

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	В.Лepadatescu	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	MGTU 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.Kableshkov“, 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 IoT 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.....	46
Р.Митрев	
Задачи и проблеми свързани с проектирането на експозиционни щандове, представени чрез реализации с универсални модулни конструкции.....	65
С.Илиева	
Автоматизирано проектиране на предложение за нови конструкции на системи осъществяващи основните процеси на бримкообразуване за плоскоплетачен автомат.....	71
Р.Манолова	
Convolutionary neural networks regarding problem of monitoring data balancing in de bruijn topology.....	79
A. Volokyta, H. Loutskii, P. Rehida, O. Honcharenko, D. Korenko, V. Rusinov, B. Ivanishchev, A. Kaplunov	
Methods for creating templates for machine learning.....	89
A. Yakovlev, O. Lisovychenko	
Разширен анализ на регистри за аварии на индустриално оборудване чрез вероятностни методи.....	93
Р.Митрев	
Анализ на регистри за аварии чрез методите на машинното обучение.....	111
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 деформируемото тяло 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 деформируемото тяло. 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 деформируемото тяло 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 *KIIN* е значителна поради факта, че инженерното проектиране изисква познаването на напреженията във всяка точка на детайла.

Изразените посредством *KIIN* напрежения са функция на натоварването и геометрията на изследваното тяло. Въпреки огромния труд, посветен на получаването на аналитични решения чрез комплексни функции, аналитични 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.

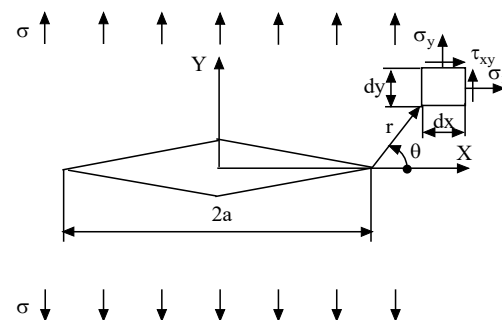
Пукнатина от тип I е пукнатината на Westergaard [15]. Той е първият изследовател, който извежда функцията на напреженията за

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

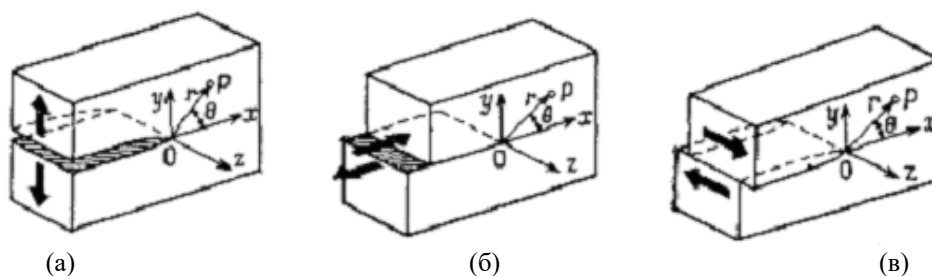
В едни случаи коефициентите на интензивност на напреженията е възможно да се определят аналитично [10,11,14] и/или числено [1]. Това са случаите на остри пукнатини, при които радиусът на закръгление във върха на пукнатината е нула.

В останалите случаи *KIIN* 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 (*KIIN*) определя големината на напреженията в близост до върха на пукнатината или колко бързо те нарастват с приближаване към върха на пукнатината (фиг.3). *KIIN* 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 ($KIII \neq 0, KI = KII = 0$)

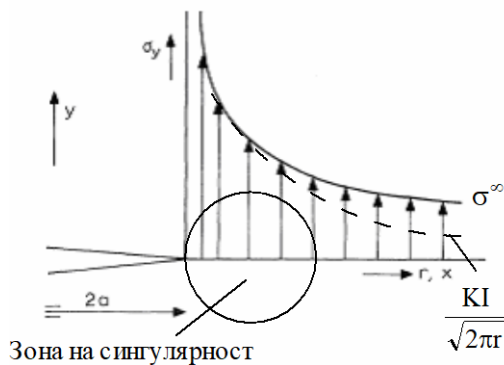
За тип I пукнатина (фиг.3) напреженията при $r \rightarrow 0$ в условията на равнинно напрегнато състояние (PHC) и линейно-еластичен материал се описват от [3,13,14]:

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

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 тензоэффекта, 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. Същественото при този метод е правилното позициониране на тензодатчиците.

Функциите на напреженията при равнинно напрегнато състояние (PHC) 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]:

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

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

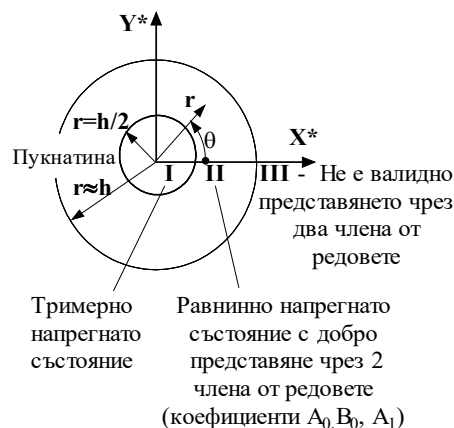
която се измерва деформация, a - половината от дължината на пукнатината) за да е валидно представянето на полето на напреженията (3).

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:

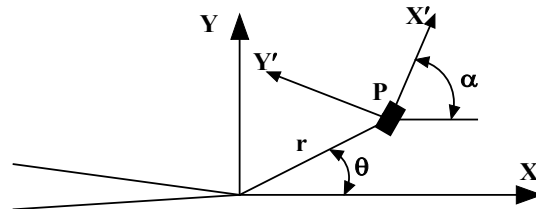
$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = -\cot g 2\alpha \quad (7)$$

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 механиката 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

коэффициента 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
8. 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 натоваването 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]

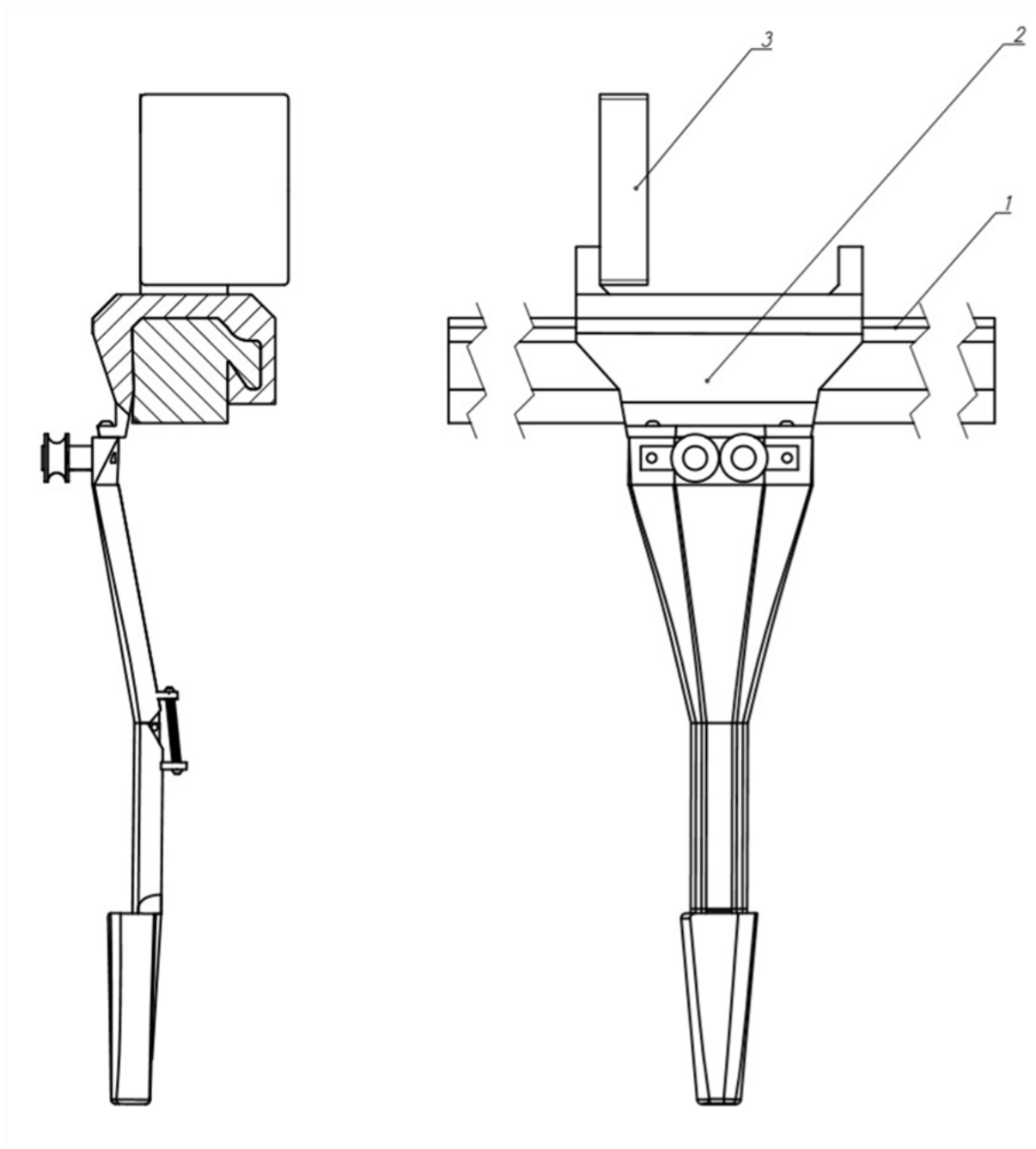
Задвижването на самите нишководачи и контролирането на движението им в конкретна зона на плетене също е от решаващо значение за подобряване на мострените възможности на машините. Повечето съвременни фирми производителки на плоскоплетачна техника са избрали принцип на програмируемо индивидуално задвижване 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. Като 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 нишкодоставящия 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

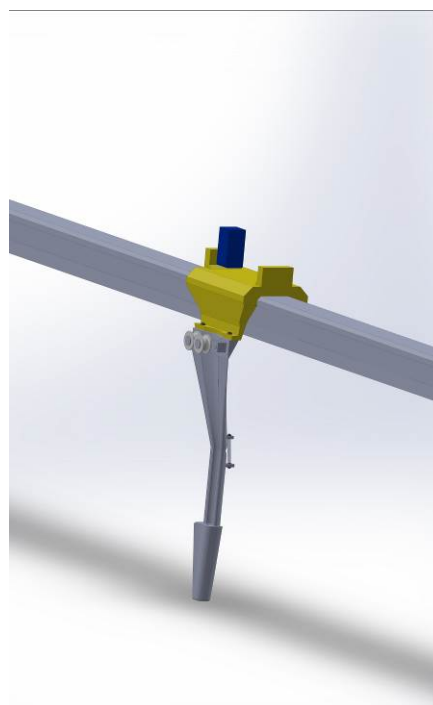
б

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 отлясно 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 тефлоново 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 остановява 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 обгръщането 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]

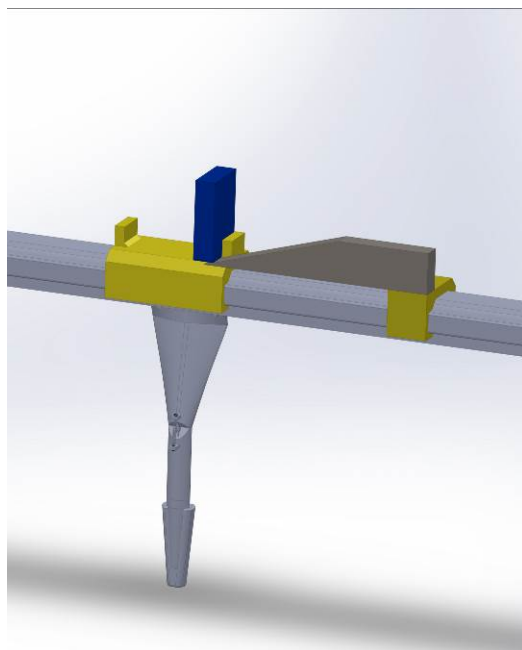


фиг. 2 3D изображение областта на задвижване нишководача.

За освобождаването и изключване на водещият елемент в края на 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. [3,4]

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

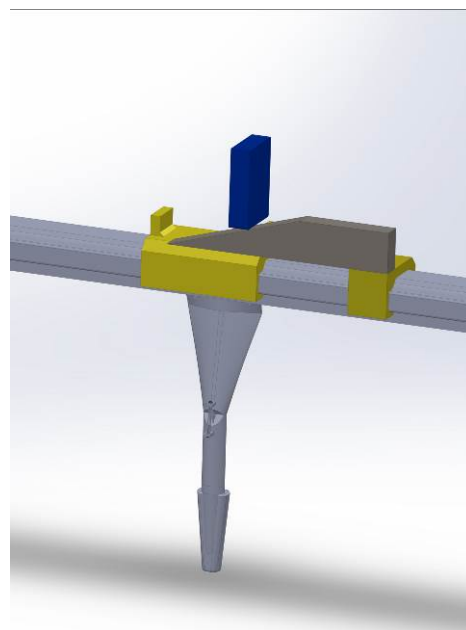
ведещият елемент. Както се вижда от двете фигури конструкцията на трите елемента е съобразена с принципа на задвижване и освобождаване на нишководача. Задвижващият елемент е с по-голяма ширина от тачи на контактното стъпало за задвижване на нишководача, което дава възможност за навлизането в контакт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

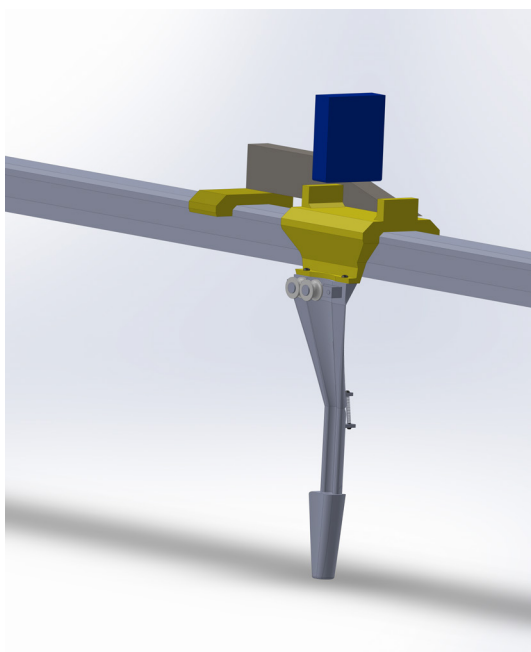
В тази зона показана на фиг.4 практически освобождаването се осъществява, като водещият елемент се издига на височина по-голяма от височината на стъпало за задвижване на

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.



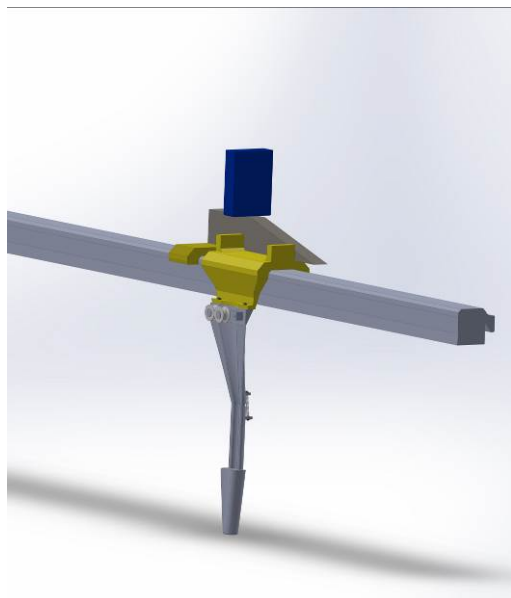
фиг. 4 Позиция нишководача и на стопера при освобождаването на нишководача от изключващия елемент в дясно положение.

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 водещия 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



освобождането 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 плоскочетачни 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 плоскочетачен 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 времевата 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. Наат 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).

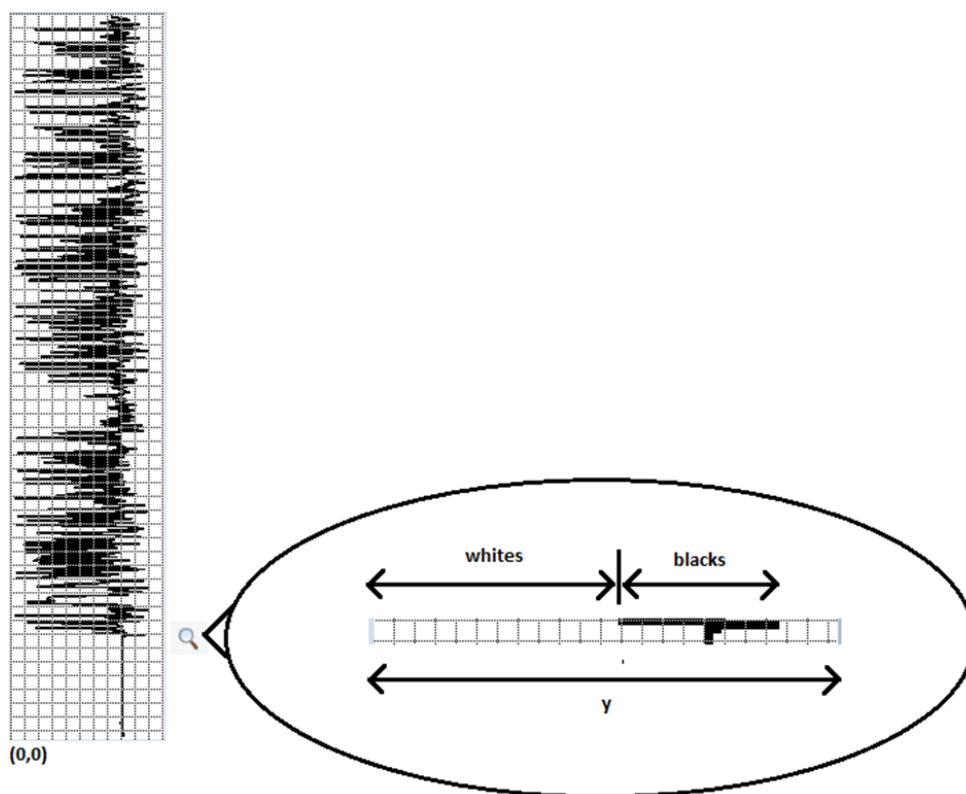
За целта първо чрез Snipping Tool са взети (без самите абсциса и ордината) графиките за натоварването на паметта на IoT устройството, в

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 разположено 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 Haar 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, подземно-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. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОТО МОДЕЛИРАНЕ НА КОМПЛЕКТ МИННИ МАШИНИ

Предназначението на изследвания комплект „минен багер - автосамосвали“ е добив и транспорт на руда в открити рудници. Разглежда се процесът на добив на руда чрез минен хидравличен багер с права лопата, натоварването на рудата на автосамосвали и транспорт на рудата до челюстна трошачка за последващо раздробяване. Експлоатационните характеристики на комплекта машини в значителна степен определят ефективността на минното предприятие. В подсистемите на предприятието, управлявани от хора, е налице вариация на параметрите (времена, скорости, разстояния, стил на управление на машините и др.) която неминуемо се отразява на изходните технико-икономическите характеристики на цялата система.

Противоположните процеси в комплекта машини имат сложен и комплексен характер, изразяващ се във взаимна свързаност на надеждностните, техническите, финансовите, времевите и др. характеристики при отчитане на тяхната статистическа вариация. Това налага използването на вероятностно-статистически методи за оценка на характеристиките на комплекта, за оценка на алтернативни варианти и взимане на решения на вероятностна основа.

В настоящата статия се разработва и изследва числено вероятностно-статистически модел на

комплект минни машини „минен багер - автосамосвали“, който да отчита стохастичния характер (неопределеността) както на собствените параметри на комплекта, така и на параметрите на околната среда. Моделът позволява определянето на вероятностните разпределения на експлоатационните характеристики на комплекта и степента на рационално използване на техническите ресурси. Използван е 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 - САМОСВАЛ“

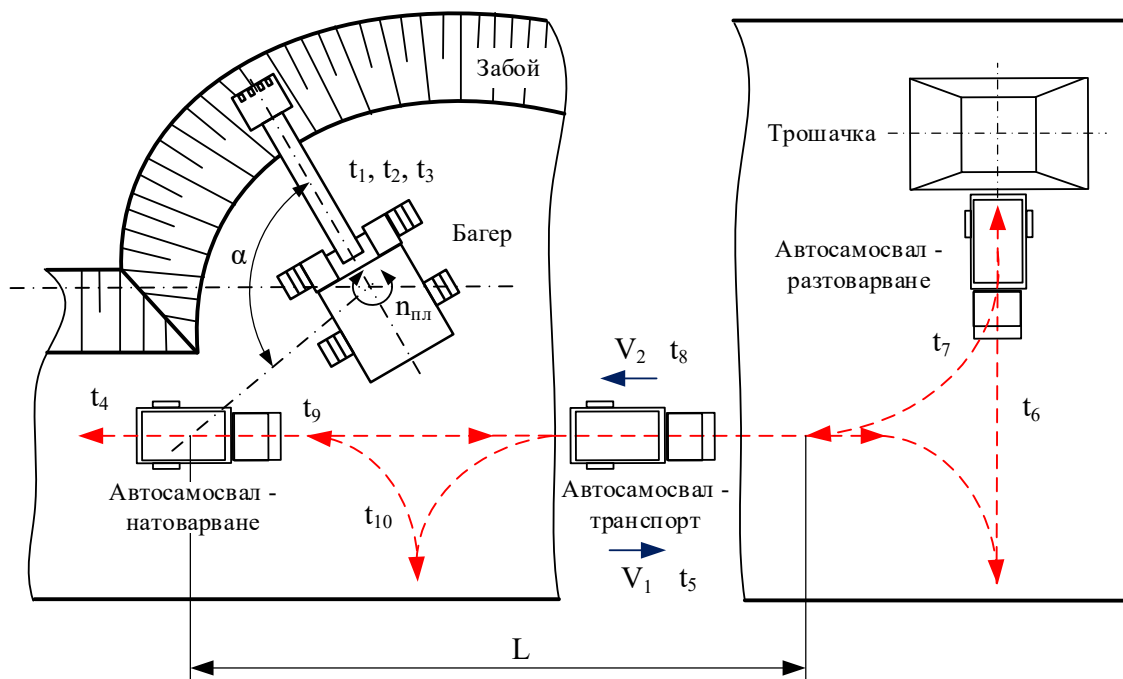
Минният багер и автосамосвалите са съвместно работещи машини с циклично действие, поради което производителността на комплекта зависи от конкретната геометрична схема на разположение и кинематичните характеристики на движението на машините. На фиг.1 е показана разглежданата геометрична схема на разположението 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 извършване 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.



фиг.1. Геометрична схема на разположението на багера и автосамосвалите

На фиг.1 са означени следните параметри на системата:

- α – ъгъл на завъртане на платформата, измерван между надлъжната ос на работното съоръжение и центъра на каросерията на автосамосвала;
- L – разстояние, изминавано от автосамосвала от мястото на натоварване до мястото на разтоварване. Приема се, че връщането се извършва по същия маршрут;
- v_1 и v_2 – скорости на движение на пълен и празен автосамосвал.

2.1 Определяне на експлоатационната производителност на багера

При използване на зададените означения и техническите параметри на багера,

експлоатационната производителност на багера $Q_{баг}$ се пресмята по следната зависимост [1,2,3,4]:

$$Q_{баг} = q_{баг} n_{баг} k_u k_s^{баг} \frac{k_n}{k_p}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (1)$$

където са използвани следните означения: k_u - отношение на броя цикли или скорости в работни условия към номинално изчислените (коefficient на използване на производителността на машината); k_n – coefficient на напълване на кофата, който отчита нейното възможно препълване или недонапълване; k_p – coefficient на разрохкване на почвата, служи за привеждане на обема на изкопаната почва към плътно тяло; $k_s^{баг}$ – coefficient на използване на багера по време, представляващ дялът от работното време, използвано за извършване на технологични операции (т.е. без

отчитане на престоите поради организационно-технически причини, поради планирано техническо обслужване, отстраняване на откази и др.):

$$k_g^{баз} = \frac{T_{см}^{пол}}{T_{см}} < 1 \quad (2)$$

където: $T_{см}^{пол}$ - продължителност на времето през работната смяна, през което се извършват технологични операции; $T_{см}$ - продължителност на работната смяна; $n_{баз}$ - брой извършени цикли от багера за единица време. Определя се по следната зависимост:

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

където $T_{баз}$ 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):

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

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:

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

2.2 Определяне на експлоатационната производителност на един автосамосвал

Експлоатационната производителност на автосамосвала $Q_{сам}$ се пресмята по следната зависимост [1,2,3,4,5]:

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

където: $k_g^{сам}$ - коефициент на използване на автосамосвала по време; $q_{сам}^* = z q_{баз} \frac{k_n}{k_p}$ - реално натовареното в самосвала количество работен материал; z - брой кофи, с които се натоварва автосамосвала. Определя се по следната зависимост:

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

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:

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

$$z_{обем} = \frac{q_{сам}}{q_{баз} \frac{k_n}{k_p}} \quad (8)$$

Полученият брой кофи $z_{обем}$ обикновено е дробно число, което следва да се закръгли до цяло число $[z_{обем}]$. 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 $[z_{обем}]$ се пресмята чрез следната зависимост, която определя посоката на закръгление:

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

където $[]$ означава закръгление нагоре до по-голямо цяло число, а $[]$ - закръгление надолу до по-малко цяло число. Чрез $k_{обем}$ 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 $z_{маса}$ е означен броя необходими кофи, пресметнати от ограничението по

допустима маса на материала в автосамосвала:

$$z_{\text{маса}} = \frac{m_{\text{сам}}}{q_{\text{баг}} \frac{k_n}{k_p} \rho} \quad (10)$$

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 [4]:

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

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. Още, предполага се, че всички автосамосвали в комплекта са от един и същи типоразмер.

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 производителността на системата от автосамосвали, то във всеки един момент от време производителността на комплекта машини ще се определя от по-малката от двете производителности [5]:

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

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 с продължителност 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 $C_{баг}$ за единица време и разходите $C_{сам}^k$ за експлоатацията на k броя автосамосвали за единица време [5, 6]:

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

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

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

2) Променливи разходи $C_{пром}$ при експлоатацията на един автосамосвал, зависещи от изминатото разстояние:

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

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

Тогава, общите експлоатационни разходи за k автосамосвали са:

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

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

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

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

$$P = P_1 Q_{сум} \quad (21)$$

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 алтернативни варианти 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 , $Q_{сум}$, 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 показатели [5]:

• 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 $Q_{сум}$:

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

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

• Производителност на системата за един автосамосвал:

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

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: $Q_{сум} \rightarrow \max$, $T \rightarrow \min$, $H \rightarrow \max$, $P \rightarrow \max$, $C \rightarrow \min$.

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

Численото моделиране и изследването на

характеристиките на комплекта машини се извършва чрез метода Монте Карло като за основа се използва разработения 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). Като резултат от симулацията ще се получат вероятностните разпределения на изходните характеристики: 1) производителности на багера, автосамосвала и комплекта; 2) абсолютни и относителни показатели на комплекта.

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, дефинирано чрез следната плътност на разпределение [7]:

$$1) \quad f(p) = \frac{1}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(p-\mu_p)^2}{2\sigma_p^2}}, \quad (27)$$

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

където чрез μ_p е означено математическото очакване, а чрез σ_p - средно квадратичното отклонение на случайната величина. За практически цели се използва отсеченото нормално разпределение [8,9], 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 долна p_{\min} и горна p_{\max} граници се използва нормално разпределение със следните числени характеристики (използвайки правилото на трите сигми [10]):

$$\mu_p = \frac{p_{\min} + p_{\max}}{2} \quad (28)$$

$$\sigma_p = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{6} \quad (29)$$

- Триъгълно разпределение [11], 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: $p_{\text{нec}}$ – най-ниска възможна оценка на стойността на параметъра (песимистична оценка); $p_{\text{онm}}$ – най-висока възможна оценка на стойността на параметъра (оптимистична оценка); $p_{\text{вep}}$ – 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:

$$f(p) = \begin{cases} \frac{2(p-p_{\text{нec}})}{(p_{\text{онm}}-p_{\text{нec}})(p_{\text{вep}}-p_{\text{онm}})}, & \text{ако } p_{\text{нec}} \leq p < p_{\text{вep}} \\ \frac{2}{p_{\text{онm}}-p_{\text{нec}}}, & \text{ако } p = p_{\text{вep}} \\ \frac{2(p_{\text{онm}}-p)}{(p_{\text{онm}}-p_{\text{нec}})(p_{\text{онm}}-p_{\text{вep}})}, & \text{ако } p_{\text{вep}} < p \leq p_{\text{онm}} \end{cases} \quad (30)$$

- Равномерно разпределение [12], подходящо за моделиране на случайни величини, променящи се в интервал $[a,b]$ с еднаква вероятност за появяване:

$$f(p) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{ако } a \leq p \leq b \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (31)$$

Видът и числените характеристики на вероятностните разпределения на част от параметрите на математическия модел се поддават на промяна в определени граници от операторите на машините и помощния персонал, най-вече чрез стила на работа, подходящо 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

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

3.2 Определяне на числените стойности и на вида на вероятностните разпределения на входните параметри

Определянето на числените стойности и на вида 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 изследвания 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 изследвания 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 и има субективен характер.

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 – $N(\mu, \sigma, \min, \max)$, където μ е математическото очакване, σ е средно квадратичното отклонение, \min е минималната стойност на случайната величина, \max е максималната стойност на случайната величина;

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

- Равномерно – $U(a, b)$, където a е минималната 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 по схемата на фиг.1.

табл.2 Параметри на хидравличния багер

Величина	Вид на разпределението и числени стойности	Начина на определяне
k_{ψ}	$N(0.925, 0.0083, 0.9, 0.95)$	ЕО, ЛД
$k_{\sigma}^{\text{баг}}$	$N(0.875, 0.025, 0.8, 0.95)$	ЕО, ЛД
k_n	$N(1.006, 0.035, 0.9, 1.112)$	ЕО, ЛД
$q_{\text{баг}}, \text{m}^3$	$C(15.4)$	КД

α , deg	$Tr(84, 90, 105)$	ЕО, НЕ
n_{nl} , 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
$C_{\text{баз}}$, лв/h	$N(375, 8.33, 350, 400)$	А, ЛД, ЕО

k_p	$N(1.205, 0.015, 1.16, 1.25)$	ЕО, ЛД
ρ , kg/m ³	$N(2395, 65, 2200, 2590)$	ЛД

табл.3 Параметри на автосамосвала

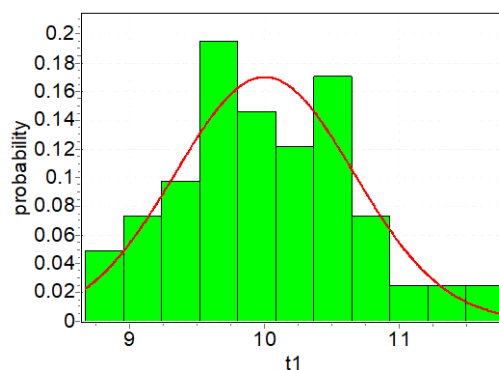
Параметър	Вид на разпределението и числени стойности	Начина на определяне
$k_r^{сам}$	$N(0.875, 0.025, 0.8, 0.95)$	ЕО, ЛД
$m_{сам}$, kg	$C(130000)$	КД
$q_{сам}$, m ³	$C(67)$	КД
$k_{маса}$	$C(1.1)$	КД
$k_{обем}$	$C(1.1)$	КД
L , m	$N(4450, 83.33, 4200, 4700)$	НЕ
V_1 , m/s	$U(7,8)$	А, ЕО
V_2 , m/s	$U(11,14)$	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
$C_{\text{пост}}$, лв/h	$N(190, 3.33, 180, 200)$	А, ЛД, ЕО
$C_{сам}^L$, лв/m	$N(0.0225, 0.0005, 0.021, 0.024)$	А, ЛД, ЕО
P_1 , лв/m ³	$C(7)$	А

табл.4 Параметри на работния материал

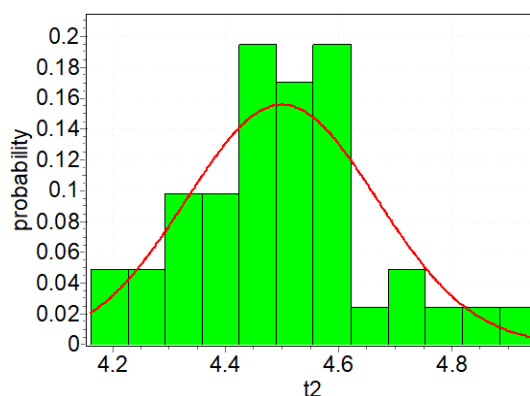
Параметър	Вид на разпределението и числени стойности	Начина на определяне
-----------	--	----------------------

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., а за разстоянието L - 22 бр.

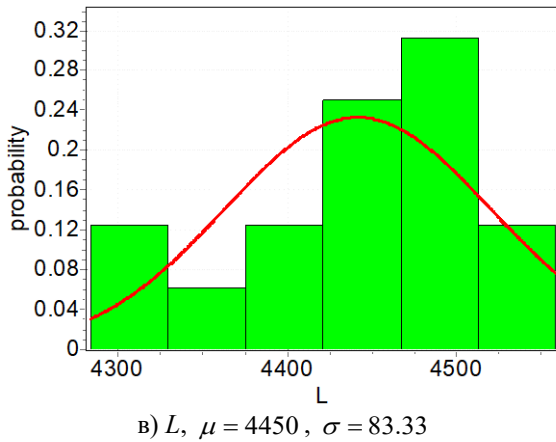
За апроксимация на експериментално получените хистограми чрез нормално разпределение и определяне на числените му характеристики е използван критерия на Пирсън, основан на χ^2 разпределението [12].



а) t_1 , $\mu = 10$, $\sigma = 0.67$



б) t_2 , $\mu = 4.5$, $\sigma = 0.167$



Фиг.2 Экспериментални 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), които впоследствие се трансформират в случайни числа с необходимото вероятностно разпределение.

Нормално разпределени случайни числа p_i се генерират по следната зависимост, основани на централната гранична теорема [13,14]:

$$p_i = \mu_p + \sigma_p \left(\frac{\sum_{k=1}^{12} R_k - 6}{\sqrt{12}} \right), \quad i=1, n \quad (32)$$

където R_k са базови числа.

Случайни числа p_i с триъгълно разпределение се генерират по следната зависимост [15]:

$$p_i = \begin{cases} p_{nec} + \sqrt{R_i (p_{onn} - p_{nec})(p_{вер} - p_{nec})}, \\ \text{ако } 0 < R_i < \frac{p_{onn} - p_{nec}}{p_{вер} - p_{nec}} \\ p_{onn} - \sqrt{(1 - R_i)(p_{onn} - p_{nec})(p_{onn} - p_{вер})}, \\ \text{ако } \frac{p_{onn} - p_{nec}}{p_{вер} - p_{nec}} \leq R_i < 1 \end{cases} \quad (33)$$

Случайни числа с равномерно разпределение в интервала $[a, b]$ се генерират по следната зависимост [12]:

$$p_i = a + R_i (b - a) \quad (34)$$

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 [16], 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 [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23] са получени числените характеристики на вероятностните разпределения на следните експлоатационни характеристики на комплекта:

Характеристики на положението

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

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (35)$$

където n е големината на извадката;

- Медиана Me ;
- Минимум p_{min} и максимум p_{max} на параметъра;

Характеристики на разсейването

- Средно квадратично отклонение s_p :

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n-1}} \quad (36)$$

- Коэффициент на вариация v_p :

$$v_p = \frac{s_p}{\bar{p}} \quad (37)$$

Характеристики на формата

- Коэффициент на асиметрия A_p :

$$A_p = \frac{n\sqrt{n-1}}{n-2} \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^3}{\left(\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \right)^{3/2}} \quad (38)$$

- Ексцес E_p :

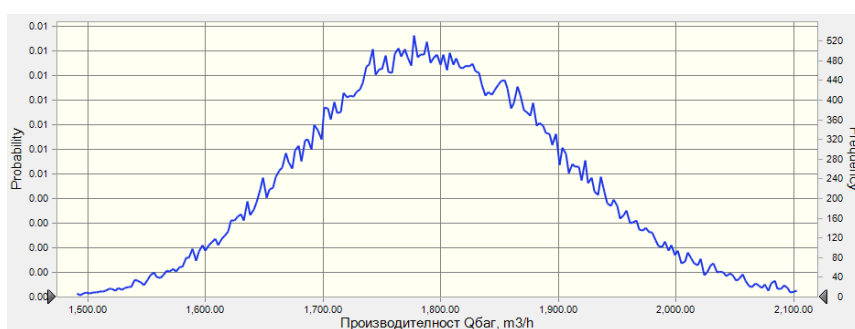
$$E_p = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^4}{\left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \right) \right)^2} - 3 \quad (39)$$

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.

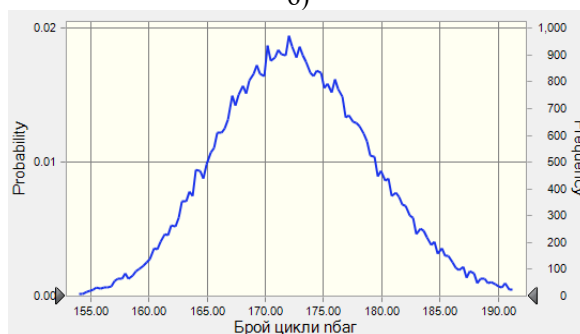
От графичните и числените резултати се вижда, че неопределеността във входните параметри на математическия модел се разпространява и върху изходните характеристики – експлоатационната производителност на багера Q_{bag} има значително разсейване около математическото очакване в границите $1391.8 \div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



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}

табл.5 Статистически характеристики на експлоатационните характеристики на багера

	Математическо очакване	Медиана	Средно квадратично отклонение	Коефициент на вариация	Мин. ÷ макс. стойности
$Q_{\bar{\theta}_{\text{баз}}}$	1796.6 m ³ /h	1703.3 m ³ /h	109.8 m ³ /h	0.061	1391.8 ÷ 2354.2 m ³ /h
$T_{\bar{\theta}_{\text{баз}}}$	20.9 s	20.9 s	0.81 s	0.032	17.65 ÷ 24.9 s
$n_{\bar{\theta}_{\text{баз}}}$	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**

Точковите оценки 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 [17,19,22]:

$$\left[\bar{Q}_{\text{баз}} - z_{1-\alpha/2} \frac{s_{Q_{\text{баз}}}}{\sqrt{n}}, \bar{Q}_{\text{баз}} + z_{1-\alpha/2} \frac{s_{Q_{\text{баз}}}}{\sqrt{n}} \right] \quad (40)$$

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:

$$\left[\bar{Q}_{\text{баз}} - \Delta, \bar{Q}_{\text{баз}} + \Delta \right] \quad (41)$$

където Δ е половината от ширината на доверителния интервал:

$$\Delta = z_{1-\alpha/2} \frac{s_{Q_{\text{баз}}}}{\sqrt{n}} \quad (42)$$

Използвайки (42) и (43), за доверителния интервал за математическото очакване $\bar{Q}_{\text{баз}}$ се получава:

$$\bar{Q}_{\text{баз}} = [1794.4, 1798.7] \quad (43)$$

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 [17]:

$$\left[s_{Q_{\text{баз}}} \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{1-\alpha/2, n-1}}}, s_{Q_{\text{баз}}} \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{\alpha/2, n-1}}} \right] \quad (44)$$

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:

$$s_{Q_{\text{баз}}} = [108.3, 111.34] \quad (45)$$

И двата определени доверителни интервала са достатъчно тесни, което означава, че големината на извадката е достатъчна. 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 [12]:

$$n \geq \left(\frac{z_{1-\alpha/2} s_{Q_{\text{баз}}}}{\Delta} \right)^2 \quad (46)$$

• **Оценка на чувствителността на изходните характеристики**

Важен въпрос при изследване на комплекта машини е анализът на чувствителността, т.е. установяване на степента на влияние на промяната на числените характеристики на входните параметри върху промяната на изходните експлоатационни характеристики на комплекта машини [24]. 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 параметри и това дава възможност:

- Да се синтезират комплекти машини с изходни характеристики, променящи се в предварително зададени граници;
- Да се намали или напълно премахне влиянието на негативно влияещите върху експлоатационните характеристики входни фактори;
- Да се синтезират робастни системи, притежаващи малка чувствителност спрямо промяната на входните фактори;
- Да се установят зоните на промяна на стойностите на входните параметри при които изходните характеристики имат оптимални или субоптимални стойности;
- 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 [16].

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. В този случай, ако входните параметри са независими, то точно се отчита влиянието на вариация входен параметър върху изходната характеристика, в противен случай, при наличие на корелация между входните параметри се получава определено изкривяване на резултатите. На фиг.5 е показана торнадо диаграмата [16] 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 на графиката са нанесени входните параметри, влияещи върху производителността, а по абсцисата са показани диапазоните, в които се варира 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^{6az} , 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.

Като допълнителни показатели на чувствителността се използват и следните два показателя [25], за пресмятането на които се използват данните от торнадо диаграмата:

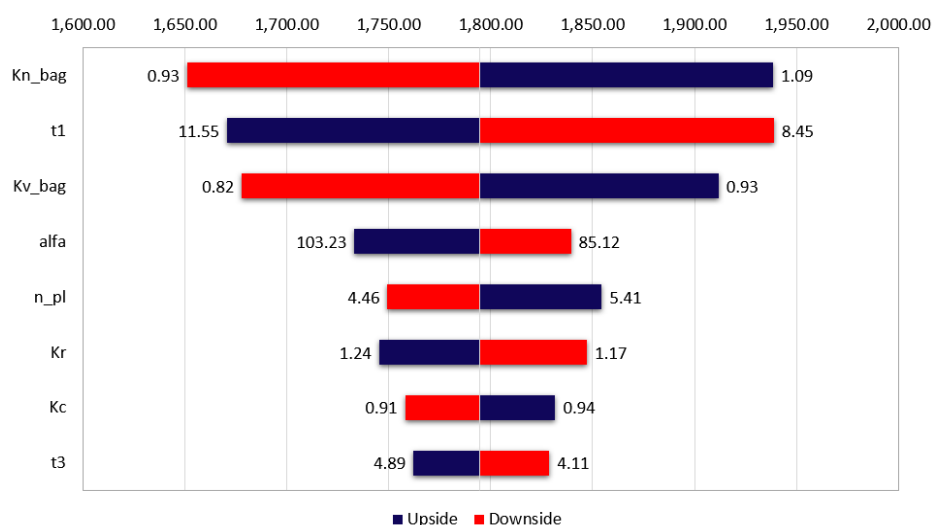
- 1) Абсолютна чувствителност SA , която представя отношение на абсолютното изменение на изходната характеристика $\Delta y = y_{\max} - y_{\min}$ и абсолютното изменение на входната величина $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$:

$$SA = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (47)$$

- 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:

$$SR = \frac{x_{\min}}{y_{\min}} \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (48)$$

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.



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

Както се вижда, вследствие на промяната на първите четири параметъра от таблицата 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^{bag} , 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_{bag}

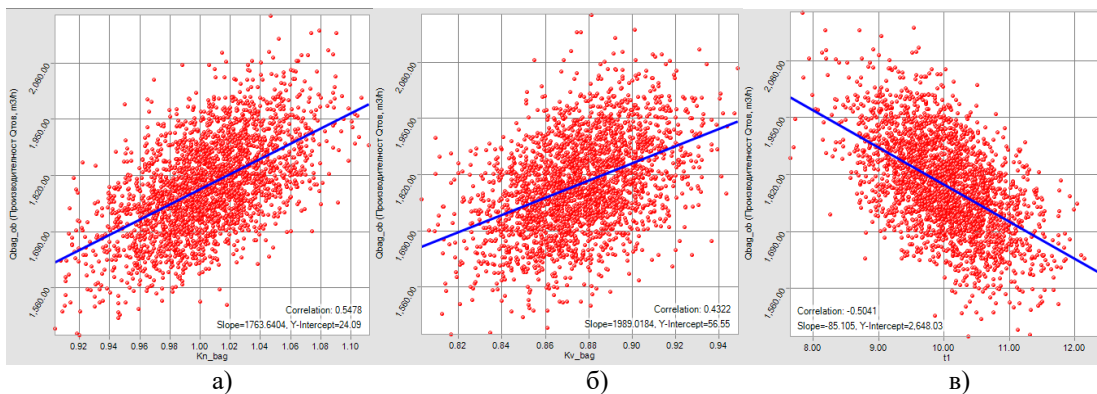
	Производителност				Интервали на входните променливи			Чувствителност	
	Долна граница	Горна граница	Интервал на промяна	Кумул. обяснена вариация	Долна граница	Горна граница	Интервал	SR	SA
k_n	1651.2	1938.6	287.4	32.80%	0.93	1.09	0.16	1.00	1784.2
t_1	1938.9	1670.7	-268.2	60.50%	8.45	11.55	3.10	-0.38	-86.5
k_e^{bag}	1677	1911	233.	80.90%	0.82	0.93	0.11	1.0	2051

	.9	.8	8	%				0	.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	-1589.0
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

Методите за оценка на чувствителността, които се прилагат след симулацията и използват резултатите от симулацията са следните:

1) Построяване на корелационно поле [16], 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_{bag} . Те са построени като за всеки от проведените числени експерименти е изобразена точка с координати (входен

параметър, производителност).



Фиг.6 Корелационни полета: а) $Q_{0az} = f(k_n)$; б) $Q_{0az} = f(k_n^{0.6az})$; в) $Q_{0az} = f(t_1)$

За да се оцени силата на връзката между входната и изходната променливи се използва коефициента на линейна корелация на Пирсън [22,26] при който се предполага, че двете променливи са линейно свързани:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (49)$$

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 $Q_{0az} = f(k_n)$ е равен на 0.548, а за зависимостта $Q_{0az} = f(t_1)$ е -0.504, т.е. съгласно всеобщо приетата терминология тези две корелационни зависимости са “значителни”, като първата е положителна, а втората отрицателна. Корелационната зависимост $Q_{0az} = f(k_n^{0.6az})$ 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 [21,27]:

$$[L, U] = \left[\frac{e^{2z_1} - 1}{e^{2z_1} + 1}, \frac{e^{2z_2} - 1}{e^{2z_2} + 1} \right] \quad (50)$$

където: $Z_1 = \mu - \frac{\bar{z}_{1-\alpha/2}}{\sqrt{n-3}}$, $Z_2 = \mu + \frac{\bar{z}_{1-\alpha/2}}{\sqrt{n-3}}$,
 $\mu = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r_{xy}}{1-r_{xy}}$.

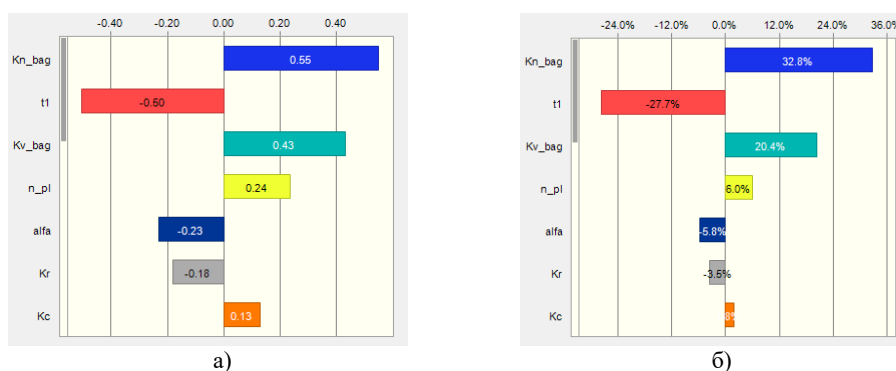
2) Връзката между входните и изходните променливи се онагледява и чрез построяване на линията на линейна регресия върху диаграмата на разсейването, както е показано на фиг.6. Върху всяка от графиките са изписани стойностите на коефициентите в регресионното уравнение.

3) Чрез пресмятане на коефициента на рангова корелация на Спирмън [21,22,28], който се използва за оценяване на силата и знака на връзката и между нелинейни монотонни зависимости:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (51)$$

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.

Чрез декомпозиция на дисперсията на изходната характеристика (обяснена вариация) [16]. 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.



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

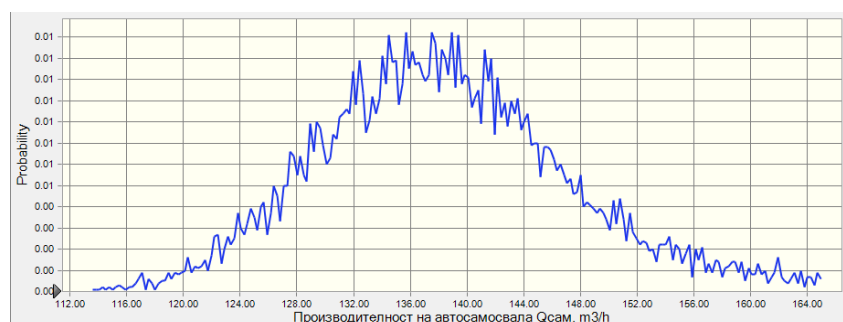
Числената стойност на тази характеристика представлява коефициента на детерминация в проценти, като полученото число показва процента на промени в изходната величина, причинени от измененията на входната променлива. На фиг.7 б) е показана обяснената вариация за различните входни фактори. Двете графики потвърждават резултатите за степента на влияние на входните параметри върху производителността на багера, получени чрез торнадо диаграмата на фиг.5.

4.2 Статистически характеристики на автосамосвала

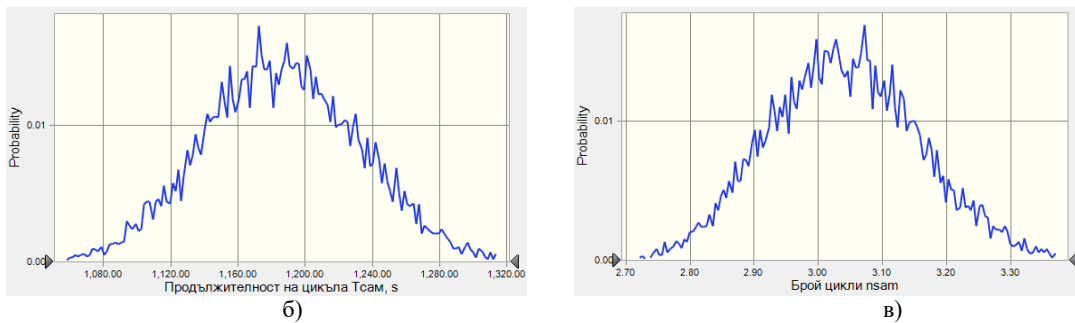
На фиг.8 са показани полигоните на разпределение на производителността на автосамосвала $Q_{сам}$, на продължителността на работния цикъл на автосамосвала $T_{сам}$ и на броя цикли за единица време $n_{сам}$, а в табл.7 - техните статистически характеристики.

табл.7 Статистически характеристики на автосамосвала

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



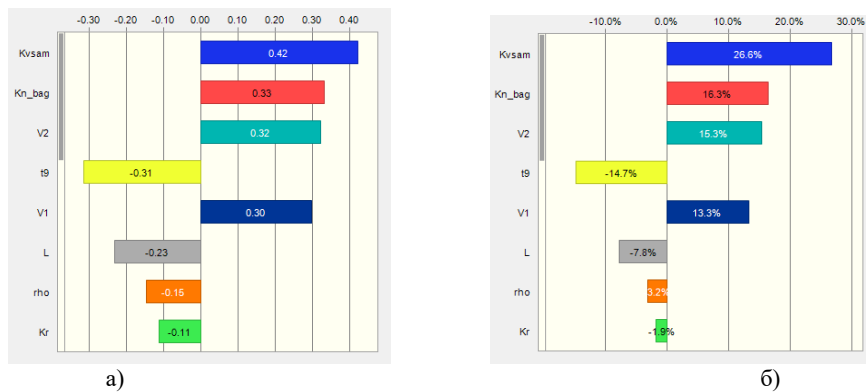
а)



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 $n_{сам}$

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. 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.



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

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

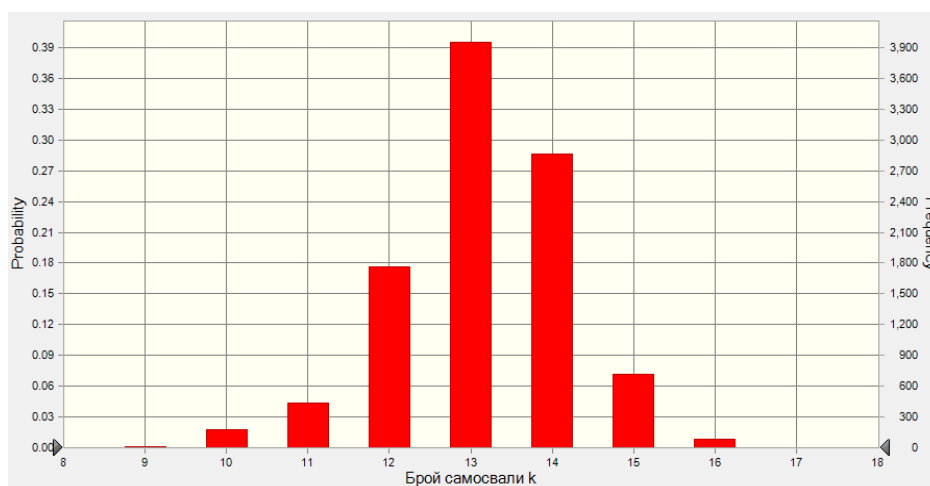
табл. 8 са показани вероятностите за различните стойности на k . Както се вижда, в около 40% от случаите са необходими 13 автосамосвала, като това е и стойността, определена по детерминирана методика. За всички реализирани комбинации на стойностите на входните параметри необходимия брой автосамосвали 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

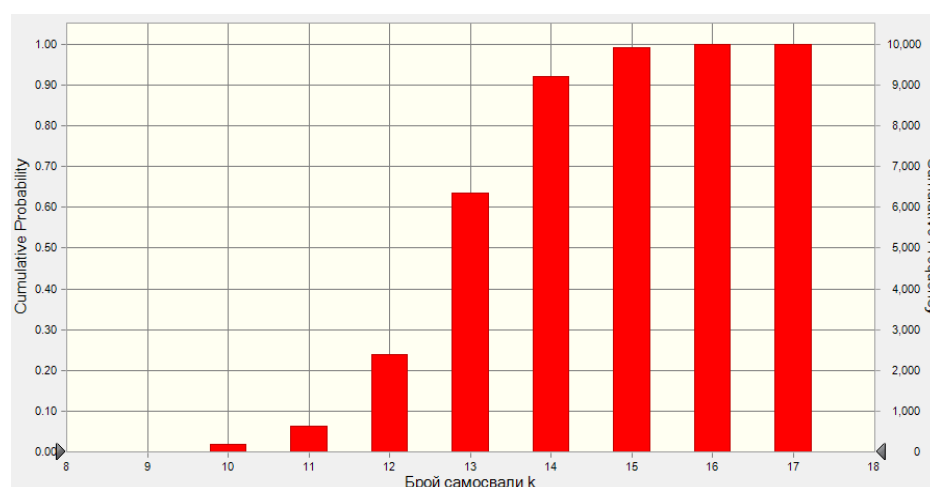
k	9	10	11	12	13	14	15	16

$H_i, \%$	0.12	1.77	4.32	17.65	39.52	28.6	7.19	0.78
-----------	------	------	------	-------	-------	------	------	------

На фиг.12 са показани характеристиките на чувствителността на броя автосамосвали k , който зависи най-силно от следните фактори (в намаляваща степен) - $t_1, k_e^{cam}, k_e^{6az}, t_9, V_2, v_l, L, \alpha, n_{пл}$.



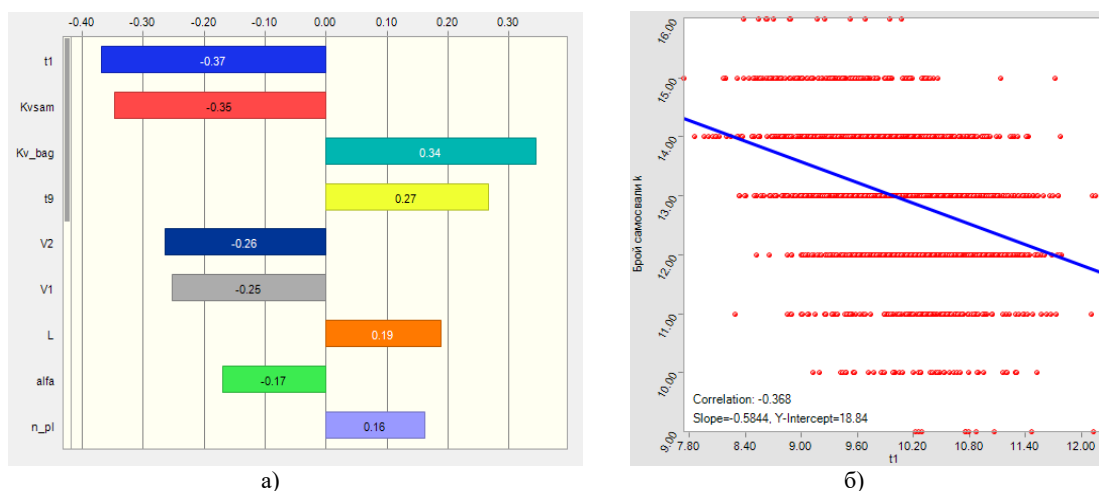
фиг.10 Диаграма на относителните честоти на броя автосамосвали k



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

табл.9 Статистически характеристики на разпределението на броя самосвали k

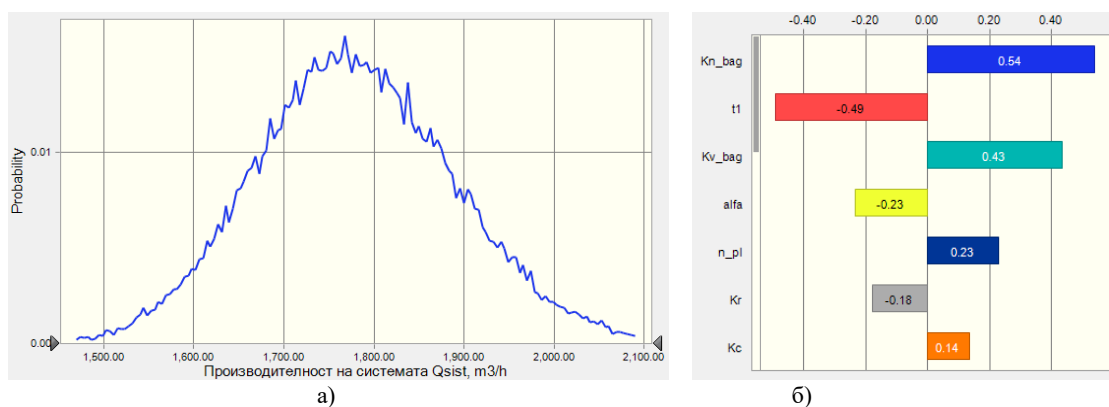
	Мат. очакване	Медиана	Мода	Средно кв. откл.	Коеф. на вариация	Мин. - макс. стойности
k	13.13	13	13	1.08	0.082	9 ÷ 16

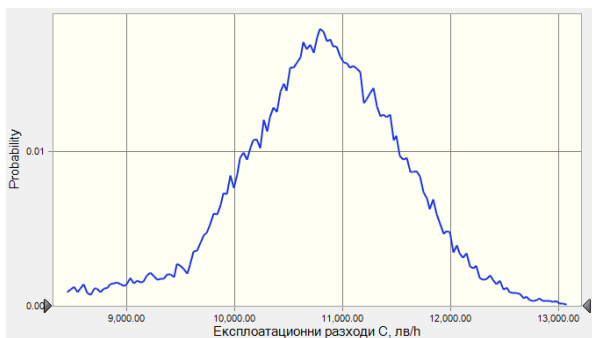


фиг.12 Характеристики на чувствителността на броя автосамосвали k : а) коефициенти на рангова корелация; б) корелационно поле, коефициент на линейна корелация и регресионна линия на t_1

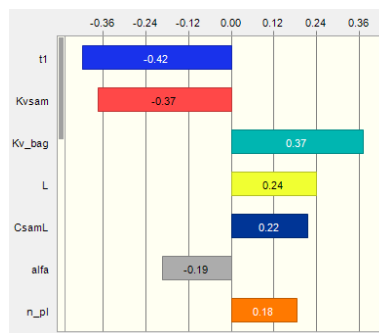
Както се вижда от фиг.12 а), с най-висок коефициент на корелация са коефициентите на използване по време и на автосамосвала и на багера, също така и на времето t_1 , като и в трите случая връзката е “умерена”. От останалите стойности на коефициентите на корелация се вижда, че няма силно доминиращи фактори, 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 автосамосвали. Причина за това е, че увеличаването на продължителността за напълване на кофата намалява производителността на багера и от (14) следва, че k също намалява. На фиг.13 са показани полигоните на разпределенията и корелационните коефициенти на останалите експлоатационни характеристики на системата, а в табл.10 - статистическите им характеристики.

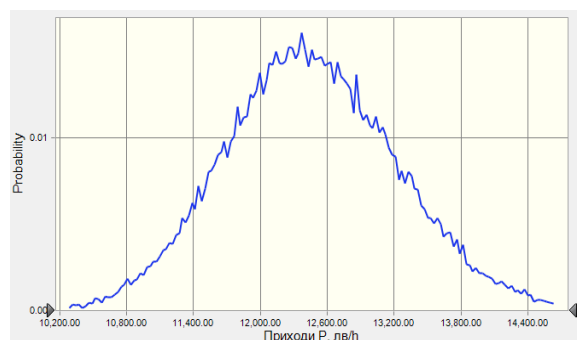




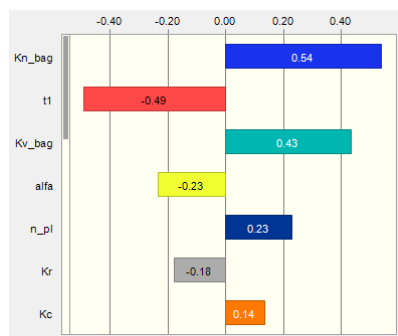
в)



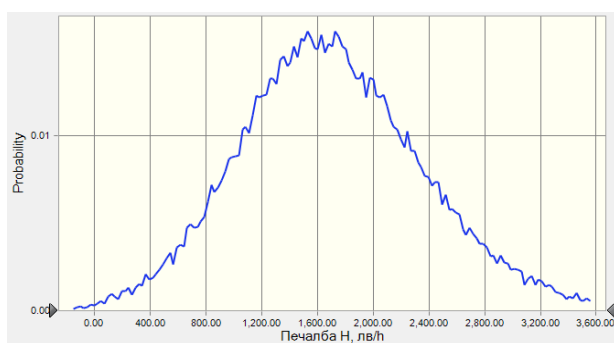
г)



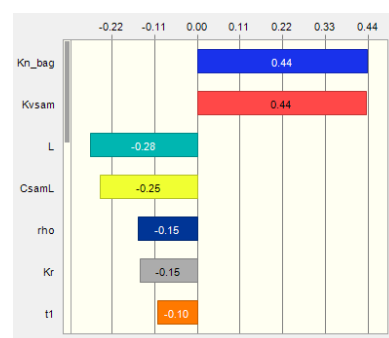
д)



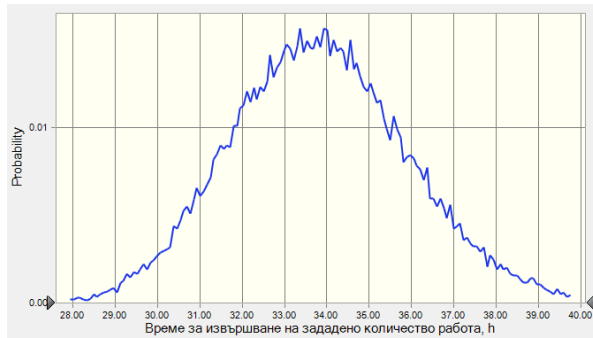
е)



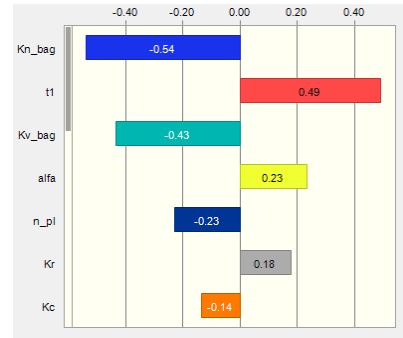
ж)



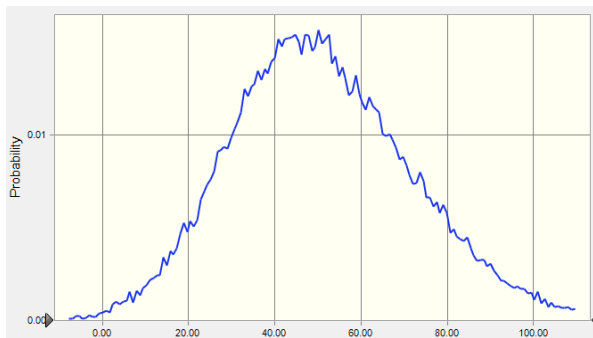
з)



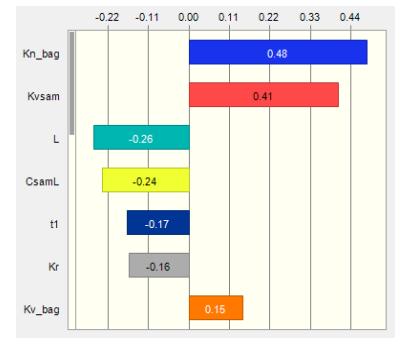
и)



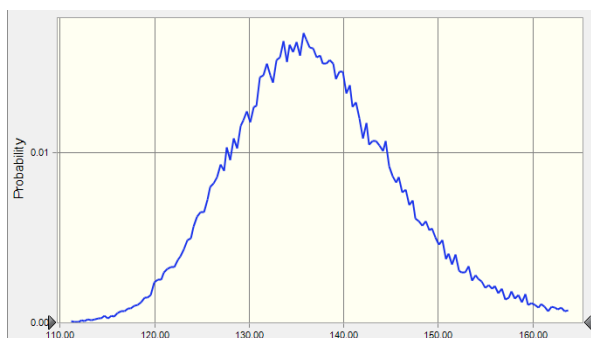
к)



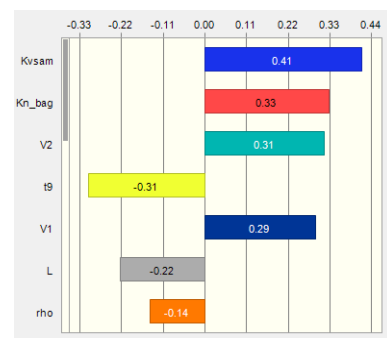
л)



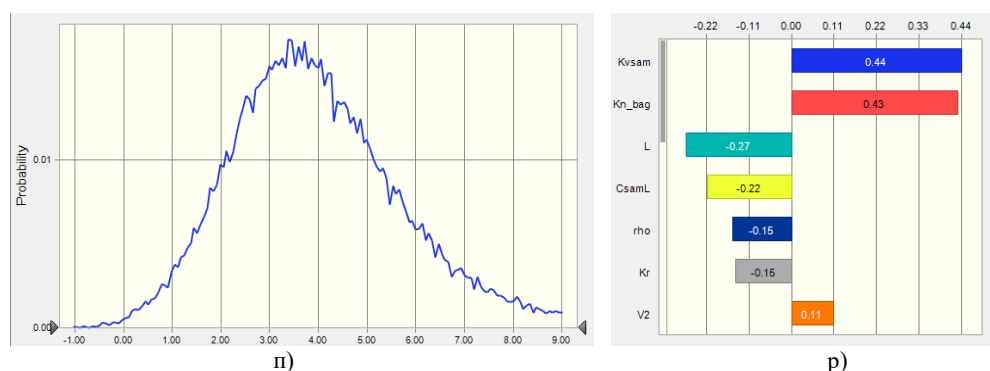
м)



н)



о)



фиг.13 Полигони на разпределението и чувствителност на експлоатационните характеристики на системата: а) и б) производителност на системата $Q_{сист}$; 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

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

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 $n_{пл}$;
- Приходите P зависят основно то параметрите, определящи производителността на багера - $k_n, t_1, k_6^{баз}, \alpha, n_{пл}$;
- Печалбата H зависи от следните параметри

намаляващ ред) - $k_n, t_1, k_6^{баз}, \alpha, n_{пл}$;

- Експлоатационните разходи C зависят както от параметрите на багера, така и от изминатото разстояние и коефициента на напълване на самосвала - $t_1, k_6^{сам}, k_6^{баз}, L, C_{сам}^L, \alpha, -k_n, k_6^{сам}, L, C_{сам}^L, \rho, k_p$;
- Времето за извършване на зададено количество работа T зависи най-силно от параметрите, определящи производителността на багера - $k_n, t_1, k_6^{баз}, \alpha, n_{пл}$;

- Критерият O зависи най-силно от следните параметри - $k_n, k_g^{cam}, L, C_{cam}^L, t_1, k_p$;

- Критерият M зависи най-силно от параметрите, определящи производителността на самосвала - $k_g^{cam}, k_n, V_2, t_9, V_1, L, \rho$;

- Критерият N зависи най-силно от параметрите, определящи производителността на самосвала - $k_g^{cam}, k_n, L, C_{cam}^L, \rho, k_p, V_2$;

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 в настоящата статия изследвания позволяват да се направят следните изводи:

- Разработените детерминиран и вероятностно-статистически модели на комплект машини „минен багер - автосамосвали“ с определена степен на точност възпроизвеждат поведението на реалната система. Методът Монте Карло позволява да се отчете неопределеността на входните параметри, като същевременно дава възможност за оценка на точността на получените резултати ;

- Дефинираните въз основа на техническите, финансовите и времевите характеристики на комплекта машини абсолютни и относителни критерии дават възможност за извършване на сравнителен анализ на алтернативни варианти и заключения на вероятностна основа, а също така да служат и като критерий за оптимизация;

- 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;

- Чрез оценка на чувствителността на изходните характеристики е установено кои входни параметри влияят най-силно върху експлоатационните характеристики на багера, автосамосвалите и системата като цяло. Този анализ дава възможност да се отграничат параметрите с най-силно или най-слабо влияние, като по-този начин се установяват най-ефективните начини за подобряване на характеристиките на системата;

- Разработената методика е подходяща и за оценка на характеристиките и на други видове комплекти строителни и минни машини.

Литература

1. Данчев Д., Христов Д. Основи на пътни и строителни машини. Техника, София, 1990.2.
2. Кътов П., Беновски А., Стоянова М., Габровски К., Василев К. Ръководство за упражнения по строителни машини. София, Техника, 1986.
3. Христов Д. Земекопни и товарачни машини. Техника, София, 1979.
4. Денчев М. Механизация и автоматизация на строителството. Техника, София, 1986.
5. 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, август 2018 г.
6. Кудрявцев Е. Комплексная механизация строительства. Москва, АСВ, 2013.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций. Москва, Советское радио, 1972.
8. Kroese D., Taimre T., Botev Z. Handbook of Monte Carlo methods. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2011.
9. Георгиев Н. Основи на теорията на надеждността. Издателство на ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 2009
10. Pukelsheim F. The Three Sigma Rule. The American Statistician 48, no. 2 (1994): 88-91. Accessed May 22, 2021. doi:10.2307/2684253.
11. Forbes C., Evans M., Hastings N., Peacock, B. Statistical Distributions, 4rd ed. John Wiley&Sons, New York, 2011.
12. Banks J., Carson J., Neslon B., Nicol D. Discrete-event system simulation. Third edition. Prentice Hall, NJ, 2001.
13. Boiroju N., Reddy K. Generation of standard normal random numbers, May 2012., Interstat journal, 2012.

14. **Артемкин Д., Баринов В., Овечкин Г., Степнов И.** Основы компьютерного моделирования систем. Лаборатория базовых знаний, Москва, 2004
15. **Albright B., Fox W.** Mathematical modeling with Excel. Second Edition. CRC Press, 2020.
16. **Crystal Ball User's Guide**, 11.1.2.4.850, 2017.
17. **Haldar A., Mahadevan S.** Probability, Reliability, and Statistical methods in Engineering Design. John Wiley & Sons. New York, 2000
18. **Bruce P., Bruce A.** Practical Statistics for Data Scientists. 50 Essential Concepts. O'Reilly Media, Inc., 2017.
19. **Montgomery D., Runger G.** Applied Statistics and Probability for Engineers. Wiley, 2018.
20. **Brown S.** Measures of Shape: Skewness and Kurtosis. <https://brownmath.com/stat/shape.htm>. (посетен на 23.04.2020).
21. **Ламбова М., Русев Ч., Косева Д., Стоянова В.** Въведение в статистиката. Стено, Варна, 2012.
22. **Воденска М., Колев Н.** Статистически методи в географията на туризма. Университетско издателство "Св. Климент Охридски", София, 1995
23. **Joanes D., Gill C.** Comparing Measures of Sample Skewness and Kurtosis. The Statistician 47(1): 183–189, 1998.
24. **Митрев П.** 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.
25. **Salteli A., Tarantola S., Campolongo F., Ratto M.** Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models, John Wiley & Sons, 2004
26. **Daly F., Hand D., Jones M., Lunn A., McConway K.** Elements of statistics. Pearson Education, 1995.
27. **Bonett D., Wright T.** Sample size requirements for estimating Pearson, Kendall and Spearman correlations. Psychometrika, vol. 65, no. 1, 23-28, March 2000
28. **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 задоволителна точност на съвпадение на резултатите.

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

1. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ НА МОДЕЛА

Чрез вероятностно-статистическото моделиране на комплекта минни машини в [1] бе установено, че експлоатационните характеристики на комплекта минни машини имат статистически характер. Значителното разсейване на експлоатационните характеристики силно затруднява извършването на еднозначни заключения с висока степен на достоверност. Това важи и за оптимизацията на комплекта машини, тъй като на различните възможни случаи, ще отговорят различни оптимални по определен критерий комбинации на входните параметри. Задачата за оптимизация допълнително се усложнява и от факта, че чрез компромисно решение следва да се удовлетворят повече от един критерий.

Дефинираните в [1] абсолютни и относителни показатели, характеризиращи експлоатационните възможности на комплекта машини, могат да се използват за сравнителен анализ на алтернативни варианти на комплекти машини с последващ избор на оптимален брой автосамосвали по определен частен или глобален критерий. Използването на функции на граничното състояние ще позволи да се отчете неопределеността на експлоатационните характеристики при сравнение на алтернативни варианти на вероятностна основа.

Основна задача тук е и верификацията на разработения вероятностно-статистически модел на комплекта машини. Поради сложността при аналитичното решаване на тази задача е използвана симулация на системата посредством симулационния език GPSS.

2 ОЦЕНКА НА АЛТЕРНАТИВНИ ВАРИАНИ ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН БРОЙ АВТОСАМОСВАЛИ

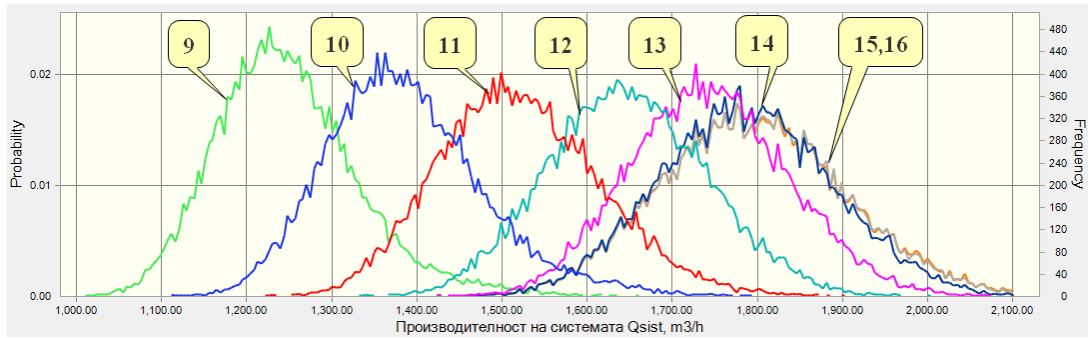
2.1 Статистически характеристики на комплекта машини при различен брой автосамосвали

Показаните в [1] хистограми на „идеалните“ експлоатационни характеристики на комплекта (фиг.13) са построени за брой автосамосвали k в комплекта, който е променлив съгласно хистограмата от [1] (фиг.10). В комплектите машини, експлоатирани в реални условия, броят k на автосамосвалите е постоянен, което ще доведе до определено отклонение на реалните характеристики от „идеалните“. В този случай възниква въпроса за определяне и изследване на експлоатационните характеристики на комплекти машини, съдържащи точно определен постоянен брой автосамосвали и последващ избор на оптимален по определен критерий брой автосамосвали.

На фиг.1 са представени получените чрез симулация експлоатационни характеристики на

системата $Q_{сист}$ за комплекти, съдържащи от 9 до 16 автосамосвала. В табл.1 са показани статистическите характеристики на различните варианти –

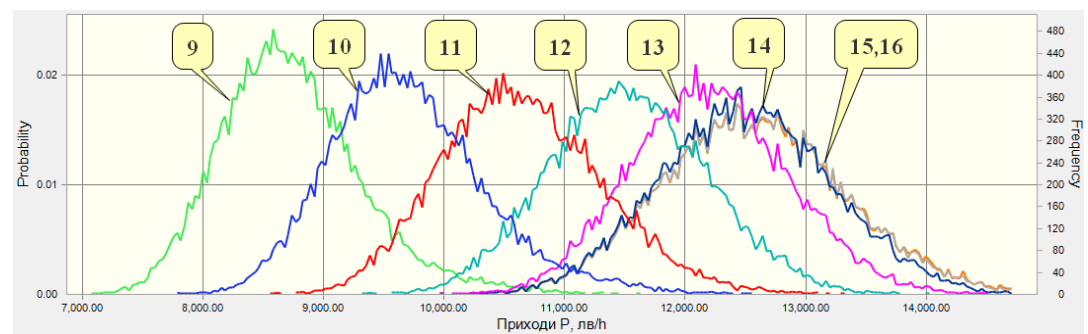
математическото очакване \bar{p} и средно квадратичното отклонение s_p .



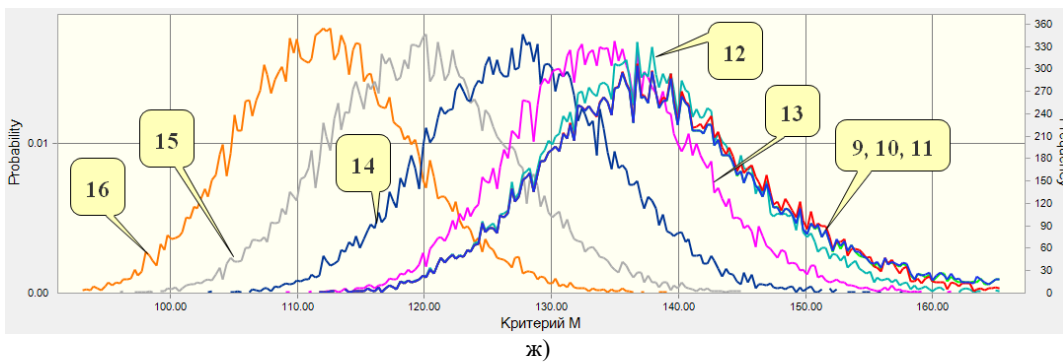
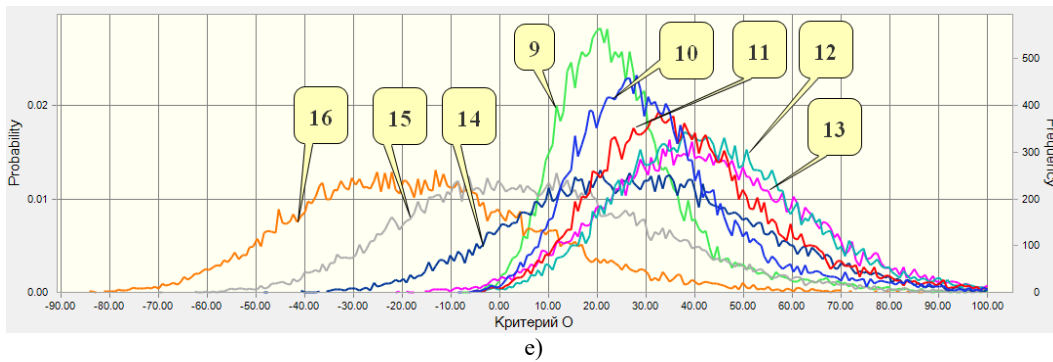
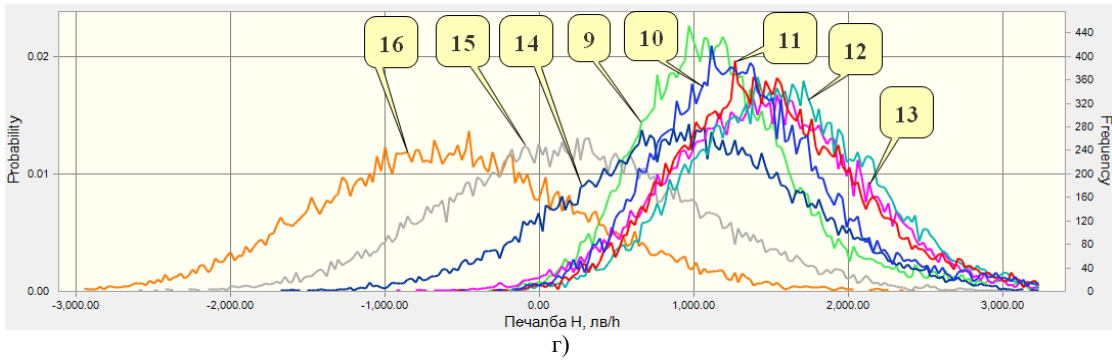
а)

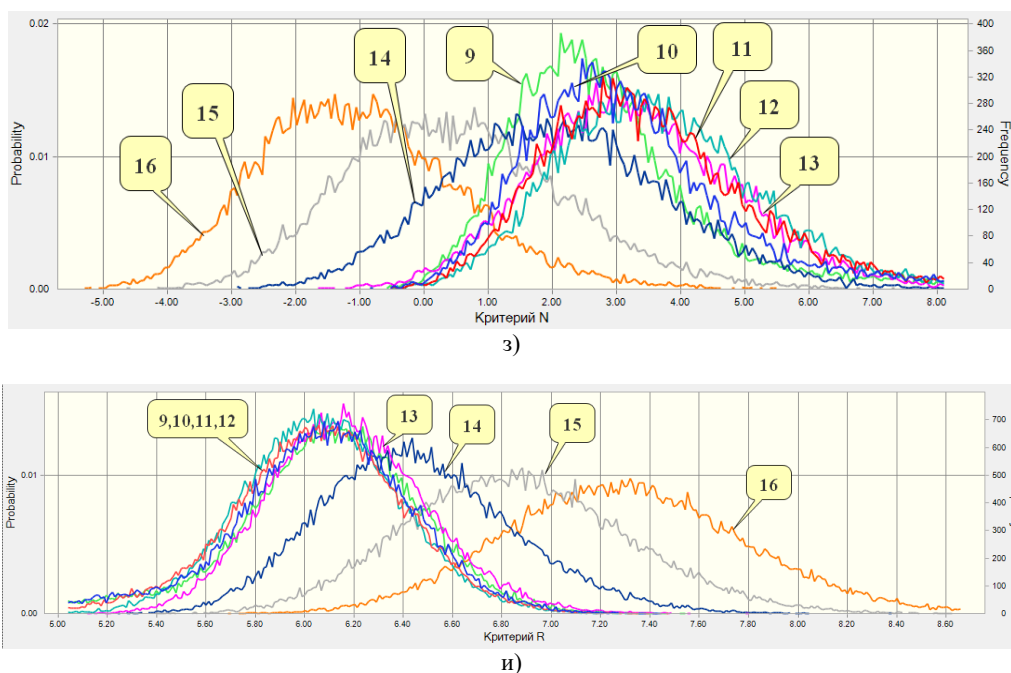


б)



в)





фиг.1 Эксплоатационни характеристики на системата при брой автосамосвали ($k=9\div 16$): а) производителност на системата $Q_{сист}$; б) эксплуатационни разходи C ; в) приходи P ; г) печалба H ; д) време T ; е) критерий O ; ж) критерий M ; з) критерий N ; и) критерий R

табл.1 Средно аритметично и средно квадратично отклонение на эксплуатационните характеристики при различен брой автосамосвали k

k	$Q_{сист}$		C		P		H	
	\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

k	T		O		M		N		R	
	\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 в табл.1 данни са построени графики (фиг.2 и фиг.3), изобразяващи експлоатационните характеристики 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 “номинална” (построена чрез математическото очакване \bar{p}). Както се вижда, интервалите на вариация на експлоатационните характеристики при различен брой автосамосвали k са с различна ширина, като особено голяма е тя при относителните критерии и това затруднява избора на брой автосамосвали, оптимален по тези критерии.

Както се вижда от фиг.2 а), най-висока е производителността на системата $Q_{сист}$ 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 в този случай 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 и стойностите $k=11$ и $k=13$. Обяснение за наличието на максимум е, че при

увеличаване на броя автосамосвали в комплекта, експлоатационните разходи C нарастват пропорционално на k , докато приходите P нарастват само до броя k , до който се увеличава производителността на комплекта.

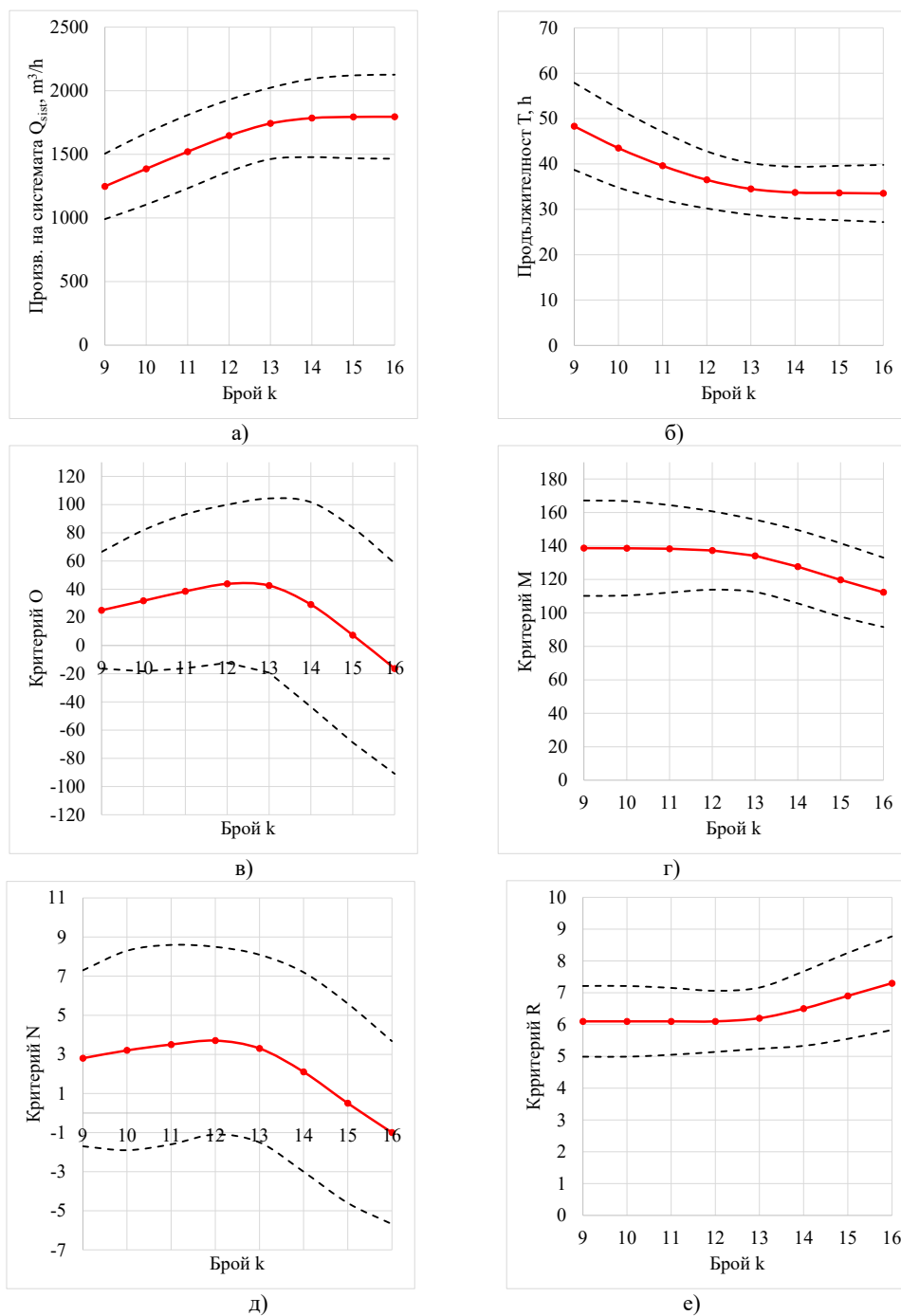
Подобен ясно изразен максимум имат и графиките на критериите O и N , но при тях интервалите на вариация са значително по-големи. От фиг.2 б) се вижда, че времето за извършване на зададеното количество работа T има най-ниски стойности при $14, 15$ и 16 автосамосвала, а интервала на вариация намалява с 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 Избор на оптимален брой автосамосвали с отчитане на вероятностния характер на експлоатационните характеристики

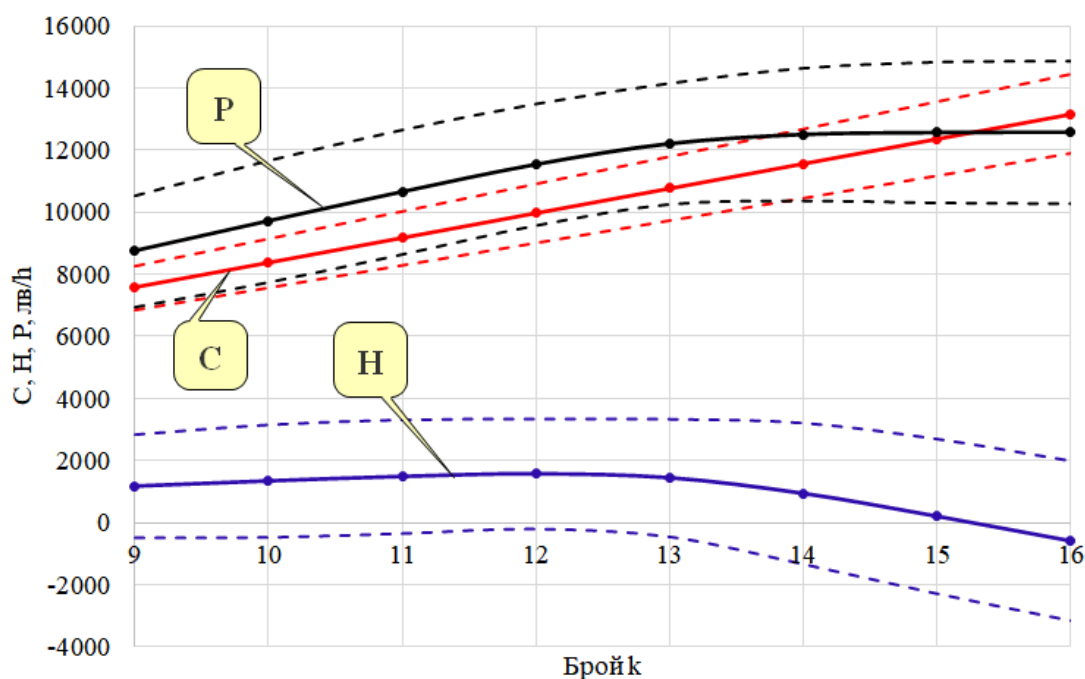
• Избор на оптимален брой автосамосвали чрез частни критерии

Чрез използване на стойностите на математическите очаквания на експлоатационните характеристики, 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 (15), (16), (20) ÷ (26) от [1]. За целта, представените на фиг.2 и фиг.3 графики 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,

степената на приближение е много висока.



Фиг.2 Эксплоатационни характеристики на комплекта като функция на броя автосамосвали k



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

табл.2 Коэффициенти 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^* трябва да има целочислен характер.

Като пример, оптимизационната задача е решена като за главен критерий се приема критерия O (максимална печалба за минимално време), чийто максимум се търси:

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

при следните ограничителни условия:

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

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 техноикономически показатели на комплекта, които трябва да се постигнат.

Решаването на нелинейната оптимизационна задача (1) дава следните оптимални стойности: $k^*=12$, $O^*=45.58$, $Q_{суст}^*=1646$, $T^*=36.7$, $H^*=1585.2$, $M^*=136.8$, $N^*=3.1$, $R^*=6.1$, $C^*=9964.8$, $P^*=11521.2$ 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 на стойностите около математическото очакване 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-рационален е варианта, при който сравняването на експлоатационните показатели при различен брой k се

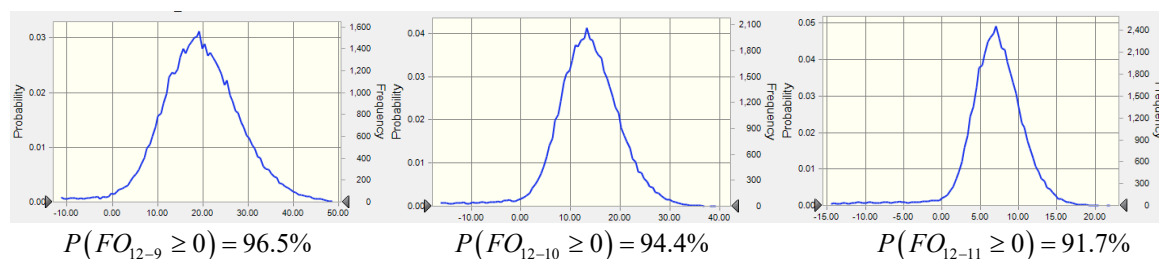
извършва чрез техните вероятностни разпределения. Това ще даде допълнителна информация за потвърждаване или отхвърляне на стойността на избора чрез математическото очакване оптимален брой k^* . За целта се дефинират функции на граничното състояние, включващи критериите, по които се извършва оптимизацията.

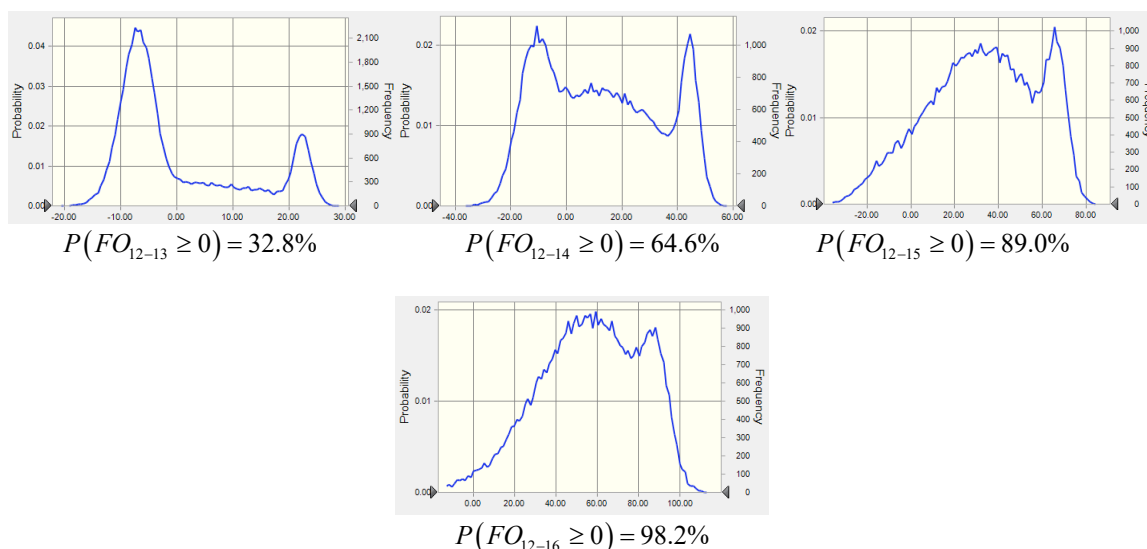
За да се извърши сравнение между оптималния вариант с $k^*=12$ автосамосвала и останалите възможни варианти (т.е. от 9 до 16 автосамосвала) по критерий O при отчитане на неопределеността се дефинират следните функции на състоянието FO_{12-j} които се пресмятат като разлики между стойността на критерия O_{12} при оптималния вариант и стойността на критерия O_j при вариант j :

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

Вероятностния характер на функцията на състоянието дава възможност да се определи вероятността $P(FO_{12-j} \geq 0)$ функцията на състоянието да е положителна, т.е. стойността на критерия O_{12} да бъде по-голяма от стойността на критерия O_j . За целта се пресмята отношението на броя на случаите, за които функцията на състоянието е по-голяма от нула и общия брой на случаите, т.е. използва се (6). На фиг.4 са показани полигоните на разпределение на функциите на състоянието (3) и пресметнатите вероятности $P(FO_{12-j} \geq 0)$.

От получените числени стойности за вероятностите се вижда, че във всеки от случаите има вероятност критерия O_{12} да бъде по-малък от критерия O_j за останалите варианти. Най-малка е вероятността критерия O_{12} да бъде по-голям от критерия O_{13} , т.е. $P(FO_{12-13} \geq 0) = 32.8\%$. Това означава, че само в 32.8% от случаите вариантът с $k^*=12$ е по-добър от случая с $k^*=13$ съгласно критерий O .





фиг.4 Полигони на разпределение на функциите на граничното състояние 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 броя) 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 $P(FO_{11-j} \geq 0)$ и $P(FO_{13-j} \geq 0)$.

Един друг възможен вариант за сравнение между алтернативните близки варианти (11, 12 и 13 бр.) е сравнението по средноаритметичните стойности на определените вероятности. Например, средно аритметичната стойност на вероятностите за $k^*=12$ е пресметната като средноаритметично на стойностите на всички вероятности от фиг.6.4. 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: $\bar{P}(FO_{11-j} \geq 0) = 66.2\%$,

$$\bar{P}(FO_{12-j} \geq 0) = 81.0\%, \quad \bar{P}(FO_{13-j} \geq 0) = 83.2\% .$$

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, т.е. 12 бр. Чрез подобно сравнение посредством функции на състоянието могат да бъдат изследвани и останалите критерии.

Определената точкови оценки на вероятността $P(FO_{12-j} \geq 0)$ е с нормално разпределение и се пресмята по следната зависимост [3,4]:

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

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 е [4,5]:

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

където е използвано съкращението P вместо

$P(FQ_{12-j} \geq 0)$, 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.

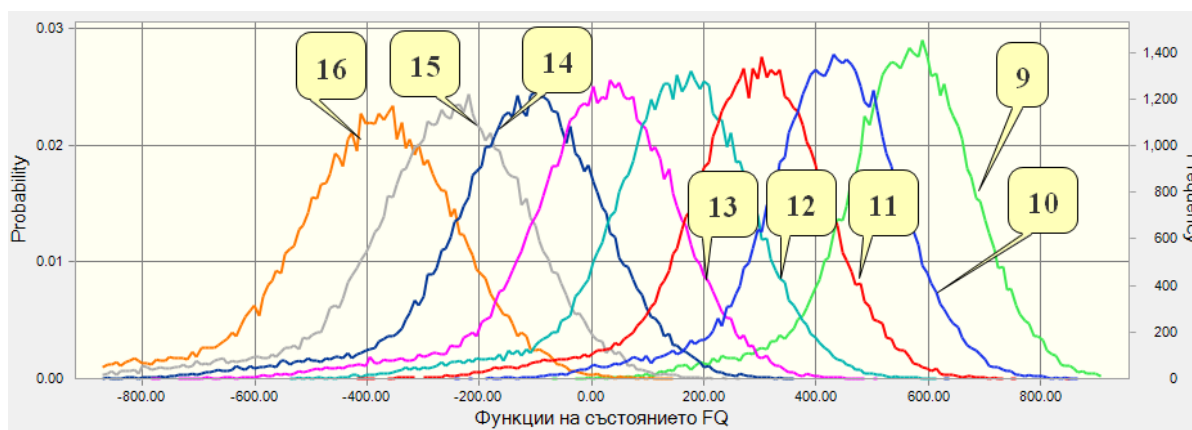
Определените производителности на багера $Q_{баг}$ и на системата от автосамосвали $Q_{сам}$ се сравняват чрез следните функции на състоянието $FQ_k, k=9\div 16$:

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

При отрицателна стойност на функцията, производителността на системата от автосамосвали е по-висока от тази на багера, поради което ще е наличие 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 производителността 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.

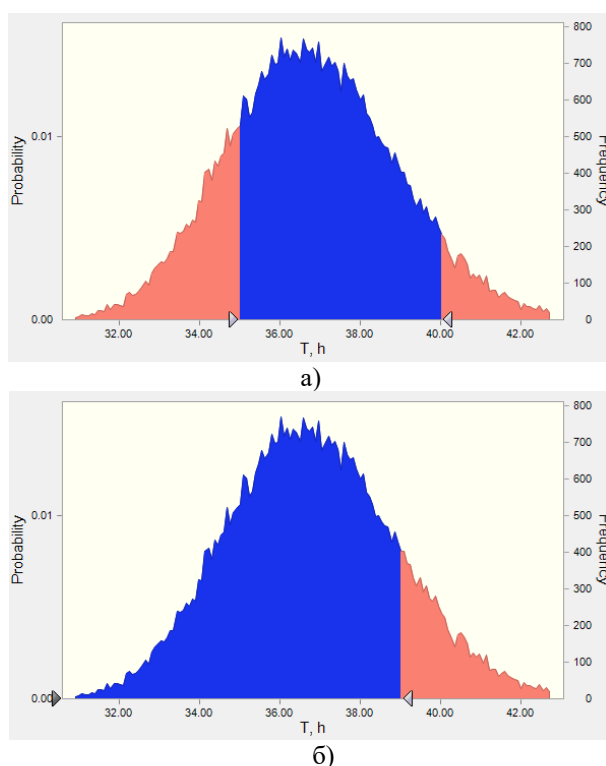
За определения оптимален брой автосамосвали може да се направи вероятностна оценка и на останалите експлоатационни показатели. Например, с голямо значение за практиката е извършването на вероятностна оценка на времето за извършване на зададено количество работа T . На фиг.6 а) е показана хистограмата 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 се намира в този интервал е $P(35 \leq T \leq 40) = 73.1\%$. Аналогично, от фиг.6.б) се установява, че $P(T \leq 39) = 84.8\%$



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



фиг.6 Извършване на вероятностна оценка на времето T

• **Избор на оптимален брой 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 са обединени в един глобален критерий F [2] в който важността на всеки от критериите се отчита чрез тегловни коефициенти w_i . Частните критерии се нормират по математическото им очакване и тогава глобалния критерий, чийто максимум се търси, придобива вида:

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

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

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

като са използвани следните означения: 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 ; $\sum_{i=1}^9 w_i = 1$, $w_i \geq 0$. В сумата (11) със знак „+“ участват частните критерии, които трябва да се максимизират, а със знак „-“ – частните критерии които следва да се минимизират [6]. В настоящата задача се търси: $p_1=C \rightarrow \min$, $p_2=H \rightarrow \max$, $p_3=M \rightarrow \max$, $p_4=N \rightarrow \max$, $p_5=O \rightarrow \max$, $p_6=P \rightarrow \max$, $p_7=Q_{\text{сист}} \rightarrow \max$, $p_8=R \rightarrow \min$, $p_9=T \rightarrow \min$)

За да се извърши оптимален избор съгласно глобалния критерий (6.11) следва да се определят неговите математическо очакване и дисперсия. За целта, произведенията $w_i F_i$ се представят по следния начин:

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

където стойностите на константите са: $s_i = \frac{w_i}{\Delta p_i}$,

$$d_i = \frac{w_i p_i^{\min}}{\Delta p_i} \text{ и } \Delta p_i = p_i^{\max} - p_i^{\min}.$$

Тъй като p_i е случайна променлива, то изразът

(13) представлява нейна линейна трансформация. Тогава, при нормално разпределение на p_i математическото очакване и средно квадратичното отклонение на $w_i F_i$ съответно са:

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

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

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

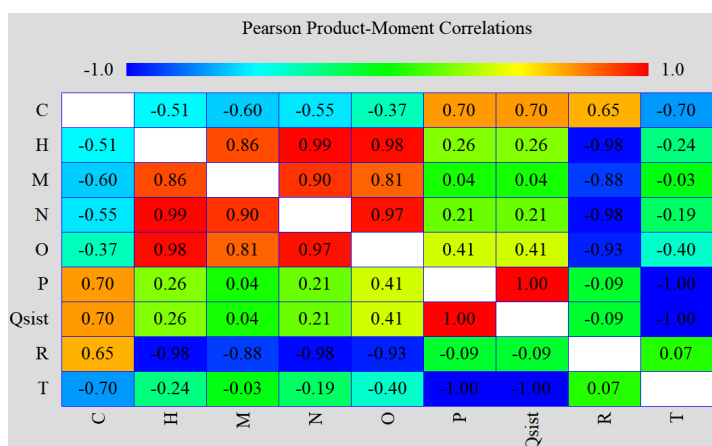
Математическото очакване на глобалния критерий F има вида [4,7]:

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

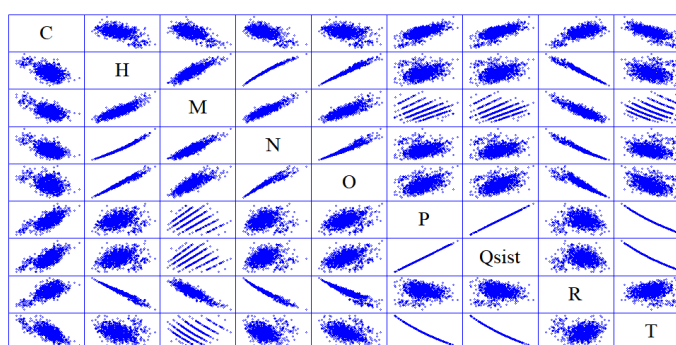
а дисперсията му в случай на корелирани променливи е:

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

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

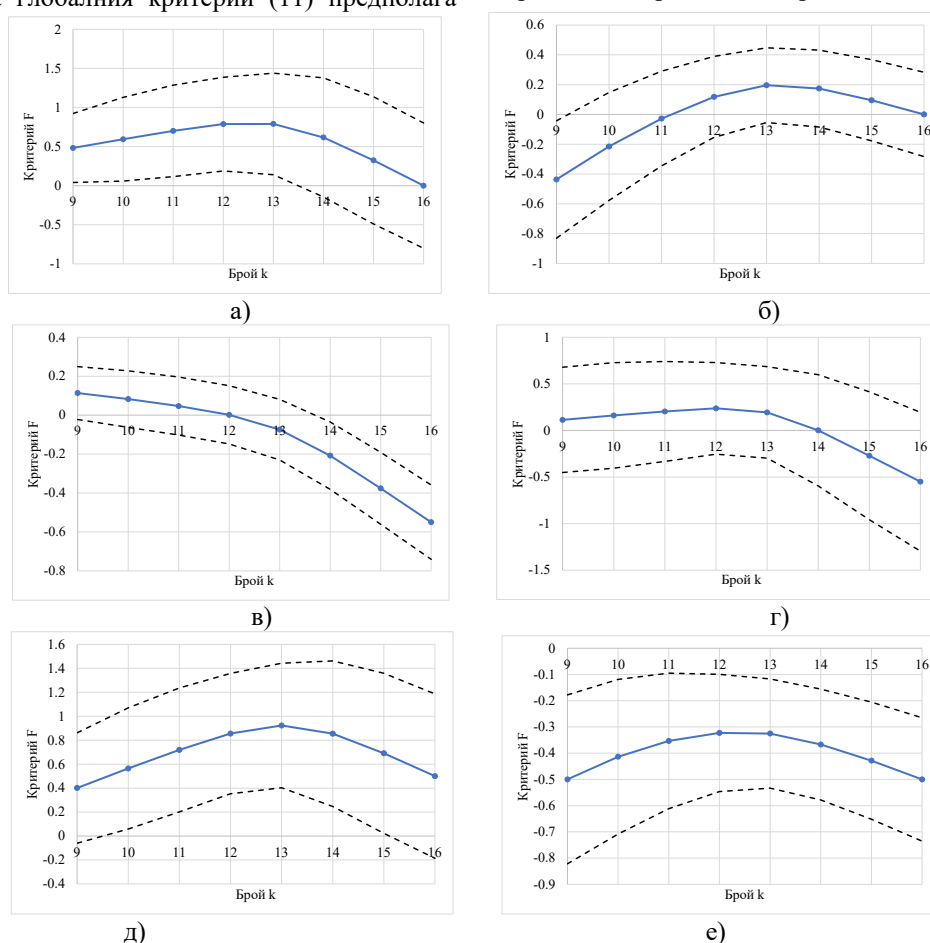
Като пример, чрез използване на получените математически очаквания и дисперсии на експлоатационните показатели (табл.1) на фиг.8 са показани математическото очакване и долната и

горната граници на критерия F при различни съотношения на тегловните коефициенти: а) критерият O е с най-голяма тежест $w_5 = 0.6$ и равни

тегла на останалите критерии; б) критерият T е с най-голяма тежест $w_9 = 0.6$ и равни тежести на останалите критерии; в) критерият C е с най-голяма тежест $w_1 = 0.6$ и равни тежести на останалите критерии; г) критерият R е с най-голяма тежест $w_8 = 0.6$ и равни тежести на останалите критерии; д) отчитат се само критериите $Q_{сист}$ и H и те са с равни тежести - $w_2 = w_7 = 0.5$; е) отчитат се само критериите C и T и те са с равни тежести $w_1 = w_9 = 0.5$.

Видът на глобалния критерий (11) предполага

определянето на неговия максимум. Както се вижда от фиг. 8, графиките на глобалният критерий F имат вид, определян от стойностите на тегловните коефициенти, като колкото по-близо е неговата стойност до максимално възможната стойност 1, толкова съответния оптимален брой автосамосвали k^* по-пълно удовлетворява всички частни критерии със зададените им тегловни коефициенти. И в този случай, след избор на оптимален брой k^* , за който глобалния критерий F има максимум, може да се извърши сравнение на алтернативни варианти на вероятностна основа.



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

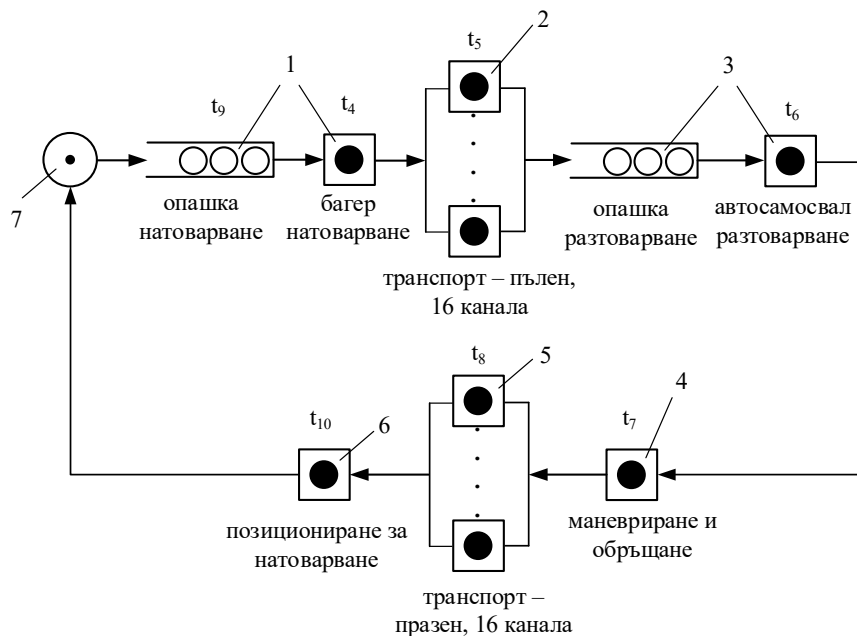
3. ВЕРИФИКАЦИЯ НА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЯ МОДЕЛ

Верификацията на разработения в [1]

вероятностно-статистически модел се извършва чрез сравнение на получените чрез метода Монте Карло резултати с резултати, получени от симулационен модел на комплекта машини. Този

симуляционен модел представя комплекта машини като затворена многофазна система за

масово обслужване, чиято структурна схема е показана на фиг.9.



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

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

1 – Едноканално обслужващо устройство с неограничена опашка, представлящо 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;

2 – Шестнайсетканално обслужващо устройство, представлящо 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, представлящо трошачката и чакащите за разтоварване автосамосвали.

Продължителността на обслужване е $t_6 = Tr(30, 45, 55)$;

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

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

7 – Източник на заявки в системата.

Симуляционният модел на показаната на фиг.9 система за масово обслужване е реализиран в среда на програмата GPSS World [8] е показан на фиг.10.

За да се намали влиянието на преходния период в началото на симулацията върху

резултатите е извършена симулация с голяма продължителност – 800 h.

```

tab_bag QTABLE wait_bag,0.01,10,20
tab_trosh QTABLE wait_trosh,0.01,10,10
pulen STORAGE 16
prazen STORAGE 16

*-----СЕГМЕНТ 1-----
op_bager GENERATE      ,, ,13                ;генериране на трансакти
          QUEUE        wait_bag              ;влизване в оп. за товарене
          SEIZE        bager                  ;заемане на ОУ багер
          DEPART       wait_bag              ;напускане на оп.за товарене
          ADVANCE      (Normal(1,83.5,3.23)) ;t4 - натоварване на самосвал
          RELEASE      bager                  ;освобождаване на ОУ багер
          SAVEVALUE    natovarenit+,1        ;проброяване на натоварените самосвали

          ENTER        pulen                  ;заемане на ОУ - транспорт пълен
          ADVANCE      (Normal(2,4450,83.33)/Uniform(3,7,8)) ;t5 - транспорт - пълен самосвал
          LEAVE        pulen                  ;освобождаване на ОУ - пълен

          QUEUE        wait_trosh            ;влизване в оп. за разтоварване
          SEIZE        troshachka            ;заемане на ОУ трошачка
          DEPART       wait_trosh            ;напускане на оп.за разтоварване
          ADVANCE      (Triangular(4,30,55,45)) ;t6 - разтоварване
          RELEASE      troshachka            ;освобождаване на ОУ трошачка
          SAVEVALUE    raztovarenit+,1        ;проброяване на разтоварените самосвали

          SEIZE        obrushtane            ;заемане на ОУ - транспорт празен
          ADVANCE      (Triangular(5,25,33,30)) ;t7 - обръщане
          RELEASE      obrushtane

          ENTER        prazen                 ;заемане на ОУ - транспорт празен
          ADVANCE      (Normal(6,4450,83.33)/Uniform(7,11,14)) ;t8 - транспорт празен
          LEAVE        prazen                 ;освобождаване на ОУ транспорт празен

          SEIZE        pozicionirane         ;заемане на ОУ - транспорт празен
          ADVANCE      (Triangular(8,15,25,20)) ;t10 - позициониране
          RELEASE      pozicionirane

          TRANSFER     ,op_bager              ;пренасочване - към оп. за товарене

*-----СЕГМЕНТ 2-----

          GENERATE      2880000                ;продълж. на симул. - 800 часа
          TERMINATE     1
          START          1
    
```

фиг.10 Симуляционен модел на системата за масово обслужване

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

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

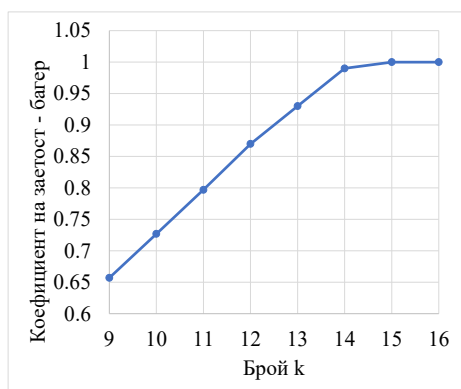
- Коефициентът на заетост на багера (фиг.11 а) нараства линейно от 0.66 до 1 при промяна на k от 9 до 14 автосамосвала в системата. Този брой автосамосвали отговаря на максималната производителност на багера и това е максималния брой автосамосвали, които той може да обслужва за

час;

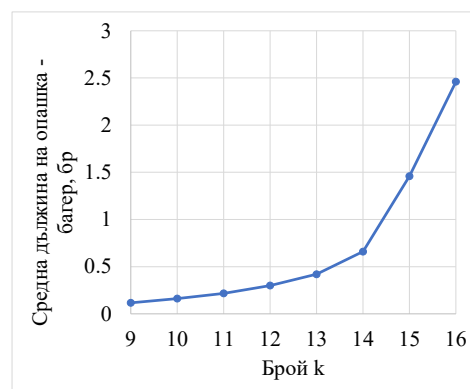
- Средната дължина на опашката от автосамосвали (фиг.11 б), чакащи обслужване от багера при промяна на k от 9 до 14 нараства плавно от 0.11 до 0.66, след което при 15 и 16 автосамосвала нараства рязко, съответно на 1.46 и 2.46;

- 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;

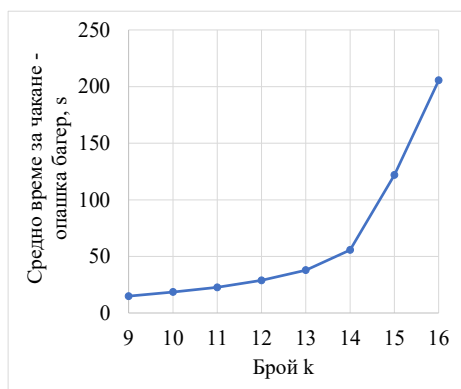
- Коефициентът на заетост на трошачката (фиг.11 г) нараства от 0.34 до 0.51 при увеличаване на k от 9 до 14, след което е равен на 0.52 при 15 и 16 автосамосвала. От фиг.11 д) се установява, че средната дължина на опашката от автосамосвали, чакащи разтоварване е много малка и тя се увеличава линейно 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;



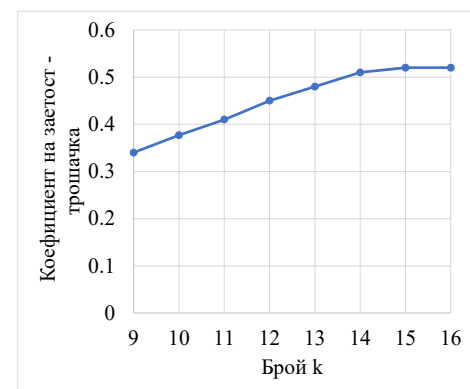
а) Коэффициент на заетост - багер



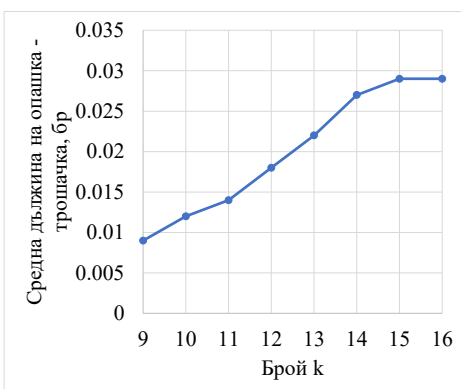
б) Средна дължина на опашка – багер



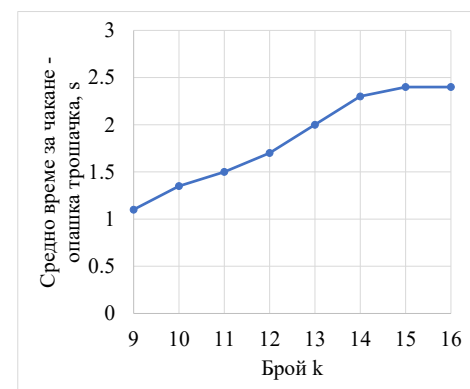
в) Средно време за чакане – опашка багер



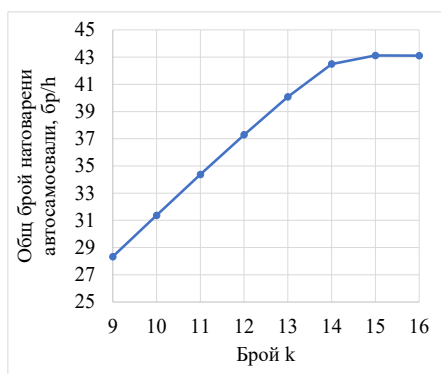
г) Коэффициент на заетост – трошачка



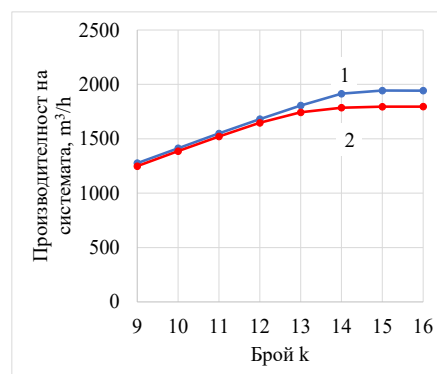
д) Средна дължина на опашка – трошачка



е) Средно време за чакане – опашка трошачка

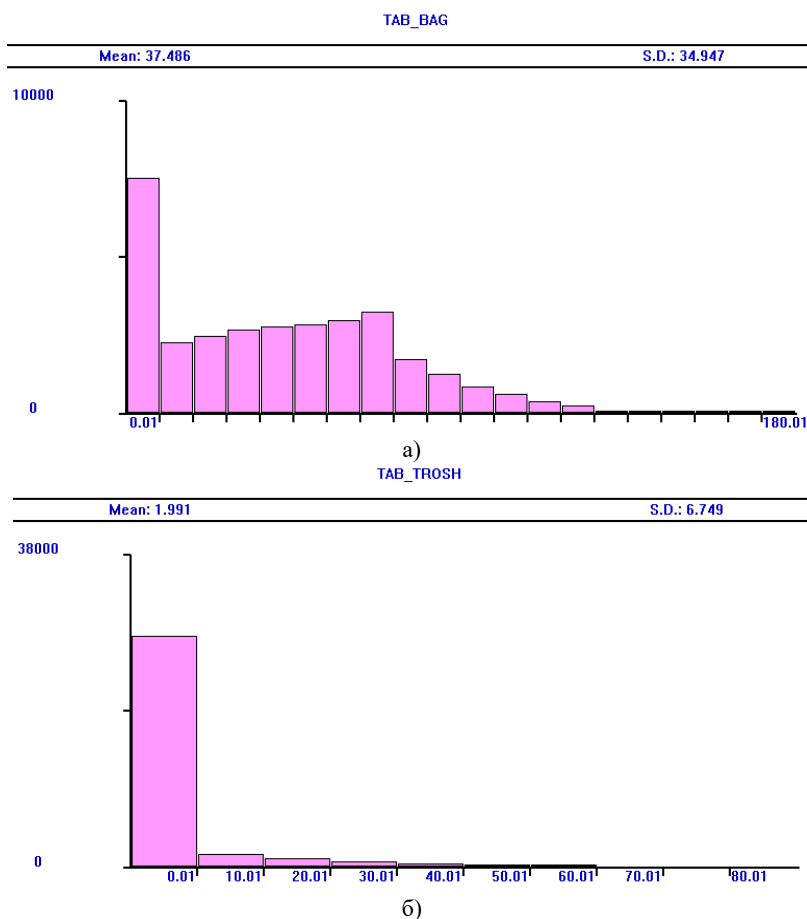


ж) Брой натоварени автосамосвали



з) Производителност на системата

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 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.11з), поз.1) при отчитане на коефициента на използване по време на автосамосвалите, като тя е сравнена с производителността на системата (фиг.11з), поз.2), пресметната чрез вероятностно – 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 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 по двата метода резултати е задоволителна.

4. ИЗВОДИ

Извършените в настоящата статия изследвания позволяват да се направят следните изводи:

- Дефинираните в [1] 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 на комплекта;

- Дефинирането на функции на състоянието дава възможност да се отчита неопределеността на експлоатационните характеристики при сравнение на алтернативни варианти и да се извършва сравнение между вариантите на вероятностна основа. Основно предимство на използвания подход е, че освен оптималното по определен критерий 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 симулационен затворена система за масово обслужване показва висока 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, януари 2021г.
2. **Мадера А.** Моделирование и принятие решений в менеджменте. Руководство для будущих то-менеджеров. URSS, Москва, 2016.
3. **Chang К-Н.** Product performance evaluation using CAD/CAE. Academic Press, 2013.
4. **Haldar A., Mahadevan S.** Probability, Reliability, and Statistical methods in Engineering Design. John Wiley & Sons. New York, 2000.
5. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. Москва, Советское радио, 1972.
6. **Федоренко И., Морозова С.** Оптимизация и принятие решений в агроинженерных задачах. Лань, Санкт – Петербург - Москва – Краснодар, 2016.
7. **Rao S.** Reliability engineering. Pearson India Education Services Pvt., 2016.
8. **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 високоэффективна 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 прокаране 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 – лийтмотивът може да изведе съвършено 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-атраکتивен 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 настилката.



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.

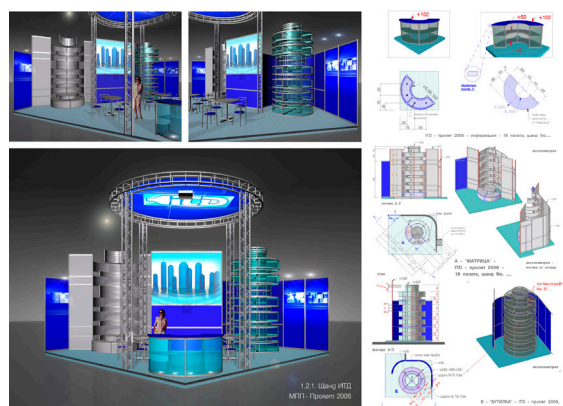
3.1.2. Серия от 3 щанда (2006–2007), базирани на един проект с различни конфигурации на пространството при различните изложения, площ, ситуация и експонати.

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. **Ильева, 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 за 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, изтеглителния 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 нишкодоставянето 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

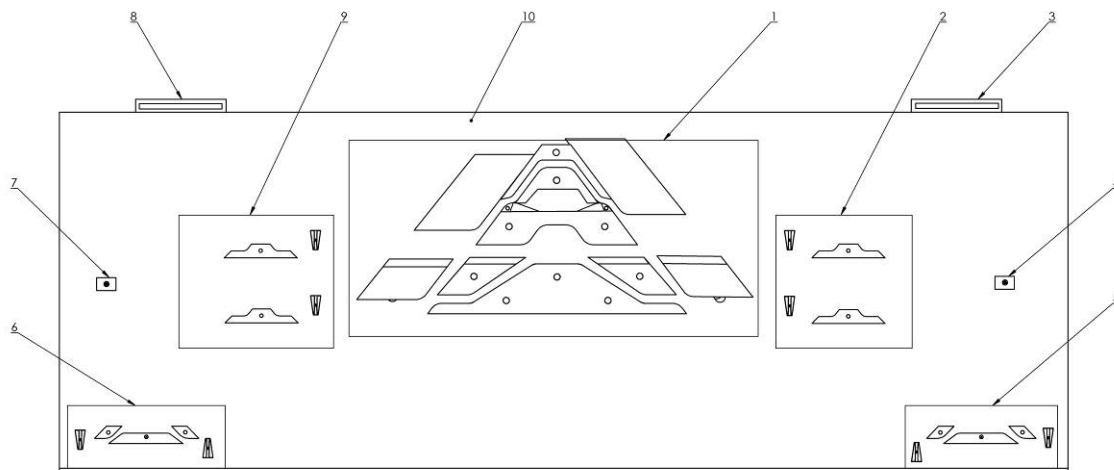
Както е известно автоматизираното проектиране с помощта на съвременните CAD системи дава възможност, не само за реалистична визуализация на изработените модели, но и за прогнозно изследване на техните натоварвания. Точно поради тази причина е избрано

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

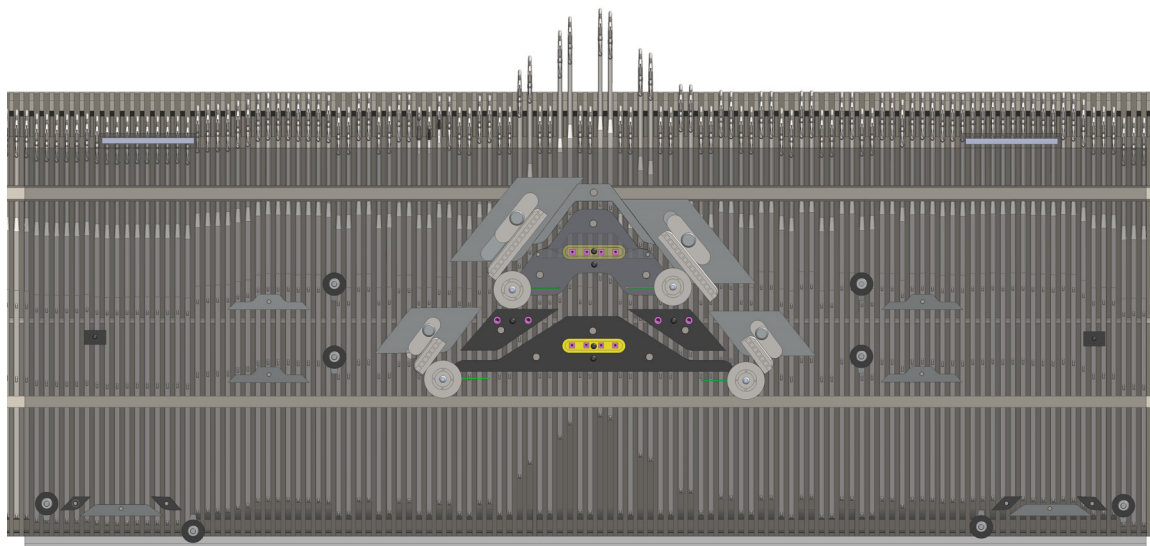
горният край на иглата за изплитане на бримка или предаваща игла при прехвърляне, а долният оформя траекторията за примка или приемаща игла чрез дългата ѝ пета разположена в средата на иглата. [3]

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

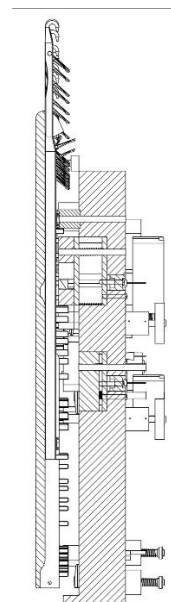
са съоръжени със същият тип селектори, които работят независимо един от друг. При включване на плетачни игли работят вътрешните селектори, като двата селектора на левия 5 или десния 6 комплект се включват последователно в два различни бримкови реда при движение на плетачната глава към плетачното поле 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 мъх, така и за спомагане на отварянето на езичковите игли. Плочата практически представлява основния детайл на плетачната глава осигуряващ позиционираното на всички останали детайли.

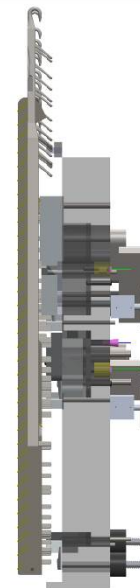
На фиг.2 е показано реалистично тримерно изображение на възелът иглено легло, игли изплитащ механизъм при траектория за плетене на ластик с разредка 2x2. На изображението част от детайлите са представени с полупрозрачни изображения, като плочата например с цел видимост на разположените под тях детайли. 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 снемачи клинове, и селекторите на изплитащите системи. [2,3,4,5]



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

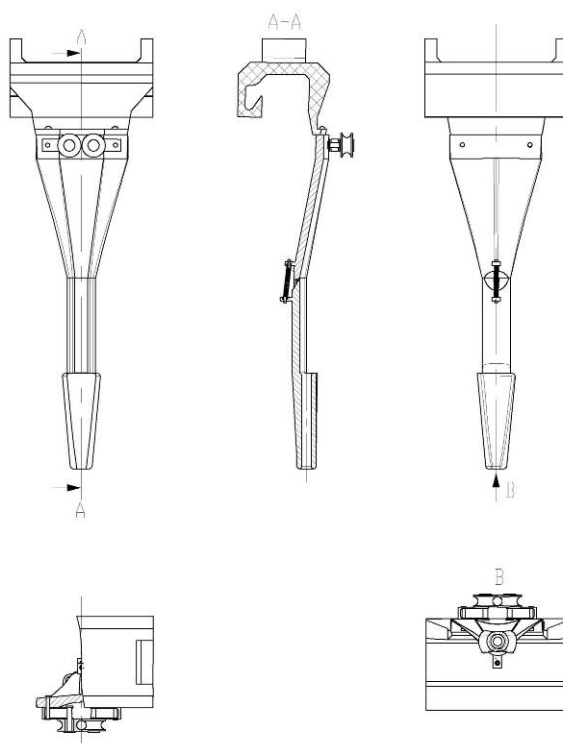


фиг.4 Тримерен разрез на плетачната глава, иглите и игленото легло.

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-постъпатерното 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]

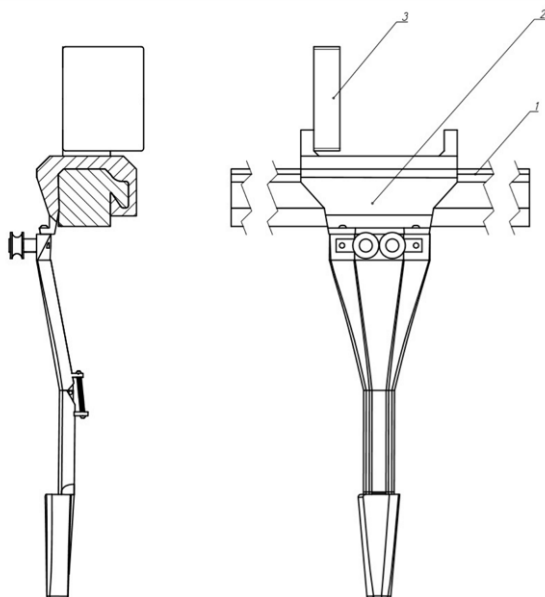


фиг. 5 Автоматизирано генериран двумерен чертеж на нишководача в среда на Solidworks. [6]

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 целят 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 отлясно 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

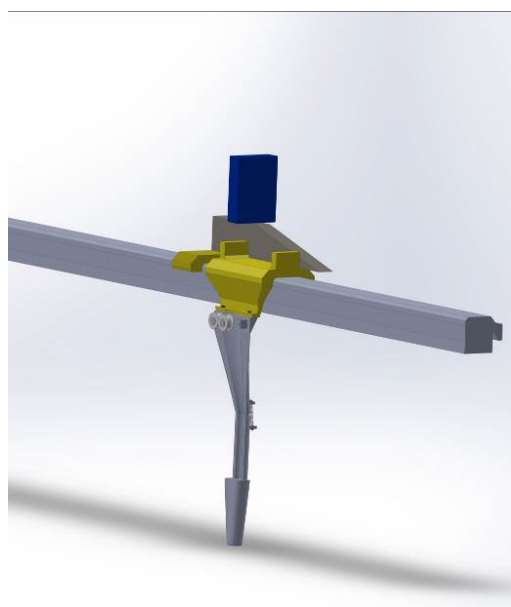


фиг. 6 Двумерен чертеж на сглобената единица на нишководача, водещата шина и водещия елемент. [7]

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 конструкция 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 езичкова 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.

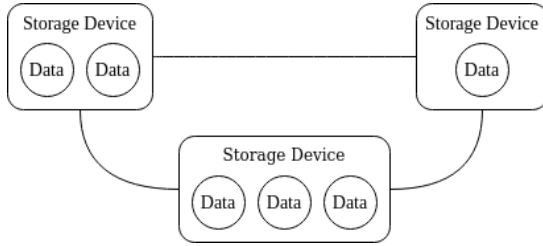


fig. 1 Example of structures of decentralized distributed data storage systems with storing individual data elements.

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.

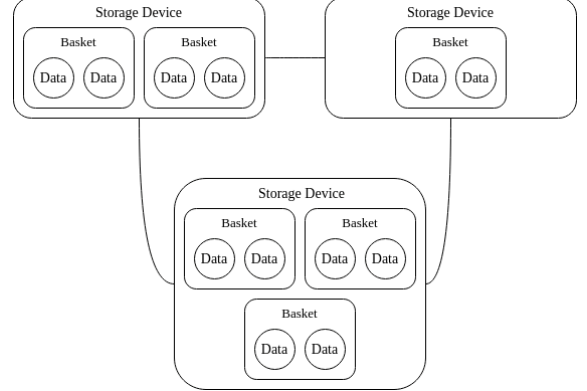


fig. 2 Example of structures of decentralized distributed data storage systems with storing data elements in baskets (in meta-elements).

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 assignation 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.

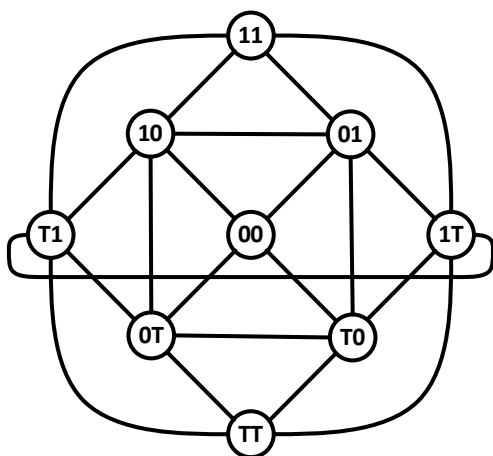


fig. 3 Excess de Bruijn topology

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, 0T 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).

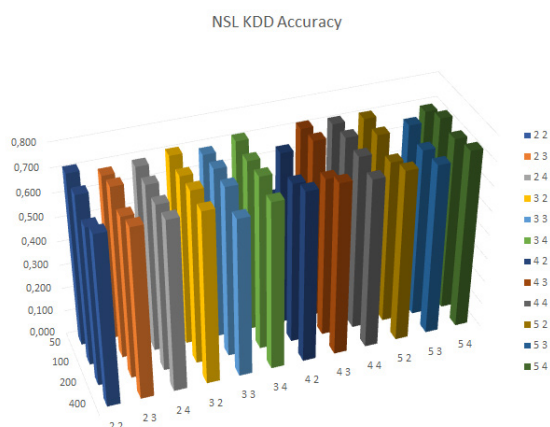


fig. 4 Accuracy diagram for NSL KDDmod

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.

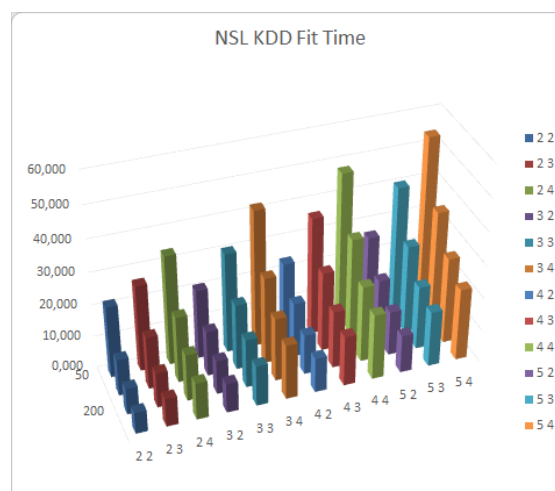


fig. 5 Training time diagram for NSL KDDmod

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.

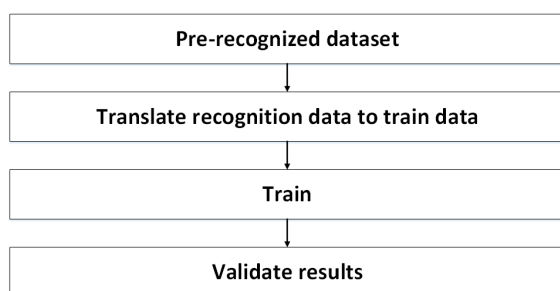


fig. 3 Training sequence with pre-trained dataset usage.

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.

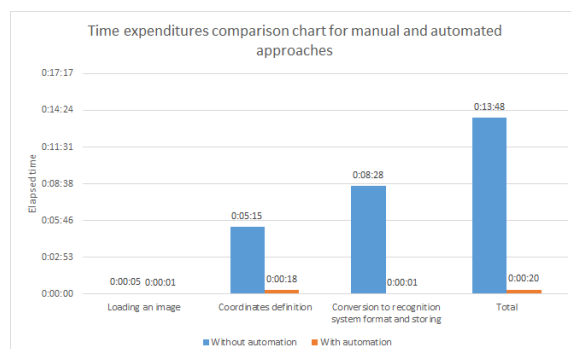


fig. 4 Time expenditure comparison chart for various approaches to creation of templates for machine learning on the example of solving a task. Time expenditure reduction with a usage of automation is a positive trend.

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 дървовидна диаграма 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 аварияте, 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 аварияте.

Ключови думи: аварии, вероятностна методика

1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА АВАРИИТЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНО ИНДУСТРИАЛНО ОБОРУДВАНЕ

Съгласно [1] 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“. Причините за аварии са разнообразни – функционални откази на оборудването поради претоварване, умора на материала, отказ на критични елементи и подсистеми, умишлени действия или човешки грешки, действия на околната среда (земетресения, пожари, наводнения) и др. В повечето случаи, аварията на индустриално оборудване са свързани със значителни здравни, материални, социални и психологически последици за всички страни, които засяга аварията – медицински учреждения, собственици на оборудването, потърпевши и техни близки, застрахователи и обществото като цяло [2].

Най-достоверна и пълна информация за причините, обстоятелствата, събитията и изходите от аварията може да се получи от водените от контролните органи или собствениците регистри и архиви на аварията. Анализът на регистрите на аварии позволява да се извлече систематична статистическа информация, която да служи за анализ на

аварията относно причините, видовете съоръжения, последициите от аварията, щетите и други фактори. Друг източник на информация за аварията са публикуваните данни в специализираната литература [3,4,5,6], основани на статистически анализ на аварии. Тези данни обикновено са обобщени по различни показатели и в този си вид трудно могат да бъдат използвани за пълно възстановяване на обстоятелствата при случилата се авария или прогнозиране на изходи от бъдещи 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 отчита максимален брой фактори, които биха могли да въздействат върху изхода от аварията. Поради тази причина, в настоящата работа се разработва ефективна методика за анализ на регистрите на аварии на специализирано индустриално оборудване с цел извличане на максимално количество информация от регистрите посредством вероятностно-статистически методи. Методиката е приложена за анализа на регистрите на аварии на повдигателни съоръжения.

2. СЪБИРАНЕ НА ПЪРВИЧНА ИНФОРМАЦИЯ ЗА АВАРИИТЕ, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА

СТАТИСТИЧЕСКАТА Ъ ОБРАБОТКА

Регистрирането на аварията чрез възможно най-много специфични 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 признаци за описание на аварията ще затрудни значително извличането на систематична информация от регистъра. От друга страна, намаляването на броя на признаците 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.

Признаците, от които зависи изхода от аварията, са специфични за конкретния вид

специализирано индустриално оборудване. Повдигателните съоръжения са съоръжения с повишена опасност и те се регистрират и контролират от 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 структурата на регистър на аварияте на повдигателни съоръжения, състоящ се от осем признака, представени чрез категорични и числени данни, показани в табл.1 в раздела „Основни признаци“, като също така са показани и техните възможни стойности. Допълнително, при всяка авария се регистрира допълнителна информация, съдържаща шест признака, която има помощен характер – раздел „Допълнителни признаци“. Списъкът на признаците, а също така и на техните стойности, може да бъде разширяван или съкращаван при необходимост.

табл.1 Признаци в регистъра на аварията и техните стойности

No	Признак	Стойност	Тип на признака
Основни признаци			
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 [НБЕТНПС] 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 признаци			
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 признаци могат да бъдат класифицирани по следния начин:

- 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 признак 5 „Вид на повдигателното съоръжение“ може да се подчертае, че съгласно Чл. 2. ал.1 на [7] 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 подземници за повдигане на хора или на хора и товари, които попадат в обхвата на „Наредбата за съществените изисквания и оценяване съответствието на машините“; 9) Релсови пътища към съоръженията. Това разделение може да послужи за основа на дефиниране на стойностите на този признак, като тяхното количество може да се съкрати или увеличи в зависимост от нуждите.

В табл.2 и табл.3 е показан изкуствено генериран регистър на аварии, съдържащ 424 случая на аварии на повдигателни съоръжения, описани чрез показаните в табл.1 признаци и техните категорийни или числени стойности. В табл. 2 са показани колонките, съдържащи стойностите на основните признаци, а в табл. 3 – колонките, съдържащи стойностите на допълнителните признаци. При представянето на данните в регистъра е използвана кодировка на признаците и техните стойности, представена в табл.4.

табл.2 Изкуствено генериран регистър – основни признаци

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Номер	Година	B - Мет. усл.	C - Кв. опер.	D - Кв. п.п.	E - Вид съор.	F - Прич. авар.	G - Пер.експл.	H - 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 признаци

J	K	L	M	N	O
К - Зл., см или без	L - Бр. ран	M - Застр. ран.	N - Бр. см. случ.	O - Застр.см.	P - 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 признаци

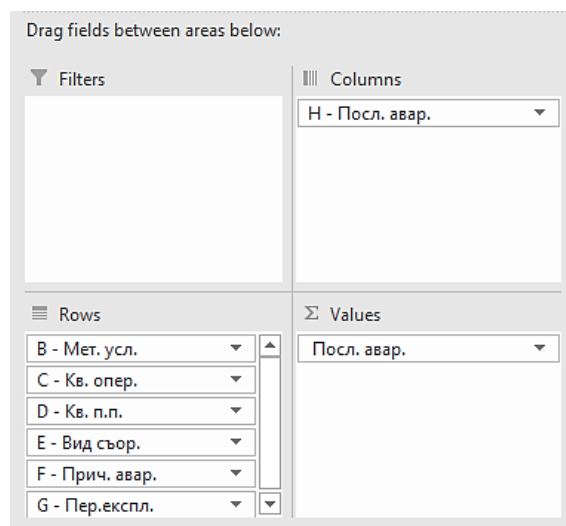
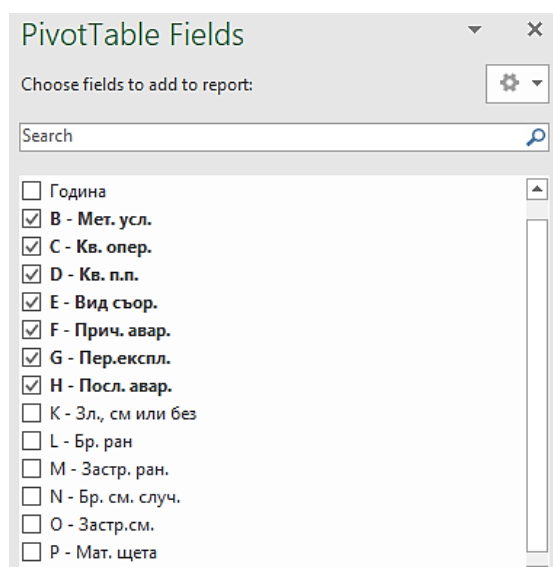
Кодирание на признак	Кодирание на стойност
Година на възникване на аварията <i>Година</i>	2002-2010
Метеорологични условия <i>B - Мет. усл.</i>	Лоши: <i>B1 - Лош.</i> Добри: <i>B2 - Доб.</i>
Квалификация на оператора <i>C - Кв. опер.</i>	Ниска: <i>C1 - Нис.</i> Висока: <i>C2 - Вис.</i>
Квалификация на помощния персонал <i>D - Кв. п.п.</i>	Ниска: <i>D1 - Нис.</i> Висока: <i>D2 - Вис.</i>
Вид на повдигателното съоръжение <i>E - Вид съор.</i>	Автомобилен кран: <i>E1 - Авт.</i> Кула кран: <i>E2 - Кула</i> Мостов кран: <i>E3 - Мост.</i> Багер с грайфер: <i>E4 - Баг.</i> Работна площадка: <i>E5 - Раб.</i>
Причина за аварията <i>F - Прич. авар.</i>	Организационна: <i>F1 - Орг.</i> Техническа: <i>F2 - Техн.</i>
Период на експлоатация <i>G - Пер. експл.</i>	По-малък от 10 г.: <i>G1 - 10 г.</i> Между 10 г. и 20 г.: <i>G2 - 20 г.</i> Между 20 г. и 30 г.: <i>G3 - 30 г.</i>
Последствие от аварията – 4 вида <i>H - Посл. авар.</i>	Без злополука: <i>H1 - Зл.</i> Със злополука: <i>H2 - Б. зл.</i> Със злополука и смъртен случай: <i>H3 - Зл. и см.</i> Смъртен случай: <i>H4 - См.</i>
Последствие от аварията – 2 вида <i>K - Зл., см или без</i>	Да (има зл./см.сл.): <i>yes</i> Не (няма зл./см.сл.): <i>no</i>
Брой ранени при злополука <i>L - Бр. ран.</i>	-
Брой смъртни случаи	-

<i>N - Бр. см. случ.</i>	
Материална щета върху съоръжението <i>P - Мат. щета</i>	-
Изплатени обезщетения – ранени <i>M - Застр. ран.</i>	-
Изплатени обезщетения – смъртни случаи <i>O - Застр.см.</i>	-

Статистическата обработка на представения регистър е силно затруднена при необходимост от систематизация на данните по повече от два признака без използването на компютърна програма, автоматизираща тази дейност. Анализът на възможностите на специализирани [10] и продукти с общо предназначение [11] за обработка на данни 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 признаци, като при това той е достъпен практически без ограничения. За извършване на първоначална статистическа обработка на регистъра на авариите чрез Excel, той се преобразува в тип *Table*. В този вид таблицата е отворена за допълване или редактиране с цел добавяне на нови аврии или промяна на стойностите на признаците. На фиг.1 са показани резултатите от използването на този инструмент спрямо категориите 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 свиван или разширявана относно броя на признаците. На фиг.1 б) е показана обобщената таблица за признака „Метеорологични условия“ и разпределението на авариите относно признака, описващ изхода от аварията, а именно признака „Последствие от аварията“ Аналогично, на фиг.1 в) е показана обобщената таблица за признака „Метеорологични условия“ и признака „Квалификация на оператора“ и разпределението на авариите относно признака „Последствие от аварията“, а на фиг.1 г) е показана таблицата при допълнителна детайлизация по признака „Квалификация на мощния персонал“.

Обобщена таблица може да бъде построена като всеки от признаците може да се счита за изходен. Също така голям обем полезна информация носи и обобщаването относно признаците от допълнителната информация (числените

променливи) от табл.3



а)

Посл. авар.	Column Labels				
Row Label	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
⊕ D2 - Вис.	8	16	1		25
⊖ C2 - 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 категорийни променливи при изходен признак „Последствие от аварията“

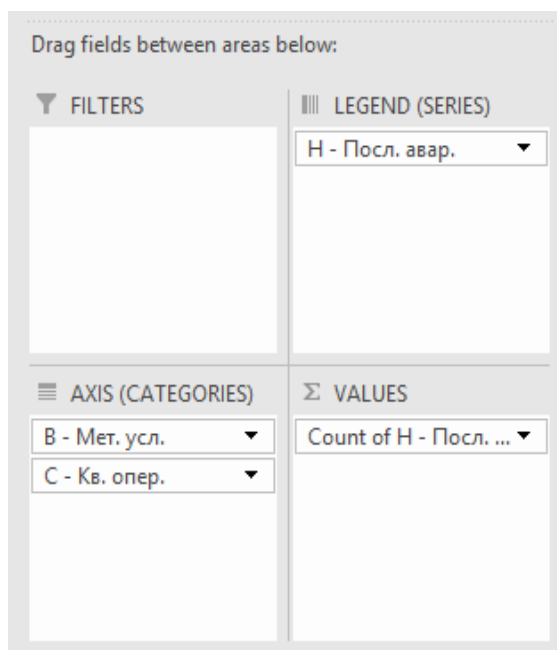
3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА СТАТИСТИЧЕСКИТЕ ДАННИ

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

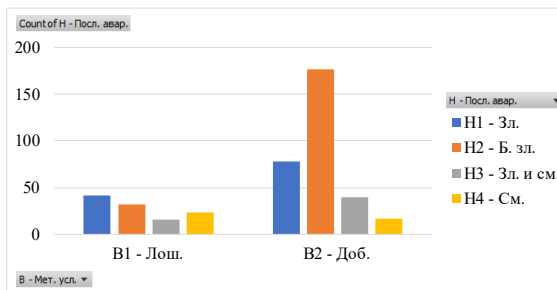
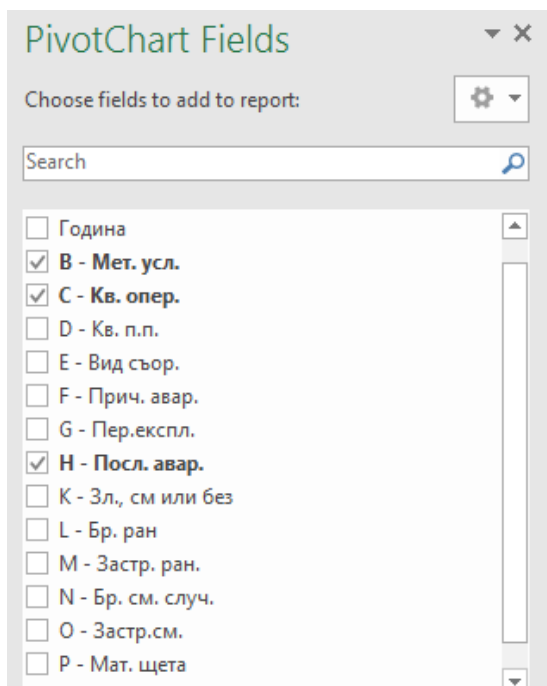
нанасят стойностите на категорийни данни (вид съоръжение, причина и др.), а по ос y – стойностите на числени данни (брой злополуки, брой аварии и др.). По този начин, цялостната картина на статистиката на аварията се представя чрез множество несвързани помежду си графики, визуализиращи различни по вида си данни, присъщи на

авариите. 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.

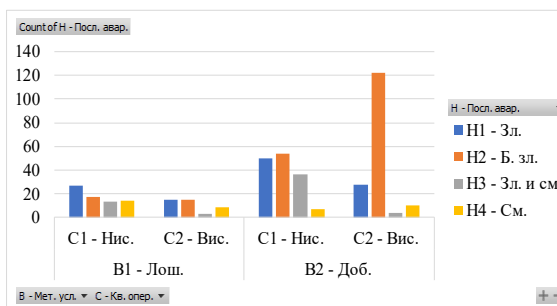
Инструментът *Pivot Chart* дава възможност, аналогично на *Pivot Table*, да се систематизира и визуализира информация по различни признаци, като в прозореца *PivotChartFields* (фиг.2 а) се въвеждат необходимите признаци, определящи степента на детайлизация на графиката. На фиг.2 б) е показана обобщената таблица за признака „Метеорологични условия“ и разпределението на авариите относно признака „Последствие от аварията“. Аналогично, на фиг.2 в) е показана сводната таблица за признака „Метеорологични условия“ и признака „Квалификация на оператора“ и разпределението на авариите относно признака „Последствие от аварията“, а на фиг.2 г) – допълнителна детайлизация по признак „Вид повдигателно съоръжение“.



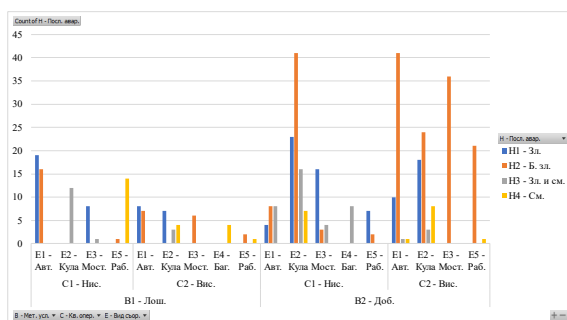
а)



б)



в)



г)

фиг.2 Входна информация и резултати от използването на инструмента *Pivot Chart*

Увеличаването на броя на признаците, 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 признака върху една графика, като при това се запазва пълноценното усвояване на представената информация 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, достъпни в [12], чрез които на една графика могат да се изобразят до 6 основни и/или помощни признака на аварията. Средствата са следните:

- Изобразяване на един признак (последствие от авария) чрез нанасяне на стойностите му по осите x и y . На фиг.3а) по оси x и y е нанесен признак „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 признака (последствие от авария и вид на подемото съоръжение): нанасяне на един признак по ос x и втори признак – по ос y . На фиг.3 б) при отчитане на броя на аварията по ос x е изобразен признак „Последствие от аварията“, а по ос y - признака „Вид на съоръжението“;

- Изобразяване на три признака. Освен предните два признака се извършва и вариация по цвят на всяка авария. На фиг.3 в) чрез два цвята е изобразен допълнително признака „Причина за аварията“;

- Изобразяване на четири признака. Освен предните три признака се извършва и вариация на геометричната форма на маркера за всяка авария. На фиг.3 г) чрез две геометрични форми (кръг и кръстче) е изобразен допълнително признака „Метеорологични условия“;

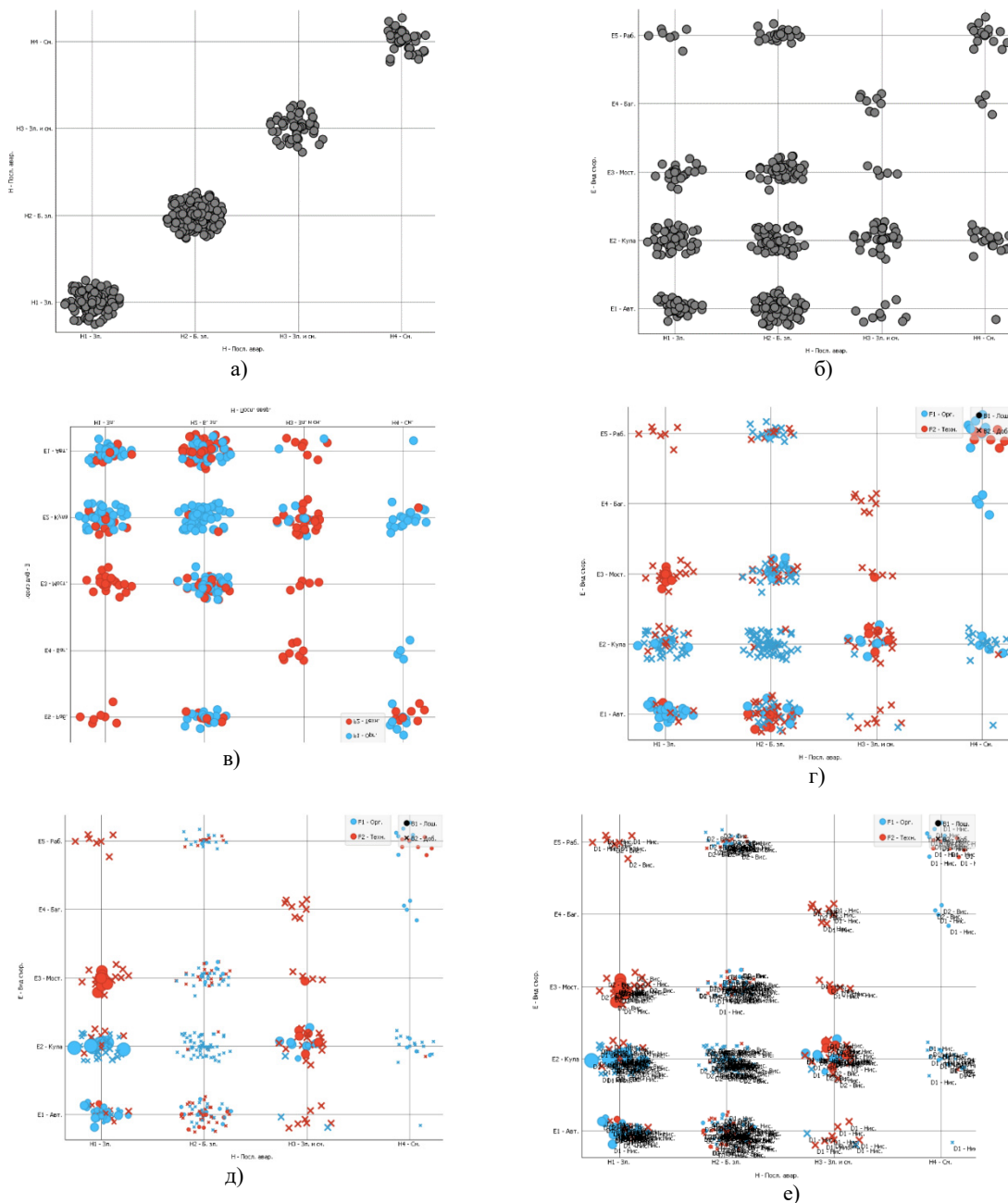
- Изобразяване на пет признака. Освен изброените досега признаци се извършва и вариация на размера на геометричната форма на маркера за всяка авария. На фиг.3 д) чрез размера на маркера е изобразен допълнителния признак „Брой ранени“. Тук следва да се уточни, че вариацията на размера може да се използва само за признаци от количествен тип;

- Изобразяване на шест признака. Към изброените досега признаци към всяка авария се добавя текстов етикет. На фиг.3 е) към всяка авария е добавен етикет, показващ стойността на признака „Квалификация на помощния персонал“.

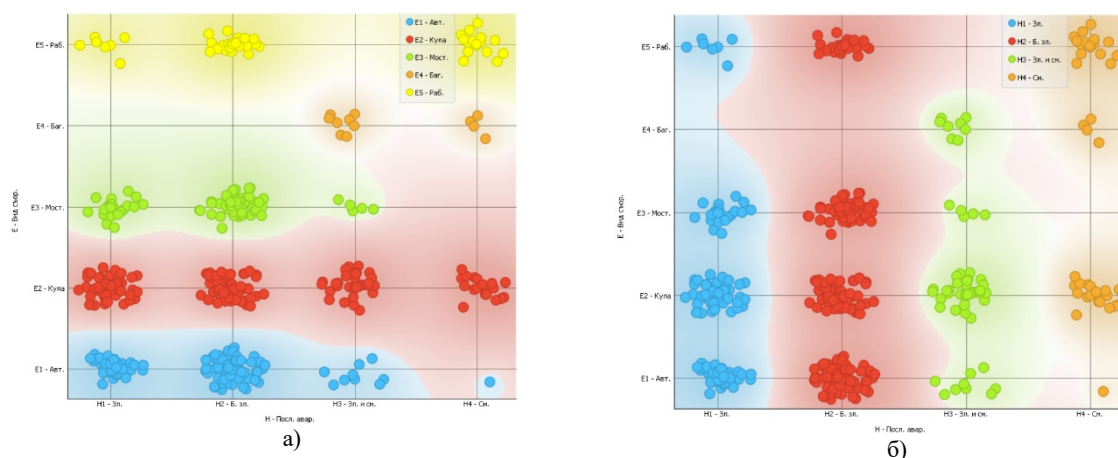
табл. 5 Представяне на признаците чрез различни средства

Признак	Средство	Брой признаци
H – Последствия от аварията	Нанасяне по ос x	1
E - 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



фиг.3 Изобразяване на аварии чрез различни признаци



фиг.4 Изобразяване на доминацията на признаците чрез цветни региони

В определена степен е нагледна и визуализацията чрез цветни региони, които показват доминацията на стойностите на признака, изразен чрез цвят, в една или друга област от равнината. На фиг. 4 а) е показана визуализация чрез цветни региони на признака „Вид съоръжение“, а на фиг.4 б) – на признака „Последствия от авария“.

4. ПРЕДСТАВЯНЕ НА АВАРИИТЕ ЧРЕЗ ДЪРВОВИДНА ДИАГРАМА

Един подходящ начин за систематично представяне на събитията, свързани с аварията, е дървовидната диаграма [13,14,15], която чрез графични средства отразява връзките между събитията.

На фиг. 5 а) е изобразена дървовидна диаграма на аварията, която представя графично признаците от табл.1. На диаграмата чрез „Авария“ е означена цялата съвкупност на авариралите машини. На фиг. 5 б) е изобразен фрагмент от диаграмата, който показва нейната структура в дълбочина и съществуващите нива. Тъй като дървовидната диаграма се формира от основните признаци, имащи категориен характер (виж табл. 1), то тя се състои от следните 7 нива:

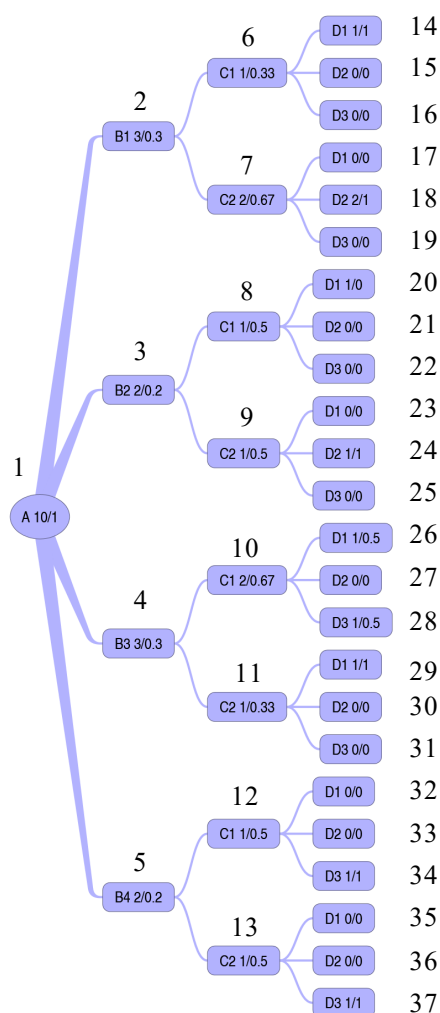
- **Ниво А:** Период на експлоатация с три събития (A_1 - По-малък от 10 г., A_2 - между 10 и 20 г., A_3 - по-голям от 30 г.), представени чрез множеството от събития е $\{A_1, A_2, A_3\}$;
- **Ниво В:** Вид на повдигателното съоръжение с пет събития – мостов кран B_1 , кула кран B_2 , автомобилен кран 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 E:** 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 $\{G_1, G_2, G_3, G_4\}$;

Тук следва да се обърне внимание, че представената дървовидна диаграма се различава от дървото на събитията [16,17], в което крайното събитие се формира от поредица от представени в хронологичен ред логически свързани междинни събития. В представената дървовидна диаграма подредането на нивата от ляво на дясно може да бъде в произволен ред, тъй като не се разглежда наличието на причинно-следствена връзка между тях. Единствено изискване е признакът „Последствия от аварията“ да бъде в последното ниво. 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-малка 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 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 принадлежало на определен клон на диаграмата). Второто число представлява относителната честота на събитието, т.е. статистическата условна вероятности за настъпване на съответното събитие.



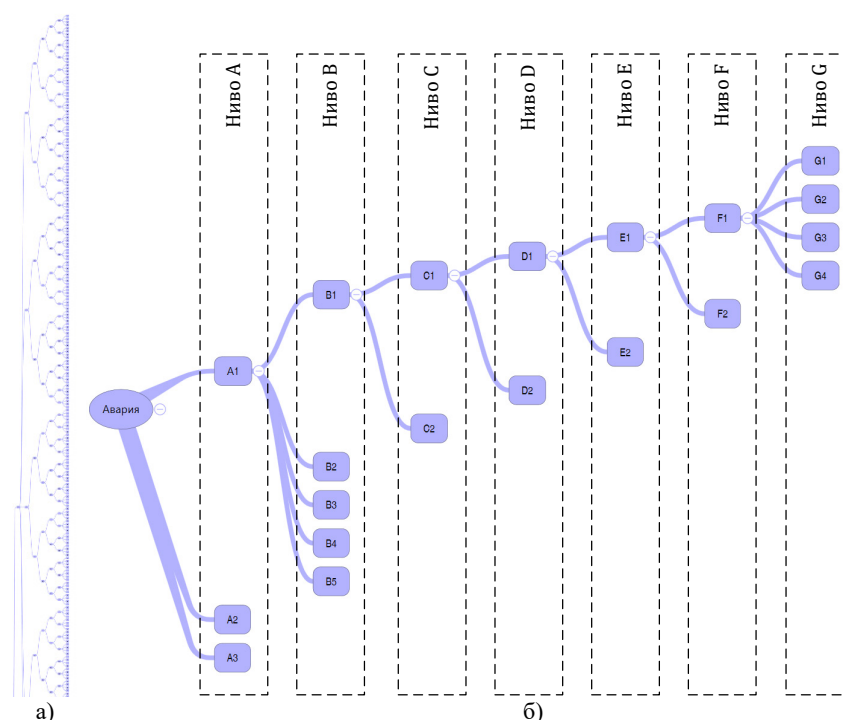
фиг.6 Опростена дървовидна диаграма на аварииите

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 авариралите 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 – *B1, B2, B3, B4*;
- **Ниво С (събития от 6 до 13):** на това ниво са отчетени причините за аварии, които са разделени на два вида – причина *C1* и причина *C2*;
- **Ниво D (събития от 14 до 37):** на това ниво се отчитат възможните изходи от аварията, които са класифицирани по следния начин - *D1, D2* и *D3*.

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 *B1* могат да настъпят всички възможни събития от ниво *C*, т.е. *C1* и *C2*, а след настъпването на събитието *C1*, могат да настъпят всички възможни събития от ниво *D*, т.е. *D1, D2* и *D3*.

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 аварията чрез подходяща обработка, например чрез използвания в т.2.2 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

5. ВЕРОЯТНО-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 аварияте и взимането на решения относно тяхното намаляване [13]. При вероятностния 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 аварияте 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, и по-конкретно - 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 C без да се интересуваме от събитията от ниво B ; 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 .

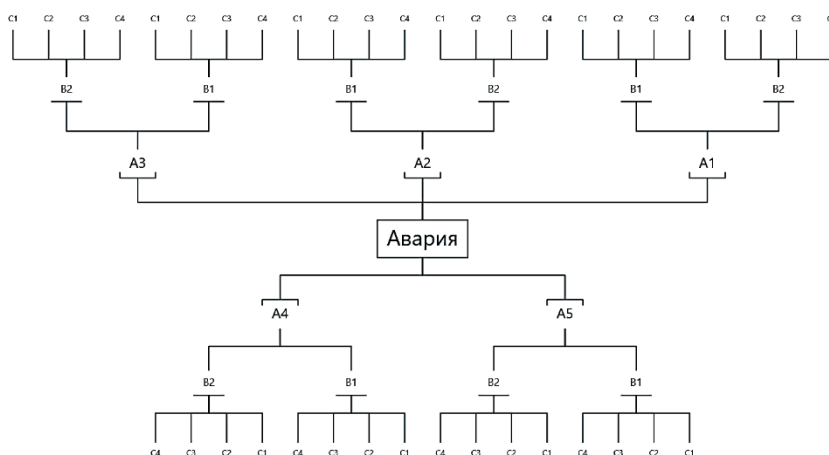
5.1 Индуктивен подход

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 [14,15,18]:

$$P(A \cap B) = P(B | A)P(A) \quad (1)$$

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 примерната дървовидна диаграма с три нива, показана 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 с три нива

Обобщени зависимости са определени за следните случаи:

1) Вероятност за настъпване на едно или повече от събитията C_1, \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 :

$$P_{(B_x \cup \dots \cup B_z) \cap (A_r \cup \dots \cup A_t)}^{C_1 \cup \dots \cup C_q} = \sum_{i=r, \dots, t} P^{A_i} \left(\sum_{j=x, \dots, z} \left(P_{A_i}^{B_j} \sum_{k=1, \dots, q} P_{B_j, A_i}^{C_k} \right) \right) \quad (2)$$

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_1 поради събитие B_1 и събитие A_2 :

$$P_{B_1 \cap A_2}^{C_1} = P^{A_2} P_{A_2}^{B_1} P_{B_1, A_2}^{C_1} \quad (3)$$

• Вероятност за настъпване на събитие C_1 или C_2 поради причина B_2 и причини A_2 или A_5 :

$$P_{B_2 \cap (A_2 \cup A_5)}^{C_1 \cup C_2} = P^{A_2} P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_1} + P_{B_2, A_2}^{C_2}) + P^{A_5} P_{A_5}^{B_2} (P_{B_2, A_5}^{C_1} + P_{B_2, A_5}^{C_2}) \quad (4)$$

2) Вероятност за настъпване на едно или повече събития C_1, \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 :

$$P_{\bar{B} \cap (A_r \cup \dots \cup A_t)}^{C_1 \cup \dots \cup C_q} = \sum_{i=r, \dots, t} P^{A_i} \left(\sum_{j=1}^k \left(P_{A_i}^{B_j} \sum_{k=1, \dots, q} P_{B_j, A_i}^{C_k} \right) \right) \quad (5)$$

където индексът \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_1 без отчитане на събитията от ниво B :

$$P_{\bar{B} \cap A_1}^{C_4} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_1} P_{B_1, A_1}^{C_4} + P_{A_1}^{B_2} P_{B_2, A_1}^{C_4}) \quad (6)$$

• Вероятност за настъпване на събитията C_1 или C_4 поради събития A_1 или A_2 без отчитане на събитията от ниво B :

$$P_{\bar{B} \cap (A_1 \cup A_2)}^{C_1 \cup C_4} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_1} (P_{B_1, A_1}^{C_1} + P_{B_1, A_1}^{C_4}) + P_{A_1}^{B_2} (P_{B_2, A_1}^{C_1} + P_{B_2, A_1}^{C_4})) + P^{A_2} (P_{A_2}^{B_1} (P_{B_1, A_2}^{C_1} + P_{B_1, A_2}^{C_4}) + P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_1} + P_{B_2, A_2}^{C_4})) \quad (7)$$

3) Вероятност за настъпване на едно или повече събития C_1, \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 :

$$P_{\bar{A} \cap (B_x \cup \dots \cup B_z)}^{C_1 \cup \dots \cup C_q} = \sum_{i=1}^n P^{A_i} \left(\sum_{j=x, \dots, z} \left(P_{A_i}^{B_j} \sum_{k=1, \dots, q} P_{B_j, A_i}^{C_k} \right) \right) \quad (8)$$

Примери за определяне на вероятности чрез (8):

• Вероятност за настъпване на събития C_1 или C_2 или C_3 поради събитие B_2 без отчитане на събитията от ниво A :

$$P_{\bar{A} \cap B_2}^{C_1 \cup C_2 \cup C_3} = P^{A_1} P_{A_1}^{B_2} (P_{B_2, A_1}^{C_1} + P_{B_2, A_1}^{C_2} + P_{B_2, A_1}^{C_3}) + P^{A_2} P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_1} + P_{B_2, A_2}^{C_2} + P_{B_2, A_2}^{C_3}) + P^{A_3} P_{A_3}^{B_2} (P_{B_2, A_3}^{C_1} + P_{B_2, A_3}^{C_2} + P_{B_2, A_3}^{C_3}) + P^{A_4} P_{A_4}^{B_2} (P_{B_2, A_4}^{C_1} + P_{B_2, A_4}^{C_2} + P_{B_2, A_4}^{C_3}) + P^{A_5} P_{A_5}^{B_2} (P_{B_2, A_5}^{C_1} + P_{B_2, A_5}^{C_2} + P_{B_2, A_5}^{C_3}) \quad (9)$$

• Вероятност за настъпване на събитията C_1 или C_4 поради събития B_1 или B_2 без отчитане на събитията от ниво A :

$$P_{\bar{A} \cap (B_1 \cup B_2)}^{C_1 \cup C_4} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_1} (P_{B_1, A_1}^{C_1} + P_{B_1, A_1}^{C_4}) + P_{A_1}^{B_2} (P_{B_2, A_1}^{C_1} + P_{B_2, A_1}^{C_4})) + P^{A_2} (P_{A_2}^{B_1} (P_{B_1, A_2}^{C_1} + P_{B_1, A_2}^{C_4}) + P_{A_2}^{B_2} (P_{B_2, A_2}^{C_1} + P_{B_2, A_2}^{C_4})) + P^{A_3} (P_{A_3}^{B_1} (P_{B_1, A_3}^{C_1} + P_{B_1, A_3}^{C_4}) + P_{A_3}^{B_2} (P_{B_2, A_3}^{C_1} + P_{B_2, A_3}^{C_4})) + P^{A_4} (P_{A_4}^{B_1} (P_{B_1, A_4}^{C_1} + P_{B_1, A_4}^{C_4}) + P_{A_4}^{B_2} (P_{B_2, A_4}^{C_1} + P_{B_2, A_4}^{C_4})) + P^{A_5} (P_{A_5}^{B_1} (P_{B_1, A_5}^{C_1} + P_{B_1, A_5}^{C_4}) + P_{A_5}^{B_2} (P_{B_2, A_5}^{C_1} + P_{B_2, A_5}^{C_4})) \quad (10)$$

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 :

$$P_{C \cap (A_r \cup \dots \cup A_t)}^{B_1 \cup \dots \cup B_q} = \sum_{i=r, \dots, t} \left(P^{A_i} \sum_{k=1, \dots, q} P_{A_i}^{B_k} \right) \quad (11)$$

Примери за определяне на вероятности чрез (11):

• Вероятност за настъпване на събитие B_1

поради събитие A_5 без отчитане на събитията от ниво C :

$$P_{\overline{C \cap A_5}}^{B_i} = P^{A_5} P_{A_5}^{B_i} \quad (12)$$

- Вероятност за настъпване на събития B_1 или B_2 поради събития A_1 или A_5 без отчитане на събитията от ниво C :

$$P_{\overline{C \cap (A_1 \cup A_5)}}^{B_1 \cup B_2} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_1} + P_{A_1}^{B_2}) + P^{A_5} (P_{A_5}^{B_1} + P_{A_5}^{B_2}) \quad (13)$$

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 :

$$P_{\overline{C \cap \overline{A}}}^{B_x \cup \dots \cup B_z} = \sum_{i=1}^n \left(P^{A_i} \sum_{k=x, \dots, z} P_{A_i}^{B_k} \right) \quad (14)$$

Примери за определяне на вероятностите чрез (14):

- Вероятност за настъпване на събитие B_1 без отчитане на събитията от нива C и A :

$$P_{\overline{C \cap \overline{A}}}^{B_1} = P^{A_1} P_{A_1}^{B_1} + P^{A_2} P_{A_2}^{B_1} + P^{A_3} P_{A_3}^{B_1} + P^{A_4} P_{A_4}^{B_1} + P^{A_5} P_{A_5}^{B_1} \quad (15)$$

- Вероятност за настъпване на събития B_1 или B_2 без отчитане на събитията от нива C и A :

$$P_{\overline{C \cap \overline{A}}}^{B_1 \cup B_2} = P^{A_1} (P_{A_1}^{B_1} + P_{A_1}^{B_2}) + P^{A_2} (P_{A_2}^{B_1} + P_{A_2}^{B_2}) + P^{A_3} (P_{A_3}^{B_1} + P_{A_3}^{B_2}) + P^{A_4} (P_{A_4}^{B_1} + P_{A_4}^{B_2}) + P^{A_5} (P_{A_5}^{B_1} + P_{A_5}^{B_2}) \quad (16)$$

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 :

$$P_{\overline{C \cap \overline{B}}}^{A_1 \cup \dots \cup A_q} = \sum_{k=1, \dots, q} P^{A_k} \quad (17)$$

Примери за определяне на вероятности чрез (17):

- Вероятност за настъпване на събитие A_1 без отчитане на събитията от нива B и C :

$$P_{\overline{C \cap \overline{B}}}^{A_1} = P^{A_1} \quad (18)$$

- Вероятност за настъпване на събитията A_1 или A_3 без отчитане на събитията от нива B и C :

$$P_{\overline{C \cap \overline{B}}}^{A_1 \cup A_3} = P^{A_1} + P^{A_3} \quad (19)$$

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 вероятностите на събитията, довели до това събитие. За целта се използва теоремата на Бейс [15,18]:

$$P(H_i | A) = \frac{P(H_i)P(A|H_i)}{P(A)} \quad (20)$$

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 теоремата на Бейс са изведени следните общени 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. ПРИМЕР ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИТЕ МЕТОДИ КЪМ АНАЛИЗА НА АВАРИИ С ТОВАРОПОДЕМНИ КРАНОВЕ

Разработената методика за вероятностно-статистически анализ на аварии е приложена за анализ на аварии с повдигателни съоръжения. Статистическите данни за аварията са достъпни в [8] и [9], а предварителен анализ и визуализация на данните са направени в [9]. 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. Резултатите от извършения качествен анализ на причините за аварии съвпадат до голяма степен с резултатите от анализа за причините, извършен в [6], съгласно който най-честите причини са:

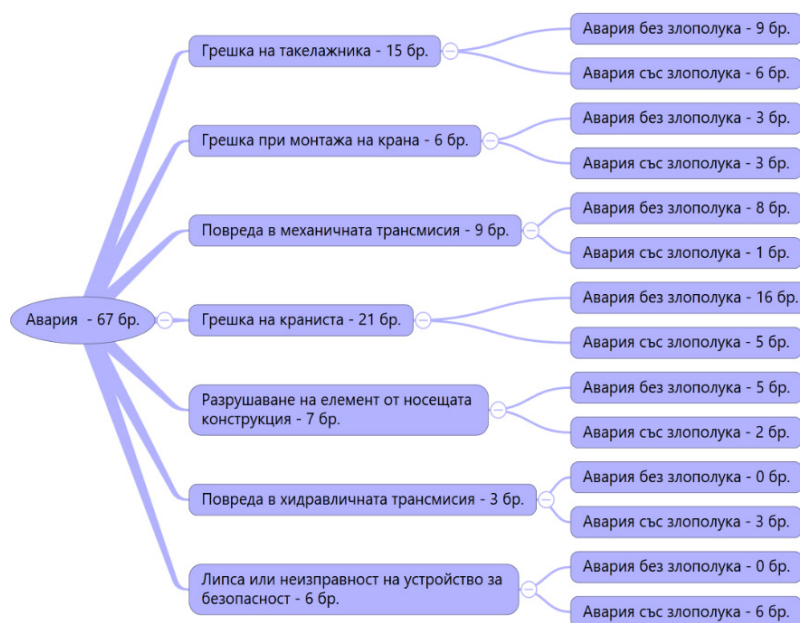
1) Технически причини: а) некачествено изработено или неизправно техническо устройство; б) неизправност на устройствата за безопасност; в) изтъняване на метала вследствие на триене и корозия; г) износване на шарнирни съединения; д) износване на метала на въжено-блоковата система; е) износване на хидравличните и пневматичните системи на крана; ж) неизправност на товарозахватните съоръжения.

2) Организационни причини: а) неспазване или липса на правила за извършване на дейностите на обекта, длъжностни и производствени инструкции; б) нарушаване на трудова дисциплина и техника на безопасност при експлоатация на подемни съоръжения; в) несъгласувани действия на обслужващия персонал; г) некачествено извършена експертиза за промишлена безопасност; д) нарушаване на технологичните режими при експлоатация; е) ненавременно извършване на планови прегледи, ремонти и техническо освидетелстване на съоръженията; ж) допускане на лица с ниска квалификация за извършване на работите.

3) Външни причини: неблагоприятни метеорологически условия.

Извършения анализ на статистическите данни [8] откроява няколко основни причини, които имат организационен или технически характер [9]. 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. 8, която съдържа изброените причини за аварията и възможните изходи от аварията, като също така са представени и бройките на различните събития, извлечени от статистическите данни. Чрез използване на методиката в точка 5 могат да се определят различни вероятности.



фиг.8 Дърво на аварияте при отчитане на причините за авария

7. ИЗВОДИ

Въз основа на извършените изследвания в настоящата глава могат да се направят следните изводи:

- Разработената методика за вероятностно - статистически анализ на аварияте на индустриално оборудване 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 се основава на представянето на аварияте чрез дървовидна диаграма и пресмятането на условните вероятности за настъпване на определени събития. Точността на определяне на вероятностите се повишава чрез увеличаване на размера на регистъра на аварияте. Комбинирането на няколко графични и текстови информационни средства на една графика дава възможност за представяне на няколко признака на аварията върху една графика, като при това се запазва пълноценното усвояване на представената

информацията от потребителя;

- Основните резултати от прилагането на методиката са: 1) повишаване на ефективността при проектиране и инженерен анализ на оборудването; 2) оценка на безопасността и риска; 3) намаляване на честотата на аварияте; 4) установяването на причинно-следствените връзки между събитията, възникващи при аварията; 5) провеждане на организационни и технически мероприятия с цел превенция и намаляване на честотата на аварияте; 6) провеждане на целево обучение на операторите и помощния персонал.

Литература:

1. MBP <https://www.mvr.bg/gdpbzn/info-center/pravila-povedenie/pri-prom-avarii>, (посетен на 06.04.2020).
2. Mitrev R., Tudjarov B. Web based tool for Modeling and Simulation of vehicles collisions. Mechatronics-2014, Tokyo, November 27-29, 2014, Tokyo, Japan
3. Bunn T., Slavova S. et al. Narrative text analysis of Kentucky tractor fatality reports." Accident Analysis & Prevention 40(2): 419-425, 2008.
4. 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.

5. **Shepherd, G., Kahler, J. et al.** Crane fatalities - a taxonomic analysis. *Safety Science* 36(2): 83-93, 2000.
6. **Поветкина П., Хамидуллина Е.** Анализ аварийности и травматизма при работе с грузоподъемными механизмами. XXI век. Техносферная безопасность. Том 3. N4, 2018.
7. **НБЕТНПС** - 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.
8. 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.
9. **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.
10. **Minitab** www.minitab.com, (посетен на 06.04.2020).
11. **Excel** products.office.com/excel, (посетен на 06.04.2020).
12. www.angledatamining.com, (посетен на 06.04.2020).
13. **Митрев Р.** Методика за вероятностен анализ на аварията, възникващи при експлоатацията на индустриално оборудване. Международна научна конференция „70 години МТФ“, 11-13 Септември, 2015, Созопол, България.
14. **Montgomery D., Runger G.** Applied Statistics and Probability for Engineers. Wiley, 2018.
15. **Hogg R., Tanis E., Zimmerman E.** Probability and Statistical Inference. Ninth Edition. Pearson, 2015.
16. **Викторова В., Степаняц А.** Модели и методи расчета надежности технических систем. URSS, Москва, 2016.
17. **Bearfield G., Marsh W.** Generalising Event Trees Using Bayesian Networks with a Case Study of Train Derailment. In: Winther R., Gran B.A., Dahl G. (eds) Computer Safety, Reliability, and Security. SAFECOMP 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol 3688. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
18. **Калинов К.** Теория на вероятностите и статистика, Издателство “НБУ”, София, 2002.

АНАЛИЗ НА РЕГИСТРИ ЗА АВАРИИ ЧРЕЗ МЕТОДИТЕ НА МАШИННОТО ОБУЧЕНИЕ

Росен МИТРЕВ

¹ 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 установяват 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. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ НА МАШИННОТО ОБУЧЕНИЕ КЪМ АНАЛИЗА НА РЕГИСТРИ НА АВАРИИ

Аналитичната обработка на данните от регистъра на аварията на индустриално оборудване [14] е ключов елемент за разкриване на причинно-следствените връзки между признаците на аварията и изхода на аварията. Представената в [14] 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 [1,2]. В случая се използва обучение с учител (supervised learning) [3]. Основната цел на прилагането на обучението с учител към регистъра на аварията на специализирано индустриално оборудване е да се изгради математически модел, който да се обучи по данни от съществуващите регистри на аварията, съдържащи входните условия на аварията и изходните резултати от нея, който модел впоследствие да се използва за прогнозиране на изходите от аварията при нов набор от входни данни. В този случай се решава задачата на класификацията, чиято цел е набора от входни данни да се отнесе към съответния клас. Важно предимство при използването на методите на машинното обучение за анализ на регистрите на аварията е, че налице са множество съществуващи алгоритми за класификация, чрез които могат да се решават широк кръг задачи, постигайки различна точност на прогнозите. Съществуващите регистри на аварията са една

представителна извадка на генералната съвкупност от аварията, в която не е известно вероятностното разпределение. Всеки ред от регистъра съдържа както няколко входни стойности, така и съответстващата им изходна стойност от аварията. Една много важна особеност на регистъра е, че масива от данни за аварии може да се разширява чрез добавяне на информация за нови аварии, като с това се дообучава модела и подобрява точността на прогнозиране.

В настоящата статия се разработва компютърен модел, предназначен за анализ на регистри 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, приложен към анализ на регистри на аварии, е показана на фиг.1. Означенията на блоковете на схемата са следните: 1 - Блок, репрезентиращ генералната съвкупност на аварията; 2 – Блок, репрезентиращ регистъра на аварията; 3 - Обучителна извадка, която се извлича от регистъра на аварията; 4 - Валидираща извадка, която се извлича от регистъра на аварията; 5 - Блок, който репрезентира използваните алгоритми за класификация; 6 - Разработване на

математически модели на обучението с учител чрез използването на множество 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.1 Структурна логическа схема на модела на машинно обучение

Входните данни в алгоритъма са съвкупността от аварияте 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 трябва да включва множество алгоритми за класификация.

Компютърният модел, възпроизвеждащ структурата на модела от фиг.1 е изграден в програмата Orange 3 [4] (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 модела основните и допълнителните признаци на аварията. Тук се указва дали признаците 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 признаците по степента на тяхното влияние върху изходните данни;

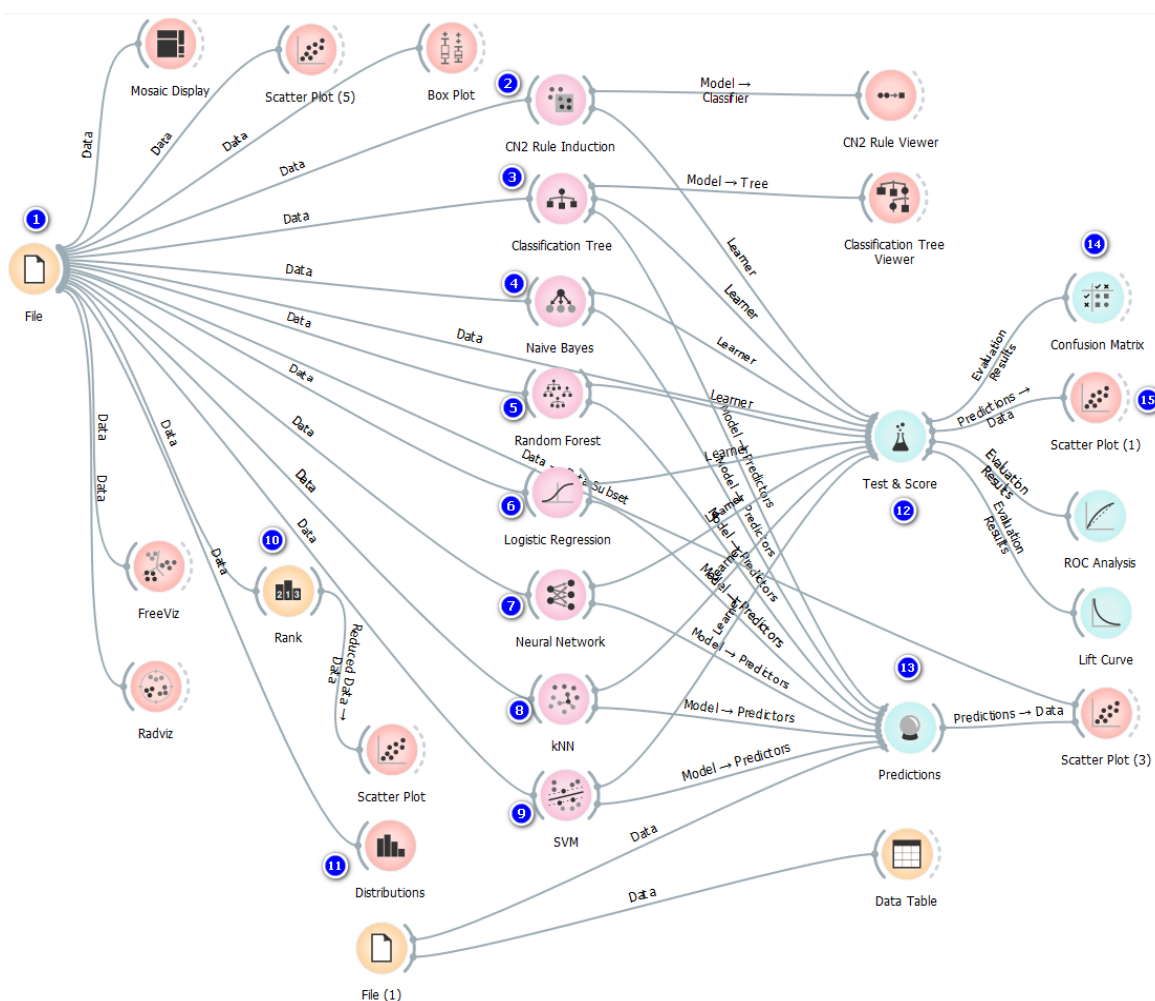
11 – Блок за построяване на вероятностните разпределения на входните данни;

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 обръкването;

15 – Блокове за визуализация както на входните данни, така и на резултатите от извършената класификация.



фиг.2 Графичен модел на класификатора, изграден в Orange 3

Използваната среда за моделиране предоставя на потребителя следните класификатори (виж означенията на фиг.2):

2 – CN2 rule inducer [5] – 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) [6] – 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 признак 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 признак. 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) [7] – алгоритъм за класификация, използващ теоремата на Бейс;

5 – Случайна гора (Random forest) [8] – 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) [9] – класификационен алгоритъм, основан на използването на сигмоидната (логистичната) функция;

7 – Невронна мрежа (Neural network) [10] – 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) [3] – 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;

3. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ КОМПЮТЪРНОТО МОДЕЛИРАНЕ

Оценка за влиянието на отделните входните признаци върху изхода от аварията се извършва чрез блок Rank, който ранжира входните признаци според тяхната корелация с изходния клас. На фиг.3 е показано ранжирането на входните признаци 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.

	#	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 признаци съгласно различни числени показатели

Резултатите от приложението на различните класификатори за прогнозиране на изходите от аварията са представени чрез матрица на объркването (confusion matrix) [3,13]. 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 прогнози като известна част от тях са извън диагонала, т.е. те са погрешни.

Actual	Predicted				Σ
	H1 - Зп.	H2 - Б. зп.	H3 - Зп. и см.	H4 - См.	
H1 - Зп.	364	12	37	16	429
H2 - Б. зп.	26	671	2	0	699
H3 - Зп. и см.	49	5	138	0	192
H4 - См.	23	10	1	96	130
Σ	462	698	178	112	1450

Classification Tree

Actual	Predicted				Σ
	H1 - Зп.	H2 - Б. зп.	H3 - Зп. и см.	H4 - См.	
H1 - Зп.	371	8	30	20	429
H2 - Б. зп.	23	671	3	2	699
H3 - Зп. и см.	31	6	153	2	192
H4 - См.	22	10	2	96	130
Σ	447	695	188	120	1450

Random Forest

Actual	Predicted				Σ
	H1 - Зп.	H2 - Б. зп.	H3 - Зп. и см.	H4 - См.	
H1 - Зп.	266	62	90	11	429
H2 - Б. зп.	69	622	0	8	699
H3 - Зп. и см.	66	10	93	23	192
H4 - См.	16	11	11	92	130
Σ	417	705	194	134	1450

Naïve Bayes

Actual	Predicted				Σ
	H1 - Зп.	H2 - Б. зп.	H3 - Зп. и см.	H4 - См.	
H1 - Зп.	376	6	32	15	429
H2 - Б. зп.	25	668	1	5	699
H3 - Зп. и см.	30	4	155	3	192
H4 - См.	24	8	0	98	130
Σ	455	686	188	121	1450

CN2 Rule Inducer

		Predicted				Σ
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	
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				Σ
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	
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				Σ
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	
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				Σ
		H1 - Зл.	H2 - Б. зл.	H3 - Зл. и см.	H4 - См.	
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 признаци H_i се използват следните показатели [3,13], които се пресмятат чрез получените стойности от матриците на обръкването. Accuracy A_{Hi} :

$$A_{Hi} = \frac{TP_{Hi} + \sum TN_{Hi}}{TP_{Hi} + \sum FP_{Hi} + \sum FN_{Hi} + \sum TN_{Hi}} \quad (1)$$

табл. 1 Стойности за пресмятане на характеристиките на признака H2 – Б.зл.

		Предсказани			
		H1 – Зл.	H2 – Б.зл.	H3 – Зл. и см.	H4 – См.

Recall (Sensitivity) R_{Hi} :

$$R_{Hi} = \frac{TP_{Hi}}{TP_{Hi} + \sum FN_{Hi}} \quad (2)$$

Precision P_{Hi} :

$$P_{Hi} = \frac{TP_{Hi}}{TP + \sum FP_{Hi}} \quad (3)$$

Показател $F1_{Hi}$:

$$F1_{Hi} = 2 \frac{R_{Hi} \times P_{Hi}}{R_{Hi} + P_{Hi}} \quad (4)$$

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 случаи, т.е. на случаите, не принадлежащи към разглеждания изходен клас и не класифицирани от класификатора в този клас. На примера на признака H2 – Б.зл. в табл.1 е показано разположението на съответните параметри в матрицата на обръкването. 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 признаците H_i , а също така и усреднените показатели.

Сравняването на резултатите от различните класификатори може да се извърши по всяка от характеристиките.

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
-------------	-------	-------	-------	-------	-------

<i>H₃-Зл. и см.</i>					
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

<i>H₄-См.</i>					
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

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 признак 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 от анализа, с много висока

точност могат да се прогнозира изходите от авария H_1 -Зл. и H_2 -Б.зл., а с по - ниска - H_3 -Зл. и см. и H_4 - 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;

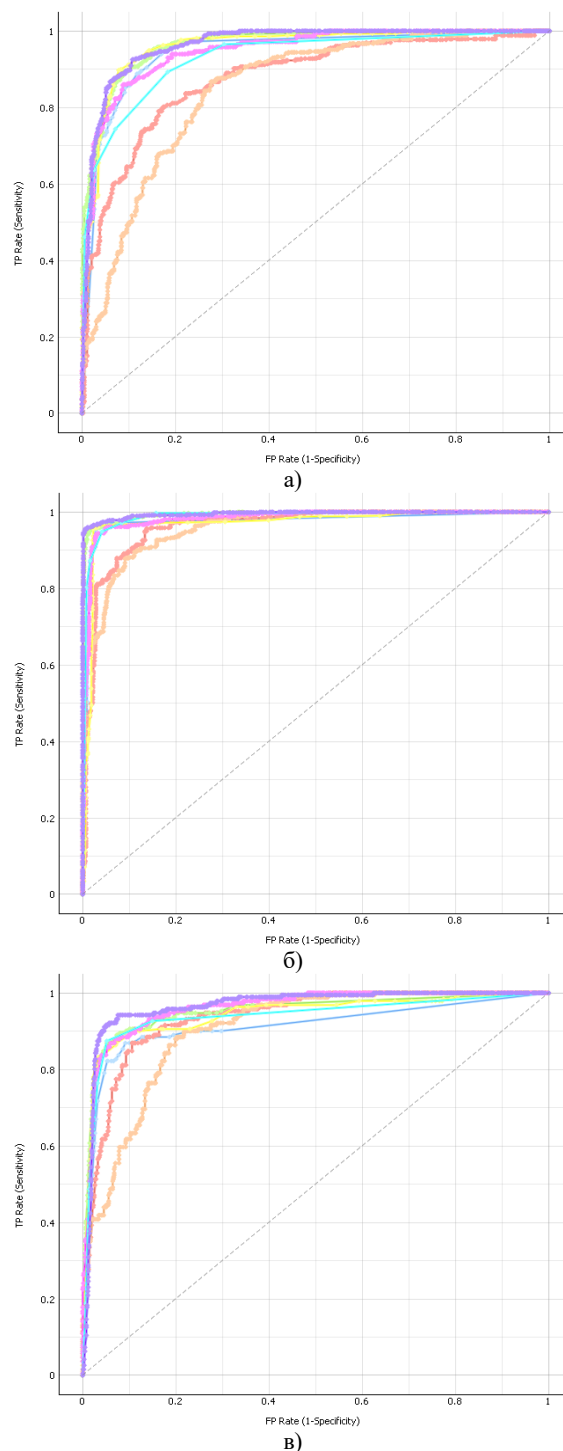
За визуализация на точността на класификацията са използвани и ROC криви (Receiver Operating Characteristic) [1,3,13], построени в координатна система Specificity(S_{Hi}) - Sensitivity(R_{Hi}), като за целта показателя Specificity се определя по следната зависимост:

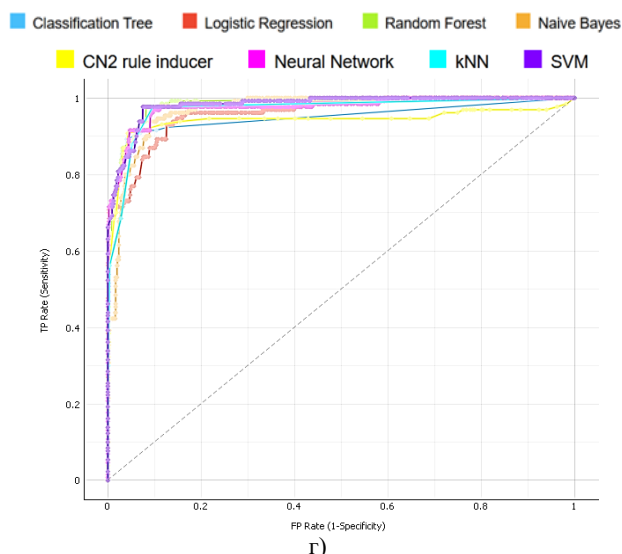
$$S_{Hi} = \frac{\sum TN_{Hi}}{\sum TN_{Hi} + \sum FP_{Hi}} \quad (5)$$

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 (стойност 0) и горната страни (стойност 1) 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.

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 компютърна програма за предсказване на изходите от аварията. Генерираните от този класификатор логически правила са

показани на фиг.6.





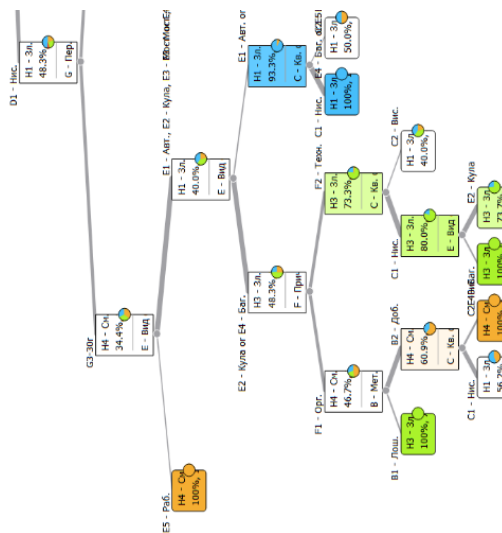
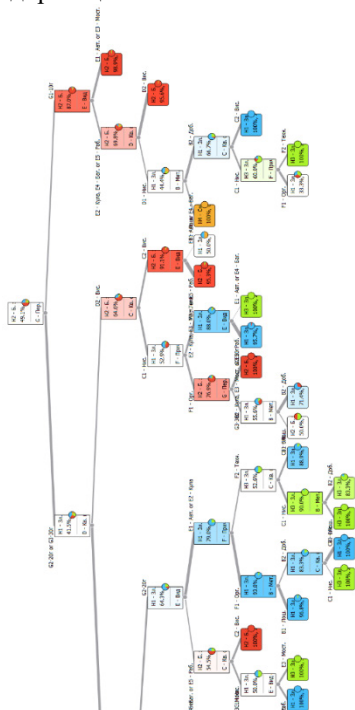
Фиг.5 ROC криви за: а) H_1 -Зл.; б) H_2 -Б.зл.; в) H_3 -Зл. и см.; г) H_4 -См.

IF conditions	THEN class
G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E3 - Мост.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
1 E - Вид съор.=E4 - Баг. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
2 E - Вид съор.=E4 - Баг.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
3 G - Пер.експл.=G1-10г AND D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
4 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E5 - Раб.	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
5 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
6 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
7 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND D - Кв. п.п.#D1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
8 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
9 E - Вид съор.=E3 - Мост. AND G - Пер.експл.=G2-20г	→ Н - Посл. авар.=H3 - Зл. и см.
10 E - Вид съор.=E3 - Мост.	→ Н - Посл. авар.=H1 - Зл.
11 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E1 - Авт. AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
12 D - Кв. п.п.#D1 - Нис. AND G - Пер.експл.=G1-10г	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
13 G - Пер.експл.=G1-10г AND B - Мет. усл.=B1 - Лош.	→ Н - Посл. авар.=H4 - См.
14 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E1 - Авт. AND C - Кв. опер.=C1 - Нис.	→ Н - Посл. авар.=H2 - Б. зл.
15 G - Пер.експл.=G1-10г AND E - Вид съор.=E1 - Авт. AND F - Прич. авар.=F1 - Орг.	→ 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 признаци. На фиг.7 е показано едно от генерираните възможни дървета, съдържащо 61 възела и 31 листа.



фиг.7 Графично изобразение на класификационното дърво

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 случаите, 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 прогнозиране.

табл.3.Прогнозирани 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 признаци с по-малък брой класове. За тази цел се въвежда нов признак K с две стойности “Да – има злополука/см.сл” и “Не – няма злополука/см.сл.”

Стойностите на този признак са получени като стойностите на признак „Н – последствие от авария“ са групирани в двата споменати класа. Резултатите от сравнението на различните класификатори за този случай са показани в табл.4.

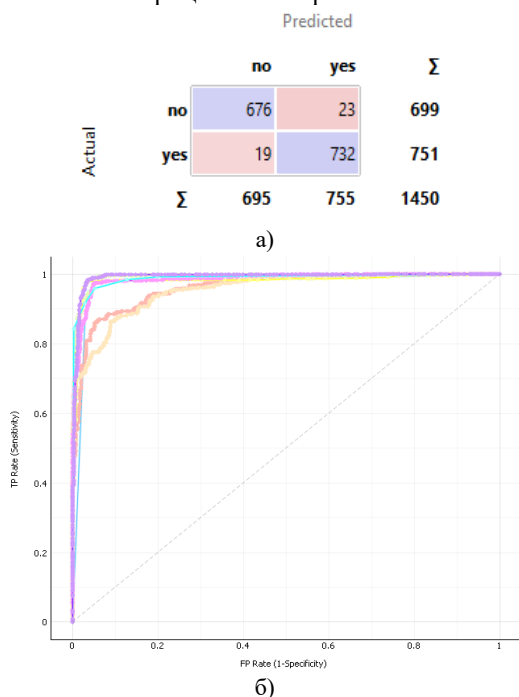
табл.4 Точност на различните класификатори

$K-no$					
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
Naïve 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
Naïve 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 объркването и ROC кривите за всичките класификатори за клас yes. Както се вижда, броят на извъндагоналните елементи в матрицата на объркването е малък.



фиг.8 Характеристики на точността на модела: а) матрица на объркването; б) ROC крива

Тъй като всички признаци 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 някой от входните признаци да бъде прогнозирана стойността на липсващия входен признак. Това е направено като

признака *C - Кв. опер.* е считан за изходен, а признака *K – Зл., см. или без* е считан за входен. Най-добри показатели в този случай показва метода SVM за който показателя Recall е 0.768, а матрицата на объркването 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 объркването

4.ИЗВОДИ

Извършените в настоящата глава изследвания позволяват да се направят следните изводи:

- Основаният на методите на машинното обучение компютърен модел на регистъра на аварии позволява извличане на допълнителна информация за аварията, за прогнозиране на изходите от аварията или за установяване на причините за аварията на индустриално оборудване;
- Компютърният модел позволява обработване на големи масиви от данни за аварии, като базата от данни може непрекъснато да се допълва с нови случаи. Всички признаци в регистъра са равностойни от гледна точка на възможността в машинното обучение да бъдат дефинирани като входни или изходни. Признаците на аварията могат да бъдат както от категориен, така и от числен тип;
- Налице са множество алгоритми за класификация с различна точност, която може да се оцени чрез редица числени и графични показатели. Извършените числени експерименти с различни класификатори показват, че при наличие на достатъчен размер на регистъра на аварии, степента на прогнозиране е висока. Също така, точността на прогнозиране може да бъде повишена чрез обединение на два или повече признака в един, но намалявайки по този начин количеството изходна информация.

Литература:

1. **Shmueli G., Bruce P., Patel. N.** Data mining for business analytics. Concepts, techniques and applications with XLMiner. Wiley, 2016.
2. **Иванов М.** Съвременни методи за интелигентен анализ на данни. New Bulgarian University Scholar Electronic Repository. <https://core.ac.uk/display/78377667?recSetID=> (посетен на 19.05.2020).
3. **Sammur C., Webb G. (Editors).** Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining. Second Edition. Springer, 2017.
4. www.orangedatamining.com, (посетен на 06.04.2020).
5. **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.
6. **Murthy S.K.** Automatic construction of decision trees from data: a multi-disciplinary survey. Data Min Knowl Discov 2(4), 345–389, 1998.
7. **Kononenko I.** Naive Bayesian classifier and continuous Attributes. Informatica 16(1):1–8, 1992.
8. **Breiman L.** Random forests. Mach Learn 45(1):5–32, 2001.
9. **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.
10. **Anthony M., Bartlett P.L.** Neural network learning: theoretical foundations. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
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.
12. <https://orange3.readthedocs.io/projects/orange-visual-programming/en/latest/widgets/data/rank.html>, (посетен на 06.04.2020).
13. **Fawcett T.** An Introduction to ROC Analysis. Pattern Recognition Letters, 27 (8): 861–874, 2006. doi:10.1016/j.patrec.2005.10.010.
14. **Митрев П.** Разширен анализ на регистри за аварии на индустриално оборудване чрез вероятностни методи. Българско списание за инженерно проектиране, брой 43, януари 2021г.