комисията на Националната асоциация за дизайн и реклама и МПП.



фиг.2 Щанд ИТД на МПП есен 2005

Проектът е реализиран още няколко пъти на различни панаири и изложения със съответната намеса в детайли от него, която се изисква от конкретното задание и цел.

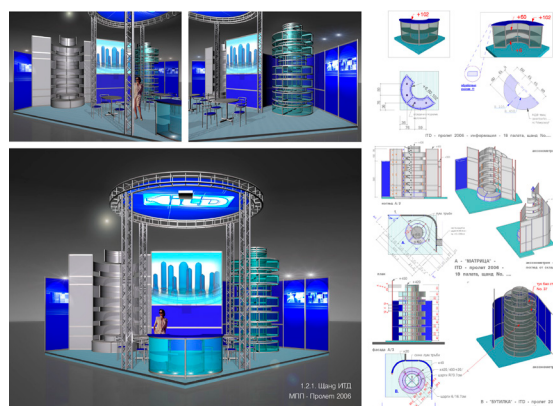
3.1.2. Серия от 3 щанда (2006–2007), базирани на един проект с различни конфигурации на пространството при различните изложения, площ, ситуация и експонати.

Заданието включва цялостно представяне на фирмата на МПП. Площта, заявена от клиента, е около 50 м², ситуацията е ъглов щанд, Г-образен с две лица по 8 м, и обща площ 52 м². Целта е да се представи цялото производство на фирмата – както на пластмасовите изделия, така и на матриците. Акцентът се насочва към производството. Щандът трябва да има и сервизно помещение – склад, като и инфодеск за комуникация с посетителите, да насочва към логото като визуална идентификация на фирмата и да се базира на фирмените цветове. Желателно е включването на съвременни технологии в презентацията (мултимедия). Проектът за щанда трябва да е рекламно силно ефективен и визуално-комуникативен, модерен и със силно въздействащ уникален образ.

Темата на щанда е „Модерното производство – висок стандарт в опаковките“.

Идеята в проектирането на щанда е базирана на заданието, а именно акцент върху модерното производство на фирмата в двете му основни насоки – матрици и опаковки. Създаването на двете условните форми, наречени „Матрицата“ и „Бутилката“, прави автоматична препратка към логиката и схемата на производство и едновременно с това към двете съвсем различни дейности на фирмата. Щандът може да се възприеме и като художествена интерпретация на производство на пластмасови РЕТ бутилки. Той изглежда като част от машина, сякаш матрицата току-що се е отворила и от нея е излязла готовата бутилка. Едновременно с това тези две форми изграждат и наблягат на основните обеми и пространство на щанда, дават също височина, атрактивна визия и динамична адаптивност.

Визията на проекта се допълва от експозиционна графика под формата на три пана с художествено-рекламна интерпретация на снимки на групи изделия в монохромната тоналност, базирана на фирмения цвят в съчетание с динамичен растер от водещи линии. Едно голямо кръгло пано с логото оформя символично тавана на щанда и набляга върху своеобразния „подпис“ на фирмата. В проекта се залага и на новите технологии в лицето на екран и мултимедиен проектор. Предвижда се непрекъснато да тече презентационен филм за фирмата, специално разработен за нейното участие в изложението.



фиг.3 Проект на щанд ИТД на МПП пролет 2006

Реализацията на щанда е успешна, с атрактивна визия и привлича вниманието както на посетителите, така и на специалистите. В крайна сметка основната цел е реализирана и той е силно визуално-рекламно активен. Уникалната визия е постигната чрез авторска художественотворческа интерпретация на темата и идеята със средствата на стандартни модулни сглобяемо-разглобяеми конструкции.



фиг.4 Щанд ИТД на МПП пролет 2006

Този проект е реализиран още няколко пъти на различни панаири и изложения със съответната намеса в детайли от него, която се изисква от конкретното задание и цел. Последната интерпретация е отличена с грамота и завоюва второ място за най-добър щанд на изложението от комисията на Националната асоциация за дизайн и реклама и МПП.

Литература

1. **Дамянов, Б.** Композицията. История и проблематика на понятието в изобразителното изкуство. Пловдив.: ПУ "Паисий Хилендарски", 1998. 228 с.
2. **Евтимова, М.**, Интерпретации с цвят, ГРУПА ЦВЯТ –БЪЛГАРИЯ, COLOR GROUP – BULGARIA, CD, 2009
3. **Евтимова, М.** Изобразителни методи и техники, София.: ТУ-София, 2013. 126 с



фиг.5 Щанд ИТД на МПП пролет 2006 - детайли

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характерно за представените експозиционни щандове е съчетаването на дизайн с висок художествен образ, с изграждане на базата на универсални конструкции. Използването на сглобяеми модулни елементи е ефективно и икономически изгодно за клиента. Процесът на монтаж и демонтаж е лек и бърз, с възможност за многократна употреба и различни преконфигурации в зависимост от площта и ситуацията. [4]

За всеки конкретен случай чрез всички средства на рекламния дизайн трябва да се създава уникална хармония на мисли и идеи, които най-целенасочено да стигат до съзнанието на зрителя, а създаденият образ да оставя трайно въздействие в художествено-визуалната комуникация между изложител и посетител. Това е основната цел и задача и предизвикателство пред художника-проектант на експозиционни щандове.

4. **Илчева, С.** УНИКАЛНО – УНИВЕРСАЛНО. Възможната комбинация. Резюме на художественотворческите постижения, Пловдив.: Издателски комплекс ВУСИ, 2020. 84 с. ISBN 978-619-7343-35-9
5. **Петров, Г.** Рекламен дизайн, София.: Болид., 176 с.
6. **Петров, Г.** Дизайн пространствено оформление, София.: Болид., 180 с.
7. **www.nha-ad.eu** - последно посещение на 22.02.2020

TASKS AND PROBLEMS RELATED TO THE DESIGN OF EXHIBITION STANDS, PRESENTED THROUGH REALIZATIONS WITH UNIVERSAL MODULAR CONSTRUCTIONS

Silvina ILIEVA

Mechanics department, Technical University-Sofia, Bulgaria, Branch Plovdiv
e-mail: silvina@tu-plovdiv.bg

Abstract: The main tasks and problems faced by the designer in creating exhibition stands are considered, as one of the main appearances of advertising design. From the assignment through the communication with the client, the conceptual and working phase, all the way to the realization of the finished stand. A well-prepared artist-designer has a large arsenal of opportunities to overcome the problems that arise during the work. Realizations of two series of exhibition stands are presented, through which the problems, ideas and solutions that originate from the work on each project are illustrated. For each specific case, by all means of exposition design, a unique harmony of thoughts and ideas must be created, which will most purposefully reach the viewer's consciousness, and the created image must leave a lasting impact in the visual communication.

Keywords: advertising design, exhibition stands, universal modular constructions

АВТОМАТИЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА НОВИ КОНСТРУКЦИИ НА СИСТЕМИ ОСЪЩЕСТВЯВАЩИ ОСНОВНИТЕ ПРОЦЕСИ НА БРИМКООБРАЗУВАНЕ ЗА ПЛОСКОПЛЕТАЧЕН АВТОМАТ

Росица МАНОЛОВА

катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България
e-mail: rositza_manolova@tu-sofia.bg

Резюме: В работата са предложени нови конструкции на нов вид плетачен възел състоящ се от иглено легло, игли, изплитащи системи, които позволяват селектиране при работа само и единствено с иглите намиращи се на игленото легло без никакви други допълнителни детайли, като например пружиниращи или стопиращи платини, както и на нишкодоставящ механизъм, който дава ново решение за проблемите с контрола на нишкодоставяне, както и контролирането на процеса на компенсиране на отпуснатата нишка при смяна на посоката на движение на плетачната глава. Тъй като конструкциите са взаимнозависими то изплитащите системи са предназначени за работа само с конкретния вид конструкция на иглите и игленото легло. Разработените конструкции са проектирани в среда на Solidworks, което дава отлични възможности за изследване и динамична визуализация.

Ключови думи: плоскоплетачни автомати, трикотажна техника, изплитащи системи, плетене, нишкодоставяне

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременното производство на трикотажна техника основните тенденции, които се развиват са увеличаване на мострените възможности на машините, намаляване на времето за изплитане на детайлите и възможности за бързо преминаване от един модел на друг. Това неразривно води след себе си до усложняване на основните конструкции, чрез добавяне на допълнителни елементи, което респективно води до по-голяма амортизация и съответно до по-високи разходи за поддръжка на машините. [8,9,10]

Тези тенденции освен това довеждат и до голямо разнообразие на плоскоплетачните автомати, което води и до огромно разнообразие в основните механизми осъществяващи процеса на бримкообразуване. Такива механизми са: изплитащите системи, изтеглителиния механизъм, механизъм за контрол на нишкодоставянето и др. Тези механизми при всеки модел машина са обособени за конкретния тип машина, като отделните детайли са съгласувани спрямо разположението и конструкцията на другите, за да може да се осъществи процеса на плетене. Това води не само до специфичност на механизмите използвани в машините произвеждани от различните фирми, но дори и на различните модели на една и съща

компания. Това естествено оказва влияние както върху задвижващите механизми, поради прякото им свързване с разположението, позицията и траекторията на плетачните игли изпълнена от изплитащия механизъм за създаване отделните плетачни структури, но и респективно върху конструкцията на плетачните игли и игленото легло. Поради тази причина разположението, профилът и задвижването на изплитащите системи трябва да бъдат съобразени с траекторията на плетачните игли и ограничителните ножове разположени на игленото легло. [8,9,10]

Нишкоподаването също така е един от основните параметри в процеса на плетене и оказва основно влияние върху качеството на произвежданите плетива. Поради тази причина е силно застъпен контрола на нишкодоставянето, включващ както осъвременяване на конструкциите на нишководачите, така и добавяне на допълнителни механизми за контрол на опъването на нишката в процеса на плетене. Това дава възможност за постигане на по-високи мострени възможности на машините и по-голяма мобилност в промяната на моделите. [6,9,10]

Тези механизми дават възможност за динамично подаване на нишката в процеса на плетене посредством специфична система снабдена със стъпкови мотори, които в зависимост от типа на плетивото и използваната

плетка подават необходимото количество прежда към нишководача посредством фрикционни ролки, които осъществяват постоянно и равномерно опъване на преждата в процеса на плетене. [9,10]

Въпреки че тези допълнителни механизми значително оскъпяват, както конструкцията на машината, така и нейната поддръжка, доказаната им ефективност по отношение на контрола на нишкоподаването ги прави широко приложими. Предложената нова конструкция касае предимно самият нишководач и дава възможност той да бъде съвместно използван с тези съвременни системи за контрол на нишкоподаването.

2. ИЗПЪЛНЕНИЕ

2.1 Автоматизирано проектиране

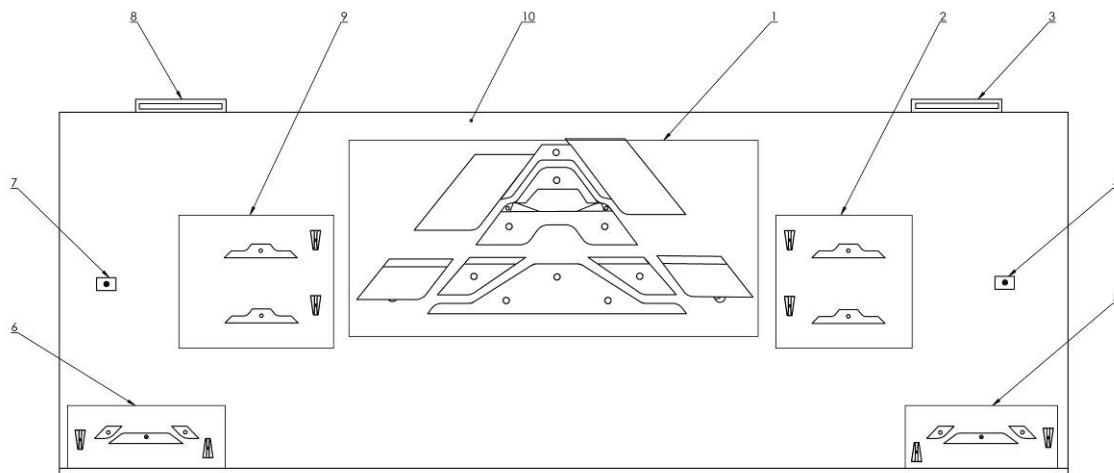
Както е известно автоматизираното проектиране с помощта на съвременните CAD системи дава възможност, не само за реалистична визуализация на изработените модели, но и за прогнозно изследване на техните натоварвания. Точно поради тази причина е подбрано

конструкцията да бъде проектирана в среда на Solidworks, което дава възможност в последствие да бъдат извършени изследвания на натоварването на отделните ѝ участъци.

2.2 Предложения за нови конструкции на основни системи осъществяващи процеса на бримкообразуване.

Както вече бе споменато конструкциите на игленото легло, иглите и изплитащите системи, както и тяхното задвижване респективно, са свързани помежду си и съответно промени на конструкцията при единият механизъм биха довели автоматично до промени и в останалите. [1,2,3,4]

Уникалността на предложенния механизъм се състои в това, че нейните изплитащи системи са създадени от две части, а не от една. Горна която изплита бримка и долна, която плете примка, това само по себе си води и до корекции в конструкцията игленото легло и конструкцията на плетачната игла, която се задвижва посредством три вида пети, горни работещи със системите за изплитане на бримка, долни за примка и крайни за избор на плетачното поле.



фиг.1 Плетачна глава с представена пълната конструкция на изплитащите системи.

На фиг.1 е представено изображение на плетачната глава с представена пълната конструкция на изплитащите системи, като всеки един механизъм е означен със съответен позиционен номер. С позиционен номер 1 е

оказан изплитащият механизъм на плетачната глава, който както се вижда е разделен на две части горна и долна. Горната както вече беше споменато служи за определяне траекторията на плетачната игла чрез късата ѝ пета разположена в

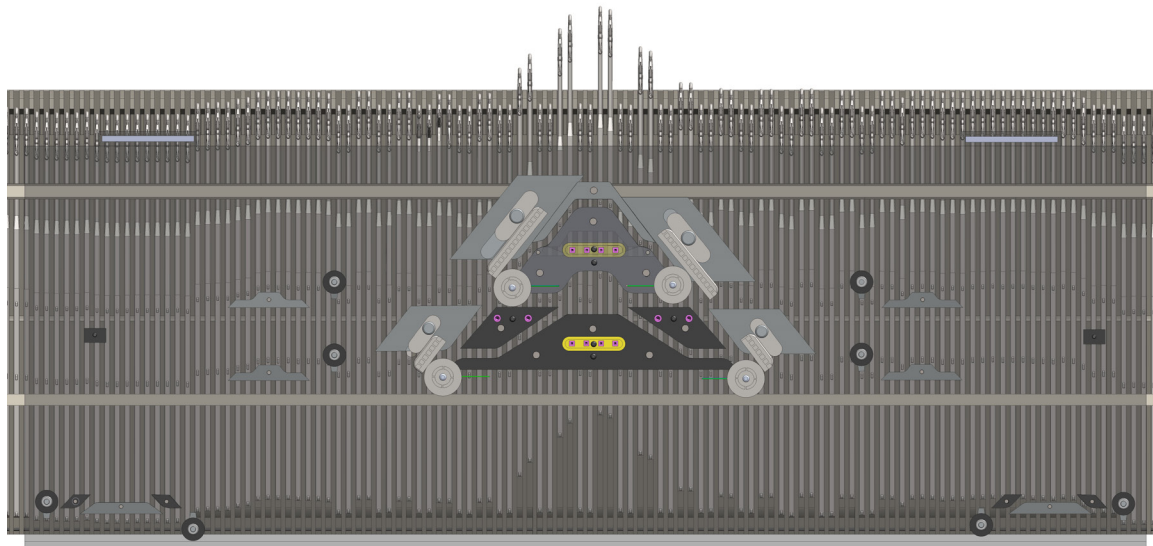
горният край на иглата за изплитане на бримка или предаваща игла при прехвърляне, а долният оформя траекторията за примка или приемаща игла чрез дългата ѝ пета разположена в средата на иглата. [3]

Означенията с позиционни номера 2 и 9 представляват селекторни механизми служещи за директен избор на иглите определящи работещите и не работещите игли за определяне на съответна плетачна структура. Двата селекторни механизма работят независимо и последователно в зависимост от посоката на движение на плетачната глава. При движение от дясно на ляво ще работи левият означен на фигурата с 2, тъй като е представена долната част на плетачната глава, а в обратната посока ще се включва този с позиционен номер 9. Както се вижда от представеното на фигурата изображение двата механизма са разположени огледално спрямо изплитания механизъм, това е необходимо поради факта, че селекторите избират иглите в непосредствена близост до изплитания механизъм. Селекторните механизми отново са разделени на две части, горна работеща с късите пети и долна работеща с дългите пети на иглите. Освен наличието на два

комплекта селектори, основната оригинална част от селекторния механизъм е принципът на избора на игли, който представлява съчетание от приложените селекторни механизми при съвременните плоскоплетачни автомати даващи възможност за индивидуален избор на игли и по-старите модели които дават възможност само за групов избор на иглите.

Представената конструкция дава възможност за индивидуален избор на игли, чрез електромеханичен подход, при който с помощта на селектор със специална форма оформяща избутващ канал и извършващ възвратно постъпателно движение към игленото легло и задвижван посредством електромагнит променя траекторията на плетачната игла, като с помощта на канала притискайки се в петата на иглата която има закръглен участък от страната на канала и я изтласква в посока към долната част на игленото легло и по този начин я извежда от плетачната ѝ траектория. [2,3]

С позиционни номера 5 и 6 на фигурата са представени селекторните механизми определящи полето на плетене и участващи във включването и изключването на плетачни игли при изработването на окроени изделия.



фиг.2 Реалистично тримерно изображение на възелът иглено легло, игли изплитащ механизъм при траектория за плетене на ластик с разредка 2x2.

Също както при селекторните механизми за избор на игли тук отново имаме два комплекта

ляв и десен, които са огледално разположени спрямо изплитания механизъм. Двата комплекта

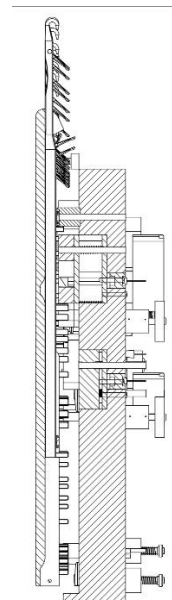
са съоръжени със същият тип селектори, които работят независимо един от друг. При включване на плетачни игли работят вътрешните селектори, като двата селектора на левия 5 или десния 6 комплект се включват последователно в два различни бримкови реда при движение на плетачната глава към плетачното поле в зависимост от посоката на движението ѝ. А външните селектори се задействат при команда за изключване на плетачни игли, като при тях важи същото правило изключват се в два последователни реда, но в този случай при напускане на плетачното поле. Както става видно при селекторите определящи плетачното поле селекторите за включване и изключване са огледално разположени и поради тази причина плетачните игли имат закръгление на крайната пета и от двете страни. От тук се вижда и споменатата взаимосвързаност на отделните механизми участващи в плетачния възел.[2,3,4]

На същата фигура с позиции 4 и 7 са показани постоянни магнити служещи за събиране на малки частички или счупени пети от игли, с цел да предотвратят удар на отчупената пета или заклиняването ѝ в клиновете на изплитащите системи. С позиционни номера 3 и 8 са означени четки монтирани на плочата на плетачната глава представена с позиционен номер 10. Четките са поставени с цел както за почистване от натрупан мърх, така и за спомагане на отварянето на езичетата на езичковите игли. Плочата практически представлява основния детайл на плетачната глава осигуряващ позиционирането на всички останали детайли.

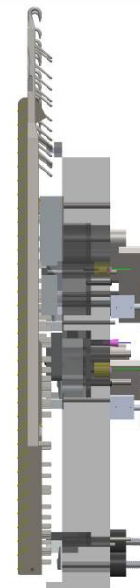
На фиг.2 е показано реалистично тримерно изображение на възелът иглено легло, игли изплитащ механизъм при траектория за плетене на ластик с разредка 2x2. На изображението част от детайлите са представени с полупрозрачни изображения, като плочата например с цел видимост на разположените под тях детайли. Представената фигура дава възможност също така да се добие представа и за задвижването на отделните модули от изплитащите системи.

Фиг.3 и фиг.4 представят съответно двумерен и тримерен образ на разреза на плетачната глава, иглите и игленото легло в процеса на бримкообразуване, което дава възможност да се види разположението на петите на иглите спрямо

издигащите и сменящи клинове, и селекторите на изплитащите системи. [2,3,4,5]



фиг.3 Двумерен разрез на плетачната глава, иглите и игленото легло.

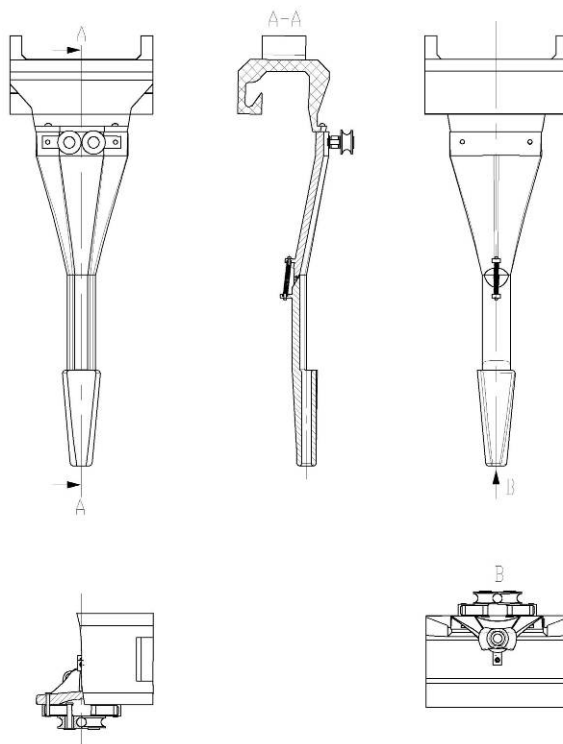


фиг.4 Тримерен разрез на плетачната глава, иглите и игленото легло.

Другият основен процес при осъществяване на бримкообразуването е нишкодоставянето. Както стана ясно от представеното във въведението с увеличаване сложността на конструкцията и броя на участващите механизми в нея, се увеличава респективно възможността за по-добър контрол на процеса на нишкодоставяне, въпреки увеличаването на амортизационните разходи. Поради тази причина се търси ново решение, при което с промяната в конструкцията на самият нишководач, да се подсили не само по-добра оптимизация на процеса, но да се запази възможността за съвместната му употреба с представените механизми, за да бъдат запазят мострените възможности на машините. Основната разлика в предложената нова конструкция на нишководача се състои в зоната за контрол на подаване на нишката от страничните компенсатори на машината към окцето на нишководача, което осъществява практически подаването на нишката към иглите. [6]

При нишководачите на фирма "Stoll" [9], насочването на нишката от страничния компенсатор става посредством окца от двете страни на нишководача. Този вариант на нишкодоставяне дава възможност за по-малко триене, тъй като насочването на нишката е под тъп ъгъл и респективно се намалява триенето между преждата и насочващите окца, като по този начин се намалява натоварването върху преждата. Недостатъкът на този тип насочване е че при възвратно-постъпателното движение на нишководача в процеса на плетене, с обръщането на посоката при по-високи скорости на машината страничните компенсатори не могат да поемат достатъчно бързо остатъка от нишката при смяната на посоката и тя може да се закачи в издигащите се игли за изплитането на новият ред. За да бъде избегнат този момент в предложената конструкция окцата, които насочват преждата към отвора на нишководача са заменени с 2 металокерамични ролки, които са поставени в непосредствена близост една до друга образувайки канал и отвеждат преждата към отвора на нишководача, като по този начин преждата се подава вертикално срещу отвора, а не под ъгъл и така се избягва възможността от провисване на преждата. Триенето от промяната на ъгъла между страничните компенсатори и

ролките се компенсира от ротационното им движение (фиг.5). [6]

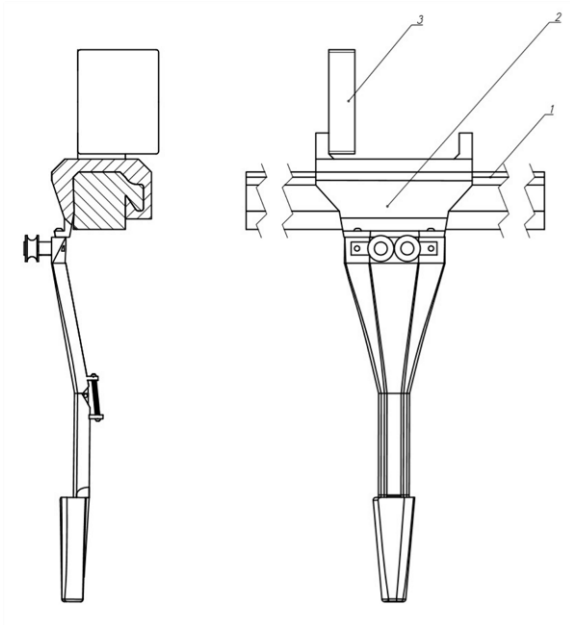


фиг. 5 Автоматизирано генериран двумерен чертеж на нишководача в среда на Solidworks. [6]

За пълна оптимизация на процеса на нишкодоставяне е предложена също така и нова конструкция на водеща шина на нишководача, като въведените промени в конструкцията и конкретно в профила с който е изработена цялата намаляване на амортизацията на участващите елементи. Освен това към предложената конструкция са предвидени и иновативни покрития за контактните области, които да осигурят сигурност и ниска амортизация при процеса на нишкодоставяне.

На фиг.6 са представени фронтален изглед на сглобената единица и проекция в изглед отдясно и частичен разрез на възела между нишководача и водещата шина, за да бъде показан профила и съответно свързването на двата елемента, в които са означени позиционните номера на отделните елементи участващи в задвижването на нишководача, а именно: 1 - водеща шина;

2-нишководач и 3-водещ елемент задвижван от електромагнит, разположен в плетачната глава

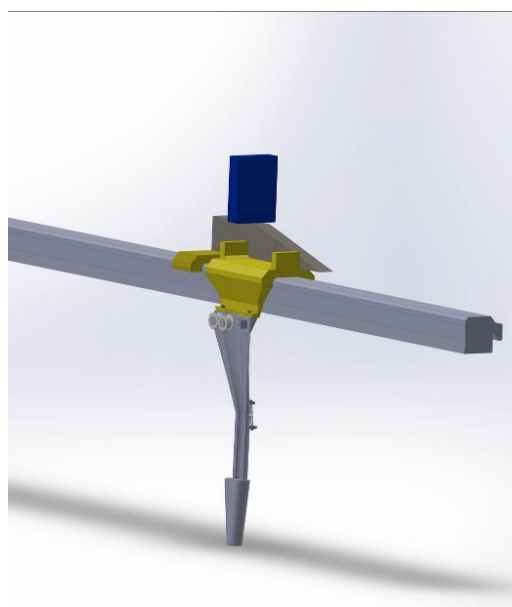


фиг. 6 Двумерен чертеж на сглобената единица на нишководача, водещата шина и водещия елемент. [7]

За освобождаването и изключване на водещият елемент в края на полето на плетене са приложени стандартни стопери служещи за постепенното повдигане на водещият елемент до достигането му в крайна точка където при включен на електромагнит водещият елемент се залепва за него и остава в горно изключено положение. [9,10]

Тук е представено разположението между трите елемента: нишководач, водещ елемент и стопер, което дава възможност да се види съотношението между пропорциите и оптимизацията на профилите на отделните детайли участващи пряко в процеса. Създаването на тази сглобена единица в среда на Solidworks дава възможност на по-късен етап от проектирането допълнително да бъдат симулирани с предвидените видове покрития за отделните контактни области на участващите детайли и да се анализира натоварването, което само по себе си може да даде ясни насоки относно допълнителни подобрения и оптимизации, който

(не показана на чертежа) осъществяващ индивидуалното задвижване на нишководача. [7] да доведат до по-добри адхезионни свойства между контактните участъци и респективно намаляване на амортизационните им разходи. [7]



фиг. 7 Позиция на нишководача и стопера при освобождаването на нишководача от изключващия елемент в дясно положение. [7]

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложените конструкции са проектирани съобразно изискванията към съвременните плосколетачни автомати с възможност за индивидуален избор на игли. Новите предложения на конструкциите за игли, иглено легло и изплитащи системи са съгласувани една с друга и дават възможност за въвеждане на нов принцип за избор на иглите по електромеханичен начин със специален електромеханичен селектор работещ с негативен избор, т.е. при включване изключва иглата. Избора се осъществява чрез работа с игли с три вида пети, къси и дълги едностранно заоблени, и дълги двустранно заоблени, както и с изплитащи системи разделени на две части. Това дава възможност да се премахнат допълнителните детайли използвани при досегашните съществуващи методи. Промените в конструкциите на нишководача и

водещата шина също са съобразени с запазване мострените възможности на машините, при намаляване на производствения брак за производство на по-сложни плетени структури, а също така и опростяване на конструкциите. Това би довело до намаляване на амортизацията на машината и респективно до по-ниски разходи за поддръжката ѝ.

Литература

1. **Манолова Р.** Автоматизирано проектиране на предложение за нова конструкция на иглено легло за плоскоплетачен автомат БСИП, бр.32/2017г. стр. 35-40.
2. **Манолова Р.** Автоматизирано проектиране на предложение за нова конструкция на езикова игла за плоскоплетачен автомат. БСИП, бр.32/2017г. стр. 29-33.
3. **Манолова Р.** Автоматизирано проектиране на предложение за нова конструкция на изплитащи системи за плоскоплетачен автомат част 1. БСИП, бр.33/2017г. 47-53.
4. **Манолова Р.** Автоматизирано проектиране на предложение за нова конструкция на изплитащи системи за плоскоплетачен автомат част 2. БСИП, бр.33/2017г. 71-76.
5. **Манолова Р.** Автоматизирано проектиране на предложение за нова конструкция на селекторен механизъм от изплитащи системи за плоскоплетачен автомат” БСИП. бр.39/2019г. 5-10.
6. **Манолова Р.** Автоматизирано проектиране на предложение за нова конструкция нишководач за плоскоплетачен автомат БСИП. бр.41/2020г. 27-34.
7. **Манолова Р.** Автоматизирано проектиране на предложение за конструкция на водеща шина и задвижване на нишководачите при плоскоплетачен автомат. БСИП. бр.43/2021г.
8. **Стоилов Т.** „Машини и процеси в трикотажното производство”. София: издателство на Технически университет - София, 2008.
9. **H. STOLL GMBH & CO. KG.** „Flat knitting machine having a needle selector device.” GERMANY: Patent – US 4 686 839, 1987.
10. **SHIMA SEIKI MFG. LTD.** „SES 122RT Product manual.” Japan: Osaka , 2005.

AUTOMATED DESIGN OF PROPOSAL FOR NEW CONSTRUCTION OF SYSTEMS IMPLEMENTING THE BASIC PROCESSES OF STICH FORMATION FOR FLAT KNITTING AUTOMATIC MACHINE

Rositza MANOLOVA

Fundamentals and technical means for design department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: rositza_manolova@tu-sofia.bg

Abstract: The work proposes new designs of a new type of knitting unit consisting of a needle bed, needles, knitting systems that allow selection when working only with needles located on the needle bed without any other additional details, such as spring or stop platinum, as well as a thread-supplying mechanism, which provides a new solution to the problems of thread-supply control, as well as the control of the process of compensating the loose thread when changing the direction of movement of the knitting head. As the constructions are interdependent, the knitting systems are designed to work only with the specific type of construction of the needles and the needle bed. The developed constructions are designed in the environment of Solidworks, which provides excellent opportunities for research and dynamic visualization..

Keywords: Flat knitting machines, knitwear, cam systems, knitting, yarn delivery

CONVOLUTIONARY NEURAL NETWORKS REGARDING PROBLEM OF MONITORING DATA BALANCING IN DE BRUIJN TOPOLOGY

Artem VOLOKYTA, Heorhii LOUTSKII, Pavlo REHIDA, Oleksandr HONCHARENKO, Dmitro KORENKO, Volodymyr RUSINOV, Bohdan IVANISHCHEV, Artem KAPLUNOV

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kyiv

e-mail: artem.volokita@kpi.ua

Abstract: This article considers the efficiency of the convolutional network depending on various parameters. The object of the study is a network from the Keras package, built on layers such as Conv1D, Flatten and Dense, trained on dataset: modified transport layer packet header set. NSL KDD dataset modified according to proposition of monitoring of data balancing in distributed storages in topology based on excess de Bruijn graph. The studied parameters are the depth of the network (count of convolutional layers), the number of epochs and the size of batch. Accuracy and fitting time are used as metrics. Based on the results of the experiments, the basic patterns are derived. The search for parameters at which maximum accuracy is achieved is performed.

Keywords: convolutional network, Keras, NSL KDD, De Bruijn topology

1. INTRODUCTION

The effectiveness of training neural network is influenced by many factors, the impact of which is not linear. It is not often possible to say exactly which parameters should be chosen for a particular task to obtain optimal accuracy. It's makes this issue relevant.

Quite often, when building a model, the learning parameters and depth of the network are chosen approximately based on known trends. However, this choice does not always allow to achieve the optimal result. This paper investigates the behavior of a network with the simplest architecture depending on the parameters. It is considered how the parameters affect the accuracy and time of training. The parameters at which the maximum accuracy is reached are searched.

A review of existing solutions was conducted. The basis of this work were several articles, the first of which is [1] This article discusses in detail the generalization of neural networks. According to LeCun, a good generalization for complex problems can be obtained by designing a network architecture that contains a certain amount of a priori knowledge about the problem. The main principle of such design is to minimize the number of free parameters in the network without excessive reduction of computing power. LeCun provides proof that the application of this principle increases the probability of correct

generalization, because it leads to the creation of specialized network architecture with reduced entropy.

The algorithm of back propagation of an error is allocated, its application to a real problem of recognition of handwritten numbers is considered. The main feature of this article is the structure of this neural network: images, not vector features, act as input images here. Thus, the ability of reverse propagation networks with a similar architecture to process large amounts of low-level information and detect more complex patterns in them is demonstrated [2].

After analyzing these works, as well as many others, we noticed that there was not very many research related to the training and use of neural networks in providing protection against attacks at the transport level. Therefore, we decided to conduct research with a fairly well-known and slightly expanded NSL KDD dataset and input parameters, to ensure the best learning outcomes on it dataset [3].

Consider the problem of training neural networks for the task of monitoring attacks on nodes when balancing data. The De Bruijn topology [10] was chosen for the data balancing problem. The rationale for choosing this topology is shown in the following sections. We modified NSL KDD dataset according to proposition of monitoring data balancing in distributed storages.

2. MONITORING METHOD FOR DATA BALANCING

2.1. Data balancing procedure

The ever-increasing amount of information generated and used in the world leads to an increasing need for the use of distributed storage systems. The use of distributed storage raises several issues related to the reliability of data storage and the ability to rapidly scale a distributed system.

One solution to the first problem above is to constantly maintain a certain number of copies of each item of data in the storage. In other words, constantly maintaining a certain replication factor in storage. Accordingly, from time to time there is a need to create and move copies of data elements between the storage devices in the system. The same needs arise when scaling the system. The solution to both of the above problems is associated with periodically carrying out the balancing procedure in the distributed data storage.

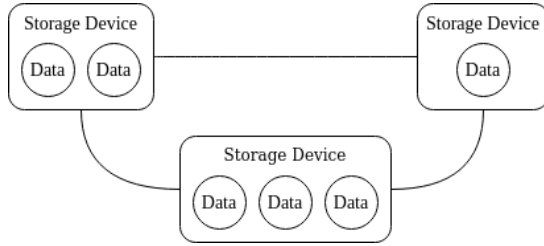


fig. 1 Example of structures of decentralized distributed data storage systems with storing individual data elements.

Modern distributed storage systems can be based both on storing data elements in permanent predefined baskets (meta-data elements) and on storing data elements by themselves individually (fig.1). Similarly, modern storage systems can be either decentralized or centralized. Example of the structures of distributed storage systems is shown in fig. 2.

The procedure of data balancing in distributed storage can be divided into two tasks: the location task and the migration task. From the point of view of both tasks, storing data elements in baskets (in meta-elements) or individually is equivalent, just in the first case actions are performed on baskets, not on data elements.

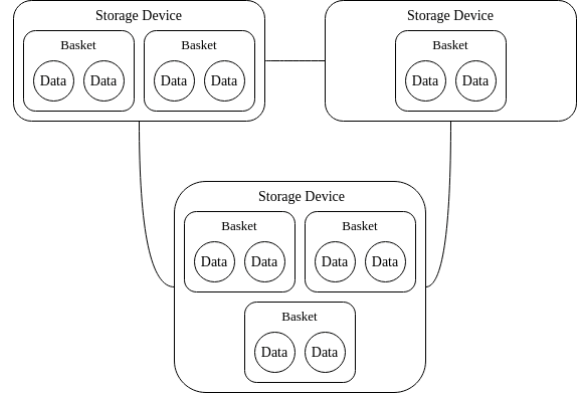


fig. 2 Example of structures of decentralized distributed data storage systems with storing data elements in baskets (in meta-elements).

Then the number of storage devices in the distributed system equals n ; the volume of storage device i equals c_i , where $i = 1, \dots, n$; the total volume of data storage system equals:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i \quad (1)$$

The total number of data items equals m ; the number of data items on the storage device i equals m_i ; the size of the data item j equals w_j ; the size of the data stored on the storage device i :

$$W_i = \sum_{j=1}^{m_i} w_j \quad (2)$$

and the total size of the data in the system is:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{j=1}^m w_j. \quad (3)$$

The location task in distributed storage is similar to the capacitated facility location problem [4]. When the location task is optimized from the point of view of minimizing the cost of transferring data elements during the subsequent migration, it can be defined as follows:

$$\begin{aligned} \min & \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{w_j}{b_{ij}} \cdot y_{ij} \right]; \\ \sum_{j=1}^m y_{ij} &= K; i = 1, \dots, n; \\ W_i &< c_i; i = 1, \dots, n; \end{aligned} \quad (4)$$

$y_{ij} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ where b_{ij} is the bandwidth of the edge between the storage device i and the device where the data item j is currently located; y_{ij} is the binary variable to be searched, which equals 1 if the item j will be located on the storage device i , otherwise it equals 0; K is the replication factor.

Capacitated facility location problem is NP-hard task. Generally solutions of this problem base on heuristic algorithms and integer programming.

Eiman J. Alenezy proposed one of the last solutions of capacitated facility location problem which is based on using the Lagrangian Decomposition and Volume Algorithm [5].

One more solution was proposed by M. Luis, M. Fadzli Ramli, and A. Lin. This solution solves the capacitated facility location problem by using an efficient greedy randomized adaptive search procedure (GRASP). Greedy randomized adaptive search procedure (GRASP) is a multi-start heuristic to solve hard combinatorial optimization problems where each iteration consists of a constructive phase and a local search phase [6].

The result of the location task is a list (or graph) of transfers of data items from the old storage locations to the new storage locations. This list is passed as an input parameter to the migration task, which should create a schedule for these transfers.

The migration task can be optimized according to various criteria, among which: minimizing the total time of transfers, minimizing the replication ratio recovery time (in case of carrying out the balancing procedure after several storage devices are turned off), or minimizing the scaling time.

Data migration task can be solved by reduction to graph coloring problem. Graph coloring problem (or graph's vertices coloring problem) is a problem of assigning colors (or numbers) to graph's vertices such that no two vertices sharing the same edge have the same color.

The last papers that studied the graph coloring problem proposed solutions to this problem that are based on the Douglas–Rachford algorithm [7] and on improved hybrid ant-local search algorithm [8].

2.2. Evaluating the effectiveness of monitoring tools

The principle of interaction of a monitoring system with an analyzed system can be described in the form [9]:

$$S = \langle O, P, L, M, f_p, f_u \rangle \quad (5)$$

where O is a set of objects of an analyzed system; P - a set of properties of objects of an analyzed system; L - a set of interconnected objects, reflecting the dependencies of a stable state of themselves or the properties of each other; M - a set of sensors or

methods for analyzing a monitoring system; f_p is a function that represents the presence of a certain object property [9]:

$$f_p = O \otimes P \rightarrow \{0,1\} \quad (6)$$

f_u - function that represents the option of using a specific sensor or a method of analysis for monitoring the current property state of an object:

$$f_u = M \otimes P \rightarrow \{0,1\} \quad (7)$$

The degree of single-valued state of an analyzed system can be represented as

$$E = \frac{\sum_{i=1}^c w_{p_i} n_{p_i}}{\sum_{i=1}^d w_{p_j} n_{p_j}} \quad (8)$$

where p_i are the properties of analyzed objects by a monitoring system (for which there exists $f_u(p_i, s)=1$; p_j - all properties of an analyzed system's objects (for which there exists $f_p(o, p_j)=1$); w - the contribution of a property to an analyzed system functioning; n_p - the number of objects that have property p in an analyzed system.

Therefore, E can not be greater than 1 and for each property in a monitoring system there is a method applicable for monitoring the state of this property.

We introduce an additional criterion for evaluating the quality of the monitoring system – the average information content (I_{Aver}) of its events over the billing period. To do this, each event is assigned some weight from 0 to 1. After weight assignment I_{Aver} calculated by the formula:

$$I_{Aver} = \frac{\sum_{i=1}^k I_{m_i}}{k} \quad (9)$$

where I_m – weight assigned to the m event; k – number of events generated by the system for the billing period.

In order to take into account the difference in the weight of various events recorded by the sensor (or method), the f_u function scope of values should be expanded:

$$f_u = M \otimes P \rightarrow \{0..1\} \quad (10)$$

where

$$f_u(s, p) = I_{Aver_{s,p}} \quad (11)$$

that is, the value of the function for some pair of property p and sensor s is determined by the average weight of the event generated by the sensor s during control over property p . So, if the sensor is not applicable to the control of a certain property, all possible events generated by it will belong to the 1 class, and thus the value of the function will be equal to 0.

That is:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^c f_{ep_i} w_{p_i} n_{p_i}}{\sum_{i=1}^d w_{p_j} n_{p_j}} \quad (12)$$

where f_{ep} – effectiveness evaluation of the correction subsystem element that performs control actions over a property .

2.3. Topology description

De Bruijn topology is synthesized for the design of knowledge-resistant distributed data storage. Due to the use of additional links with negative numbers, we get a more number of alternative routes for data transmission [10-12].

The excess de Bruijn topology was used to expand the training and test dataset.

This topology is an extension of the usual de Bruijn topology using a redundant binary number system (containing an additional digit -1, denoted as T). All vertices of the topology are encoded in this system, and connections are formed by shifts to the left and right with the insertion of different digits (thus, each vertex has 6 neighbors). This topology of rank 2 is shown in fig. 3.

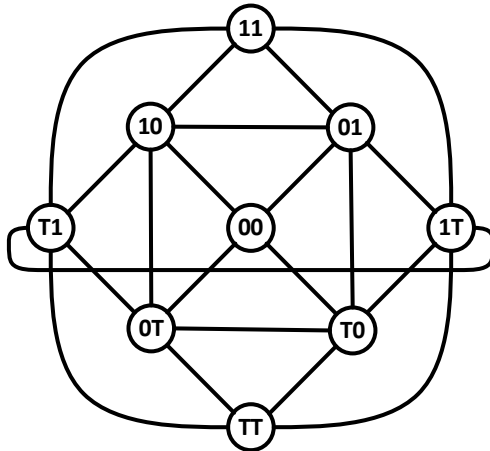


fig. 3 Excess de Bruijn topology

A simple construction scheme allows you to use offsets in routing: all the neighbors of each vertex can be found through offset operations on the code, and the route search - performed through the step-by-step insertion of the destination code in the source code. Another routing option has been tree-based routing, which allows you to bypass failures. Also a feature of this topology is the presence of vertices with different code, but the same number, which allows you to perform fault substitution and redistribution of roles.

3. DATA PREPARATION AND NETWORK DEVELOPMENT

3.1. Data preparation. Modified NSL KDD dataset.

Before training and testing, the data from the set must be uploaded to the system and prepared.

Dataset NSL KDD its set for recognizing the type of attack by transport layer packet headers. The data is presented in a table where the values are the values of the fields, and all fields are numbers, except for the fields protocol, service, flag (these fields are rows). There are 2 fields of labels: one - to classify the type of attack (string), the other - to classify the level of threat (integer).

In the dataset we modified, two fields were added - the number of the vertex and the cluster that are being attacked.

We modified the dataset according to the de Bruijn topology. In our opinion, such a topology can be used to monitor fault tolerance during data balancing in distributed storage systems.

These fields were filled according to two rules of attack: equal-probability attack and attack on hubs.

The rule (table 1) of equal probability attack indicates that all vertices of the cluster can be attacked with equal probability. An attack on hub nodes is a distribution of the probability of an attack on nodes according to certain parameters. Thus, nodes of type TT, 11, 00 are nodes-concentrators, and nodes T1, OT and 01, 1T are glued, and therefore, the probability of attack on them is much higher than on others.

table 1. Rules for dataset modification

Node Value	Node Code	Cluster Code
-3	TT	TT, T0, T1, OT, 00, 01, 1T, 10, 11
-2	T0	TT, T0, T1, OT, 00, 01, 1T, 10, 11
-1	T1, OT	TT, T0, T1, OT, 00, 01, 1T, 10, 11
0	00	TT, T0, T1, OT, 00, 01, 1T, 10, 11
1	01, 1T	TT, T0, T1, OT, 00, 01, 1T, 10, 11
2	10	TT, T0, T1, OT, 00, 01, 1T, 10, 11

3	11	TT, T0, T1, OT, 00, 01, 1T, 10, 11
---	----	---------------------------------------

As part of the work, the classification will be performed only for the type of attack. Therefore, the threat level field is deleted. Also, all field fields, including the attack type field, must be converted to numbers. The algorithm does this using dictionaries (each variant of the field value is assigned a unique numeric identifier). After replacement, the features are fed into the network in the form of a vector 43x1x1.

3.2. Network description

A convolutional network from the Keras package was used for the study. This type of network works similarly to the visual cortex: the first layers define the lines, the next - use data from previous layers. Such a network has no feedback.

The network contains the following types of layers:

- convolutional layers;
- aggregation layer;
- fully connected layer;
- source layer.

Convolutional layers perform a convolution operation: each part of the image is multiplied element by element with a smaller matrix (core). This approach reduces the number of free parameters due to multilayer. For this study, a 3x3 matrix (invariant parameter) will be used as the kernel, and for problems with vector data representation, a vector with length 3 will be used.

Each convolution layer is architecturally connected to the activation layer to which the result of each convolution is applied. The activation function is a certain nonlinear function. The following functions are used: hyperbolic tangent, sigmoid, ReLU. Modern networks usually use the ReLU function and its modifications. This function will be used in the work. ReLU function type:

$$f(x) = \max(0, x) \quad (13)$$

The number of convolutional layers can be different, depending on the different network parameters. This is one of the parameters whose impact will be investigated.

Aggregation layer combines the outputs of neurons of one layer to one neuron of the next layer. The task of this layer is to go from the analysis of features (pixels) to the analysis of more general

elements selected by the network in the process of convolution.

For aggregation, the operations of maximum (maximizing aggregation) or average (averaging aggregation) are usually used. In the framework of this work, maximization aggregation is used.

Fully connected layer combines each neuron of one layer with each neuron of the next. This layer is used to answer the probability that a given object (image, data vector, etc.) belongs to a certain class of objects.

The task of the source layer is to provide a final answer based on the data of the previous layers. The softmax function is used as an activation function here. Its appearance is as follows:

$$f(x_i) = \frac{e^{x_i}}{\sum e^{x_j}} \quad (14)$$

The hyperparameters for this network are the loss function and the optimization function. Categorical crossentropy was used to measure the error. The Adam function is chosen as the optimization function. It is an improved SGD, optimized to work with a large number of parameters, contains a pulse, and is recommended for use instead of RMSprop.

3.3. Setting experiments

The prepared data from sets are used as input data. As network parameters - the following values:

- number of convolutional layers: directly determines the depth of the network. The deeper the network, the more neurons it contains the more resources it needs and the more accurate (predictably) it should provide. The following values are used in the work: 2, 3, 4 and 5.
- number of epochs of learning: this parameter nonlinearly affects the characteristics of learning.
- packet size (batch_size): the accuracy changes nonlinearly with increasing parameter, but the specific effect depends on the number of epochs and the depth of the network. The following values were taken for the study: 50, 100, 200, 400.

4. EXPERIMENTS AND THEIR RESULTS

To simplify the perception, we present the results in the form of a diagram. In fig. 4 shows a 3-

dimensional histogram describing the dependence of accuracy on the packet size (depth axis), network depth and number of epochs (horizontal axis, the first pair number - network depth, the second - the number of epochs).

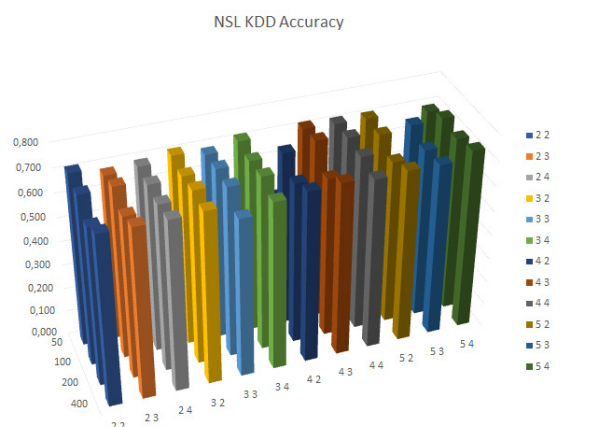


fig. 4 Accuracy diagram for NSL KDDmod

To analyze this histogram, it is advisable to divide the experiments into groups depending on the depth of the network. In addition, for the convenience of displaying data in the text, you can represent the experiment as a point in a 3-dimensional scalar field, the coordinates of which are the parameters, and the value is accuracy. Thus, the notation (x, y, z) will mean that this is an experiment where the depth of the model was x convolutional layers, and the training took place during y epochs with a packet size of z . And the notation $(x, y, z) = A$ means that in this experiment the model showed an accuracy equal to A .

2 layers. At once it is possible to allocate absence of obvious tendencies. Although there are fluctuations, it is impossible to speak about the obvious dependence of accuracy on any specific parameters.

The maximum in this group is the value of 0.7191 at parameters (2, 2, 50).

3 layers. The inverse dependence on `batch_size` is visible (though rather weakly), however fluctuations are still too strong to speak about tendencies. The influence of epochs on accuracy is too vague. The optimal value of 0.7203 is reached at point (3, 4, 50).

4 layers. There is a direct dependence on the number of epochs (in 2 epochs the results are the worst, in 4 epochs - on average, the best).

Dependence on `batch_size` on the contrary, disappears almost completely. The optimum is the value of 0.7403 in (4, 3, 100).

5 layers. Weak inverse dependence on `batch_size` is visible only at epochs = 2, in other values there are very strong fluctuations. The maximum accuracy in this group (and in the whole set) is 0.7379 at the point (5, 4, 400).

General conclusions regarding NSL KDDmod accuracy. The only feature that is quite visible compared to the MNIST - a very strong decline in accuracy. If in MNIST the values fluctuated in the range of 0.96-0.98, then here they barely reach the value of 0.69. This is probably due to a change in data representation: the network is not designed to analyze vector data. This means that need to make some changes to either the data structure or the network architecture.

As for other trends, they are too weak to draw any conclusions.

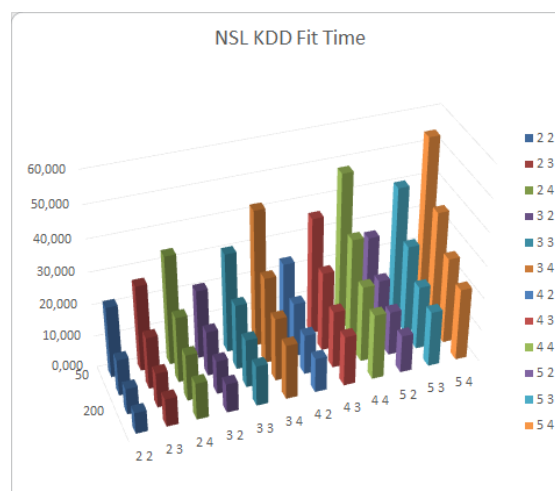


fig. 5 Training time diagram for NSL KDDmod

What trends have been identified:

- The accuracy depends on the depth of the model quite indirectly: there is a general increase, but not very pronounced, there are quite strong fluctuations and displacements of the maxima.
- The dependence of accuracy on the number of epochs strongly depends on the depth: at some values there is an increase with the number of epochs, at others - fluctuations. Only one of the 4 local maxima is located at epochs = 4.

- Explicit dependence of accuracy on batch_size is clearly expressed: with increase of this parameter accuracy almost always decreases.
- You can trace the cross-effect of the parameters batch_size and epochs: depending on the size of the package, the behavior of the model changes with increasing number of epochs.

This analysis will be incomplete without a training time analysis. In fig. 5 shows a diagram for the learning speed of the model for the NSL KDDmod dataset.

Here we can immediately identify 3 fairly obvious trends:

- Training time is inversely proportional to the batch_size parameter
- Learning time is directly proportional to the number of epochs (dependence is almost linear, the exception is a network with 2 conv. Layers)
- Training time is directly proportional to the depth (but the dependence is quite weak compared to other parameters)

Extremes at points (2, 2, 400) are quite obvious and pronounced - a minimum with a value of 6.5437, and (5, 4, 50) - a maximum with a value of 54.1477.

In general, the data on the training time is quite expected, the only interesting feature is the weak influence of the depth of the network (additional layers add a delay, but it is quite small).

The results obtained are presented in table 2.

table 2. Results for the synthetically modified NSL KDDmod dataset

№	Incoming data			The results of the experiment	
	Depth of the network	Number of epochs	Package size	Training time	Accuracy
0	2	2	50	22.124	0.719
1	2	2	100	11.229	0.708
2	2	2	200	8.025	0.657
3	2	2	400	6.544	0.707
4	2	3	50	26.731	0.685
5	2	3	100	16.178	0.713

6	2	3	200	10.786	0.670
7	2	3	400	8.655	0.706
8	2	4	50	33.980	0.694
9	2	4	100	20.398	0.694
10	2	4	200	14.371	0.690
11	2	4	400	11.401	0.706
12	3	2	50	21.359	0.713
13	3	2	100	13.908	0.702
14	3	2	200	10.337	0.718
15	3	2	400	8.993	0.712
16	3	3	50	30.938	0.691
17	3	3	100	20.271	0.705
18	3	3	200	14.931	0.706
19	3	3	400	12.484	0.655
20	3	4	50	42.324	0.720
21	3	4	100	26.716	0.710
22	3	4	200	19.543	0.720
23	3	4	400	16.868	0.693
24	4	2	50	24.039	0.463
25	4	2	100	16.795	0.717
26	4	2	200	12.271	0.666
27	4	2	400	10.601	0.707
28	4	3	50	36.339	0.722
29	4	3	100	24.498	0.740
30	4	3	200	17.671	0.659
31	4	3	400	15.408	0.714
32	4	4	50	48.239	0.716
33	4	4	100	32.995	0.728
34	4	4	200	23.495	0.721
35	4	4	400	20.157	0.702
36	5	2	50	26.834	0.714
37	5	2	100	18.261	0.715
38	5	2	200	13.670	0.674
39	5	2	400	11.596	0.710

40	5	3	50	40.546	0.463
41	5	3	100	27.202	0.729
42	5	3	200	19.627	0.696
43	5	3	400	17.088	0.707
44	5	4	50	54.148	0.696
45	5	4	100	36.002	0.733
46	5	4	200	26.617	0.718
47	5	4	400	22.221	0.738

5. SUMMARY AND CONCLUSION

A number of studies have been conducted in this work. Initially, a modified set of traffic classification data for attack detection (NSD KDD data set) was analyzed, and a number of experiments with different parameters (set manually) were performed. Conclusions on behavioral tendencies are made. Then an automatic analysis was performed: in the experiment, the parameters of the model were considered as arguments of a certain abstract function of many arguments, accuracy - as its value. This allowed us to apply the methods of mathematical analysis and search for maximum accuracy in automatic mode. The values of the optimums at different parameters of the search function for different starting points are obtained, conclusions are made about the obtained results. An attempt was also made to replace network layers, it was found that the use of a layer for vector data, although it allows to obtain accuracy in some experiments, but leads to a deterioration of the average result (and generates "failures" - scores where the accuracy function decreases sharply).

Potential areas for future research:

- Optimize automatic optimum search and retry experiment (requires great computing power).
- Finding the optimum for an NSL dataset and developing a network for an alternative task - classifying traffic to detect attacks
- The use of augmentation (data enhancement, noise, offset) and re-analysis is promising, but it will increase the dataset many times over difficult).

References

1. Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker, D. Henderson, R. E. Howard, W. Hubbard, and L. D. Jackel, "Backpropagation applied to handwritten zip code recognition," *Neural computation*, vol. 1, no. 4, pp. 541–551, 1989.
2. LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. Deep learning. *Nature* 521, 436–444 (2015). <https://doi.org/10.1038/nature14539>
3. Dhanabal, L., and S. P. Shantharajah. "A study on NSL-KDD dataset for intrusion detection system based on classification algorithms." *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* 4, no. 6 (2015): 446-452.
4. B. Ivanishchev, P. Rehida, A. Kaplunov, O. Honcharenko. Analysis of data balancing problems in distributed data storages. Security, Fault Tolerance, Intelligence: Proceedings of the International Conference ICSFTI2020, Kyiv, Ukraine, May 13, June 15, 2020. – Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Publishing House "Polytechnica", 2020, P.75-77.
5. Alenezy E. J. Solving Capacitated Facility Location Problem Using Lagrangian Decomposition and Volume Algorithm // *Advances in Operations Research*. – 2020. – T. 2020.
6. Luis M., Ramli M. F., Lin A. A greedy heuristic algorithm for solving the capacitated planar multi-facility location-allocation problem // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2016. – T. 1782. – №. 1. – C. 040010.
7. Artacho F. J. A., Campoy R., Elser V. An enhanced formulation for solving graph coloring problems with the Douglas–Rachford algorithm // *Journal of Global Optimization*. – 2020. – P. 1-21.
8. Fidanova S., Pop P. An improved hybrid ant-local search algorithm for the partition graph coloring problem // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. – 2016. – T. 293. – C. 55-61.
9. Dmitrienko P.V. Methods of evaluating the effectiveness of systems for computing resources monitoring // *Computer Research and Modeling*, 2012, vol. 4, no. 3, pp. 661-668
10. Loutskii, H., Volokyta, A., Rehida, P., Goncharenko, O. (2019). Using excess code to design fault-tolerant topologies. *Technical sciences and technologies*, 1 (15), 134–144.; DOI - [https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1\(15\)-134-144](https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1(15)-134-144).
11. Loutskii H., Volokyta A., Rehida P., Honcharenko O., Thinh V.D. (2021) Method for Synthesis Scalable Fault-Tolerant Multi-level Topological Organizations Based on Excess Code. *Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEEA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_32

12. **H. Loutskii, A. Volokyta, P. Rehida, O. Honcharenko, B. Ivanishchev and A. Kaplunov,** "Increasing the fault tolerance of distributed systems for the Hyper de Bruijn topology with excess code," 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ATIT49449.2019.9030487

METHODS FOR CREATING TEMPLATES FOR MACHINE LEARNING

Anton YAKOVLEV¹ Oleg LISOVYCHENKO¹

¹Department of technical Cybernetics, "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute" - Kyiv, Ukraine

e-mail: liferunner@gmail.com, olisov@tk.kpi.ua

Резюме: Considered a methods of creation of templates for machine learning by example of image classification for road safety systems. Process analysis is performed from a mass character and software engineering tools perspective. In scope of the analysis process sequence was defined and its time characters. Shortcomings found in template creation process and its mass character. Template creation process stages automation with software engineering tools was suggested that improves its efficiency.

Ключови думи: artificial intelligence, machine learning, machine learning datasets, pattern recognition

1. INTRODUCTION

Recent decade's growth of computing systems power provides new opportunities in the field of artificial intelligence. This facilitates active research in a mentioned field and reflects in an increase of obtained results usage fields. These branches are medicine, finance, public transportation, etc. Without a doubt, the lists of the areas of penetration of artificial intelligence models will only grow in the process of time.

Machine learning is an artificial intelligence class of methods where problems solving takes place not directly, but using results data of similar problems solving. It lets a computational system solve problems and higher its productivity without obvious programming.

Learning process quality and, as a result, problem solving quality, directly depends on input dataset quality characteristics (templates), amount of such data, and learning iterations count.

Forming of a set of templates for learning is influenced by specifics of problems being solved and may vary for each specific task. However, general approaches for creating templates for machine learning can be highlighted and will be discussed in this article.

2. PROBLEM STATEMENT

To demonstrate approaches for the problem solution of templates for machine learning creation, vehicle plate recognition tasks in road safety systems were chosen.

- A problem definition of creation of templates for machine learning.
- A methods definition of creation of templates for machine learning, its specifics, advantages and disadvantages.
- Justification and proof of the effectiveness of chosen approaches based on the results of vehicle plate region seeking problem solution.
- A problem of creation of templates for machine learning

From a machine learning point of view templates are classified sets of data that can be defined and have unique characteristics. To accomplish information processing and pattern recognition tasks machine learning operates classified images. For problem definition, it is mandatory to define a sequence of technological steps that included in learning process:

1. Classification criterion matching graphical image selection;
2. Recognition classes definition;
3. Define class-matching region of the image (when part of an image is significative for learning or image has multiple classes);
4. Region markup with its geometrical parameters definition on image;
5. Graphical coordinates conversion to machine learning system format;
6. Point 3-5 implementation for every image from dataset;
7. Batch, epoch and other learning parameters definition;
8. Training with classified dataset;
9. Evaluate the results obtained to match compliance with the assigned tasks.

As seen from the list above, a preparation of a template set for learning requires large amounts of graphical data processing. This may require significant time expenditures for training data preparation. So the main task, and correspondingly image annotation problem, for templates preparation for machine learning is mass character of this data. As more annotated images used for training, the higher neural network recognition precision is. Mass character becomes a critical indicator that influencing on a machine learning result in final. Respectively, reduction of time expenditures is a priority direction of automation.

For template creation disadvantages designation an image classification process without automation was chosen, using operating system tools only.

These operations will be performed: image load to graphical editor, coordinates definition for license plate classification for 3 regions, graphical coordinates storing to file, coordinates conversion to Yolo v5 object recognition system format and storing to file. Image being used as a template shown on Figure 1.



fig.1 Image for template creation

Mentioned above template creation operations execution results are shown in Table 1.

table 1 Timing characteristics of image classification for creation of template of machine learning with operating system tools usage only. Time expenditure growth is a negative trend.

Operation	Execution time (min)
Image loading	0:05
Coordinates definition	5:15
Conversion to Yolo v5 format and	8:28

storage	
Total	13:48

Suggestions for solving the problem of creating templates for machine learning

Modern computing systems tools like software and hardware capabilities provide opportunities for process automation of creation of templates for machine learning. This process can be performed in such ways: without automation, partially automated, fully automated.

Both training abilities and the amount of templates used for learning could be raised by automated approach methods improvement and manual stages automation coverage growth. Amount of classified data for learning growth leads to recognition system precision growth [4].

Figure 2 contains visual examples of image regions classification with specific recognition object class.



fig. 2 Image regions classification

From computing systems perspective a process of templates creation for machine learning, within classifying images for road safety system as an example, provides for the following sequence:

1. Image file load from file system;
2. Visual designation of needed region;
3. Rectangle coordinates definition (x,y, width, height);
4. Region selection;
5. Graphic coordinates conversion to machine learning system format;
6. Converted coordinates storage to file system.

All stages from the above list are capable of automation except visual designation of needed region matching to classes of interest and should be performed by humans.

In case of a present pre-trained recognition system with enough precision level a visual designation of needed region for classification could be automatically performed with already recognized dataset. For such recognized images, being used for re-training a precision level requirement of 100% should be met. Erroneous recognitions in pre-recognized arrays of data could lower final recognition precision by the results of the learning process. This approach requires development and corresponding usage of software components for coordinates conversion between recognition and train systems.

Train process sequence with a pre-recognized dataset is shown on Figure 3.

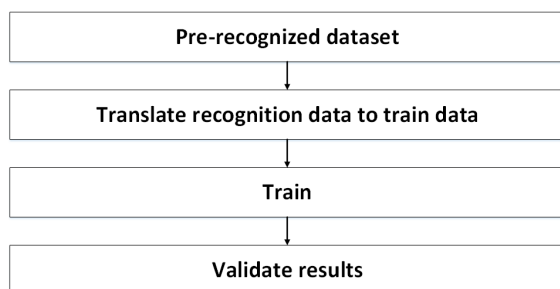


fig. 3 Training sequence with pre-trained dataset usage.

In accordance with the results [5] initial automation for all applicable stages of templates creation for machine learning provides speed up capabilities. While pre-recognized data usage for training is only limited by computing systems performance and could be executed recursively until needed precision level met.

Available software engineering tools of .NET platform were used for YoloAnno [5] application development, which was used for images classification.

3. PROPOSED APPROACHES EFFICIENCY APPROBATION

Practical implementation of automated methods of templates creation for machine learning shows

performance growth for dataset preparation stage and for learning process overall.

Automation for stages like file system interaction, work with image regions, image processing, work with recognition classes, work with data formatting for recognition system, work with machine learning system learning interfaces dramatically reduces human costs for the learning process.

For given processes effectiveness definition there are three important parameters: time, user actions count, possibility or impossibility of automation. As stated earlier, having pre-recognized dataset this process could be fully automated with human participation reduced, as well as the possibility of an error reduced.

In accordance with [2] all mentioned stages are capable of automation with software tools of C# programming language within .NET platform, however not limited with these technologies.

Because of the image from Figure 1 classification using automation, the timing characteristics of this process were obtained, which is shown at Table 2.

table 2 Timing characteristics of image classification for creation of template of machine learning with automation by software engineering methods using YoloAnno application. Time expenditure reduction is a positive trend.

Operation	Execution time (min)
Loading an image	0:01
Coordinates definition	0:18
Conversion to Yolo v5 format and storage	0:01
Total	00:20

Figure 4 shows the ratio of time expenditures for automated and manual approaches for creation of templates for machine learning. As an example a process of creation of a training data array for vehicle license plate recognition module of road safety systems.

4. CONCLUSION

As a result of research of methods for creating templates for machine learning, problems have been defined for existing methods and paths for efficiency increase with automation proposed. Methods for creating templates for machine learning using modern tools of software engineering are proving its

efficiency in practice and significantly expanding opportunities for the learning process, as well as lowering human cost where automation is limited.

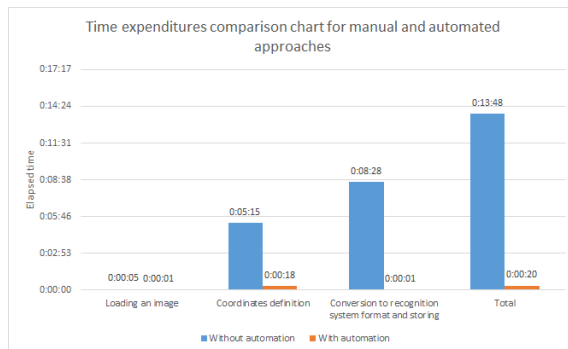


fig. 4 Time expenditure comparison chart for various approaches to creation of templates for machine learning on the example of solving a task. Time expenditure reduction with a usage of automation is a positive trend.

A task of pattern recognition system training with templates was used as an example. Templates were created with operating system capabilities only and with automation by software engineering tools usage. Automation usage advantaged has been proven for this process and substantiated with obtained time results as a confirmation of goal achievement.

Modern researches in the field of software engineering, computer vision, pattern recognition provokes scientific interest stated in article problems and stimulates further research.

Further research of the problem of creating templates for machine learning relates with software engineering tools development, growth of computing power, machine learning systems complexity growth, capturing devices resolution growth, learning process mathematical complexity reduction, architecture-specific machine learning template

creation, automation for template creation process and learning process.

References

1. **Rajalingappaa S.** Deep Learning for Computer Vision: Expert techniques to train advanced neural networks using TensorFlow and Keras., Packt Publishing, January 23, 2018. 312 p.
2. **Yampolskyi L. S., Lisovychenko O.I., Oliynyk V.V.,** Neurotechnologies and neurocomputer systems: textbook. Kyiv: Dorado-Druk, 2016. 576 p. (Ukr.)
3. **C. Bishop,** Pattern recognition and machine learning. New York: Springer, 2016. 738 p.
4. **K. Fetter, S. Eberhardt, R. Barclay, S. Wing and S. Keller,** "StomataCounter: a neural network for automatic stomata identification and counting", New Phytologist, vol. 223, no. 3, pp. 1671-1681, 2019. URL: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.15892>, (accessed: 21.02.2021).
5. **A. Yakovlev, O. Lisovychenko,** "An approach for image annotation automatization for artificial intelligence models learning", Adaptive systems of automatic control, vol. 1, no. 36, pp. 32-40, 2020. URL: <http://asac.kpi.ua/article/view/209755> (accessed: 21.02.2021).
6. **N. Omar, A. Sengur and S. Al-Ali,** "Cascaded deep learning-based efficient approach for license plate detection and recognition", Expert Systems with Applications, vol. 149, p. 113280, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/339234298_Cascaded_Deep_Learning-Based_Efficient_Approach_for_License_Plate_Detection_and_Recognition (accessed: 21.02.2021).
7. **M. Rizwan Asif, C. Qi, T. Wang, M. Sadiq Fareed and S. AliRaza,** "AliRaza License plate detection for multi-national vehicles: An illumination invariant approach in multi-lane environment", Computers & Electrical Engineering, vol. 78, september 2019, p. 132-147, 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790618330507> (accessed: 21.02.2021).

РАЗШИРЕН АНАЛИЗ НА РЕГИСТРИ ЗА АВАРИИ НА ИНДУСТРИАЛНО ОБОРУДВАНЕ ЧРЕЗ ВЕРОЯТНОСТНИ МЕТОДИ

Росен МИТРЕВ

катедра „Инженерна логистика, подемно-транспортна и строителна техника”, Технически университет - София,
България

e-mail: rosenm@tu-sofia.bg

Резюме: В статията е разработената методика, която допълва съществуващите досега методи за анализ на аварии и може да се използва съвместно с тях като подпомага вземането на рационални решения от всички лица, свързани с проблема – експерти, проектанти на машини, управленски персонал, специализирани контролни органи и др. Методиката е основана на представянето на регистрите на аварии във вид на дърво и анализ на вероятността за появяване на определени събития. Основният резултат от прилагането на тази методика е повишаване на ефективността при проектиране и инженерен анализ, оценка на безопасността и риска, намаляване на честотата на аварията, обучение на операторите и помощния персонал, установяването на причинно-следствените връзки между събитията, възникващи при аварията, а също така и набелязване и провеждане на организационни и технически мероприятия за намаляване на честотата на аварията.

Ключови думи: аварии, вероятностна методика

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Аварията представлява внезапна технологична повреда на машини, съоръжения и агрегати, съпроводена със спиране или сериозно нарушаване на технологичния процес, с взривове, пожари, замърсяване на околната среда, разрушения, жертви или заплахи за живота и здравето на населението [1]. Аварии възникват поради комбинация на непредвидими фактори и събития, водещи до излизане от строя на техника и/или злополуки и смърт на хора. Причините за аварии са различни – функционални откази на оборудването, умишлени действия или човешки грешки, действия на околната среда и др. В повечето случаи, аварията на индустриално оборудване са свързани със значителни здравни, материални, социални и психологически последствия за всички страни, които засяга аварията – собственици на оборудването, потърпевши и техни близки, застрахователи и др.

В зависимост от вида на индустриалното оборудване и нормативните разпоредби, възникването на аварии се регистрира от собствениците, държавни или частни организации (например, Държавната агенция за метрологичен и технически надзор) и други специализирани органи. Най-достоверна и пълна информация за причините, обстоятелствата, събитията и изходите от

аварията може да се получи от водените от тези организации законово регламентирани или предназначени за вътрешно ползване регистри и архиви. Анализът на регистрите позволява да се извлече систематична статистическа информация, която да служи за анализ на аварията относно причините, видовете съоръжения, последствията от аварията, щетите и други фактори. Друг източник на информация за аварията са публикуваните данни в специализираната литература [2,3,4,5], основани на статистически анализ на аварии. Тези данни обикновено са обобщени по различни показатели и трудно могат да бъдат използвани за възстановяване на обстоятелствата при аварията или прогнозиране на изходи от аварии.

Извличането на пълноценна информация за аварията от водените регистри изисква използването на математически методи, позволяващи да се открият зависимостите, както в малки, така и в големи масиви от данни, като същевременно се отчитат максимален брой фактори, които биха могли да въздействат върху изхода от аварията.

Поради тази причина, основната цел на настоящата работа е да се разработи ефективна методика за анализ на регистрите на аварии на индустриално оборудване с цел извличане на максимално количество информация от масивите с данни посредством вероятностни методи.

2. СЪБИРАНЕ НА ПЪРВИЧНА ИНФОРМАЦИЯ ЗА АВАРИИТЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА СТАТИСТИЧЕСКАТА Ъ ОБРАБОТКА

Регистрирането на аварията чрез възможно най-много специфични атрибути (признаци), които са били характерни за нея, дава възможност да се извърши както по-детайлно описание на обстоятелствата при аварията, така и да се извърши подробен статистически анализ с цел установяване на причинно-следствените връзки между входните фактори и изхода от аварията. От една страна, въвеждането на повече атрибути за описание на аварията ще затрудни значително извличането на систематична информация от регистъра. От друга страна, намаляването на броя на атрибутите облекчава обработката и откриването на зависимостите, но ще доведе до загуба на информация, която би могла да се отчете и използва за по-разширен анализ на аварията.

Атрибутите, от които зависи изхода от ава-

рията са специфични за конкретния вид индустриално оборудване. Повдигателните съоръжения са съоръжения с повишена опасност и аварията в тях са с големи последствия, поради което те подлежат на регистрация пред органите за технически надзор. Въз основа на подробен анализ на статистическите данни за аварията при повдигателни съоръжения и специфичните признаци и обстоятелства, по които те се разграничават, се предлага структура на регистър на аварията на повдигателни съоръжения, състоящ се от осем атрибута, представени чрез категорийни и числени данни, показани в табл.1 в раздела „Основни атрибути“, като също така са показани и техните възможни стойности. Допълнително, при всяка авария се регистрира допълнителна информация, съдържаща шест атрибута, която има помощен характер – раздел „Допълнителни атрибути“. Списък на атрибутите, а също така и на техните стойности, може да бъде разширяван или съкращаван при необходимост.

табл.1 Атрибути в регистъра на аварията и техните стойности

No	Атрибут	Стойност	Тип на атрибута
Основни атрибути			
1	Година на възникване на аварията	-	Числен
2	Метеорологични условия	1. Добри 2. Лоши	Категориен
3	Квалификация на оператора	1. Ниска 2. Висока	Категориен
4	Квалификация на помощния персонал	1. Ниска 2. Висока	Категориен
5	Вид на повдигателното съоръжение	Съгласно [6] или в зависимост от нуждите	Категориен
6	Причина за аварията	1. Организационна 2. Техническа	Категориен
7	Период на експлоатация	1. По-малък от 10 г. 2. Между 10 и 20 г. 3. По-голям от 30 г.	Категориен
8	Последствие от аварията – 4 вида	1. Без злополука 2. Със злополука 3. Със злополука и смъртен случай 4. Смъртен случай	Категориен

Допълнителни атрибути			
9	Последствие от аварията – 2 вида	1. Да (има зл./см.сл.) 2. Не (няма зл./см.сл.)	Категориен
10	Брой ранени при злополука	-	Числен
11	Брой смъртни случаи	-	Числен
12	Материална щета върху съоръжението	-	Числен
13	Изплатени обезщетения – ранени	-	Числен
14	Изплатени обезщетения – смъртни случаи	-	Числен

Изброените в табл.1 атрибути могат да бъдат разделени по следните признаци:

- Отчитащи състоянието на околната среда – метеорологични условия;
- Отчитащи човешкия фактор – квалификация на оператора и квалификация на помощния персонал;
- Отчитащи техническия аспект – вид на повдигателното съоръжение и причина за аварията;
- Отчитащи времеви показатели – година на възникване на аварията и период на експлоатация на повдигателното съоръжение;
- Репрезентирани изхода от аварията относно наличието на злополуки или смъртни случаи – последствия от аварията 2 или 4 вида;
- Отчитащи щетите върху хората – брой ранени или смъртни случаи;
- Отчитащи финансовите показатели – материални щети, изплатени обезщетения за ранени и смъртни случаи.

Относно стойностите на атрибут 5 „Вид на повдигателното съоръжение“ може да се добави, че съгласно Чл. 2. ал.1 на [6] тя се прилага за следните повдигателни съоръжения: 1) Товароподемни кранове; 2) Товароподемни електрически колички, движещи се по надземни релсови пътища, които не са монтирани на товароподемни кранове; 3) Електрически телфери, които не са монтирани на товароподемни кранове; 4) Багери, предназначени за работа с кука, грайфер или електромагнит; 5) Товароухващащи приспособления; 6) Окачени кошове за повдигане на хора; 7) Подвижни работни площадки; 8) Строителни и други подемници за повдигане на хора или на хора и товари, които попадат в обхвата на „Наредбата за съществения изисквания и оценяване съответствието на машините“; 9) Релсови пътища

към съоръженията. Това разделение може да послужи за основа на дефиниране на стойностите на този атрибут, като тяхното количество може да се съкрати или увеличи в зависимост от нуждите.

В табл.2 и табл.3 е показан изкуствено генериран регистър, съдържащ 424 случая на аварии на повдигателни съоръжения, описани чрез показаните в табл.1 атрибути и техните категорични или числени стойности. Всеки ред на таблицата представя една авария. За основа при генериране на регистъра послужи справка за аварията на повдигателни съоръжения в Р. България за периода 2002 г.-2010 г. [7,8], която за целите на изследването е изкуствено допълнена с необходимите атрибути от табл.1 и разширена като брой случаи до 424. В табл.2 са показани колонките, съдържащи стойностите на основните атрибути, а в табл.3 – колонките, съдържащи стойностите на допълнителните атрибути. При представянето на данните в регистъра е използвана кодировка на атрибутите и техните стойности, представена в табл.4.

Статистическата обработка на представения регистър е силно затруднена при необходимост от систематизация на данните по повече от два атрибута без използването на програмен продукт, автоматизиращ тази дейност. Анализът на възможностите на специализирани [9] и продукти с общо предназначение [10] показва, че наличният в Excel инструмент *Pivot Table* (Обобщена таблица) напълно отговаря на целите на първоначалната статистическа обработка и позволява систематизация на данните по различните атрибути, като при това той е достъпен практически без ограничения. За извършване на първоначална статистическа обработка на регистъра на аварията чрез Excel, той се преобразува в тип *Table*. В този вид таблицата е отворена за допълване или ре-

дактиране с цел добавяне на нови аварии или промяна на стойностите на атрибутите. На фиг.1 са показани резултатите от използването на този инструмент спрямо категорийните променливи при попълнени полета в прозореца *PivotTable Fields*, показан на фиг.1 а). Получената обобщена таблица систематизира резултатите от регистъра

и чрез „+“ и „-“ тя може да бъде свивана или разширявана относно броя на атрибутите. На фиг.1 б) е показана обобщената таблица за атрибута „Метеорологични условия“ и разпределението на аварията относно атрибута, описващ изхода от аварията, а именно атрибута „Последствие от аварията“.

табл.2 Изкуствено генериран регистър – основни атрибути

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Номер	Година	В - Мет. усл.	С - Кв. опер.	Д - Кв. п.п.	Е - Вид съор.	Ф - Прич. авар.	Г - Пер.експл.	Н - Посл. авар.
1	2002	B2 - Доб.	C2 - Вис.	D1 - Нис.	E3 - Мост.	F1 - Орг.	G1-10г	H2 - Б. зл.
2	2002	B2 - Доб.	C2 - Вис.	D1 - Нис.	E2 - Кула	F1 - Орг.	G2-20г	H1 - Зл.
3	2002	B1 - Лош.	C1 - Нис.	D1 - Нис.	E1 - Авт.	F1 - Орг.	G2-20г	H1 - Зл.
4	2002	B2 - Доб.	C1 - Нис.	D1 - Нис.	E2 - Кула	F2 - Техн.	G3-30г	H3 - Зл. и см.
5	2002	B1 - Лош.	C2 - Вис.	D1 - Нис.	E1 - Авт.	F1 - Орг.	G2-20г	H1 - Зл.
6	2002	B2 - Доб.	C1 - Нис.	D1 - Нис.	E1 - Авт.	F1 - Орг.	G1-10г	H2 - Б. зл.
7	2002	B2 - Доб.	C2 - Вис.	D1 - Нис.	E3 - Мост.	F2 - Техн.	G1-10г	H2 - Б. зл.
8	2002	B2 - Доб.	C1 - Нис.	D1 - Нис.	E2 - Кула	F1 - Орг.	G3-30г	H1 - Зл.

417	2010	B2 - Доб.	C2 - Вис.	D2 - Вис.	E1 - Авт.	F2 - Техн.	G1-10г	H2 - Б. зл.
418	2010	B2 - Доб.	C2 - Вис.	D2 - Вис.	E5 - Раб.	F1 - Орг.	G3-30г	H2 - Б. зл.
419	2010	B2 - Доб.	C2 - Вис.	D1 - Нис.	E5 - Раб.	F2 - Техн.	G2-20г	H2 - Б. зл.
420	2010	B1 - Лош.	C2 - Вис.	D1 - Нис.	E4 - Баг.	F1 - Орг.	G1-10г	H4 - См.
421	2010	B2 - Доб.	C1 - Нис.	D1 - Нис.	E2 - Кула	F2 - Техн.	G3-30г	H3 - Зл. и см.
422	2010	B2 - Доб.	C1 - Нис.	D1 - Нис.	E1 - Авт.	F1 - Орг.	G2-20г	H3 - Зл. и см.
423	2010	B1 - Лош.	C2 - Вис.	D2 - Вис.	E2 - Кула	F2 - Техн.	G3-30г	H3 - Зл. и см.
424	2010	B2 - Доб.	C1 - Нис.	D1 - Нис.	E3 - Мост.	F2 - Техн.	G2-20г	H3 - Зл. и см.

табл.3 Изкуствено генериран регистър – допълнителни атрибути

J	K	L	M	N	O
К - Зл., см или без	Л - Бр. ран	М - Застр. ран.	Н - Бр. см. случ.	О - Застр.см.	Р - Мат. щета
no	0	0	0	0	100000
yes	1	30000	0	0	200000
yes	2	20000	0	0	300000
yes	2	10000	1	1000000	50000
yes	0	0	0	0	10000
no	0	0	0	0	150000
no	0	0	0	0	150000
yes	1	30000	0	0	400000

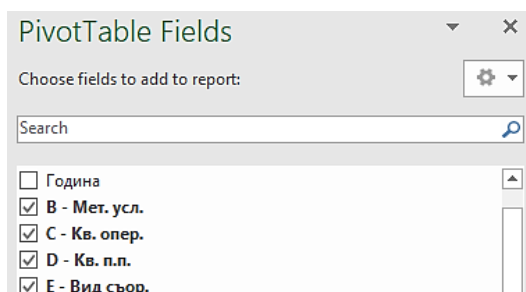
no	0	0	0	0	145000
no	0	0	0	0	110000
no	0	0	0	0	20000
yes	0	0	2	2000000	32000
yes	2	30000	1	1000000	50000
yes	2	30000	1	1000000	50000
yes	2	30000	1	1000000	200000
yes	2	30000	1	1000000	250000

табл.4 Кодирание на атрибутите

Кодирание на атрибут	Кодирание на стойност
Година на възникване на аварията <i>Година</i>	2002-2010
Метеорологични условия <i>В - Мет. усл.</i>	Лоши - <i>В1 - Лош.</i> Добри - <i>В2 - Доб.</i>
Квалификация на оператора <i>С - Кв. опер.</i>	Ниска - <i>С1 - Нис.</i> Висока - <i>С2 - Вис.</i>
Квалификация на помощния персонал <i>Д - Кв. п.п.</i>	Ниска - <i>Д1 - Нис.</i> Висока - <i>Д2 - Вис.</i>
Вид на повдигателното съоръжение <i>Е - Вид съор.</i>	Автомобилен кран - <i>Е1 - Авт.</i> Кула кран - <i>Е2 - Кула</i> Мостов кран - <i>Е3 - Мост.</i> Багер с грайфер - <i>Е4 - Баг.</i> Работна площадка - <i>Е5 - Раб.</i>
Причина за аварията <i>Ф - Прич. авар.</i>	Организационна - <i>Ф1 - Орг.</i> Техническа - <i>Ф2 - Техн.</i>
Период на експлоатация <i>Г - Пер.експл.</i>	По-малък от 10 г. – <i>Г1 – 10 г.</i> Между 10 г. и 20 г. – <i>Г2 – 20 г.</i> Между 20 г. и 30 г. – <i>Г3 – 30 г.</i>
Последствие от аварията – 4 вида <i>Н - Посл. авар.</i>	Без злополука - <i>Н1 - Зл.</i> Със злополука - <i>Н2 - Б. зл.</i> Със злополука и смъртен случай - <i>Н3 - Зл. и см.</i> Смъртен случай - <i>Н4 - См.</i>
Последствие от аварията – 2 вида <i>К - Зл., см или без</i>	Да (има зл./см.сл.) - <i>уес</i> Не (няма зл./см.сл.) - <i>по</i>
Брой ранени при злополука <i>Л - Бр. ран.</i>	-
Брой смъртни случаи <i>Н - Бр. см. случ.</i>	-
Материална щета върху съоръжението - <i>Р - Мат. щета</i>	-
Изплатени обезщетения – ранени <i>М - Застр. ран.</i>	-
Изплатени обезщетения – смъртни случаи <i>О - Застр.см.</i>	-

Аналогично, на фиг.1 в) е показана обобщената таблица за атрибута „Метеорологични условия“ и атрибута „Квалификация на оператора“ и разпределението на аварията относно атрибута „Последствие от аварията“, а на фиг.1 г) е показана таблицата при допълнителна детайлизация по атрибута „Квалификация на помощния персонал“. Обобщена таблица може да бъде построена като всеки от атрибутите може да се счита за изходен. Също така голям обем полезна информация носи и обобщаването относно атрибутите от допълнителната информация (числените

променливи) от табл.3.



☒ F - Прич. авар.
☒ G - Пер.експл.
☒ H - Посл. авар.
☐ K - Зл., см или без
☐ L - Бр. ран
☐ M - Застр. ран.
☐ N - Бр. см. случ.
☐ O - Застр.см.
☐ P - Мат. щета

More Tables

Drag fields between areas below:

Filters
 (Empty)

Columns
 H - Посл. авар.

Rows
 B - Мет. усл.
 C - Кв. опер.
 D - Кв. п.п.
 E - Вид съор.
 F - Прич. авар.
 G - Пер.експл.

Values
 Посл. авар.

а)

Посл. авар.	Column Labels				
Row Labels	H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Grand Total
B1 - Лош.	42	32	16	23	113
C1 - Нис.	27	17	13	14	71
C2 - Вис.	15	15	3	9	42
B2 - Доб.	78	176	40	17	311
C1 - Нис.	50	54	36	7	147
C2 - Вис.	28	122	4	10	164
Grand Total	120	208	56	40	424

б)

Посл. авар.	Column Labels				
Row Labels	H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Grand Total
B1 - Лош.	42	32	16	23	113
C1 - Нис.	27	17	13	14	71
D1 - Нис.	19	1	12	14	46
C2 - Вис.	8	16	1		25
D2 - Вис.	15	15	3	9	42
D1 - Нис.	15	6	2	6	29
D2 - Вис.		9	1	3	13
B2 - Доб.	78	176	40	17	311
C1 - Нис.	50	54	36	7	147
D1 - Нис.	31	8	34	7	80
D2 - Вис.	19	46	2		67
C2 - Вис.	28	122	4	10	164
D1 - Нис.	27	41	3	10	81
D2 - Вис.	1	81	1		83
Grand Total	120	208	56	40	424

в)

Посл. авар.	Column Labels				
Row Labels	H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Grand Total
B1 - Лош.	42	32	16	23	113
B2 - Доб.	78	176	40	17	311
Grand Total	120	208	56	40	424

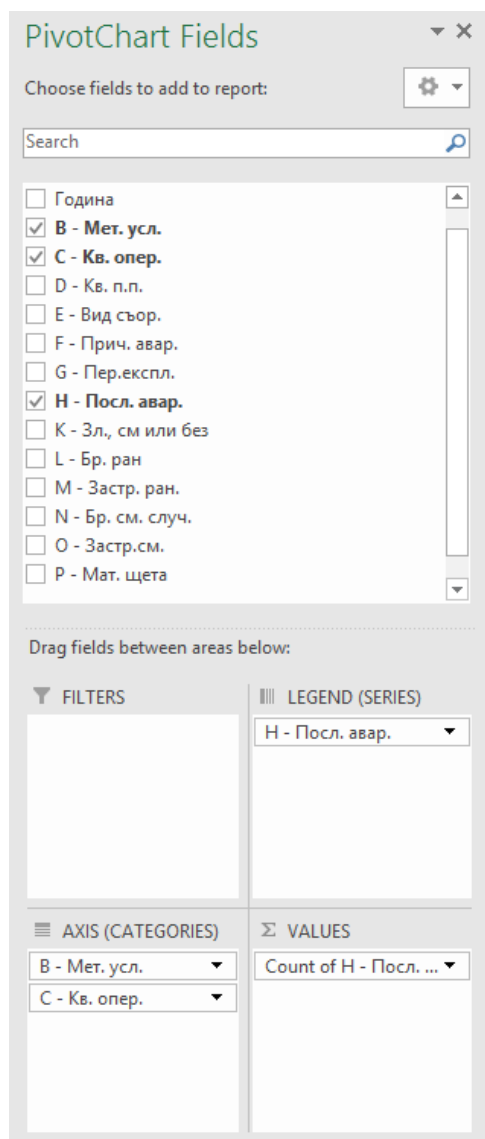
г)

фиг.1 Обобщена таблица, отчитаща всички категорични променливи при изходен атрибут „Последствие от аварията“

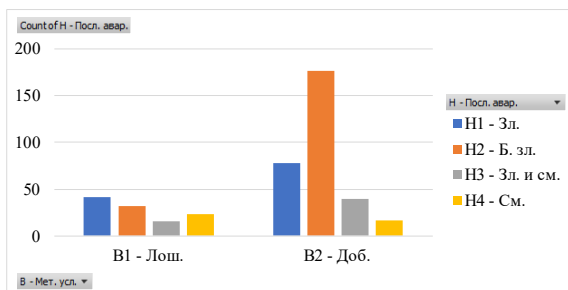
3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

В практиката, за визуализацията на обработените статистически данни за аварията по различни признаци обикновено се използват бар или пай диаграми. Обикновено, по ос x се нанасят стойностите на категорични данни (вид съоръжение, причина и др.), а по ос y – стойностите на числени данни (брой злополуки, брой аварии и др.). По този начин, цялостната картина на статистиката на аварията се представя чрез множество несвързани графики, визуализиращи различни по вида си данни, присъщи на аварията. В определени случаи, на една графика се съвместяват няколко вида променливи, което дава възможност те да се наблюдават едновременно, но възможностите в това направление са ограничени основно поради претрупването на графиките с информация и поради това - трудното им възприемане.

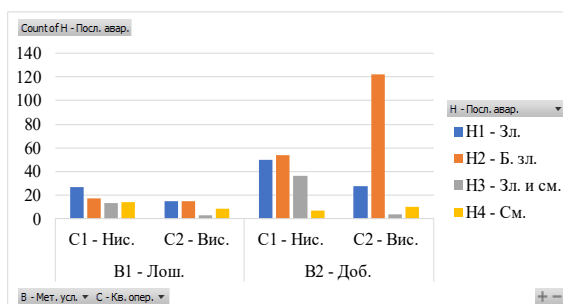
Инструментът *Pivot Chart* дава възможност, аналогично на *Pivot Table*, да се систематизира и визуализира информация по различни атрибути, като в прозореца *PivotChartFields* (фиг.2а) се въвеждат необходимите атрибути, определящи степента на детайлизация на графиката. На фиг.2 б) е показана обобщената таблица за атрибута „Метеорологични условия“ и разпределението на аварията относно атрибута „Последствие от аварията“. Аналогично, на фиг.2в) е показана сводната таблица за атрибута „Метеорологични условия“ и атрибута „Квалификация на оператора“ и разпределението на аварията относно атрибута „Последствие от аварията“, а на фиг.2г) – допълнителна детайлизация по атрибут „Вид повдигателно съоръжение“.



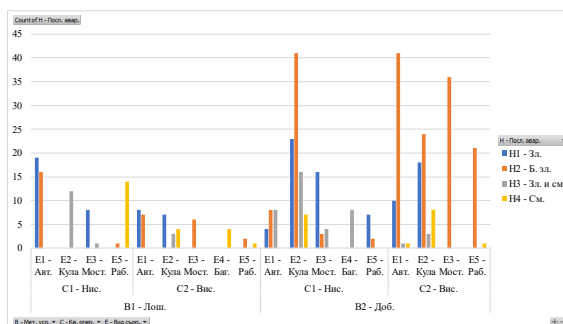
а)



б)



в)



г)

фиг.2 Входна информация и резултати от използването на инструмента *Pivot Chart*

Увеличаването на броя на атрибутите, изобразявани на една графика, дава възможност както да се намали общия брой на графиките, като се представя по-голямо количество визуална информация на една графика. Комбинирането на няколко графични и текстови информационни средства на една графика дава възможност за представяне на няколко атрибута върху една графика, като при това се запазва пълноценното усвояване на представената информацията от потребителя. Разбира се, по-голямото количество информация е свързано с използването на специализирани програми за обработка и визуализация на информация. В табл.5 са представени визуалните средства в [11], чрез които на една графика могат да се изобразят до 6 основни и/или помощни атрибута на аварията. Средствата са следните:

- Изобразяване на един атрибут (последствия от авария) чрез нанасяне на стойностите му по осите x и y . На фиг.3а) по осите x и y е нанесен атрибута „Последствие от авария“, като броя на точките във всеки клъстер е равен на броя на

случаите за четирите вида последствия от аварии. С цел по-добра визуализация, при изобразяването на точките е използвана функцията Jittering, която по случаен начин разполага всяка точка около пресечната точка на абсцисата и ординатата за съответния вид последствие от авария;

- Изобразяване на два атрибута (последствия от авария и вид на подземното съоръжение): нанасяне на един атрибут по ос x и втори атрибут – по ос y . На фиг.3б) при отчитане на броя на аварията по ос x е изобразен атрибута „Последствия от аварията“, а по ос y - атрибута „Вид на съоръжението“;

- Изобразяване на три атрибута. Освен предните два атрибута се извършва и вариация по цвят на всяка авария. На фиг.3в) чрез два цвята е изобразен допълнително атрибута „Причина за аварията“;

- Изобразяване на четири атрибута. Освен предните три атрибута се извършва и вариация на геометричната форма на маркера за всяка авария. На фиг.3г) чрез две геометрични форми (кръг и кръстче) е изобразен допълнително атрибута „Метеорологични условия“;

- Изобразяване на пет атрибута. Освен изброените досега атрибути се извършва и вариация на размера на геометричната форма на маркера за всяка авария. На фиг.3д) чрез размера на маркера е изобразен допълнителния атрибут „Брой ранени“. Тук следва да се уточни, че вариацията на размера може да се използва само за атрибути от количествен тип;

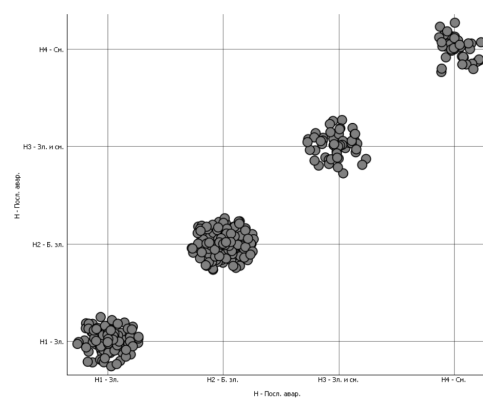
- Изобразяване на шест атрибута. Към изброените досега атрибути към всяка авария се добавя текстов етикет. На фиг.3е) към всяка авария е добавен етикет, показващ стойността на атрибута „Квалификация на помощния персонал“.

табл.5 Представяне на атрибутите чрез различни средства

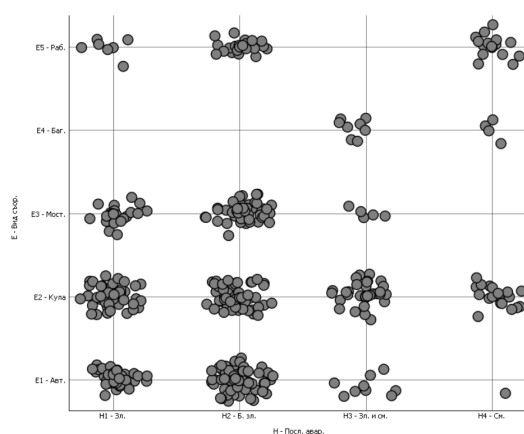
Признак	Средство	Брой атрибути
Н – Последствия от аварията	Нанасяне по ос x	1
Е - Вид съоръжение	Нанасяне по ос y	2

F – Причина за аварията	Вариране на цвят	3
B – Метеорологични условия	Вариране на форма	4
L – Брой ранени	Вариране на размер	5
D – Квалификация на помощния персонал	Добавяне на етикет	6

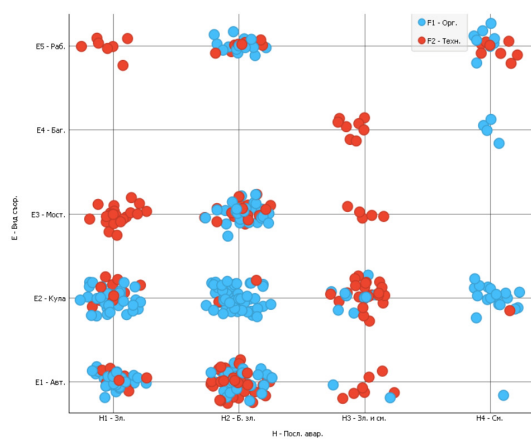
В определена степен е нагледна и визуализацията чрез цветни региони, които показват доминацията на стойностите на атрибута, изразен чрез цвят, в една или друга област от равнината. На фиг.4а) е показана визуализация чрез цветни региони на атрибута „Вид въоръжение“, а на фиг.4б) – на атрибута „Последствия от авария“.



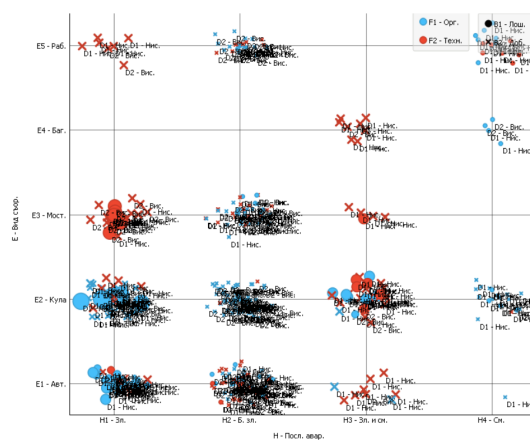
а)



б)

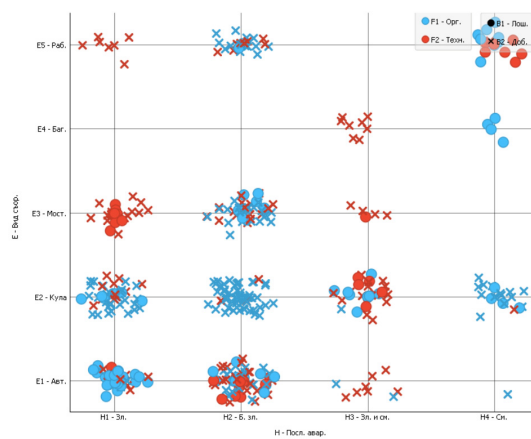


В)

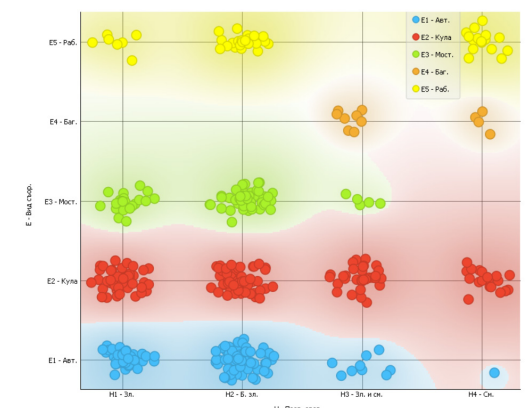


С)

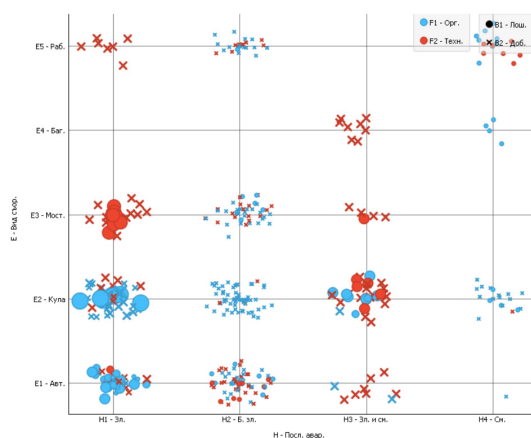
фиг.3 Изобразяване на аварии чрез различни атрибути



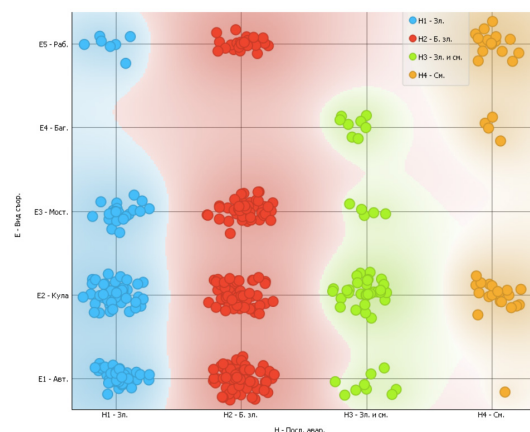
Г)



а)



Д)



б)

фиг.4 Изобразяване на доминацията на атрибутите чрез цветни региони

4. ПРЕДСТАВЯНЕ НА АВАРИИТЕ ЧРЕЗ ДЪРВОВИДНА ДИАГРАМА

Един подходящ начин за систематично представяне на събитията, свързани с аварията, е дървовидната диаграма [12,14], която чрез графични средства отразява йерархията на събитията и взаимната им зависимост.

На фиг. 5а) е изобразена дървовидна диаграма на аварията, която представя графично атрибутите от табл.1. На фиг. 5б) е изобразен фрагмент от диаграмата, който показва нейната структура в дълбочина и съществуващите нива. Тъй като дървовидната диаграма се формира от основните атрибути, имащи категориен характер (виж табл. 1), то тя се състои от следните 7 нива:

- **Ниво А:** Период на експлоатация с три събития (A_1 - По-малък от 10 г., A_2 - между 10 и 20 г., A_3 - по-голям от 30 г.), представени чрез множеството от събития е $\{A_1, A_2, A_3\}$;
- **Ниво В:** Вид на повдигателното съоръжение с пет събития – мостов кран B_1 , кула кран B_2 , автомобилен кран B_3 , работна площадка B_4 , багер с грайфер B_5 , множеството от събития е $\{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5\}$;
- **Ниво С:** Метеорологични условия с две събития – добри C_1 и лоши C_2 , множеството от събития е $\{C_1, C_2\}$;
- **Ниво D:** Квалификация на оператора с две събития – ниска D_1 , висока D_2 , множеството от събития е $\{D_1, D_2\}$;
- **Ниво Е:** Квалификация на помощния персонал с две събития – ниска E_1 , висока E_2 , множеството от събития е $\{E_1, E_2\}$;
- **Ниво F:** Причина за авария с две събития – организационна F_1 , техническа F_2 , множеството от събития е $\{F_1, F_2\}$;
- **Ниво G:** Последствия от аварията с четири събития – злополука G_1 , без злополука G_2 , злополука и смърт G_3 , смърт G_4 , множеството от събития е $\{G_1, G_2, G_3, G_4\}$;

На диаграмата чрез „Авария“ е означена цялата съвкупност на наблюдаваните машини. Събитията, принадлежащи на всеки един клон на диаграмата са зависими, като настъпването на всяко следващо събитие по дължината на клона (при движение отляво надясно) е зависимо от настъпването на предходните.

За да се представи определен набор от аварии,

събитията в дървовидната диаграма се комбинират с числова информация, състояща се от две числа. На фиг.6 е показана една по-опростена хипотетична диаграма на аварии. Тя представя аварии с четири вида машини, две причини за авария и три изхода от аварията. В тази диаграма до всяко от събитията на която са поставени две числа. Първото число представлява абсолютната честота на събитието, при условие че е настъпило предното събитие (брой на случаите, при които се е сбъднало събитието принадлежащо на определен клон на диаграмата). Второто число представлява относителната честота на събитието, т.е. статистическата условна вероятности за настъпване на съответното събитие. Също така, всяко от събитията в диаграмата е номерирано.

Нивата на дървото в тази диаграма са следните:

- **Ниво А (събитие 1):** Това ниво представлява цялата съвкупност на наблюдаваните машини, които са 10 бр.;
- **Ниво В (събития от 2 до 5):** на това ниво се отчита вида на авариралата машина. В случая са отчетени аварии с четири вида машини – B_1, B_2, B_3, B_4 ;
- **Ниво С (събития от 6 до 13):** на това число са отчетени причините за аварии, които са разделени на два вида – причина C_1 и причина C_2 ;
- **Ниво D (събития от 14 до 37):** на това ниво се отчитат възможните изходи от аварията, които са класифицирани по следния начин - D_1, D_2 и D_3 .

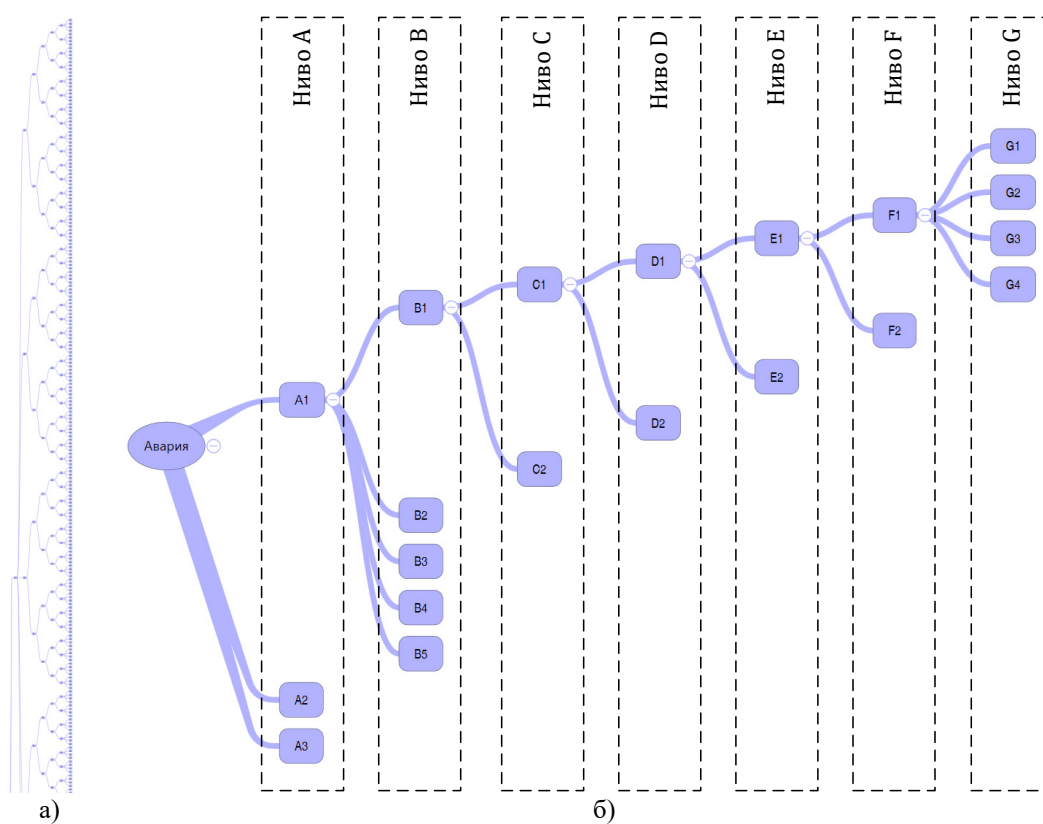
При изобразяването на дървовидната диаграма се приема, че след настъпването на събитие от определено ниво са възможни всички събития от следващото ниво с определена вероятност. Например, след настъпването на събитие B_1 могат да настъпят всички възможни събития от ниво C , т.е. C_1 и C_2 , а след настъпването на събитието C_1 , могат да настъпят всички възможни събития от ниво D , т.е. D_1, D_2 и D_3 .

Групата събития от всяко ниво образуват пълна група събития, т.е. те са несъвместими и при всеки опит настъпва само едно от тях. На диаграмата на фиг.6 до всяко събитие са нанесени абсолютните честоти (първото число), в които е настъпило събитието при условие, че е настъпило съответното събитие от предното ниво. На ниво A

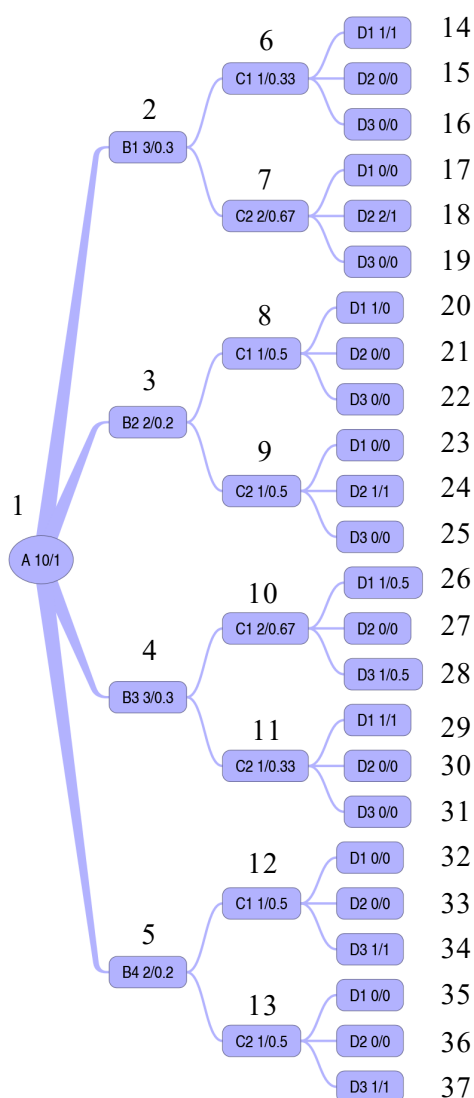
има само едно събитие - авария (10 бр.). От авариралите машини 3 броя са тип *B1*, 2 броя са тип *B2*, 3 броя са тип *B3*, 2 броя са тип *B4*. От машините тип *B1* една авария е от тип *C1* и 2 – от тип *C2*. При машина тип *B1* и причина *C1* една авария е с последствие *D1*, нула аварии – с последствие *D2* и *D3* и т.н. Абсолютните честоти лесно се установяват от регистрите на аварияте чрез под-

ходяща обработка, например чрез използвания в т.1.2 инструмент *Pivot Table*.

Статистическите условни вероятности за настъпване на определено събитие (второто число) се определят чрез абсолютните честоти. Например, статистическата условна вероятност на събитие 6 е равна на $1/3=0.333$, а на събитие 26 – $1/2=0.5$.



фиг.5 Дървовидна диаграма аварияте: а) цялостен вид; б) фрагмент



фиг.6 Опростена дървовидна диаграма на аварияте

5. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА АВАРИИТЕ

От дървовидната диаграма на аварияте, пресметнатите условни статистически вероятности и правилата за сумиране и умножение на вероятности може да се извлече допълнителна информация, която да се използва при анализа на причините за аварията и взимането на решения относно тяхното намаляване [14]. При вероят-

ностния анализ са възможни индуктивен и дедуктивен подходи.

При индуктивния подход при известни условни вероятности за настъпване на събитията от всяко от нивата е възможно да се определят вероятностите за съвместното настъпване на различни събития. Този подход дава възможност за анализ на натрупаните данни и тяхната систематизация, а също така и за получаване на вероятностно - статистическите разпределения на събитията от различните нива. Например, от диаграмата на аварията на фиг.6 могат да бъдат определени следните вероятности:

1) Вероятност за настъпване на определено събитие от ниво D с отчитане на събитията от нива B и C . Например, каква е вероятността да настъпи изход от аварията $D1$ поради причина $C1$ при машина $B1$;

2) Вероятност за настъпване на събитие от ниво D с отчитане на събитията от ниво B и без отчитане на събитията от ниво C . Например, каква е вероятността да настъпи изход от аварията $D1$ при машина $B1$ без да се интересуваме от причините C ;

3) Вероятност за настъпване на събитие от ниво D без отчитане на събитията от ниво B , а само с отчитане на събитията от ниво C . Например, каква е вероятността да настъпи изход от аварията $D1$ поради причина $C1$ без да се интересуваме от вида на машината B ;

4) Вероятност за настъпване на събитие от ниво C , без да се интересуваме от събитията на ниво D и с отчитане на събитията на ниво B . Например, каква е вероятността за настъпване на авария поради причина $C1$ без да се интересуваме от изхода на аварията D а само от вида на машината;

5) Вероятност за настъпване на събитие от ниво C , без да се интересуваме от събитията от нива D и B . Например, каква е вероятността за настъпване на авария поради причина $C1$ без да се интересуваме от вида на машината B и изхода от аварията B ;

6) Вероятност за настъпване на събитие от ниво B без да се интересуваме от събитията на ниво C и D . Например, каква е вероятността за настъпване на авария при машина $B1$ без да се интересуваме от причината C и изхода от аварията D .

При дедуктивния подход при настъпило вече събитие е възможно да бъдат определени причините, т.е. предшестващите го събития и техните вероятности, довели до неговото настъпване. Този подход е особено полезен при анализ на причините за настъпване на определено събитие, а също така и при разследване на аварии. Например, възможно е да се определят следните вероятности:

7) При настъпило събитие от ниво *D*, вероятността то да е породено от определен клон на дървото, т.е. с отчитане на причините от ниво *C* и *B*. Например, каква е вероятността ако е настъпил изход от аварията *D1* той да е причинен от машина *B1* и причина *C1*;

8) При настъпило събитие от ниво *D*, вероятността то да е породено от определено събитие от ниво *B* без да се интересуваме от събитията от ниво *C*; Например, каква е вероятността ако е настъпил изход от аварията *D1* той да е причинен от причина *C1* без да се интересуваме от вида на машината *B*;

9) При настъпило събитие от ниво *D*, вероятността то да е породено от определено събитие от ниво *B* без да се интересуваме от събитията от ниво *C*. Например, каква е вероятността ако е

настъпил изход от аварията *D1* той да е причинен от машина *B* без да се интересуваме от причината *C*.

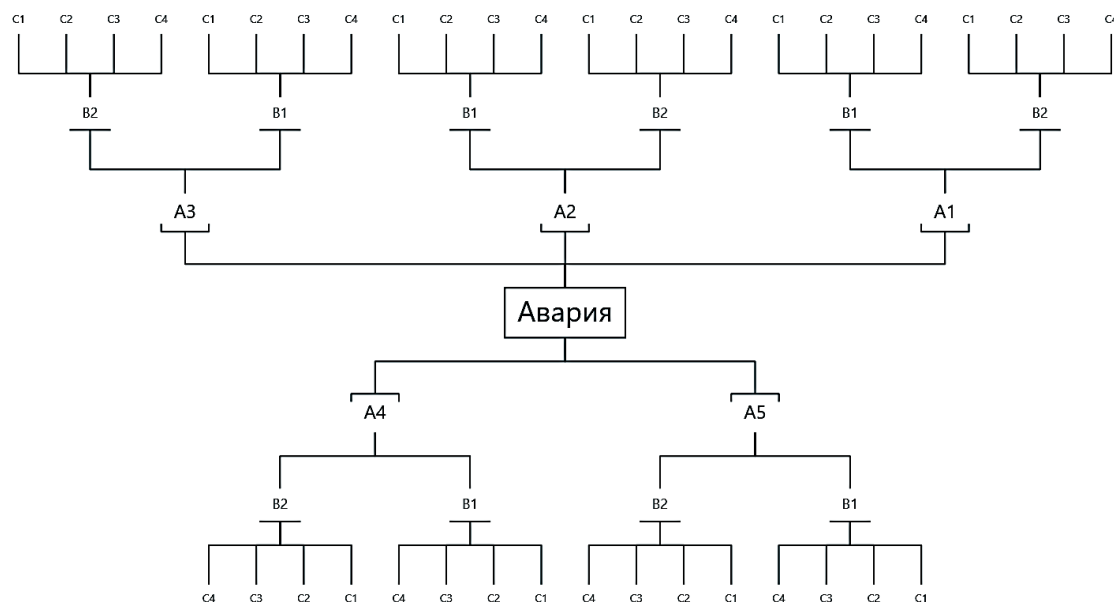
5.1 Индуктивен подход

За пресмятане на вероятността $P(A \cap B)$ за съвместното настъпване на събития *A* и *B* от един и същи клон на дървото се използва следната зависимост [13]:

$$P(A \cap B) = P(B | A)P(A) \quad (1)$$

където $P(B | A)$ е условната вероятност за настъпване на събитието *B* при условие че е настъпило събитието *A*, принадлежащо на предното ниво; $P(A)$ - вероятност за настъпване на събитието *A*.

Посредством дървовидна диаграма на фиг.7 и правилата за събиране и умножение на вероятности е илюстрирано получаването на обобщени зависимости за определяне на вероятностите за настъпване на определени събития при условие, че са известни условните вероятности на събитията.



фиг.7 Дървовидна диаграма

Обобщени зависимости са определени за следните случаи:

1) Вероятност за настъпване на едно или повече от събитията $C_l, \dots, C_q$ от ниво C с отчитане на едно или повече от събития $B_x, \dots, B_z$ от ниво B и събитията $A_r, \dots, A_t$ от ниво A :

$$P_{(B_x \cup \dots \cup B_z) \cap (A_r \cup \dots \cup A_t)}^{C_l \cup \dots \cup C_q} = \sum_{i=r, \dots, t} P^{A_i} \left(\sum_{j=x, \dots, z} \left(P_{A_i}^{B_j} \sum_{k=l, \dots, q} P_{B_j, A_i}^{C_k} \right) \right) \quad (2)$$

където чрез P^{A_i} е означена вероятността за настъпване на събитие A_i , чрез $P_{A_i}^{B_j}$ е означена условната вероятност за настъпване на събитие B_j при условие, че е настъпило събитие A_i , а чрез $P_{B_j, A_i}^{C_k}$ е означена условната вероятност за настъпване на събитие C_k при условие, че са настъпили събития B_j и A_i . Примери за определяне на вероятности чрез (2):

- Вероятност за настъпване на събитие C_l поради събитие B_l и събитие A_2 :

$$P_{B_l \cap A_2}^{C_l} = P^{A_2} P_{A_2}^{B_l} P_{B_l, A_2}^{C_l} \quad (3)$$

- Вероятност за настъпване на събитие C_l или C_2 поради причина B_2 и причини A_2 или A_5 :

$$P_{B_2 \cap (A_2 \cup A_5)}^{C_l \cup C_2} = P^{A_2} P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_l} + P_{B_2, A_2}^{C_2}) + P^{A_5} P_{A_5}^{B_2} (P_{B_2, A_5}^{C_l} + P_{B_2, A_5}^{C_2}) \quad (4)$$

2) Вероятност за настъпване на едно или повече събития $C_l, \dots, C_q$ от ниво C с отчитане на едно или повече от събитията $A_r, \dots, A_t$ от ниво A и без отчитане на събитията от ниво B :

$$P_{\bar{B} \cap (A_r \cup \dots \cup A_t)}^{C_l \cup \dots \cup C_q} = \sum_{i=r, \dots, t} P^{A_i} \left(\sum_{j=1}^k \left(P_{A_i}^{B_j} \sum_{k=l, \dots, q} P_{B_j, A_i}^{C_k} \right) \right) \quad (5)$$

където долният индекс $\bar{B}$ означава, че събитията от ниво B не се отчитат.

Примери за определяне на вероятности чрез (5):

- Вероятност за настъпване на събитието C_4 поради събитие A_l без отчитане на събитията от ниво B :

$$P_{\bar{B} \cap A_l}^{C_4} = P^{A_l} (P_{A_l}^{B_1} P_{B_1, A_l}^{C_4} + P_{A_l}^{B_2} P_{B_2, A_l}^{C_4}) \quad (6)$$

- Вероятност за настъпване на събитията C_l или C_4 поради събития A_l или A_2 без отчитане на събитията от ниво B :

$$P_{\bar{B} \cap (A_l \cup A_2)}^{C_l \cup C_4} = P^{A_l} \left(P_{A_l}^{B_1} (P_{B_1, A_l}^{C_l} + P_{B_1, A_l}^{C_4}) + P_{A_l}^{B_2} (P_{B_2, A_l}^{C_l} + P_{B_2, A_l}^{C_4}) \right) + P^{A_2} \left(P_{A_2}^{B_1} (P_{B_1, A_2}^{C_l} + P_{B_1, A_2}^{C_4}) + P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_l} + P_{B_2, A_2}^{C_4}) \right) \quad (7)$$

3) Вероятност за настъпване на едно или повече събития $C_l, \dots, C_q$ от ниво C с отчитане на едно или повече от събитията $B_x, \dots, B_z$ от ниво B и без отчитане на събитията от ниво A :

$$P_{\bar{A} \cap (B_x \cup \dots \cup B_z)}^{C_l \cup \dots \cup C_q} = \sum_{i=1}^n P^{A_i} \left(\sum_{j=x, \dots, z} \left(P_{A_i}^{B_j} \sum_{k=l, \dots, q} P_{B_j, A_i}^{C_k} \right) \right) \quad (8)$$

Примери за определяне на вероятности чрез (1.8):

- Вероятност за настъпване на събития C_l или C_2 или C_3 поради събитие B_2 без отчитане на събитията от ниво A :

$$P_{\bar{A} \cap B_2}^{C_l \cup C_2 \cup C_3} = P^{A_1} P_{A_1}^{B_2} (P_{B_2, A_1}^{C_l} + P_{B_2, A_1}^{C_2} + P_{B_2, A_1}^{C_3}) + P^{A_2} P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_l} + P_{B_2, A_2}^{C_2} + P_{B_2, A_2}^{C_3}) + P^{A_3} P_{A_3}^{B_2} (P_{B_2, A_3}^{C_l} + P_{B_2, A_3}^{C_2} + P_{B_2, A_3}^{C_3}) + P^{A_4} P_{A_4}^{B_2} (P_{B_2, A_4}^{C_l} + P_{B_2, A_4}^{C_2} + P_{B_2, A_4}^{C_3}) + P^{A_5} P_{A_5}^{B_2} (P_{B_2, A_5}^{C_l} + P_{B_2, A_5}^{C_2} + P_{B_2, A_5}^{C_3}) \quad (9)$$

- Вероятност за настъпване на събитията C_l или C_4 поради събития B_l или B_2 без отчитане на събитията от ниво A :

$$P_{\bar{A} \cap (B_l \cup B_2)}^{C_l \cup C_4} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_l} (P_{B_l, A_1}^{C_l} + P_{B_l, A_1}^{C_4}) + P_{A_1}^{B_2} (P_{B_2, A_1}^{C_l} + P_{B_2, A_1}^{C_4})) + P^{A_2} (P_{A_2}^{B_l} (P_{B_l, A_2}^{C_l} + P_{B_l, A_2}^{C_4}) + P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_l} + P_{B_2, A_2}^{C_4})) + P^{A_3} (P_{A_3}^{B_l} (P_{B_l, A_3}^{C_l} + P_{B_l, A_3}^{C_4}) + P_{A_3}^{B_2} (P_{B_2, A_3}^{C_l} + P_{B_2, A_3}^{C_4})) + P^{A_4} (P_{A_4}^{B_l} (P_{B_l, A_4}^{C_l} + P_{B_l, A_4}^{C_4}) + P_{A_4}^{B_2} (P_{B_2, A_4}^{C_l} + P_{B_2, A_4}^{C_4})) + P^{A_5} (P_{A_5}^{B_l} (P_{B_l, A_5}^{C_l} + P_{B_l, A_5}^{C_4}) + P_{A_5}^{B_2} (P_{B_2, A_5}^{C_l} + P_{B_2, A_5}^{C_4})) \quad (10)$$

4) Вероятност за настъпване на едно или повече от събитията $B_x, \dots, B_z$ от ниво B без отчитане на събитията от ниво C и с отчитане на едно или повече от събитията $A_r, \dots, A_t$ от ниво A :

$$P_{\bar{C} \cap (A_r \cup \dots \cup A_t)}^{B_l \cup \dots \cup B_q} = \sum_{i=r, \dots, t} P^{A_i} \left(\sum_{k=l, \dots, q} P_{A_i}^{B_k} \right) \quad (11)$$

Примери за определяне на вероятности чрез (11):

- Вероятност за настъпване на събитие B_l

поради събитие A_5 без отчитане на събитията от ниво C :

$$P_{\bar{C} \cap A_5}^{B_1} = P^{A_5} P_{A_5}^{B_1} \quad (12)$$

- Вероятност за настъпване на събития B_1 или B_2 поради събития A_1 или A_5 без отчитане на събитията от ниво C :

$$P_{\bar{C} \cap (A_1 \cup A_5)}^{B_1 \cup B_2} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_1} + P_{A_1}^{B_2}) + P^{A_5} (P_{A_5}^{B_1} + P_{A_5}^{B_2}) \quad (13)$$

5) Вероятност за настъпване на едно или повече от събитията $B_x, \dots, B_z$ от ниво B без отчитане на събитията от нива C и A :

$$P_{\bar{C} \cap \bar{A}}^{B_x \cup \dots \cup B_z} = \sum_{i=1}^n \left(P^{A_i} \sum_{k=x, \dots, z} P_{A_i}^{B_k} \right) \quad (14)$$

Примери за определяне на вероятностите чрез (14):

- Вероятност за настъпване на събитие B_1 без отчитане на събитията от нива C и A :

$$P_{\bar{C} \cap \bar{A}}^{B_1} = P^{A_1} P_{A_1}^{B_1} + P^{A_2} P_{A_2}^{B_1} + P^{A_3} P_{A_3}^{B_1} + P^{A_4} P_{A_4}^{B_1} + P^{A_5} P_{A_5}^{B_1} \quad (15)$$

- Вероятност за настъпване на събития B_1 или B_2 без отчитане на събитията от нива C и A :

$$P_{\bar{C} \cap \bar{A}}^{B_1 \cup B_2} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_1} + P_{A_1}^{B_2}) + P^{A_2} (P_{A_2}^{B_1} + P_{A_2}^{B_2}) + P^{A_3} (P_{A_3}^{B_1} + P_{A_3}^{B_2}) + P^{A_4} (P_{A_4}^{B_1} + P_{A_4}^{B_2}) + P^{A_5} (P_{A_5}^{B_1} + P_{A_5}^{B_2}) \quad (16)$$

6) Вероятност за настъпване на едно или повече събития $A_1, \dots, A_q$ от ниво A без да се отчитат събитията от нива B и C :

$$P_{\bar{C} \cap \bar{B}}^{A_1 \cup \dots \cup A_q} = \sum_{k=1, \dots, q} P^{A_k} \quad (17)$$

Примери за определяне на вероятности чрез (17):

- Вероятност за настъпване на събитие A_1 без отчитане на събитията от нива B и C :

$$P_{\bar{C} \cap \bar{B}}^{A_1} = P^{A_1} \quad (18)$$

- Вероятност за настъпване на събития A_1 или A_3 без отчитане на събитията от нива B и C :

$$P_{\bar{C} \cap \bar{B}}^{A_1 \cup A_3} = P^{A_1} + P^{A_3} \quad (19)$$

5.2 Дедуктивен подход

Дървовидната диаграма и получените вероятности позволяват да бъде направен и обратния анализ чрез използване на дедуктивния подход – при вече настъпило събитие да се определят ве-

роятностите на събитията, довели до това събитие. За целта се използва формулата на Бейс [13]:

$$P(H_i | A) = \frac{P(H_i)P(A | H_i)}{P(A)} \quad (20)$$

където: $P(H_i | A)$ - условна вероятност на събитието H_i при настъпило събитие A (апостериорна вероятност), т.е. вероятност ако е настъпило събитието A , причината за това да е събитието H_i ;

$P(A) = \sum_{k=1}^n P(H_k)P(A | H_k)$ - пълна вероятност за

настъпване на събитието A ; $P(H_i)$ - вероятност за настъпването на събитието H_i , при условие, че събитията H_i , ($i=1, n$) образуват пълна група събития; $P(A | H_i)$ - вероятност за настъпване на събитието A , при условие че е настъпило събитието H_i .

Чрез формулата на Бейс са изведени следните обобщени зависимости:

1) При настъпило събитие от ниво C , вероятността то да е породено от определени събития на нива A и B , т.е. от точно определен клон на дървото:

$$P(A_i \cap B_p | C_q) = \frac{P(A_i \cap B_p)P(C_q | A_i \cap B_p)}{P(C_q)} \quad (21)$$

$$P(C_q) = \sum_{i=1}^n \left(P^{A_i} \sum_{j=1}^o (P_{B_j, A_i}^{C_q} P_{A_i}^{B_j}) \right) \quad (22)$$

при $i = 1, 2, \dots, l, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, p, \dots, o$; $k = 1, 2, \dots, q, \dots, r$.

2) При настъпило събитие от ниво C , вероятността то да е породено от определено събитие от ниво A без отчитане на събитията от ниво B :

$$P(A_i \cap \forall B_j | C_q) = \frac{\sum_{j=1}^o P(A_i \cap B_j)P(C_q | A_i \cap B_j)}{P(C_q)} \quad (23)$$

$\forall B_j$ - всички B_j .

3) При настъпило събитие от ниво C , вероятността то да е породено от определено събитие на ниво B без отчитане на събитията от ниво A :

$$P(\forall A_i \cap B_p | C_q) = \frac{\sum_{i=1}^n P(A_i \cap B_p) P(C_q | A_i \cap B_p)}{P(C_q)} \quad (24)$$

$\forall A_j$ - всички A_j .

4) При настъпило събитие от ниво B вероятността то да е породено от определено събитие от ниво A без отчитане на събитията от ниво C :

$$P(A_i | B_p) = \frac{P(A_i) P(B_p | A_i)}{P(B_p)} \quad (25)$$

$$P(B_p) = \sum_{i=1}^n P^{A_i} P_{A_i}^{B_p} \quad (26)$$

5) При настъпили събития от нива A и C вероятността те да са породени от определено събитие от ниво B :

$$P(B_p | C_q \cap A_i) = \frac{P(B_p) P(C_q \cap A_i | B_p)}{P(C_q \cap A_i)} \quad (27)$$

където:

$$P(C_q \cap A_i) = \sum_{j=1}^o P^{A_i} P_{A_i}^{B_j} P_{B_j, A_i}^{C_q} \quad (28)$$

6) При настъпили събития от нива B и C вероятността те да са породени от определено събитие от ниво A :

$$P(A_i | B_p \cap C_q) = \frac{P(A_i) P(B_p \cap C_q | A_i)}{P(B_p \cap C_q)} \quad (29)$$

където:

$$P(B_p \cap C_q) = \sum_{i=1}^n P^{A_i} P_{A_i}^{B_p} P_{B_p, A_i}^{C_q} \quad (30)$$

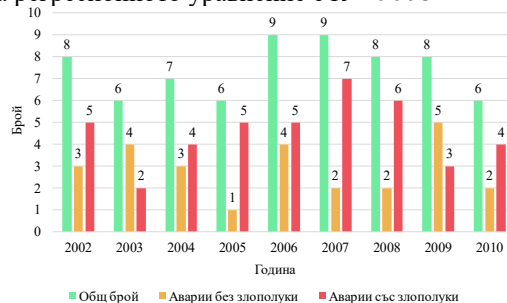
6. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЯ АНАЛИЗ НА АВАРИИ С ТОВАРОПОДЕМНИ КРАНОВЕ В Р. БЪЛГАРИЯ

Предложената методика за вероятностно-статистически анализ на аварии е приложена за анализ на аварии с повдигателни съоръжения на територията на Р. България за периода 2002 г. ÷ 2010 г. Данните са достъпни в справка, издадена от главна дирекция "Инспекция за държавен технически надзор" [7].

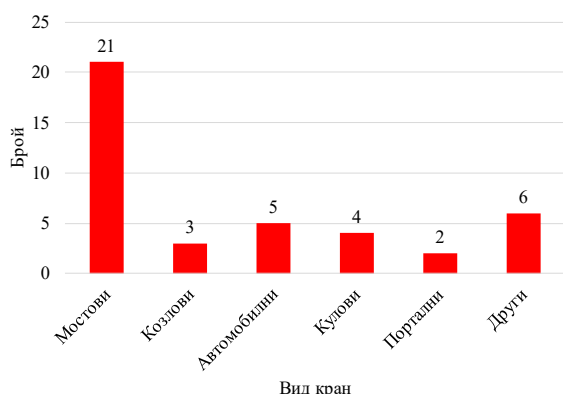
6.1 Статистическа информация за аварията на товароподемни кранове в България за периода 2002 ÷ 2010 г.

Данните за аварията и злополуките на повдигателни съоръжения за периода от 2002 г. до 2010 г. по години са показани на фиг.8. Предварителен анализ на данните е направен в [8]. Общият брой на аварията е 67, от които 26 са без злополуки, а 41 - със злополуки (с нараняване на хора). Като се вижда, общия брой на аварията по години варира от 6 до 9, броят на аварията без злополуки е от 1 до 5, а броя на аварията със злополуки е от 2 до 6. Средния брой на аварията е 7.44 бр./год., средния брой на аварията без злополуки е 2.89 бр./год., а средния брой на аварията със злополуки е 4.55 бр./год. Видът на графиката показва, че тя има колебателен характер и налице не е тенденция нито за намаляване, нито за увеличаване на броя на аварията за разглеждания период от време. На фиг.9 са показани аварията със злополуки (41 бр.) и видовете кранове, при които те са възникнали. Вижда се, че половината от аварията със злополуки (21 бр.) са се случили с мостови кранове, а останалата част се разпределя съответно между автомобилните, куловите, козловите, порталните и другите видове товароподемни кранове (20 бр.).

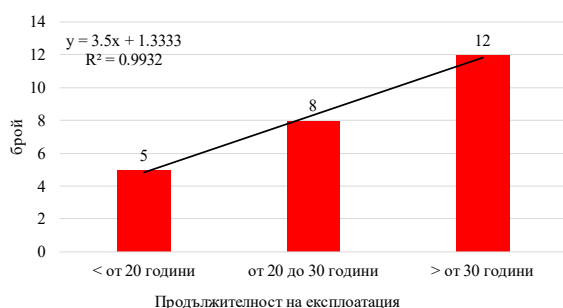
Диаграмата на фиг.10 показва аварии с подемни съоръжения (без разделяне по видове) поради техническа неизправност, като е отчетена и продължителността на периода на тяхната експлоатация – по-малка от 20 г., между 20 г и 30 г. и по-голяма от 30 г. Като се вижда от регресионната линия, налице е ясно изразена корелация между срока на експлоатация и броя на аварията – с увеличаване на срока броя на аварията нараства линейно. Коефициента на детерминация на регресионното уравнение е $R^2=0.993$.



фиг.8 Брой на аварията с товароподемни кранове по години



фиг.9 Аварии със злополуки, възникнали с различни видове товароподемни кранове за периода 2002-2010 г.



фиг.10 Аварии с товароподемни кранове за периода 2002-2010 поради технически неизправности в зависимост от продължителността на експлоатация



фиг.11 Брой аварии със злополуки, възникнали поради технически причини или неспазване на изискванията за безопасност при експлоатация

Данните за броя на случаите на аварии със злополуки (41 бр.), разделени на аварии поради техническа неизправност и на аварии, възникнали поради неспазване на изискванията за безопасност

при експлоатация са показани на фиг.11. Вижда се, че през годините броя на аварията поради двете причини е променлив, като броя на аварията поради техническа неизправност варира от 1 до 3, а поради неспазване на изискванията за безопасност при експлоатация – от 1 до 5, т.е. повечето аварии със злополуки (25 бр.) са вследствие на неспазване на изискванията за безопасност при експлоатация.

На фиг.12 е показан броя на аварията поради различни видове технически неизправности, като се отчитат и аварията със злополуки и аварията без злополуки. От диаграмата се вижда, че най-голям брой аварии са вследствие на повреда в механичната трансмисия (9 бр.), следвани от разрушаване на елемент от носещата конструкция (7 бр.), липса или неизправност на устройствата за безопасност (6 бр.) и повреда в хидравличната трансмисия (3 бр.). Данните по отношение на броя на аварията със злополуки, породени от техническата неизправност на крана, разпределени по вида на техническата неизправност са представени на фиг.1.13. Вижда се най-честата причина е повреда в механичната трансмисия (8 бр.) и разрушаване на елемент от носещата конструкция (5 бр.). Данните по отношение на случаите на аварии, причинени от неспазването на изискванията за техническа безопасност (организационни грешки), разпределени по вида на грешките е дадена на фиг.1.14. Както се вижда, най-чести са грешките на краниста (16 бр.) и грешките на тачелажника (12 бр.). От тези данни може да се заключи, че значителна част от аварията са причинени от лоша организация на работата, нарушаване на техниката на безопасност и ниска квалификация и трудова дисциплина на персонала.



фиг.12 Аварии с кранове поради техническа неизправност (общо - със злополуки и без злополуки)



фиг.13 Аварии със злополуки с кранове поради техническа неизправност



фиг.14 Аварии с кранове поради организационни грешки

Резултатите от извършения качествен анализ на причините за аварии съвпадат с резултатите от анализа за причините, извършен в [5], съгласно който най-честите причини са:

1) Технически причини:

- некачествено изработено или неизправно техническо устройство;
- неизправност на устройства за безопасност;
- изтъняване на метала вследствие на триене и корозия;
- износване на шарнирни съединения;

- износване на метала на въжено-блоковата система;
- износване на хидравличните и пневматичните системи на крана;
- неизправност на товарозахватните съоръжения

2) Организационни причини:

- неспазване или липса на правила за извършване на дейностите на обекта, длъжностни и производствени инструкции;
- нарушаване на трудова дисциплина и техника на безопасност при експлоатация на подземни съоръжения;
- несъгласувани действия на обслужващия персонал;
- некачествено извършена експертиза за промишлена безопасност;
- нарушаване на технологичните режими при експлоатация;
- ненавременно извършване на планови прегледи, ремонти и техническо освидетелстване на съоръженията;
- допускане на лица с ниска квалификация за извършване на работите.

3) Външни причини

- неблагоприятни метеорологически условия

6.2 Вероятностен анализ на аварията

Чрез използването на разработената методика за вероятностен анализ и приведените статистически данни за аварията могат да се оценят вероятностите за възникване на един или друг вид авария поради определена причина. Тази информация има голяма стойност особено при предприемане на мерки за намаляване на количеството на аварията, а също така и при разследване на причините за тяхното възникване.

Извършения анализ на статистическите данни от справката [7] откроява седем основни причини, които имат организационен или технически характер. Причините са номерирани от 1 до 7 и са следните: 1) Грешка на краниста; 2) Грешка на такелажника; 3) Грешка при монтажа на крана; 4) Повреда в механичната трансмисия; 5) Разрушаване на елементи от носещата конструкция; 6) Повреда в хидравличната трансмисия; 7) Липса или неизправност на устройство за безопасност.

Авариите са представени в дървовидната диаграма на фиг.15, която съдържа изброените причини за авариите и възможните изходи от авариите, като също така са представени и бройките на различните събития, извлечени от статистическите данни.

Пълната вероятност за настъпване на авария със злополука при условие, че вече се е случила авария се пресмята по следната зависимост [8]:

$$P(Ac3) = \sum_{i=1}^7 P(Ac3 / \Pi_i) P(\Pi_i) \quad (31)$$

където чрез $Ac3$ е означено събитието "авария със злополука"; Π_i - причина с номер i ; $P(Ac3)$ - пълната вероятност за настъпване на събитие "авария със злополука" при условие, че вече е настъпила авария; $P(Ac3 / \Pi_i)$ - условна вероятност, показваща каква е вероятността при вече настъпила авария поради причина Π_i да настъпи събитието "авария със злополука"; $P(\Pi_i)$ е вероятност, показваща при настъпила вече авария, каква е вероятността тя да се дължи на причина Π_i .

За да се определи при вече настъпило събитие „авария със злополука“ каква е вероятността $P(\Pi_i / Ac3)$ то да се дължи на причина Π_i , се използва формулата на Бейс:

$$P(\Pi_i / Ac3) = \frac{P(Ac3 / \Pi_i) P(\Pi_i)}{P(Ac3)} \quad (32)$$

Аналогично, пълната вероятност за настъпване на авария без злополука при условие, че вече се е случила авария се пресмята по следната зависимост:

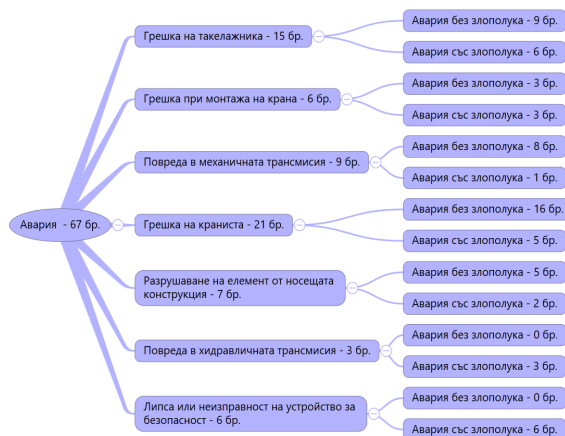
$$P(A63) = \sum_{i=1}^n P(A63 / \Pi_i) P(\Pi_i) \quad (33)$$

където чрез $A63$ е означено събитието "авария без злополука"; $P(A63)$ - пълната вероятност за настъпване на събитие "авария без злополука" при условие, че вече е настъпила авария; $P(A63 / \Pi_i)$ - условна вероятност, показваща каква е вероятността при вече настъпила авария поради причина Π_i да настъпи събитието "авария без злополука".

За да се определи при вече настъпило събитие „авария без злополука“ каква е вероятността

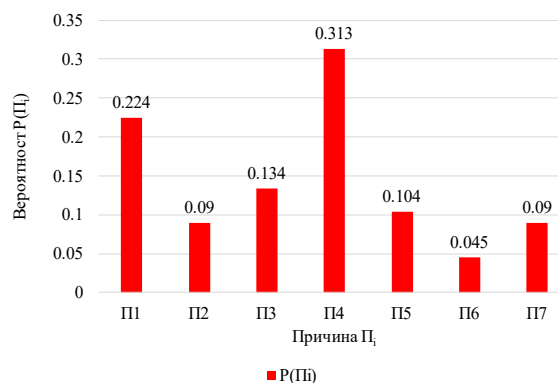
$P(\Pi_i / A63)$ то да се дължи на причина Π_i се използва формулата на Бейс:

$$P(\Pi_i / A63) = \frac{P(A63 / \Pi_i) P(\Pi_i)}{P(A63)} \quad (34)$$



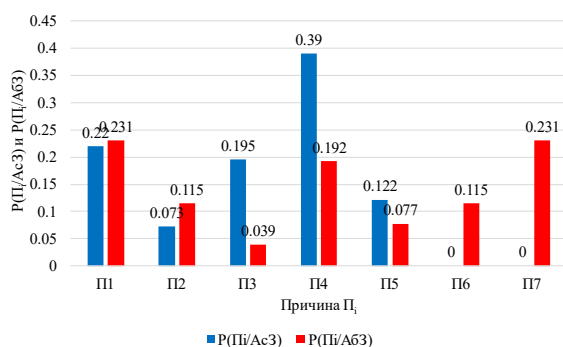
фиг.15 Дърво на авариите при отчитане на причините за авария

На фиг.16 е показана диаграмата на вероятностите $P(\Pi_i)$, а на фиг.17 – диаграми на условните вероятности $P(\Pi_i / Ac3)$ и $P(\Pi_i / A63)$.



фиг.16 Диаграма на вероятностите за появяване на авария поради причина Π_i

Анализът на данните от фиг.16 показва, че най-големи са вероятностите за настъпване на авария поради грешка на краниста (Π_4) – 0.313 и поради грешка на такелажника (Π_1) – 0.224, като и двете причини имат организационен характер.



фиг.17 Диаграмата на вероятностите $P(P_i / Ac3)$ и $P(P_i / A63)$

Още може да се установи, че вероятността авария да е възникнала поради причина P_1 , P_3 , P_4 или P_5 е 0.775, което дава насока за това, че следва да се предприемат мерки за намаляване или пълно отстраняване на тези причини. От фиг.17 се вижда, че ако е възникнала авария със злополука, то най-високи са вероятностите тя да е възникнала поради споменатите две причини. При възникване на авария без злополука най-високи са вероятностите тя да е причинена от причини P_1 или P_7 .

7. ИЗВОДИ

Разработената методика допълва съществуващите досега методи за анализ на аварии и може да се използва съвместно с тях като подпомага вземането на рационални решения от всички лица, свързани с проблема – експерти, проектантите на машини, управленски персонал, специализирани контролни органи и др. Основният резултат от прилагането на тази методика е повишаване на ефективността при проектиране и инженерен анализ, оценка на безопасността и риска, намаляване на честотата на аварийите, обучение на операторите и помощния персонал, установяването на причинно-следствените връзки между събитията, възникващи при аварията, а също така и набелязване и провеждане на организационни и

технически мероприятия за намаляване на честотата на аварийите.

Литература

- [1] <https://www.mvr.bg/gdpbzn/info-center/pravila-povedenie/pri-prom-avarii>, посетен на 06.04.2020
- [2] Bunn, T., Slavova, S. et al. Narrative text analysis of Kentucky tractor fatality reports." Accident Analysis & Prevention 40(2): 419-425, 2008.
- [3] Peters, R., Fotta B. Statistical profile of accidents at small underground coal mines" paper in improving safety and small underground mines, proceedings: Bureau of mines technology transfer seminar, USBM SP 18-94, pp. 5-14, 1994.
- [4] Shepherd, G., Kahler, J. et al. Crane fatalities - a taxonomic analysis. Safety Science 36(2): 83-93, 2000.
- [5] Поветкина П., Хамидуллина Е. Анализ аварийности и травматизма при работе с грузоподъемными механизмами. XXI век. Техносферная безопасность. Том 3. N4, 2018.
- [6] Наредба за безопасната експлоатация и техническия надзор на повдигателните съоръжения, в сила от 26.08.2006г., обнародвана в ДВ. бр. 60 от 25.юли, 2010г.
- [7] Справка за възникналите аварии и злополуки с повдигателни съоръжения на територията на Р.България за периода 2002 г.-2010 г. Главна дирекция "Инспекция за държавен технически надзор", гр. София, 2011г.
- [8] Радлов К., Митрев Р., Ринкова Е. Методика за статистически анализ на причините за аварии с товароподемни кранове. Българско списание за инженерно проектиране, бр.12, май 2012 г., 51-57 стр.
- [9] www.minitab.com
- [10] products.office.com/excel, посетен на 06.04.2020
- [11] www.orangedatamining.com, посетен на 06.04.2020
- [12] Викторова В., Степанянц А. Модели и методы расчета надежности технических систем. URSS, Москва, 2016.
- [13] Калинов К. Теория на вероятностите и статистика, Издателство "НБУ" София, 2002, 137с.
- [14] Митрев Р. Методика за вероятностен анализ на аварийите, възникващи при експлоатацията на индустриално оборудване. Международна научна конференция „70 години МТФ“, 11-13 Септември, 2015, Созопол, България.

АНАЛИЗ НА РЕГИСТРИ ЗА АВАРИИ ЧРЕЗ МЕТОДИТЕ НА МАШИННОТО ОБУЧЕНИЕ

Росен МИТРЕВ

катедра „Инженерна логистика, подземно-транспортна и строителна техника”,

Технически университет - София, България

e-mail: rosenm@tu-sofia.bg

Резюме: В работата е разработен компютърен модел на регистъра на аварии чрез методите на машинното обучение. Основната цел на този модел е да се извлече допълнителна информация за аварията, да се прогнозира изходът от аварията или да се установят причините за аварията на индустриално оборудване. Чрез различни числени и графични показатели е оценена точността на моделите. Извършените числени експерименти с различни класификатори показват, че при наличие на достатъчен брой случаи, степента на прогнозиране е висока.

Ключови думи: аварии, машинно обучение

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В [1] е разработен вероятностен модел на регистър на аварии на индустриално оборудване. Аналитичната обработка на данните от регистъра на аварията е ключов елемент за установяване на причинно-следствените връзки, които не могат да се установят непосредствено чрез директно наблюдение на данните, по експертен път или чрез други методи. Обработката на такива данни се затруднява и от това, че те са от категориен тип, поради което стандартните статистически методи за обработка на данни не са подходящи. Представената в табл. 2 и табл. 3 в [1] структура на регистър на аварията е подходяща за обработване и извличане на информация чрез съвременни методи за интелигентен анализ на данни, а именно методите на машинното обучение [2].

При използване на методите на машинното обучение в случая се използва обучение с учител (supervised learning) при което въз основа на шаблони с входни и изходни данни чрез използване на алгоритъм за класификация се изгражда математически модел, който впоследствие при наличие на нова комбинация от входни данни се използва за прогнозиране на изходните данни. Основната цел на прилагането на обучението с учител към регистъра на аварията на индустриално оборудване е да се изгради математически модел (класификатор), който да се обучи по данни от съществуващите регистри на аварията, съдържащи входните условия на аварията и изходните резултати, и впоследствие да се използва

за прогнозиране на изходите от аварията. В този случай се решава задачата на класификацията, чиято същност се състои в коректно отнасяне на текущия обект към съответния клас. Важно предимство от използването на методите на машинното обучение за анализ на регистри на аварията е, че налице са множество алгоритми за класификация, чрез които могат да се решават широк кръг задачи с различна точност на изходните резултати. Съществуващите регистри на аварията са една представителна извадка на генералната съвкупност от аварията, в която не е известно вероятностното разпределение. Всеки ред от регистъра (фиг.1 от [1]) съдържа както няколко входни стойности, така и съответстващата им изходна стойност. Една много важна особеност на регистъра е, че масива от информация може да се разширява чрез добавяне на информация за нови аварии, като с това се дообучава модела и подобрява точността на предсказване.

Целта на статията е да се разработи компютърен модел на регистъра на аварии чрез използване на методите на машинното обучение. Моделът ще се използва за извличане на допълнителна информация за аварията, за прогнозиране на изходите от аварията или за установяване на причините за аварията на индустриално оборудване.

2. РАЗРАБОТВАНЕ НА КОМПЮТЪРЕН МОДЕЛ НА РЕГИСТЪРА НА АВАРИИТЕ

Логическата структурната схема на модела на

обучение с учител е показана на фиг.1. Означенията на блоковете на схемата са следните: 1 - Блок, репрезентиращ генералната съвкупност на аварияите; 2 – Блок, репрезентиращ регистъра на аварияите; 3 - Обучителна извадка, която се извлича от регистъра на аварияите; 4 - Валидираща извадка, която се извлича от регистъра на аварияите; 5 - Блок, който репрезентира използваните алгоритми за класификация; 6 - Разработване на

математически модели на обучението с учител чрез използваните алгоритми за класификация; 7 - Извършване на прогнози относно последствията от аварията или друг параметър посредством разработените математически модели; 8 - Оценка на точността на математическите модели чрез сравнение между валидиращата извадка и прогнозните резултати.



фиг.2.1 Структурна логическа схема на модела на машинно обучение

Входните данни в алгоритъма са съвкупността от аварияите в регистъра, които се разделят на две части – на обучителна извадка, въз основа на която се извършва обучението и настройката на математическия модел и валидираща извадка (чийто изходи са известни и която не съвпада с обучителната) която се използва за оценка на точността на модела. За оценка на точността на прогнозирането изграденият модел включва множество класификатори, използващи различни математически алгоритми.

Компютърният модел, възпроизвеждащ

структурата на модела от фиг.1 е изграден в програмата *Orange 3* [3] (фиг.2) която дава възможност за интерактивно изграждане, редактиране, анализ и визуализация на модела и данните посредством използването на предварително разработени библиотеки с блокове. Основните блокове в модела са следните:

1 – Входен блок, в който посредством външен файл се дефинират и въвеждат в модел основните и допълнителните атрибути на аварияите. Тук се указва дали атрибутите са входни (тип *feature*) или изходни (тип *target*);

2÷9 – Различни математически алгоритми за класификация (класификатори), използвани за предсказване на изходите от аварията. Чрез връзките между блоковете се осигурява свързването на входния блок 1 с класификаторите.

10 – Блок за ранжиране на атрибутите по степента на тяхното влияние върху изходните данни;

11 – Блок за построяване на вероятностните разпределения на входните данни;

12 – Блок за тестване и сравнение на различните алгоритми за класификация. Тук се задават и размерите на обучителната и на валидиращата извадки от данните;

13 – Блок за извършване на предсказване на изхода от аварията посредством използваните класификатори;

14 – Блок за построяване на матрицата на объркването;

15 – Блокове за визуализация както на входните данни, така и на резултатите от извършената класификация.

Използваната среда за моделиране предоставя на потребителя следните класификатори (виж означенията на фиг.2):

2 – CN2 rule inducer [4] – алгоритъм, който генерира от масива с входни данни правила от вида *if-then-else*, които лесно се трансформират в програмен код;

3 – Класификационно дърво (Classification tree) [5] – представлява ацикличен насочен граф (т.е. графична дървовидна структура), състояща се от междинни и крайни възли, съединени с дъги. Във всеки възел се определя стойността на някой атрибут и в зависимост от неговата стойност от текущия възел се преминава към следващия докато след многократно преминаване не се достигне някой краен възел, съдържащ предсказаната стойност на изходния атрибут. Дървото е бинарно, тъй като от всеки от възлите излизат по два клона, но е възможен вариант и когато от възела излизат повече от два клона;

4 – Бейсов класификатор (Naïve Bayes) [6] – алгоритъм за класификация, използващ теоремата на Бейс;

5 – Случайна гора (Random forest) [7] – алгоритъм за класификация, основан на построяването на множество дървовидни структури. Класификацията чрез случайна гора се извършва въз

основа на класификациите, извършени от различните съставляващия я дървета;

6 – Логистична регресия (Logistic regression) [8] – класификационен алгоритъм, основан на използването на сигмоидната (логистичната) функция;

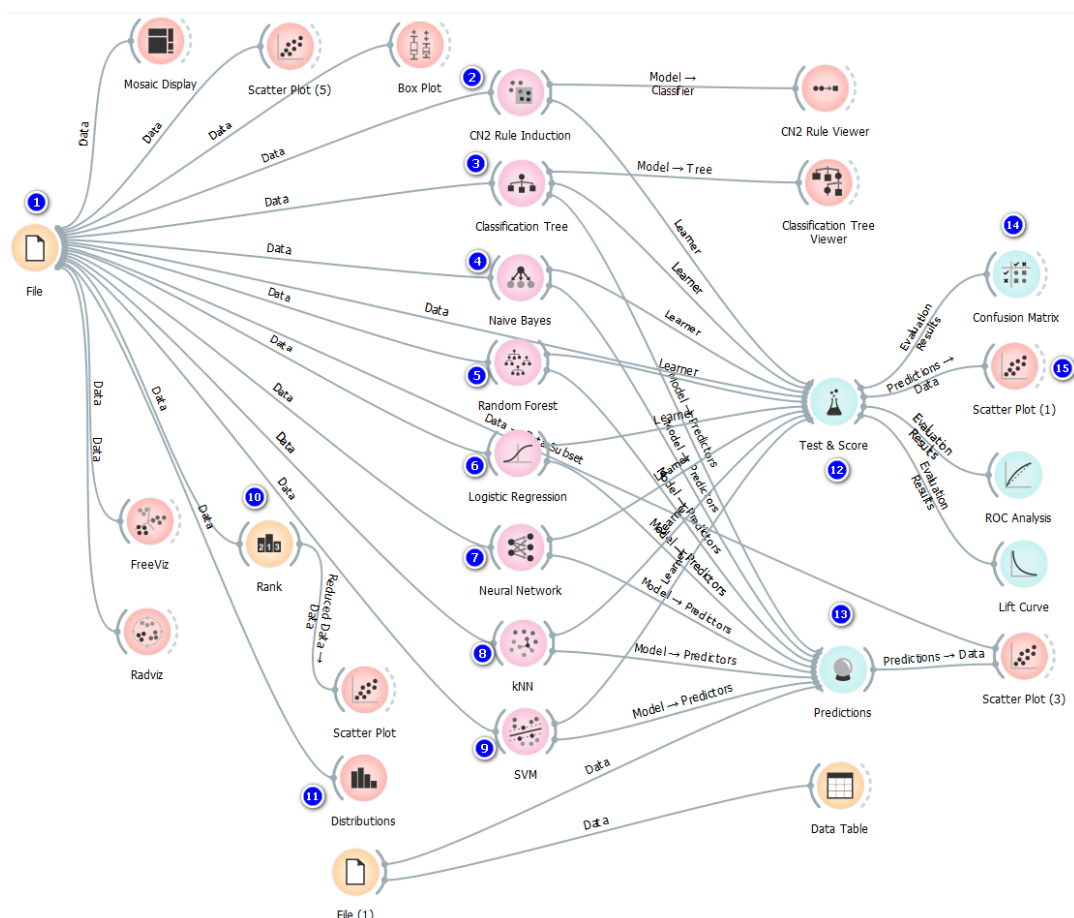
7 – Невронна мрежа (Neural network) [9] – група алгоритми, които обработват и разпознават взаимовръзките в масиви от данни чрез процес, имитиращ работата на човешкия мозък;

8 - K – най-близки съседа (k – Nearest Neighbors) [10] – класификационен алгоритъм, който класифицира обекта към класа, който най-често се среща сред най-близките му k – съседа;

9 – Support vector machines [11] – класификационен алгоритъм, основан на разделянето на данните чрез линия/хиперравнина и последваща класификация на новите данни в зависимост от това къде те са разположени спрямо линията/хиперравнината;

Оценка за влиянието на отделните входните атрибути върху изхода от аварията се извършва чрез блока *Rank*, който ранжира входните атрибути според тяхната корелация с изходния клас. На фиг.3 е показано ранжирането на входните атрибути спрямо влиянието им върху изхода от аварията, като са използвани различни числени показатели [12]. Съгласно индекса на Джини с най-значимо влияние са продължителността на периода на експлоатация, следвана от квалификацията на помощния персонал, вида на съоръжението и квалификацията на оператора.

Резултатите от приложението на различните класификатори за предсказване на изходите от аварията са представени чрез матрица на объркването (confusion matrix) [10]. По диагонала на тази матрица се съдържа броя на случаите, които принадлежат към определен клас и са класифицирани правилно в същия този клас, т.е. броя на вярно предсказаните резултати. Извън диагонала се разполагат резултатите, които принадлежат на определен клас, но са класифицирани в друг клас, т.е. допуснатите грешки. На фиг.4 са показани матриците на объркването за различните класификатори. Както се вижда, класификаторите са направили 1450 предсказания като известна част от тях са извън диагонала, т.е. те са погрешни.



фиг.2 Графичен модел на класификатора, изграден в Orange 3

	#	Info. gain	Gain ratio	Gini	χ^2	Relieff	FCBF
G - Пер.експл.	3	0.396	0.251	0.147	108.295	0.422	0.316
D - Кв. п.п.	2	0.263	0.266	0.109	78.763	0.233	0.240
E - Вид съор.	5	0.209	0.105	0.047	43.278	0.314	0.000
C - Кв. опер.	2	0.113	0.113	0.043	31.819	0.143	0.090
F - Прич. авар.	2	0.078	0.081	0.019	26.963	0.105	0.062
B - Мет. усл.	2	0.061	0.073	0.023	9.958	0.085	0.050

фиг.3 Ранжиране на входните атрибути съгласно различни числени показатели

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	364	12	37	16	429
	H2 - Б. зл.	26	671	2	0	699
	H3 - Зл. и см.	49	5	138	0	192
	H4 - См.	23	10	1	96	130
Σ		462	698	178	112	1450

Classification Tree

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	371	8	30	20	429
	H2 - Б. зл.	23	671	3	2	699
	H3 - Зл. и см.	31	6	153	2	192
	H4 - См.	22	10	2	96	130
Σ		447	695	188	120	1450

Random Forest

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	266	62	90	11	429
	H2 - Б. зл.	69	622	0	8	699
	H3 - Зл. и см.	66	10	93	23	192
	H4 - См.	16	11	11	92	130
Σ		417	705	194	134	1450

Naïve Bayes

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	376	6	32	15	429
	H2 - Б. зл.	25	668	1	5	699
	H3 - Зл. и см.	30	4	155	3	192
	H4 - См.	24	8	0	98	130
Σ		455	686	188	121	1450

CN2 Rule Inducer

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	351	21	34	23	429
	H2 - Б. зл.	22	660	15	2	699
	H3 - Зл. и см.	23	4	160	5	192
	H4 - См.	24	6	0	100	130
Σ		420	691	209	130	1450

Neural Network

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	338	20	42	29	429
	H2 - Б. зл.	31	665	0	3	699
	H3 - Зл. и см.	29	9	148	6	192
	H4 - См.	29	11	1	89	130
Σ		427	705	191	127	1450

kNN

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	378	5	32	14	429
	H2 - Б. зл.	25	672	2	0	699
	H3 - Зл. и см.	27	3	162	0	192
	H4 - См.	25	7	3	95	130
Σ		455	687	199	109	1450

SVM

		Predicted				
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	Σ
Actual	H1 - Зл.	316	71	35	7	429
	H2 - Б. зл.	55	637	7	0	699
	H3 - Зл. и см.	57	6	106	23	192
	H4 - См.	27	11	1	91	130
Σ		455	725	149	121	1450

Logistic Regression

фиг.4 Матрици на обръкването за различните класификатори

Като мярка за оценка на точността на предсказването на атрибут H_i се използват следните показатели [10], които се пресмятат чрез получените стойности от матриците на обръкването:

- Accuracy A_{Hi} :

$$A_{Hi} = \frac{TP_{Hi} + \sum TN_{Hi}}{TP_{Hi} + \sum FP_{Hi} + \sum FN_{Hi} + \sum TN_{Hi}} \quad (1)$$

- Recall (Sensitivity) R_{Hi} :

$$R_{Hi} = \frac{TP_{Hi}}{TP_{Hi} + \sum FN_{Hi}} \quad (2)$$

- Precision P_{Hi} :

$$P_{Hi} = \frac{TP_{Hi}}{TP + \sum FP_{Hi}} \quad (3)$$

- $F1_{Hi}$:

$$F1_{Hi} = 2 \frac{R_{Hi} \times P_{Hi}}{R_{Hi} + P_{Hi}} \quad (4)$$

В горните зависимости са използвани следните означения: TP_{Hi} - брой на истински положителните случаи, т.е. на случаите, принадлежащи към разглеждания изходен клас и правилно класифицирани от класификатора в този клас; FP_{Hi} - брой на фалшиво положителните случаи, т.е. на случаите, не принадлежащи към разглеждания изходен клас, но класифицирани от класификатора в този клас; FN_{Hi} - брой на фалшиво отрицателните случаи, т.е. на случаите, принадлежащи към разглеждания изходен клас, но не класифицирани от класификатора в този клас; TN_{Hi} - брой на истински отрицателните резултати, т.е. на случаите, не принадлежащи към разглеждания изходен клас и не класифицирани от класификатора в този клас. В табл.1 е показано разположението на съответните параметри в матрицата на обръкването, използвани за пресмятане на характеристиките на атрибута $H2 - Б.зл.$

Дефиницията на характеристиките показва, че колкото са по-близки техните стойности до 1, толкова по-висока е точността на предсказването. В табл.2 са показани стойностите на показателите (1) - (4) за използваните класификатори, пресметнати за всеки от атрибутите H_i , а също така и усреднените показатели.

табл. 1 Стойности за пресмятане на характеристиките на атрибута $H2 - Б.зл.$

		Предсказани			
		$H1 - 3л.$	$H2 - Б.зл.$	$H3 - 3л. и см.$	$H4 - См.$
Истински	$H1 - 3л.$	TN_{H2}	FP_{H2}	TN_{H2}	TN_{H2}
	$H2 - Б.зл.$	FN_{H2}	TP_{H2}	FN_{H2}	FN_{H2}
	$H3 - 3л. и см.$	TN_{H2}	FP_{H2}	TN_{H2}	TN_{H2}
	$H4 - См.$	TN_{H2}	FP_{H2}	TN_{H2}	TN_{H2}

табл.2 Точност на различните класификатори

H1-3л.						
Метод	AUC	Acc.	F1	Precision	Recall	
SVM	0.968	0.912	0.855	0.831	0.881	
CN2 rule inducer	0.961	0.909	0.851	0.826	0.876	
Random Forest	0.966	0.908	0.847	0.830	0.865	
Neural network	0.952	0.899	0.827	0.836	0.818	
Classification Tree	0.943	0.888	0.817	0.788	0.848	
kNN	0.933	0.876	0.790	0.792	0.788	
Logistic Regression	0.881	0.826	0.715	0.695	0.737	
Naïve Bayes	0.848	0.783	0.629	0.638	0.620	

H2-Б.зл.						
Метод	AUC	Acc.	F1	Precision	Recall	
SVM	0.996	0.971	0.970	0.978	0.961	
CN2 rule inducer	0.972	0.966	0.965	0.974	0.956	
Random Forest	0.994	0.964	0.963	0.965	0.960	
Classification Tree	0.974	0.962	0.961	0.961	0.960	
Neural network	0.984	0.952	0.950	0.955	0.944	
kNN	0.989	0.949	0.947	0.943	0.951	
Logistic Regression	0.965	0.897	0.895	0.879	0.911	
Naïve Bayes	0.962	0.890	0.886	0.882	0.890	

H3-3л. и см.						
Метод	AUC	Acc.	F1	Precision	Recall	
SVM	0.967	0.954	0.829	0.814	0.844	
CN2 rule inducer	0.943	0.952	0.816	0.824	0.807	
Random Forest	0.953	0.949	0.805	0.814	0.797	
Neural network	0.964	0.944	0.798	0.766	0.833	
kNN	0.941	0.940	0.773	0.775	0.771	
Classification Tree	0.915	0.935	0.746	0.775	0.719	
Logistic Regression	0.941	0.911	0.622	0.711	0.552	
Naïve Bayes	0.910	0.862	0.482	0.479	0.484	

H4-См.						
Метод	AUC	Acc.	F1	Precision	Recall	
Classification Tree	0.952	0.966	0.793	0.857	0.738	

SVM	0.983	0.966	0.795	0.872	0.731
CN2 rule inducer	0.949	0.962	0.781	0.810	0.754
Random Forest	0.983	0.960	0.768	0.800	0.738
Neural network	0.976	0.959	0.769	0.769	0.769
Logistic Regression	0.966	0.952	0.725	0.752	0.700
kNN	0.972	0.946	0.693	0.701	0.685
Naïve Bayes	0.968	0.946	0.697	0.687	0.708

Сравняването на резултатите от различните класификатори може да се извърши по всяка от характеристиките. Когато сравняването се извършва по характеристиката *Recall*, от таблиците може да се заключи следното:

- Относно изхода от авария *H1-Зл.* с най-висока точност е метода SVM – 0.881, с най-ниска е Naïve Bayes – 0.62;
- Относно изхода от авария *H2-Б.зл.* с най-висока точност е метода SVM – 0.961, с най-ниска е Naïve Bayes – 0.89. Тук следва да се отбележи, че относно този атрибут всички използвани класификатори показват много висока точност;
- Относно изхода от авария *H3-Зл. и см.* с най-висока точност е метода SVM – 0.844, с най-ниска е Naïve Bayes – 0.484;
- Относно изхода от авария *H4- См.* с най-висока точност е метода Neural network – 0.769, с най-ниска kNN – 0.685;

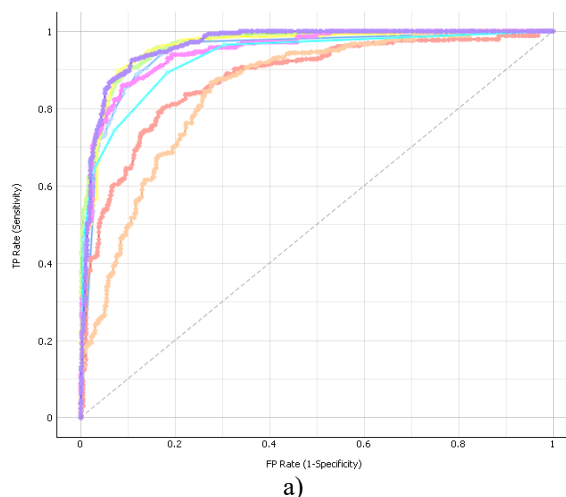
Също така може да се отбележи, че със стойности, близки до максималните за всеки от изходите от аварията са и методите Random Forest, Classification tree и CN2 Rule inducer.

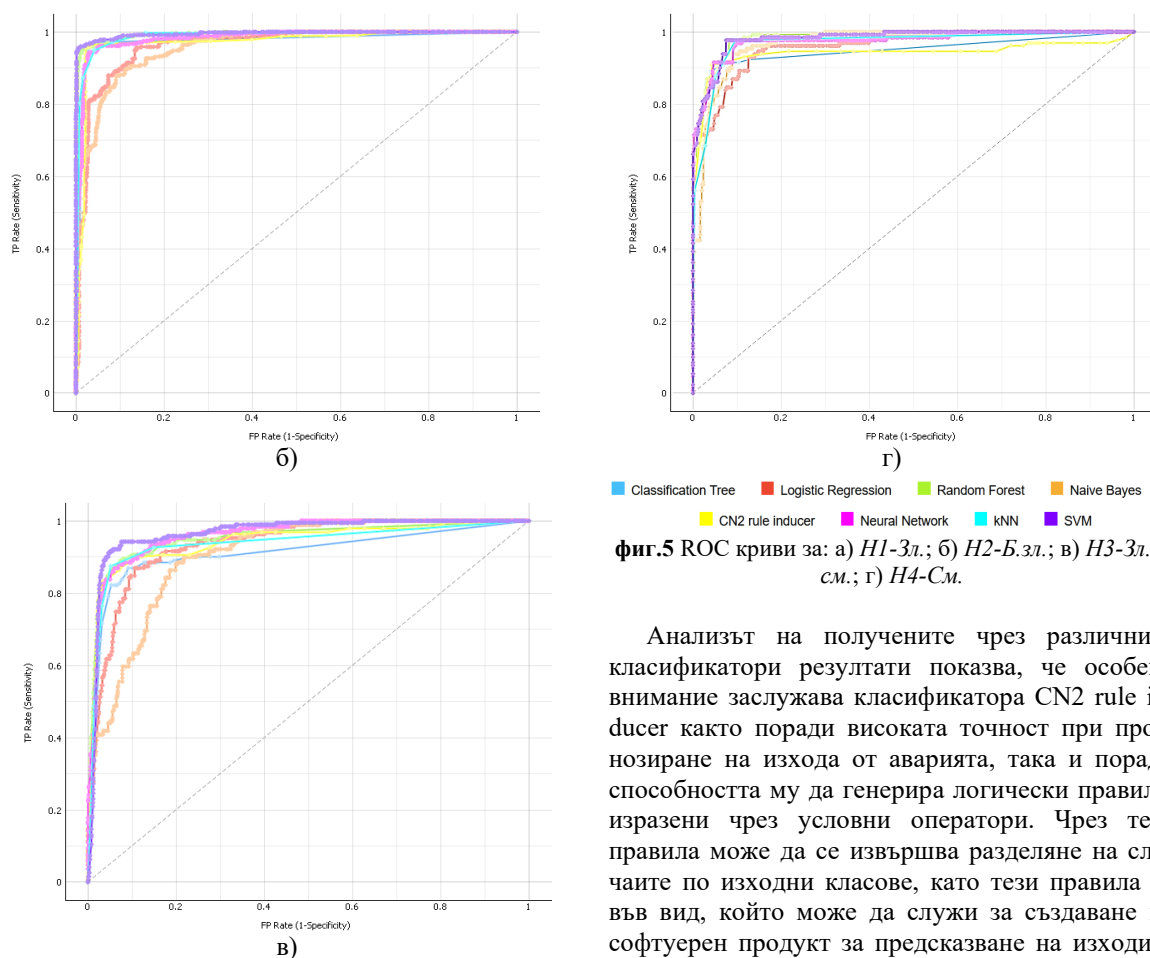
Както се вижда анализа, с много висока точност могат да се прогнозират изходите от авария *H1-Зл.* и *H2-Б.зл.*, а с по-ниска – *H3-Зл. и см.* и *H4- См.* Обяснението за това е наличието на значително по-големия брой случаи от първите два типа аварии и по-малкия брой от вторите два типа в обучителната извадка и последващата невъзможност на класификаторите да извършват необходимото обучение и прогнозиране с необходимата точност;

За визуализация на точността на класификацията са използвани и ROC криви (Receiver Operating Characteristic) [2, 5], построени в координатна система $Specificity(S_{Hi})$ - $Sensitivity(R_{Hi})$, като за целта показателя *Specificity* се определя по следната формула:

$$S_{Hi} = \frac{\sum TN_{Hi}}{\sum TN_{Hi} + \sum FP_{Hi}} \quad (5)$$

На фиг.5 са показани ROC кривите за всеки от изходите от аварията, като на всяка графика са показани кривите за различните класификатори. Върху графиките са показани диагонални линии, които дават точност на предсказване 50%. Всички линии, разположени над тази линия дават точност на предсказване над 50%, като колкото е по-изпъкнала графиката към горния ляв ъгъл, толкова е по-висока точността. Стопроцентовата точност на предсказване отговаря на графика, плътно съвпадаща с лявата и горната страни на координатната система. Един начин за сравнение на различните ROC криви е чрез сравняване на площта под кривите AUC (Area under curve), чийто стойности за показани в табл.2, като колкото е по-близо площта до 1, толкова по-висока е точността на класификацията.





фиг.5 ROC криви за: а) *H1-Зл.*; б) *H2-Б.зл.*; в) *H3-Зл. и см.*; г) *H4-См.*

Анализът на получените чрез различните класификатори резултати показва, че особено внимание заслужава класификатора CN2 rule inducer както поради високата точност при прогнозиране на изхода от аварията, така и поради способността му да генерира логически правила, изразени чрез условни оператори. Чрез тези правила може да се извършва разделяне на случаите по изходни класове, като тези правила са във вид, който може да служи за създаване на софтуерен продукт за предсказване на изходите от аварията. Генерираните от този класификатор логически правила са показани на фиг.6.

IF conditions

- G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E3 - Мост.
- 1 E - Вид съор.=E4 - Баг. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.
- 2 E - Вид съор.=E4 - Баг.
- 3 G - Пер.експл.=G1-10г AND D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND B - Мет. усл.#B1 - Лош.
- 4 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E5 - Раб.
- 5 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND C - Кв. опер.#C1 - Нис.
- 6 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.
- 7 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND D - Кв. п.п.#D1 - Нис.
- 8 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.
- 9 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND G - Пер.експл.=G2-20г
- 10 E - Вид съор.=E3 - Мост.
- 11 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E1 - Авт. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.
- 12 D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND G - Пер.експл.=G1-10г
- 13 G - Пер.експл.=G1-10г AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.
- 14 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E1 - Авт. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.
- 15 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E1 - Авт. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.

THEN class

- Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
- Н - Посл. авар.=H4 - См.
- Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
- Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
- Н - Посл. авар.=H4 - См.
- Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
- Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
- Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
- Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
- Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
- Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
- Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
- Н - Посл. авар.=H4 - См.
- Н - Посл. авар.=H4 - См.
- Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
- Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.

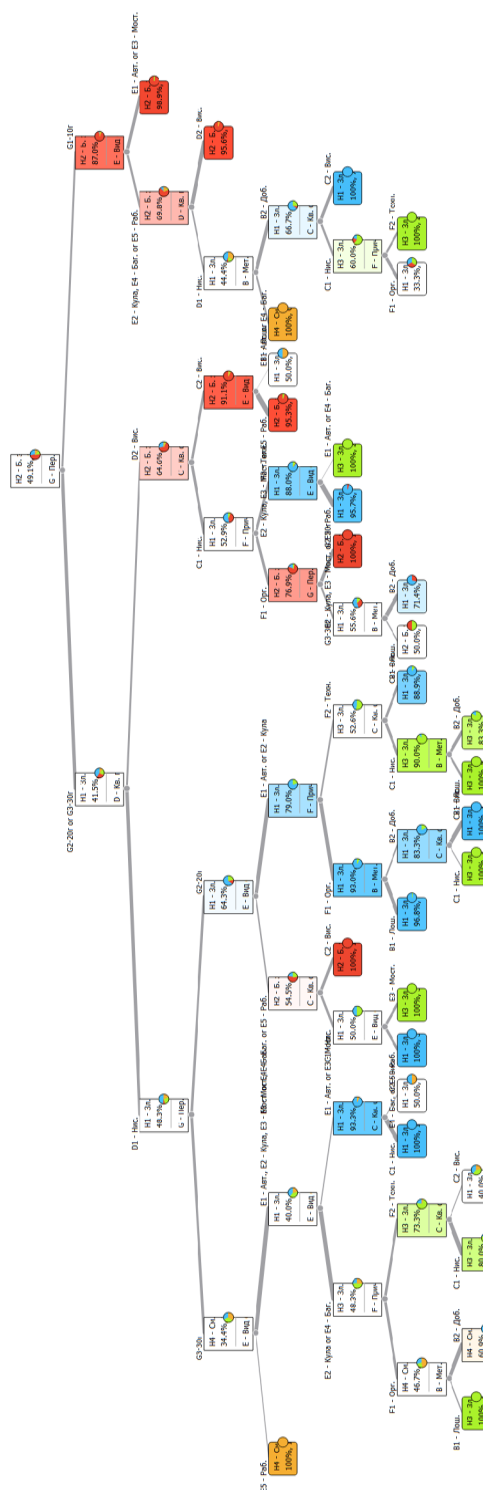
16	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND E - Вид съор.=E5 - Раб. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
17	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND E - Вид съор.=E5 - Раб. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
18	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND E - Вид съор.=E5 - Раб.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
19	E - Вид съор.=E5 - Раб. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
20	E - Вид съор.=E5 - Раб. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
21	E - Вид съор.=E5 - Раб. AND G - Пер.експл.=G2-20г	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
22	E - Вид съор.=E5 - Раб.	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
23	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND G - Пер.експл.=G2-20г AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
24	B - Мет. усл.=B1 - Лош. AND D - Кв. п.п.#D1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
25	B - Мет. усл.=B1 - Лош. AND E - Вид съор.=E1 - Авт.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
26	B - Мет. усл.=B1 - Лош. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
27	B - Мет. усл.=B1 - Лош. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
28	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND G - Пер.експл.=G2-20г AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
29	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND G - Пер.експл.=G2-20г AND E - Вид съор.=E1 - Авт.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
30	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND E - Вид съор.=E1 - Авт.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
31	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
32	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND G - Пер.експл.=G2-20г	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
33	D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
34	G - Пер.експл.=G2-20г AND C - Кв. опер.=C1 - Нис. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
35	G - Пер.експл.=G2-20г AND B - Мет. усл.=B1 - Лош. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
36	B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
37	G - Пер.експл.=G1-10г AND F - Прич. авар.=F1 - Орг. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
38	G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E1 - Авт.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
39	G - Пер.експл.=G1-10г AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
40	G - Пер.експл.=G2-20г	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
41	E - Вид съор.=E1 - Авт. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
42	E - Вид съор.=E1 - Авт.	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
43	C - Кв. опер.=C1 - Нис. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
44	F - Прич. авар.=F1 - Орг. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
45	D - Кв. п.п.#D1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
46	G - Пер.експл.=G1-10г AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
47	C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
48	TRUE	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.

фиг.6 Генерирани от CN2 rule inducer правила за прогнозиране на изхода от аварията

Методът Classification tree предоставя възможност за графично изобразяване на полученото класификационно дърво, при движението по което отгоре-надолу (от началния възел към крайните възли) може да бъде извършена класификацията на новите данни, т.е. да бъде предсказан изхода от аварията при известни атрибути. На фиг.7 е показано едно от възможните дървета, съдържащо 61 възела и 31 листа.

Тестването на работата на моделите, изградени от различните класификатори, се извършва върху тестова извадка, състояща се от

10 случая с известни изходи от аварията. В табл.3 са показани прогнозираните от класификаторите изходи от аварията, а също така и известните изходи от тестовата извадка. С червени правоъгълници са отбелязани случите, в които класификаторите са извършили погрешна прогноза, както се вижда това са 10 случая от общо 70, като в единият от тестовите случаи нито един от класификаторите не извършил правилно предсказване.



фиг.7 Графично изображение на класификационното дърво

табл.3 Предсказани и реални резултати

Прогнози от класификаторите								Резултати от тест.изв.
	Classification Tree	Logistic Regression	Random Forest	Naive Bayes	Neural Network	kNN	SVM	Н - Посл. авар.
1	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.
2	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.
3	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.
4	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H1 - Зл.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.
5	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.	H1 - Зл.
6	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.
7	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.	H2 - Б. зл.
8	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H1 - Зл.
9	H4 - См.	H4 - См.	H4 - См.	H4 - См.	H4 - См.	H4 - См.	H4 - См.	H4 - См.
10	H3 - Зл. и см.	H1 - Зл.	H3 - Зл. и см.	H1 - Зл.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.	H3 - Зл. и см.

Една възможност за повишаване на точността на прогнозирането при ограничен размер на регистъра на аварията е използването на изходни атрибути с по-малък брой класове. За тази цел се въвежда нов атрибут *K* с две стойности “Да – има злополука/см.сл” и “Не – няма злополука/см.сл.”

(виж табл.2 и табл.3 от [1]). Стойностите на този атрибут са получени като стойностите на атрибут „Н – последиствие от авария“ са групирани в двата споменати класа. Резултатите от сравнението на различните класификатори за този случай са показани в табл.4.

табл.4 Точност на различните класификатори

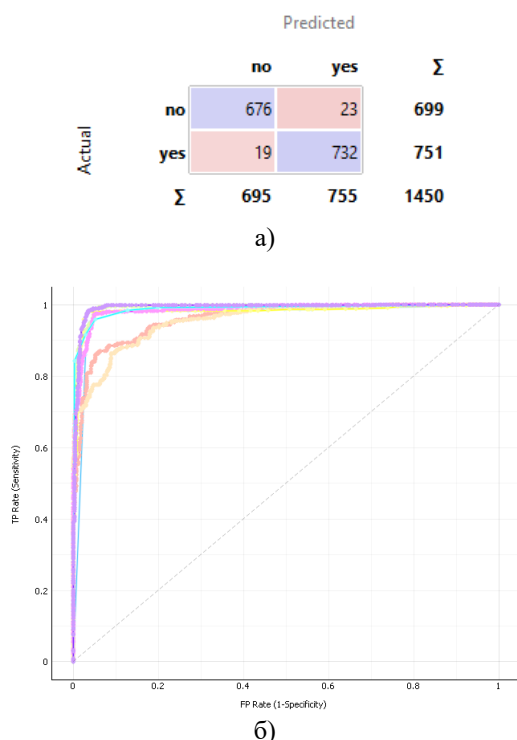
K-no					
Метод	AUC	A	F1	Precision	Recall
CN2 rule inducer	0.980	0.971	0.970	0.973	0.967
SVM	0.994	0.970	0.969	0.984	0.954
Random Forest	0.992	0.964	0.962	0.974	0.951
Neural network	0.987	0.957	0.955	0.960	0.951
Classification Tree	0.968	0.961	0.960	0.969	0.950
kNN	0.989	0.954	0.952	0.955	0.948
Naive Bayes	0.959	0.885	0.882	0.870	0.894
Logistic Regression	0.963	0.882	0.877	0.884	0.870

K-yes					
Метод	AUC	A	F1	Precision	Recall
CN2 rule inducer	0.994	0.970	0.972	0.959	0.985
SVM	0.992	0.964	0.966	0.956	0.976
Random Forest	0.980	0.971	0.972	0.970	0.975
Neural network	0.968	0.961	0.963	0.954	0.972
Classification Tree	0.987	0.957	0.959	0.955	0.963
kNN	0.989	0.954	0.956	0.952	0.959
Naive Bayes	0.963	0.882	0.887	0.881	0.893
Logistic Regression	0.959	0.885	0.887	0.899	0.876

Както се вижда, точността на предсказване се е увеличила значително – и за двата класа е над 0.95 като най-висока е стойността за метода CN2 Rule

inducer, което показва ефективността на този подход въпреки загубата на известно количество информация относно възможните изходи от

аварията. Точността и на останалите класификатори също е достатъчно висока. На фиг.8 а) и б) съответно са показани матрицата на обръкването и ROC кривите за всичките класификатори за клас *yes*. Както се вижда, броят на извъндиагоналните елементи в матрицата на обръкването е малък.



фиг.8 Характеристики на точността на модела:
а) матрица на обръкването; б) ROC крива

Тъй като всички атрибути в регистъра са равностойни от гледна точка на възможността в машинното обучение да бъдат дефинирани като входни или изходни, то в модела е възможно и решаването на обратна задача – при известен изход от аварията и липса на стойностите на някои от входните атрибути да бъде предсказана стойността на липсващия входен атрибут. Това е направено като атрибута *C- Кв. опер.* е считан за изходен, а атрибута *K – Зл., см. или без* е считан за входен. Най-добри показатели в този случай ползвава метода SVM за който показателя *Recall* е 0.768, а матрицата на обръкването има вида на фиг.8.

		Predicted		Σ
		C1 - Нис.	C2 - Вис.	
Actual	C1 - Нис.	664	121	785
	C2 - Вис.	215	450	665
Σ		879	571	1450

фиг.9 Матрица на обръкването

3. ИЗВОДИ

Разработеният компютърен модел на регистъра на аварии използва на методите на машинното обучение за извличане на допълнителна информация за аварията, за прогнозиране на изходите от аварията или за установяване на причините за аварията на индустриално оборудване. Чрез различни числени и графични показатели може да се оцени точността на моделите. Извършените числени експерименти с различни класификатори показват, че при наличие на достатъчен брой случаи, степента на прогнозиране е висока.

Литература

1. Митрев Р. Разширен анализ на регистри за аварии на индустриално оборудване чрез вероятностни методи. Българско списание за инженерно проектиране, бр.43, 2021.
2. Shmueli G., Bruce P., Patel N. Data mining for business analytics. Concepts, techniques and applications with XLMiner. Wiley, 2016.
3. www.orangedatamining.com, посетен на 06.04.2020
4. Clark P, Boswell R. Rule induction with CN2: some recent improvements. In: Proceedings of the 5th European working session on learning (EWSL- 91), Porto. Springer, 1991, pp 151–163
5. Murthy S.K. Automatic construction of decision trees from data: a multi-disciplinary survey. Data Min Knowl Discov 2(4), 345–389, 1998.
6. Kononenko I. Naive Bayesian classifier and continuous Attributes. Informatica 16(1):1–8, 1992.
7. Breiman L. Random forests. Mach Learn 45(1):5–32, 2001.
8. Goodman J., Yih W. Online discriminative spam filter training. In: Proceedings of the third conference on email and anti-spam (CEAS-2006), Mountain View, 2006.
9. Anthony M., Bartlett P.L. Neural network learning: theoretical foundations. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
10. Sammut C., Webb G. Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining. Springer, 2017.
11. Kuusisto F., Santos Costa V., Nassif H., Burnside E.,

Page D., Shavlik J. Support vector machines for differential prediction. In: ECML-PKDD, Nancy, 2014.

[programming/en/latest/widgets/data/rank.html](https://orange3.readthedocs.io/projects/orange-visual-programming/en/latest/widgets/data/rank.html), посетен на 06.04.2020

12. <https://orange3.readthedocs.io/projects/orange-visual->