

ISSN(print) 2312 – 6590

ISSN(online) 2709-6149

doi.org/10.32347/gbdmm2020.95

**Гірничі,
будівельні,
дорожні
та меліоративні
машини**

95

2020

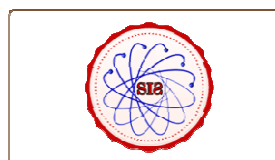
**Всеукраїнський збірник
наукових праць**

**Mining, constructional,
road and melioration
machines**

**Allukrainian collection
of scientificworks**



Національна бібліотека України
імені В. І. Вернадського



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ГІРНИЧІ, БУДІВЕЛЬНІ, ДОРОЖНІ ТА МЕЛІОРАТИВНІ МАШИНИ

Всеукраїнський збірник наукових праць

Видається в КНУБА з 1965 р. двічі на рік

Випуск 95

(Січень – Червень, 2020)



Allukrainian collection
of scientific works
GBDMM

MINING, CONSTRUCTIONAL, ROAD AND MELIORATION MACHINES

Allukrainian collection of scientific works

Founded KNUCA in 1965

Number 95

(January – June 2020)

<http://gbdmm.knuba.edu.ua>

(<http://gbdmm.at.ua>)

Київ / Kyiv

Свідоцтво про державну реєстрацію: КВ № 15433-4005Р від 09.07.2009
Засновник: Київський національний університет будівництва і архітектури

Головний редактор *Михайло Сукач*, д.т.н., проф.
Заступник редактора *Микола Кузьмінець*, д.т.н., доц.

Проблематика	Research areas
Моделювання робочих процесів машин	Modeling workflows
Гірничі та піднімально-транспортні машини	Mining and lifting transport machines
Будівельні машини і технологічне обладнання	Construction machines and technical equipment
Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт	Machines for earthworks, road and forestry work
Автоматизація і інформаційні технології	Automation and information technology

Редакційна колегія

<i>Юрій Абрашкевич</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)	<i>Юрій Науменко</i> , д.т.н., проф. (НУВГП, Рівне)
<i>Олександр Вольченко</i> , д.т.н., проф. (ІФНТУНГ, Івано-Франківськ)	<i>Леонід Пелевін</i> , к.т.н., проф. (КНУБА, Київ)
<i>Дмитро Гончаренко</i> , д.т.н., проф. (ХНУБА, Харків)	<i>Ігор Ребезнюк</i> , д.т.н., проф. (НЛТУУ, Львів)
<i>Володимир Гришин</i> , д.т.н., проф. (ОДАБА, Одеса)	<i>Роман Рогатинський</i> , д.т.н., проф. (ТНТУ, Тернопіль)
<i>Леонід Заміховський</i> , д.т.н., проф. (ІФНТУНГ, Івано-Франківськ)	<i>Володимир Сівко</i> , д.т.н., проф. (НТУ, Київ)
<i>Святослав Кравець</i> , д.т.н., проф. (НУВГП, Рівне)	<i>Всеволод Франчук</i> , д.т.н., проф. (ДВНЗ НГУ, Дніпро)
<i>В'ячеслав Ловейкін</i> , д.т.н., проф. (НУБіП, Київ)	<i>Леонід Хмара</i> , д.т.н., проф. (ПДАБА, Дніпро)
<i>Леонід Мазуренко</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)	<i>Валерій Яковенко</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)
<i>Володимир Лебедев</i> , д.т.н., проф. (ІЕЗ ім. Є.О.Патона, Київ)	<i>Goran Bryntse</i> , ass. prof. (SERO, Borlange, Sweden)
<i>Олександр Маслов</i> , д.т.н., проф. (КрНУ ім. М.Остроградського, Кременчук)	<i>Stanislav Fic</i> , prof., dr hab (Lublin University of Technology, Poland)
<i>Володимир Надутий</i> , д.т.н., проф. (ІГТМ ім. М.С.Полякова НАНУ, Дніпро)	<i>Jerzy Grudzinski</i> , dr hab (University of Life Sciences in Lublin, Poland)
<i>Іван Назаренко</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)	<i>Eugeniusz Krasowski</i> , prof., dr hab (Polish Academy of Science in Lublin, Poland)

Рекомендовано до друку

вченою радою Київського національного університету
будівництва і архітектури 26.06.2020 р., протокол № 33

Усі права застережені. Відповідальність за зміст та достовірність
наведених даних несуть автори публікацій



Модельовання робочих процесів*Михаил Сукач*

Оценка точности инженерных расчетов пластинчатых рессор..... 5

Гірничі та піднімально-транспортні машини*Андрей Бойченко, Дмитрий Мищук*

Возможности использования библиотеки проектирования нейронных сетей TensorFlow для кинематического исследования манипулятора 14

Михайло Сукач, Анатолій Кравчук

Тенденції збільшення прохідності та безпеки машин (на прикладі броневих автомобілів армії США)..... 25

Будівельні машини і технологічне обладнання*Володимир Сівко, Борис Яковенко, Євген Міщук*

Дослідження форм власних коливань листів касетних установок для формування залізобетонних виробів..... 41

Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт*Леонід Пелевін, Євгеній Горбатюк, Микола Пристайло, Богдан Мельниченко*

Експериментальні дослідження заглиблення зуба розпушника при різних швидкостях переміщення базової машини..... 47

Олександр Єфименко, Мусаєв Заур

Проблема стійкості короткобазових колісних навантажувачів при виконанні транспортних операцій та шляхи її вирішення..... 54

Modeling workflows*Mykhailo Sukach*

Evaluation of the accuracy of engineering calculations bracket springs. 5

Mining and lifting transport machines*Andriy Boychenko, Dmitry Mishchuk*

Possibilities of using the packet TensorFlow neural network design library for the kinematic study of a manipulator 14

Mykhailo Sukach, Anatoly Kravchuk

Trends in increasing the possibility and security of machines (on the example of armored vehicles of the US Army)..... 25

Construction machines and technical equipment*Volodymyr Sivko, Valery Yakovenko, Yevhen Mishchuk*

Improvement of dynamics battery moulds for the formation of reinforced concrete products 41

Machines for earthworks, road and forestry work*Leonid Pelevin, Ievgenii Gorbatyuk, Mykola Prystajlo, Bogdan Melnichenko*

Experimental dosage of the loosening of the tooth of the rocket when changing the base of machine..... 47

Alexander Yefymenko, Zaur Musaiev

The problem of the stability of short-wheel loaders in the performance of transport operations and ways to solve it..... 54

**Автоматизація і інформаційні
технології**

*Олександр Терентьєв, Андрій Біло-
щицький, Євгеній Горбатюк, Воло-
димир Воляннюк, Дмитро Міщук*

Методи та аналіз причин пошко-
дження системи діагностики техніч-
ного стану будівель та споруд.....

60

**Automation and information
technology**

*Olexander Terentyev, Andriy Bi-
loshchytskyi, Ievgenii Gorbatyuk,
Volodymer Voliyanuk, Dmytro
Mischuk*

Methods and analysis of causes of
processing of the system of diagno-
sis of the technical condition build-
ing and construction

60

УДК 624.132.1

Оценка точности инженерных расчетов пластинчатых рессор

Михаил Сукач

Киевский национальный университет строительства и архитектуры
03037, Воздухофлотский проспект 31, Киев, Украина,
msukach@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0485-4073>

Received: 01.02.2020; Accepted: 10.03.2020
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0101>

Аннотация. Ранее была изложена методика инженерного расчета скобовидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками (СПРк) и дан пример такого расчета применительно к рессоре задней подвески кабины автомобиля КамАЗ [1, 2]. Как показали предварительные исследования, точность расчета СПРк заметно зависит от выбора исходных условий для такого расчета и величины шага суммирования при замене интегрирования суммированием малых приращений [3 – 5]. Поэтому представилось целесообразным оценить влияние упомянутых условий на результаты расчета одной и той же СПРк при их вариации.

Целью таких сравнительных расчетов является выработка рекомендаций для проведения инженерных расчетов СПРк с наименьшей трудоемкостью при точности, удовлетворяющей требованиям практического применения. Поскольку расчеты проводились как сравнительные, и в результате определялась их точность как относительная величина прогиба СПРк к прогибу рессоры, вычисленному по методике, условно принятой за исходную, то абсолютная величина начальных данных, положенных в основу расчета, могла быть выбрана в значительной степени произвольно. Приведенные ниже расчеты выполнены применительно к СПРк, предназначенной для подвески колес тяжелого грузового автомобиля, рессоры которого изготовлены из стали 60С2ХФА.

Рассчитываемая СПРк имеет полотно и полки постоянной толщины, причем исходный для расчета радиус кривизны полки постоянен на всей ее длине [6, 7, 15]. Расчету подлежал лишь собственный прогиб полки δ_1 поскольку именно точность вычисления его величины

определяет точность расчета всей рессоры [8 – 10, 16, 17].

Ключевые слова: скобовидная пластинчатая рессора, прогиб, момент сопротивления, напряжение изгиба

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка точности инженерных расчетов скобовидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками, удовлетворяющей требованиям практического применения.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ РЕССОРЫ

Исходные данные

Расчетная схема полки СПРк изображена на Рис.1.

Примем для расчета:

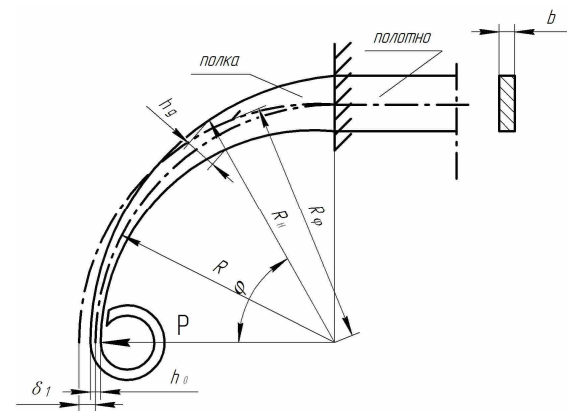


Рис.1. Расчетная схема полки рессоры

Fig. 1. Design scheme shelf of springs

- продольная нагрузка $P = 50000 \text{ Н}$;
- наибольшее допускаемое напряжение изгиба в полке и полотне $[\delta_u] = 1500 \text{ МН/м}^2$;
- толщина рессоры $b = 1,4 \text{ см} = \text{const}$;
- модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$.

1. Расчет при постоянном радиусе нейтральной линии полки

Примем: $R = 30 \text{ см} = \text{const}$, $[\sigma_u] = \text{const}$.

Необходимый момент сопротивления корневого сечения полки СПРк

$$[W] = \frac{PR}{[\sigma_u]} ; \quad (1)$$

$$[W] = \frac{50000 \cdot 30}{1500 \cdot 10^2} = 10 \text{ см}^3 .$$

Необходимая высота корневого сечения полки

$$[h] = \sqrt{\frac{6W}{b}} ; \quad (2)$$

$$[h] = \sqrt{\frac{6 \cdot 10}{1,4}} = 6,55 \text{ см} .$$

Принимаем высоту сечения $h = 6,55 \text{ см}$.

Согласно формуле $f \approx 2,396 \frac{R^2 [\delta]}{h_1 E}$, по-

лученной автором для проектировочного расчета СПР с криволинейными полками, работающей преимущественно на сжатие, теоретический прогиб полки СПРк

$$\delta_{11} = 2,396 \frac{R^2 [\sigma_u]}{hE} ; \quad (3)$$

$$\delta_{11} = 2,396 \frac{30^2 \cdot 1500}{6,55 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 2,35 \text{ см} .$$

2. Расчет по среднему радиусу нейтральной линии полки при постоянном наружном радиусе R_H

Примем, при $h = 6,55 \text{ см}$ и радиусе нейтральной линии полки в ее корневом сечении при $\varphi = 90^\circ$, $R_k = R = 30 \text{ см}$, высоту начального сечения полки (при $\varphi = 0^\circ$)

$$h_o = \frac{h}{5} = 1,3 \text{ см} .$$

При постоянном наружном радиусе полки

$$R_H = R + \frac{h}{2} = \text{const} ; \quad (4)$$

$$R_H = 30 + \frac{6,55}{2} = 33,275 \text{ см} = \text{const} .$$

Радиус R_o нейтральной линии в начальном сечении полки

$$R_o = R_H - \frac{h_o}{2} ; \quad (5)$$

$$R_o = 33,275 - \frac{1,3}{2} = 32,625 \text{ см} .$$

Условный средний радиус нейтральной линии полки

$$R_{cp} = \frac{R + R_o}{2} ; \quad (6)$$

$$R_{cp} = \frac{30 + 32,625}{2} = 31,31 \text{ см} .$$

Прогиб полки, вычисленный по методу п.2,

$$\delta_{12} \approx 2,396 \frac{R_{cp}^2 [\sigma_u]}{hE} ; \quad (7)$$

$$\delta_{12} \approx 2,396 \frac{31,31^2 \cdot 1500}{6,55 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 2,56 \text{ см} .$$

3. Расчет при постоянном наружном радиусе полки

Опыт изготовления скобовидных пластинчатых рессор показал, что технологически предпочтительнее выполнять их с постоянным (заданным) наружным радиусом полки.

Примем, при геометрических параметрах рессоры, определенных в п.1 и 2,

$$R_H = R + \frac{h}{2} = 33,275 \text{ см}$$

Прогиб полки СПРк определяется по формуле Мора

$$\delta_{13} = \int_0^{\pi/2} \frac{M_\varphi \bar{M}_\varphi R_\varphi d_\varphi}{EI_\varphi}, \quad (8)$$

где

$$M_\varphi = PR_\varphi \sin \varphi \quad (9)$$

$$M_\varphi = R_\varphi \sin \varphi$$

$$R_\varphi = R_H - \frac{h_\varphi}{2}; \quad (10)$$

$$I_\varphi = \frac{bh_\varphi^3}{12}. \quad (11)$$

С учетом формул (9 – 11)

$$\delta_{13} = \frac{12P}{bE} \int_0^{\pi/2} \frac{R_\varphi^3 \sin^2 \varphi d\varphi}{h_\varphi^3}; \quad (12)$$

$$h_\varphi = \sqrt{\frac{6PR_\varphi \sin \varphi}{b[\sigma_u]}}; \quad (13)$$

$$h_\varphi = \sqrt{\frac{6 \cdot 50000 \left(R_H - \frac{h_\varphi}{2} \right) \sin \varphi}{1,4 \cdot 1500 \cdot 10^2}}. \quad (14)$$

Преобразовывая (14), получим

$$h_\varphi^2 = \frac{h_\varphi \sin \varphi}{1,4} - 47,5357 \sin \varphi = 0. \quad (15)$$

Поскольку, с учетом (14), вычисление интеграла, входящего в выражение (12), представляет определенные трудности, то заменяем интеграл, входящий в формулу (12) суммой конечных приращений, что при малом шаге суммирования обеспечивает достаточно высокую точность расчета.

При этом прогиб СПРк вычисляется по формуле

$$\delta_{13} = \frac{24P}{bE} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{R_i^3 \sin^2 \varphi_i \Delta \varphi_i}{h_i^3 + h_{i-1}^3}. \quad (16)$$

Здесь величина h_i определяется из квадратного уравнения

$$h_i^2 + \frac{h_i \sin \varphi_i}{1,4} - 47,5357 \sin \varphi_i = 0; \quad (17)$$

$$h_i = \frac{\sin \varphi_i}{2,8} + \sqrt{\frac{\sin^2 \varphi_i}{7,84} + 47,5357 \sin \varphi_i}, \quad (18)$$

где n – число участков деления дуги, соответствующей $\varphi = \frac{\pi}{2}$,

$$\Delta \varphi_i = \frac{\pi}{2n}.$$

Вычисления выполнены для двух случаев:

$$\text{а) } n = 15; \Delta \varphi_i = \frac{\pi}{30} = 6^\circ = 0,1047$$

и

$$\text{б) } n = 45; \Delta \varphi_i = \frac{\pi}{90} = 2^\circ = 0,0349.$$

Результаты вычислений по формулам (18) и (16) сведены в Табл.1 и 2.

Таблица 1. Расчет спиралевидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками (при $n = 15$, $R_H = 33,275$)

Table 1. Calculation of a spiral leaf spring with curved shelves (for $n = 15$, $R_H = 33,275$)

№ сеч. i	φ_i°	$\sin \varphi_i$	$\frac{\sin \varphi_i}{2,8}$	$\frac{\sin^2 \varphi_i}{7,84}$	$47,5357x$ $\cdot \sin \varphi_i$	(5)+(6)	$\frac{b_i}{\text{см}}$	$h_i^1, \text{см}^3$	$\frac{(9)+(9)_{i-1}}{\text{см}^3}$	$\frac{R_i}{\text{см}}$	$\frac{R_i^3}{\text{см}^3}$	$(3)^2 \cdot x(12)$	$\frac{(13)}{(10)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	0	1,3	2,197	0	0	0	0	0
1	6	0,1045	0,0373	0,00139	4,967	4,968	2,19	10,503	12,7	32,18	33324	363,9	28,65
2	12	0,2079	0,0742	0,00551	9,883	9,889	3,07	28,93	39,43	31,74	31976	1382,1	35,05
3	18	0,3090	0,1104	0,01218	14,689	14,701	3,72	51,48	80,41	31,42	31018	2961,6	36,83
4	24	0,4067	0,1452	0,0211	19,333	19,354	4,25	76,77	128,25	31,15	30226	4999,5	38,98
5	30	0,5	0,1786	0,0319	23,768	23,8	4,7	103,82	180,59	30,93	29590	7397,5	40,96
6	36	0,5878	0,2099	0,0441	27,941	27,985	5,08	131,1	234,92	30,74	29048	10036	42,72
7	42	0,6691	0,239	0,0571	31,806	31,863	5,41	158,34	289,44	30,57	28568	12790	44,19
8	48	0,7431	0,265	0,0704	35,324	35,394	5,68	183,25	341,59	30,44	28205	10575	45,60
9	54	0,809	0,289	0,0835	38,456	38,54	5,92	207,47	390,72	30,32	27873	18242	46,69
10	60	0,866	0,309	0,0957	41,166	41,262	6,11	228,1	435,57	30,22	27598	20697	47,52
11	66	0,9135	0,326	0,1064	43,424	43,53	6,27	246,49	474,59	30,14	27380	22848	48,14
12	72	0,9511	0,340	0,1154	45,211	45,326	6,39	260,92	507,41	30,08	27217	24620	48,52
13	78	0,9781	0,349	0,1220	46,495	46,617	6,48	272,1	533,02	30,04	27108	25934	48,65
14	84	0,9945	0,355	0,1262	47,274	47,4	6,53	278,44	550,54	30,01	27027	26731	48,55
15	90	1,0	0,357	0,1276	47,536	47,663	6,55	281,01	559,45	30,0	27000	27000	48,26
													$\Sigma = 649,37$

Таблица 2. Расчет спиралевидной пластинчатой рессоры с криволинейными полками (при $n = 45$)

Table 2. Calculation of a spiral leaf spring with curved shelves (for $n = 45$)

№ сеч. i	φ_i°	$\sin \varphi_i$	$\frac{\sin \varphi_i}{2,8}$	$\frac{\sin^2 \varphi_i}{7,84}$	$47,5357x$ $\cdot \sin \varphi_i$	(5)+(6)	$\frac{b_i}{\text{см}}$	$h_i^1, \text{см}^3$	$\frac{(9)+(9)_{i-1}}{\text{см}^3}$	$\frac{R_i}{\text{см}}$	$\frac{R_i^3}{\text{см}^3}$	$(3)^2 \cdot x(12)$	$\frac{(13)}{(10)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	0	1,3	2,197	0	0	0	0	0
1	2	0,0349	0,0139	0,000194	1,659	1,659	1,3	2,197	4,39	32,63	34742	42,3	9,64
2	4	0,0698	0,0249	0,000621	3,318	3,319	1,8	5,83	8,03	32,38	33949	165,4	20,6
3	6	0,1045	0,0373	0,00139	4,967	4,968	2,19	10,503	16,33	32,18	33324	363,9	22,28
4	8	0,1392	0,0497	0,00247	6,617	6,619	2,52	16,003	26,51	32,02	32829	636,1	23,99
5	10	0,1736	0,062	0,00384	8,252	8,256	2,81	22,188	38,19	31,87	32370	975,5	25,54
6	12	0,2079	0,0742	0,00551	9,883	9,889	3,07	28,93	51,12	31,74	31976	1382,1	27,04
7	14	0,2419	0,0864	0,00746	11,499	11,506	3,31	36,26	65,19	31,62	31614	1849,9	28,38
8	16	0,2756	0,0984	0,00969	13,101	13,111	3,52	43,61	79,87	31,52	31315	2378,5	29,78
9	18	0,3090	0,1104	0,01213	14,689	14,701	3,72	51,48	95,09	31,42	31018	2961,6	31,15
10	20	0,342	0,1221	0,01492	16,257	16,272	3,91	59,78	111,26	31,32	30723	3593,5	32,3
11	22	0,3746	0,1338	0,0179	17,807	17,825	4,09	68,42	128,2	31,23	30459	4274,2	33,34
12	24	0,4067	0,1452	0,0211	19,333	19,354	4,25	76,77	145,19	31,15	30226	4999,5	34,43
13	26	0,4384	0,1566	0,0245	20,84	20,865	4,41	85,77	162,54	31,07	29993	5764,5	35,47

Окончание Табл. 2
End of Table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
14	28	0,4695	0,1677	0,0281	22,318	22,346	4,56	94,82	180,59	31,0	29791	6566,8	36,36
15	30	0,5	0,1786	0,0319	23,768	23,8	4,7	103,82	198,64	30,93	29590	7397,5	37,24
16	32	0,5299	0,1893	0,0358	25,189	25,225	4,83	112,68	216,5	30,86	29389	8252	38,12
17	34	0,5592	0,1997	0,0399	26,582	26,622	4,96	122,02	234,7	30,8	29218	9137	38,93
18	36	0,5878	0,2099	0,0441	27,941	27,985	5,08	131,1	253,12	30,74	29048	1003,6	39,65
19	38	0,6157	0,2199	0,0484	29,268	29,316	5,19	139,8	270,9	30,68	28878	10947	40,41
20	40	0,6428	0,2296	0,0527	30,556	30,609	5,3	148,88	288,68	30,63	28737	11874	41,13
21	42	0,6691	0,239	0,0571	31,806	31,863	5,41	158,34	307,22	30,58	28596	12802	41,67
22	44	0,6947	0,248	0,0616	33,023	33,085	5,5	166,37	324,71	30,53	28456	13733	42,29
23	46	0,7193	0,257	0,066	34,192	34,258	5,6	175,62	341,99	30,48	28317	14661	42,84
24	48	0,7431	0,265	0,0704	35,324	35,394	5,68	183,25	358,87	30,43	28178	15560	43,36
25	50	0,766	0,274	0,0748	36,412	36,487	5,77	192,1	375,35	30,39	28067	16468	43,87
26	52	0,783	0,281	0,0792	37,458	37,537	5,85	200,2	392,3	30,35	27956	17359	44,25
27	54	0,809	0,289	0,0835	38,456	38,54	5,92	207,47	407,49	30,31	27846	18225	44,73
28	56	0,829	0,296	0,0877	39,407	39,494	5,99	214,92	422,39	30,28	27763	19080	45,17
29	58	0,848	0,303	0,0917	40,31	40,402	6,05	221,45	436,37	30,25	27681	19906	45,62
30	60	0,866	0,309	0,0957	41,166	41,262	6,11	228,1	449,55	30,22	27598	20697	46,04
31	62	0,8829	0,315	0,0994	41,969	42,068	6,17	234,88	462,98	30,19	27516	21449	46,33
32	64	0,8968	0,321	0,103	42,725	42,828	6,22	240,64	475,52	30,16	27434	22162	46,61
33	66	0,9135	0,326	0,1064	43,424	43,53	6,27	246,49	487,13	30,14	27380	22848	46,90
34	68	0,9272	0,331	0,1097	44,075	44,185	6,32	252,44	498,83	30,12	27325	23491	47,08
35	70	0,9397	0,336	0,1126	44,689	44,78	6,35	258,05	508,49	30,1	27271	24081	47,36
36	72	0,9511	0,340	0,1154	45,211	45,326	6,39	260,92	516,97	30,08	27217	24620	47,62
37	74	0,9613	0,343	0,1179	45,696	45,814	6,43	265,85	526,77	30,06	27162	25100	47,65
38	76	0,9703	0,347	0,1201	46,124	46,244	6,46	269,59	535,44	30,05	27135	25547	47,71
39	78	0,9781	0,349	0,1220	46,495	46,617	6,48	272,1	541,69	30,04	27108	25834	47,88
40	80	0,9848	0,352	0,1237	46,813	46,937	6,5	274,62	546,72	30,03	27081	26264	48,04
41	82	0,9903	0,354	0,1251	47,075	47,2	6,52	277,17	551,79	30,02	27054	26532	48,08
42	84	0,9945	0,355	0,1262	47,274	47,4	6,53	278,44	555,61	30,01	27027	26731	48,11
43	86	0,9976	0,356	0,1269	47,422	47,549	6,54	279,73	558,17	30,005	27013	26883	48,16
44	88	0,9994	0,357	0,1274	47,507	47,634	6,55	281,01	560,74	30,0	27000	26968	48,09
45	90	1,0	0,357	0,1276	47,536	47,663	6,55	281,01	562,02	30,0	27000	27000	48,04
												$\Sigma = 1779,46$	

Следует отметить, что формула (14) получена при условии постоянства напряжений $[\sigma_u]$ по угловой координате сечения φ .

Однако при конечной величине высоты начального сечения h_0 напряжение изгиба достигает своей допускаемой величины $[\sigma_u]$ лишь в сечении, расположенном под некоторым начальным расчетным углом φ_H , при котором

$$\frac{6P\left(R_H - \frac{h_0}{2}\right)\sin\varphi_H}{bh_0^2} = [\sigma_u]; \quad (19)$$

$$\varphi_H = \arcsin \frac{[\sigma_u]bh_0^2}{6P\left(R_H - \frac{h_0}{2}\right)}. \quad (20)$$

В рассматриваемом случае

$$\varphi_H = \arcsin \frac{1500 \cdot 10^2 \cdot 1,4 \cdot 1,3^2}{6 \cdot 50000 \left(33,275 - \frac{1,3}{2}\right)} = 0,03626 = 2,08^\circ.$$

Следовательно, с допустимой точностью можно считать, что формулы (15) и (18) справедливы на всем протяжении полки СПРк как при $n = 15$ так и при $n = 45$.

Расчет СПРк при постоянном наружном радиусе полки по формуле (16) по данным Табл.1 ($n = 15$) дает значения для прогиба

$$\delta_{13a} = \frac{24 \cdot 50000}{1,4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^2} \cdot 649,31 = 2,775 \text{ см.}$$

Соответственно, по данным Табл.2 ($n = 45$),

$$\delta_{136} = \frac{24 \cdot 50000}{1,4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^2} \cdot 1779,46 = 2,535 \text{ см}$$

Таким образом, соотношение прогибов полки СПРк, вычисленных при различных исходных условиях и допущениях расчета,

$$\delta_{11}; \delta_{12}; \delta_{13a}; \delta_{136} = 2,36 : 2,57 : 2,775 : 2,535 = 1 : 1,09 : 1,176 : 1,074.$$

ВЫВОДЫ

Поскольку принципиально наиболее точным является расчет, в наибольшей степени приближающийся к классическому методу Мора, формула (8), а таковым в нашем случае является расчет по п.3 (при $n = 45$), то можно с достаточным основанием утверждать, что реальный прогиб полки рассмотренной СПРк близок к величине $\delta_{136} = 2,535$ см, и степень этого приближения возрастает с увеличением числа участков n . Вместе с тем, расчет этот является наиболее трудоемким.

Трудоемкость расчета СПРк можно существенно уменьшить, без заметного ущерба для точности, при расчете прогиба полки рессоры по среднему радиусу нейтральной линии полки при постоянном наружном радиусе R_H .

Допустимость такого инженерного расчета по формулам (6) и (7) обосновывается тем, что соотношение прогибов δ_{12} и δ_{136} в нашем случае составило $\delta_{12} = \delta_{136} = 2,57 : 2,535 = 1,0138$, то есть расчет по п.2 (по среднему радиусу нейтральной линии полки при постоянном наружном радиусе R_H) показал завышение результатов по сравнению с расчетом по п.3 (при постоянном наружном радиусе полки) всего лишь на 1,4 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные теоретические основы расчета скобовидных пластинчатых рессор, имеющих полки различной формы, и предложенная методика проектировочного и поверочного расчета таких рессор позволяют решить любую конкретную задачу, связанную с созданием скобовидной пла-

стинчатой рессоры для заданных условий (нагрузки, деформаций, габаритов, особенностей технологии изготовления). Такие задачи решались применительно к рессоре задней подвески кабины автомобилей КамАЗ. Их результаты апробированы практикой изготовления, испытания и опытной эксплуатации [11, 13].

В частности, опытная СПРк задней подвески кабины автомобиля КамАЗ, имеющая межшарнирное расстояние 450 мм, сечение средней части 10×16 мм и постоянный наружный радиус полки 138 мм, оказалась в 2,5 раза легче серийной 6-листовой четвертной рессоры, показала при стендовых испытаниях на КамАЗе долговечность, в 2,7 раза превышающую 50%-й ресурс серийной рессоры, и, при ведущихся в настоящее время длительных эксплуатационных испытаниях, уже прошла в подвеске автомобиля КамАЗ-5410 свыше 190 тыс. км без замечаний.

На заводе КамАЗ были установлены опытные СПР в задней подвеске кабины на автомобилях КамАЗ-5425, предназначенных для экспорта. При серийном внедрении СПРк для задней подвески кабины автомобилей КамАЗ, на Синельниковском рессорном заводе им. Коминтерна получена годовая экономия рессорной стали более 400 тонн при годовом экономическом эффекте более 519 тыс. у.е. [12, 14].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сукач М. К.** Обоснование принципов усовершенствования упругих устройств // М. К. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, - 2018, - Вип.91, - С. 28-35. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0301>.
2. **Сукач М. К.** Теоретические основы расчета скобовидных пластинчатых рессор // М. К. Сукач. - 2018. - Transfer of Innovative Technologies, - Vol.1, No 2, С. 40-50. <https://doi.org/10.31493/tit1812.0201>.
3. **Кисликов В. Ф.** Будова й експлуатація автомобілів: підручник. 6-те вид. // В. Ф. Кисликов, В. В. Лущик, - Киев, - 2006, - Либідь, - 400 с.
4. **Кузнецов В. А.** Конструирование и расчет автомобиля. Подвеска автомобиля: учеб. пособ. // В. А. Кузнецов, И. Ф. Дьяков. - Ульяновск, - 2003, - УлГТУ, - 60 с.
5. **Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии** // А. А. Лебедев, Б. И. Ковальчук, Ф. Ф. Гигиняк, В. П. Ламашевский. - Киев, - 2003, - Изд. дом Ин Юре.
6. **Сукач М. К.** Пружна підвіска транспортних засобів // М. К. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, - 2017, - Вип.90. - С. 73-78. <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/143525>.
7. **Сукач М. К.** Лабораторные исследования скобовидных пластинчатых рессор // М. К. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, - 2019, - Вип.94. - С. 16-24. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0102>
8. **Писаренко Г. С.** Справочник по сопротивлению материалов. 3-е изд., перераб. и доп. // Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. - Киев, - 2008. - Изд-во Дельта, 816 с.
9. **Прочность материалов и конструкций**, 2-е изд., перераб. и доп. Ред. кол. // В. Т. Трощенко (отв. ред.) и др. - Киев, - 2006. - Академперіодика, - 1076 с.
10. **Сирота В. І.** Основи конструкції автомобілів: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. та доп. // В. І. Сирота, - Киев, - 2005, - Арістей, - 280 с.
11. **Сукач М. К.** Пластинчаста ресора та амортизаційна підвіска з її використанням // М. К. Сукач / 5-й ВСНК Молодь, освіта, наука, духовність. Катеринчук О.В., - 2008. - Київ, Ун-т Україна.
12. **Сукач М. К.** Автомобільна підвіска транспортного засобу із застосуванням пластинчастої ресори // М. К. Сукач, В. Г. Гичак / 4-й ВСНК Молодь, освіта, наука, духовність. - Київ, - 2007. - Ун-т Україна.
13. **Сукач М.** Особливості застосування скобоподібних пружних ресор в автомобільному транспорті // М. Сукач / Transfer of Innovative Technologies, 2020 – Vol.3, No 1, С. 86-89. <https://doi.org/10.32347/tit2020.31.0210>.
14. **Lapenko O., Makhinko N.** Basic provisions for the analytical calculation of vertical cylindrical containers // O. Lapenko, N. Makhinko / Підводні технології, - 2020, - № 10. - С. 50-57. <https://doi.org/10.32347/uwt2020.10.1801>.
15. **Mishchuk D.** Research of the manipulator dynamics installed on an elastic basis // D.

Mishchuk / Підводні технології, – 2018, – № 08. – С. 54-56. <https://doi.org/10.26884/uwt1808.1301>.

16. **Скочко В.** Формоутворення каркасів технічних форм, заданих на площині неявними функціями // В. Скочко / Підводні технології, – 2017, – № 07. – С. 3-17. <https://doi.org/10.26884/1707.1101>.
17. **Мішук Д.** Відвал бульдозера з розпушувальними зубами / Д. Мішук, В. Волянчук, Є. Горбатюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – Вип. 92, – 2018. – С. 70-79. <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0403>.

REFERENCES

1. **Sukach M. K.**, (2018). Justification of the principles for the improvement of elastic devices. Mining, construction, road and melioration machines, Nr. 91, 28-35. – (in Russian). <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0301>
2. **Sukach M. K.**, (2018). Theoretical foundations for the calculation of staple-shaped leaf springs. Transfer of Innovative Technologies, Vol. 1, Nr. 2, 40-50. – (in Russian). <https://doi.org/10.31493/tit1812.0201>.
3. **Kislikov V. F., Lushchik V. V.**, (2006). Structure and operation of cars: textbook. 6 th ed. Kyiv: Lybid, 400 (in Ukrainian).
4. **Kuznetsov V. A., Dyakov I. F.**, (2003). Construction and calculation of the car. Suspension car: tutorial. Ulyanovsk, UISTU, 60 (in Russian).
5. **Lebedev A. A., Kovalchuk B. I., Giginyak F., Lamashevsky V. P.** (2003). Mechanical properties of structural materials under complex stress state. Kyiv, Ed. house "In Jure". – (in Russian).
6. **Sukach M. K.**, (2017). Elastic suspension of vehicles. Mining, construction, road and melioration machines, Nr. 90, 73-78. – (in Ukrainian). <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/143525>.
7. **Sukach M. K.**, (2019). Laboratory research of staple leaf springs. Mining, construction, road and melioration machines, Vol. 94, 16-24. – (in Russian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0102>.
8. **Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V.**, (2008). Handbook of resistance materials. 3 ed., Pererab. and additional. Kyiv, Delta Publishing House, 816. – (in Russian).
9. **Strength of materials and structures**, (2006). 2 ed, revised and enlarged. Ed. count V.T. Troshchenko (ed.) and oth., Kyiv, Academicperiodika, 1076. – (in Russian).
10. **Sirota V. I.**, (2005). Found in the design of automobiles: tutorial. 2 ed., Pererob. that add. Kyiv: Aristey, 280. – (in Ukrainian).
11. **Sukach M. K., Katerinchuk O. V.**, (2008). Plate spring and shock absorber suspension with its use. 5 VSNC Youth, education, science, spirituality. Kyiv, Un-t Ukraine. – (in Ukrainian).
12. **Sukach M. K., Gichak V. G.**, (2007). Automobile suspension of a vehicle with the use of a lamellar spring. 4 VTSNC Youth, education, science, spirituality. Kyiv, Un-t Ukraine. – (in Ukrainian).
13. **Sukach M.** (2020). Osoblivosti zastosuvannya skobopodibnih pruzhnyh resor v avtomobilnomu transporti [Features of application of bracket-shaped elastic springs in motor transport]. Transfer of Innovative Technologies, Vol. 3, Nr.1, 86-89. <https://doi.org/10.32347/tit2020.31.0210>.
14. **Lapenko O., Makhinko N.** (2020). Basic provisions for the analytical calculation of vertical cylindrical containers Pidvodni Tehnologii [Underwater Technologies], Nr. 10. 50-57. <https://doi.org/10.32347/uwt2020.10.201801>.
15. **Mishchuk D.** (2018). Research of the manipulator dynamics installed on an elastic basis. Pidvodni Tehnologii [Underwater Technologies], No. 08, 54-56. <https://doi.org/2010.26884/uwt1808.1301>.
16. **Skochko V.** (2017). Formoutvorenniya karkasiv tehnychnih form, zadanih na ploshini neyavnyimi funkciyami [Formation of frameworks of technical forms given on the plane by implicit functions], Nr. 07, 3-17. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.26884/1707.1101>.
17. **Mishchuk D., Volyanyuk V., Gorbatyuk Eu.** (2018). Dozer blade with ripper teeth. Gırniči, budıvelni, dorožni ta meliorativni mašini [Mining, constructional, road and melioration machines], Nr. 92, 70-79. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0403>.

Evaluation of the accuracy of engineering calculations bracket springs

Mykhailo Sukach

Kyiv National University of
Construction and Architecture

Abstract. Earlier, a methodology for the engineering calculation bracket springs with curved regiments (SPRk) was described and an example of such a calculation was applied with respect to the spring of the rear suspension of the KamAZ car cab [1, 2]. As preliminary studies have shown, the accuracy of the calculation of the SPRK significantly depends on the choice of the initial conditions for such a calculation and the magnitude of the summation step when replacing integration by summing small increments [3 – 5]. Therefore, it seemed advisable to evaluate the influence of the mentioned conditions on the results of calculating the same SPRK with their variation.

The purpose of such comparative calculations was to develop recommendations for carrying out engineering calculations of SPRk with the least laboriousness with accuracy that meets the requirements of practical application. Since the calculations were carried out as comparative, and as a result, their accuracy was determined as the relative value of the deflection of the SPRK to the deflection of the spring, calculated by the method conventionally taken as the initial one, the absolute value of the initial data underlying the calculation could be chosen pretty much arbitrary. The calculations below are performed in relation to the SPRk designed for suspension of wheels of a heavy truck, the springs of which are made of steel 60C2XΦA.

The calculated SPRk has a canvas and shelves of constant thickness, and the radius of curvature of the shelf, which was used for the calculation, is constant over its entire length [6, 7, 15]. Only its own deflection of the shelf was subject to calculation, since it is precisely the accuracy of calculating its value that determines the accuracy of calculation of the entire spring [8 – 10, 16, 17].

Keywords: bracket spring, deflection, moment of resistance, bending stress.

Возможности использования библиотеки проектирования нейронных сетей TensorFlow для кинематического исследования манипулятора

Андрей Бойченко¹, Дмитрий Мищук²

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
03037, Воздухофлотский проспект 31, Киев, Украина,

¹andriy@i.ua, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>,

²mischuk.do@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8263-9400>

Received: 29.04.2020; Accepted: 29.05.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0201>

Аннотация. Исследование кинематических структур многосвязных манипуляторов является нетривиальной задачей. Сложности проявляются при исследовании кинематических схем у которых количество подвижных независимых частей превышает количество обобщенных независимых степеней подвижности, так как в таких случаях имеет место переизбыток подвижности системы и для одной позиции может существовать больше двух конфигураций манипулятора. Подобная неоднозначность сильно усложняет поиск зависимостей между обобщенными координатами системы и конечной точкой перемещения рабочего органа. Также необходимо учитывать, что в дальнейшем при составлении динамических уравнений движений для подобных систем, такая неоднозначность усложняет исследование задач динамики.

Решения подобных проблем осуществляется разными методами и в данной статье рассматривается возможность применения нейронных сетей для исследований подобных неоднозначных задач на примере кинематического исследования шарнирно-сочлененного манипулятора.

В представленной работе рассмотрены возможности использования библиотеки TensorFlow от компании Google при помощи которой создаются модели нейронных сетей и «нейронов», а также функции нахождения весовых коэффициентов настройки созданной модели сети. В ходе исследования была создана нейронная сеть для расчета функции регрессии зависимостей между геометрическими координатами точки перемещения захватного устройства манипулятора и обобщенными координатами его стреловой системы.

Целью данного исследования является демонстрация возможностей нейронных сетей при решении инженерных задач, которые требуют сложных математических преобразований.

Использование архитектур нейронных сетей в системах управления манипуляторами позволяет создавать универсальные механизмы для выполнения различных технологических процедур, при этом снижая затраты на разработку подобных решений.

В целом нейронные сети не являются универсальными средствами для решения всех инженерных задач, так как требуют большего набора тестовых выборок для настройки (обучения) параметров своих моделей, однако существует ряд проблем при решении которых нейронные сети имеют большие преимущества.

Ключевые слова: TensorFlow, манипулятор, система управления, нейронная сеть.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Способы эффективного определения величин перемещения обобщенных координат манипулятора в зависимости от построенной траектории движения его рабочего органа является одной из ключевых задач современной робототехники [1-4].

Наиболее распространёнными способами решения подобных задач являются классические и традиционные методы аналитического преобразования координат исходной точки рабочего органа манипулятора в величины перемещения органов исполнительных механизмов [5-8]. Однако

такие методы имеют существенный недостаток, который связан со значительными вычислительными преобразованиями. При этом увеличение количества подвижных независимых координат приводит к появлению переизбытка возможных конфигураций манипулятора. Таким образом при одних и тех же координатах положения рабочего органа манипулятора, звенья манипулятора будут занимать несколько разрешенных положений [9-12].

Очень часто в таких случаях применяют подход, когда поочередно фиксируют несколько координат, оставляя достаточное их количество для перемещения рабочего органа манипулятора [13-15]. Решение о том какие координаты нужно зафиксировать в таком случае принимается на основании результатов исследований за разными эвристическими методами [6-8, 16, 17]. Также для решения подобных неоднозначностей используют методы оптимизации, при помощи которых удастся оптимально распределять подвижность обобщенных координат манипулятора [18-20]. Хотя такие подходы довольно точны, но они сложны в реализации, так как требуют задействования сложных математических преобразований.

Одним из современных подходов проектирования систем управления роботами, которые позволяют быстро рассчитывать траектории их движения является использование нейронных сетей [21-23].

Нейронные сети эффективно применяют для решения задач планирования траектории рабочего органа робота-манипулятора, который работает со сложной кинематической структурой [24]. Нейронные системы могут учиться как на моделях, так и во время функционирования робота.

Одним из подходов построения и программирования нейронных сетей является использования стандартных библиотек [25]. Наиболее популярной является библиотека TensorFlow от компании Google [26]. В основном при помощи этой библиотеки проектируют сети для распознавания изображений, звуков и т.п.

В данной статье приводятся результаты исследований применения TensorFlow для

решения прикладной задачи механики на примере расчета регрессии применительно к обратной кинематической задаче.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Исследовать возможность применения библиотеки TensorFlow для решения задачи регрессии при кинематическом описании многозвенных манипуляционных систем.

ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Ранее [21] была рассмотрена возможность применения нейронной сети для построения простой системы управления манипулятором шарнирно-сочлененная стреловая система которого представлена на Рис. 1.

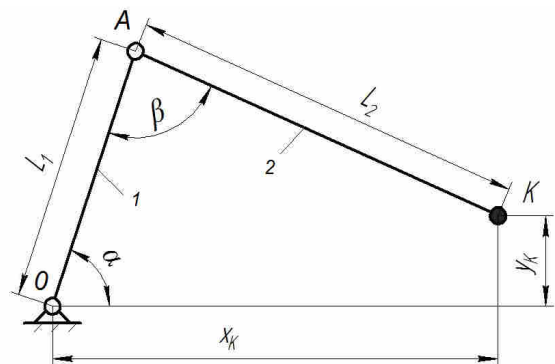


Рис. 1. Кинематическая схема двухзвеного манипулятора: 1, 2 – звенья стрелы; α , β – углы поворота; x_K , y_K – координаты захвата

Fig. 1. The kinematic scheme of the two-arm manipulator: 1, 2 – boom links; α , β – angles of rotation; x_K , y_K – capture coordinates

Рассмотрим пример построения нейронной сети, которая состоит из шести нейронов первого слоя и двух нейронов второго слоя, при этом в TensorFlow для такой реализации используется полносвязный нейронный граф – то есть все нейроны первого слоя последовательно связаны со всеми входными параметрами, а все нейроны последующих слоев связаны со всеми выходами нейронов приводящего слоя. Архитектура такой модели сети подана на Рис. 2.

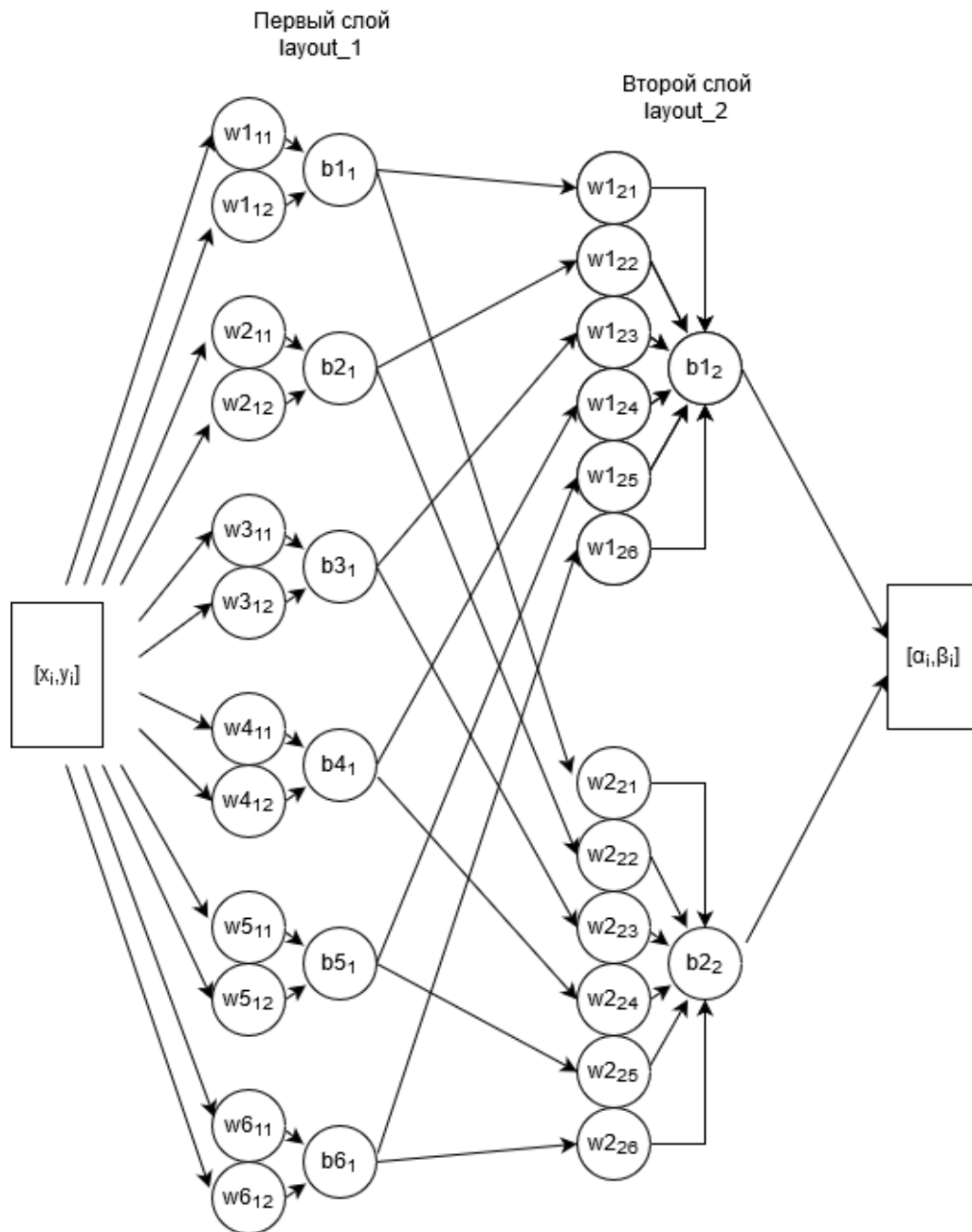


Рис. 2. Архитектура исследуемой нейронной сети в системе TensorFlow

Fig. 2. The architecture of the studied neural network into TensorFlow

В представленной модели принято, что $w_{11j} \dots w_{61j}$ и $w_{12j} \dots w_{22j}$ – веса нейронов первого и второго слоев, $b_{11} \dots b_{61}$ и $b_{12} \dots b_{22}$ – коэффициенты смещения нейронов соответственно первого и второго слоев. Реализацию представления рассмотренной модели выполнено с использованием инструмента Keras для TensorFlow [27], который упрощает взаимодействия с библиотекой за счет контейнеризации данных и яв-

ляется своеобразной прослойкой для взаимодействия с пользователем.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе исследований был рассмотрен процесс моделирования нейросети для управления двухзвенным манипулятором на примере решения геометрической задачи о положениях. В работе [21] приведено вариант поиска решения подобной

задачи при помощи нейронной сети с тестовым набор входных данных в виде координат перемещения груза:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 1,030 \text{ м}; y_1 = -0,347 \text{ м}; \\
 x_2 &= 1,109 \text{ м}; y_2 = -0,423 \text{ м}; \\
 x_3 &= 1,222 \text{ м}; y_3 = -0,479 \text{ м}; \\
 x_4 &= 1,366 \text{ м}; y_4 = -0,509 \text{ м}; \\
 x_5 &= 1,534 \text{ м}; y_5 = -0,506 \text{ м}; \\
 x_6 &= 1,719 \text{ м}; y_6 = -0,464 \text{ м}; \\
 x_7 &= 1,914 \text{ м}; y_7 = -0,379 \text{ м}; \\
 x_8 &= 2,110 \text{ м}; y_8 = -0,249 \text{ м}; \\
 x_9 &= 2,298 \text{ м}; y_9 = -0,072 \text{ м}; \\
 x_{10} &= 2,469 \text{ м}; y_{10} = 0,152 \text{ м}; \\
 x_{11} &= 2,612 \text{ м}; y_{11} = 0,419 \text{ м}; \\
 x_{12} &= 2,721 \text{ м}; y_{12} = 0,725 \text{ м}; \\
 x_{13} &= 2,786 \text{ м}; y_{13} = 1,066 \text{ м}; \\
 x_{14} &= 2,800 \text{ м}; y_{14} = 1,433 \text{ м}; \\
 x_{15} &= 2,758 \text{ м}; y_{15} = 1,819 \text{ м}; \\
 x_{16} &= 2,656 \text{ м}; y_{16} = 2,214 \text{ м}; \\
 x_{17} &= 2,491 \text{ м}; y_{17} = 2,607 \text{ м}; \\
 x_{18} &= 2,261 \text{ м}; y_{18} = 2,989 \text{ м}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

В качестве выходных параметров модели приняты координаты углов поворота α и β (в градусах) звеньев шарнирно-сочлененной стрелы манипулятора, которые также являются ее обобщенными координатами. Каждая пара приведенных угловых координат является отображением соответствующих входных параметров (1):

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= 0^\circ; \beta_1 = 10^\circ; \\
 \alpha_2 &= 5^\circ; \beta_2 = 15^\circ; \\
 \alpha_3 &= 10^\circ; \beta_3 = 20^\circ; \\
 \alpha_4 &= 15^\circ; \beta_4 = 25^\circ; \\
 \alpha_5 &= 20^\circ; \beta_5 = 30^\circ; \\
 \alpha_6 &= 25^\circ; \beta_6 = 35^\circ; \\
 \alpha_7 &= 30^\circ; \beta_7 = 40^\circ; \\
 \alpha_8 &= 35^\circ; \beta_8 = 45^\circ; \\
 \alpha_9 &= 40^\circ; \beta_9 = 50^\circ; \\
 \alpha_{10} &= 45^\circ; \beta_{10} = 55^\circ; \\
 \alpha_{11} &= 50^\circ; \beta_{11} = 60^\circ; \\
 \alpha_{12} &= 55^\circ; \beta_{12} = 65^\circ; \\
 \alpha_{13} &= 60^\circ; \beta_{13} = 70^\circ; \\
 \alpha_{14} &= 65^\circ; \beta_{14} = 75^\circ; \\
 \alpha_{15} &= 70^\circ; \beta_{15} = 80^\circ; \\
 \alpha_{16} &= 75^\circ; \beta_{16} = 85^\circ; \\
 \alpha_{17} &= 80^\circ; \beta_{17} = 90^\circ; \\
 \alpha_{18} &= 85^\circ; \beta_{18} = 95^\circ.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Представим входной и выходной наборы параметров в виде матриц:

$$[x, y] = \begin{bmatrix} [x_1, y_1] \\ [x_2, y_2] \\ \dots \\ [x_i, y_i] \\ \dots \\ [x_n, y_n] \end{bmatrix};$$

$$[\alpha, \beta] = \begin{bmatrix} [\alpha_1, \beta_1] \\ [\alpha_2, \beta_2] \\ \dots \\ [\alpha_i, \beta_i] \\ \dots \\ [\alpha_n, \beta_n] \end{bmatrix},$$

где n – количество точек тестовой выборки.

В библиотеке TensorFlow основной единицей с которой приходится работать является «тензор» который по сути представляет из себя матрицу. Для создания тензора в данном примере дополнительно использована библиотека Numpy, при помощи которой создаются матрицы:

```

from __future__ import absolute_import,
division, print_function, unicode_literals
import tensorflow as tf
import numpy as np

coordinatu_gruza = np.array
([ [x1, y1], [x2, y2], ..., [x18, y18]],
dtype=float);

uglu_povorota = np.array
([ [\alpha_1, \beta_1], [\alpha_2, \beta_2], ..., [\alpha_{18}, \beta_{18}],
dtype=float),
\tag{3}

```

где *coordinatu_gruza* – тензор отвечающий за входной набор координат груза; *uglu_povorota* – тензор отвечающий за выходной набор координат углов поворота звеньев манипулятора.

Для построения модели сети в TensorFlow необходимо задать количество нейронов в каждом из проектированных слоев, а также количество таких слоев. Входной

слой также необходимо пометить, чтобы в дальнейшем программа системы расчета понимала, где нужно искать вход:

```
layout_1 = tf.keras.layers.Dense
(units=6, input_shape=[2]);
layout_2 = tf.keras.layers.Dense
(units=2);
```

(4)

```
model = tf.keras.Sequential
([layout_1, layout_2]),
```

где *layout_1* и *layout_2* – переменные, которые соответствуют описанию слоев нейронов; *model* – переменная, в которую записывается соответствующее описание модели создаваемой нейронной сети; *units* – количество нейронов в каждом из слоев; *input_shape* – пометка входного слоя, которая в данном случае обозначает привязку к квадратной матрице размерности 2.

Для настройки модели использован стандартный алгоритм среднеквадратической ошибки и функция оптимизации «Адам» (Adam), которая предоставляется библиотекой TensorFlow:

```
model.compile(loss =
'mean_squared_error', optimizer=tf.k
eras.optimizers.Adam(0.1)),
```

(5)

где *model.compile* – команда TensorFlow для сборки функции настройки нейронной сети; *'mean_squared_error'* (функция среднеквадратической ошибки) – название применяемой стандартной функции для поиска ошибки настройки сети нейронов; *optimizer* – переменная отвечающая за создание функции оптимизации (в данном примере использована стандартная функция градиентного спуска *tf.keras.optimizers.Adam(0.1)* библиотеки TensorFlow).

Для обучения созданной модели сети на ее вход необходимо подать тестовый набор тренировочных данных, а выход подключить к ожидаемому параметру системы:

```
model.fit(coordinatu_gruza,
uglu_povorota, epochs=500,
verbose=False),
```

(6)

где *epochs* – количество итераций.

Выполнив команду *model.fit* созданная нейронная сеть автоматически рассчитывает параметры своих нейронов, после чего можно проверить нейронную сеть на точность, задав функцию *model.predict* которой в качестве входных данных нужно передать пару заданных координат точки подвеса груза. Результатом выполнения будет матрица с координатами, которые отвечают углам поворота звеньев манипулятора, например:

```

      функция печати      функция про-
      ↓                  гнозирования
      print(model.predict(
      [[1.030, -0.347], [2.469, 0.152]])),
      ↑
      матрица входных данных в
      виде:  $\begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix}$ .
```

(7)

На Рис. 3 приведен график демонстрирующий обучение нейронной сети при количестве итераций 500. График показывает зависимость уменьшения ошибки, которая определяется как разность между заданными и прогнозируемыми координатами выхода. Из представленного графика видно, что для данного случая достаточно не более 100-200 итераций.

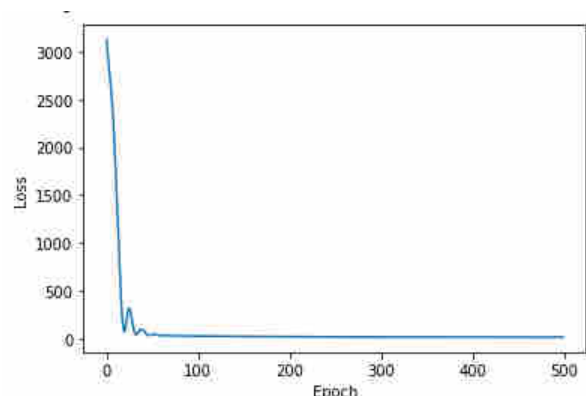


Рис. 3. График обучения нейронной сети: Epoch – количество итераций при обучении; Loss – значение ошибки

Fig. 3. Schedule of neural network training: Epoch – the number of iterations during training; Loss – error value

Метод `get_weights()`, который применяется для конкретного слоя нейронов позволяет получить выборку коэффициентов настройки нейронной сети. Для примера при прогнозировании параметров (2) и входных данных (1) коэффициенты настройки для каждого слоя будут принимать следующие значения:

$$\begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \\ w_{31} & w_{32} \\ w_{41} & w_{42} \\ w_{51} & w_{52} \\ w_{61} & w_{62} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1,9617 & -1,6782 \\ 3,4183 & -1,2148 \\ 2,7383 & 0,0268 \\ -2,732 & -0,5495 \\ -1,586 & -0,6424 \\ -2,140 & -0,3908 \end{bmatrix}^T ;$$

$$\begin{bmatrix} b_{1_1} \\ b_{2_1} \\ b_{3_1} \\ b_{4_1} \\ b_{5_1} \\ b_{6_1} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} -4,9281 \\ -0,5325 \\ -0,17725 \\ 0,66964 \\ 0,27901 \\ 3,24579 \end{bmatrix}^T ; \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} w_{1_{21}} & w_{2_{21}} \\ w_{1_{22}} & w_{2_{22}} \\ w_{1_{23}} & w_{2_{23}} \\ w_{1_{24}} & w_{2_{24}} \\ w_{1_{25}} & w_{2_{25}} \\ w_{1_{26}} & w_{2_{26}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,1111 & 2,7545 \\ 1,6010 & 2,5459 \\ 1,5047 & 2,5431 \\ -2,2437 & -1,823 \\ -0,8949 & -0,767 \\ -3,2490 & -2,1937 \end{bmatrix} ;$$

$$[b_{1_2} \ b_{2_2}] = [0,5203 \ 1,2381].$$

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для качественной оценки полученных результатов, которые получено из нейронной сети при прогнозировании углов поворота звеньев двухзвенного манипулятора, было проведено ряд экспериментов в ходе, которых ставилась задача оценки стойкости системы на потерю части входных данных. За базовый вариант было принято данные (1) и смоделировано случаи 70%, 50% и 30% заполнения входных данных при их

равномерном распределении (см. Таблицу). Для каждого из вариантов рассчитано среднеквадратическую ошибку прогнозируемых данных от реальных, которая соответственно для полной 100% выборки составила $3,61^\circ$ – по α по β ; для 70% выборки: $3,62^\circ$ – по α и β ; для 50% выборки $3,69^\circ$ – по α и $4,1^\circ$ – по β ; для 30% выборки $4,02^\circ$ – по α по β . Таким образом при потере до 70% данных и равномерном их распределении рассмотренная нейронная сеть теряет в точности до 11%. Также из полученных данных наблюдаются значительные отклонения в начале и конце выборки.

Проведенные многократные эксперименты также показали, что данная модель при одних и тех входных и выходных данных может по-разному рассчитывать коэффициенты настройки нейронов и тем самым практически не возможно построить точную систему прогноза, что скорее всего связано с несовершенством функции оптимизации и функции активации нейронов.

На Рис. 4 и Рис. 5 построены графики сравнения для разных случаев заполнения модели выборками обучения.

ВЫВОДЫ

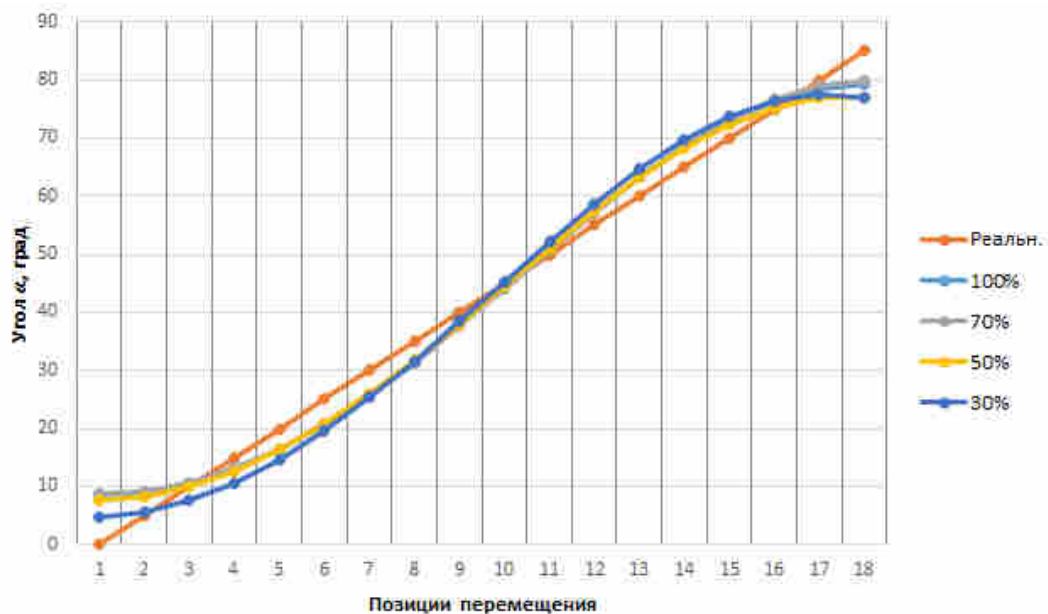
В ходе проведения исследований библиотеки TensorFlow удалось построить нейронную сеть, состоящую из двух слоев с шестью нейронами в первом слое и двумя – во втором. TensorFlow позволяет легко и быстро произвести настройку полученной модели сети что дает возможности проводить экспресс анализ манипуляционной системы за кинематическими параметрами, однако для точной работы необходимо более детальное изучение данной системы.

При проведении экспериментов в TensorFlow с принятой моделью сети при повышении точности расчета и количества итераций значительного эффекта со стандартными функциями оптимизации и активации нейронов не наблюдалось.

Подобный подход моделирования применим также в системах диагностики [28] и исследования [29] различных механических систем.

Таблица. Значение прогнозируемых параметров α и β в градусах**Table.** The value of the predicted parameters α and β in degrees

№ п.п.	Прогноз для полной 100% выборки		Прогноз для 70% выборки		Прогноз для 50% выборки		Прогноз для 30% выборки	
	α	β	α	β	α	β	α	β
1	8,54	18,18	8,72	18,05	7,64	15,46	4,69	14,68
2	9,08	18,77	9,21	18,63	8,33	16,46	5,59	15,58
3	10,58	20,33	10,65	20,18	10,00	18,52	7,55	17,54
4	13,06	22,89	13,07	22,72	12,65	21,62	10,58	20,58
5	16,48	26,38	16,42	26,21	16,25	25,68	14,61	24,61
6	20,77	30,75	20,66	30,58	20,71	30,61	19,55	29,55
7	25,86	35,92	25,70	35,75	25,94	36,29	25,29	35,29
8	31,59	41,71	31,38	41,56	31,78	42,51	31,63	41,63
9	37,80	47,98	37,57	47,85	38,05	49,10	38,38	48,39
10	44,31	54,54	44,09	54,44	44,57	55,83	45,34	55,35
11	50,86	61,10	50,65	61,05	51,06	62,39	52,19	62,20
12	57,26	67,49	57,10	67,49	57,33	68,59	58,74	68,75
13	63,25	73,46	63,16	73,51	63,13	74,15	64,70	74,70
14	68,58	78,73	68,59	78,85	68,18	78,79	69,77	79,78
15	73,05	83,10	73,18	83,29	72,29	82,31	73,77	83,77
16	76,44	86,37	76,71	86,63	75,25	84,50	76,45	86,45
17	78,53	88,31	78,98	88,65	76,85	85,15	77,62	87,61
18	79,16	88,76	79,81	89,18	76,94	84,11	77,09	87,08

**Рис. 4.** Графики сравнения данных для угла поворота α **Fig. 4.** Graphs of data comparison for the angle of rotation α

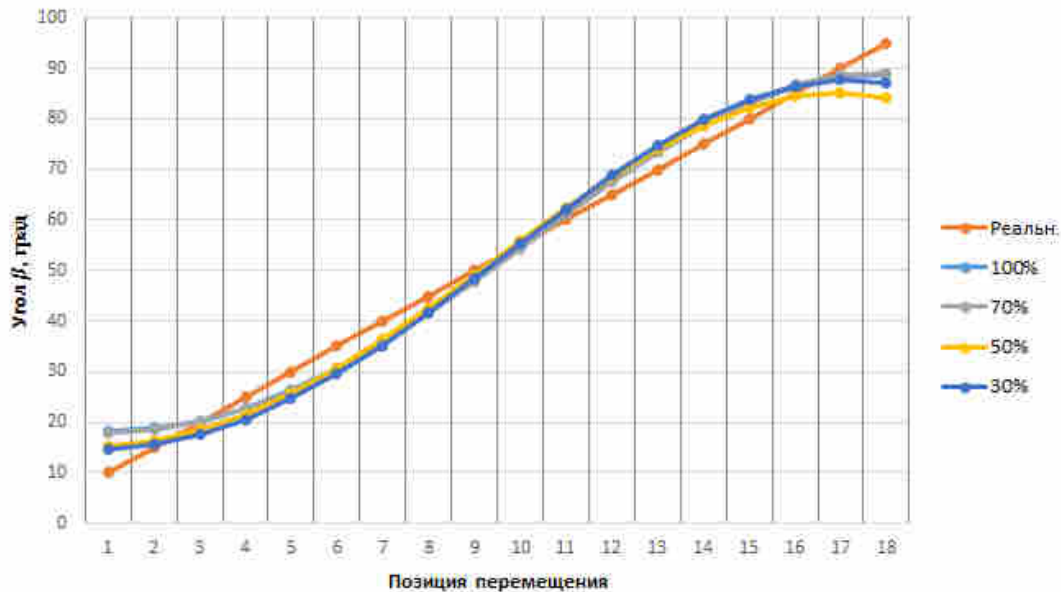


Рис. 5. Графики сравнения данных для угла поворота β

Fig. 5. Graphs of data comparison for the angle of rotation β

ЛІТЕРАТУРА

1. Щербаков В. С., Реброва И. А. Планирование траектории рабочего органа строительного манипулятора в автоматическом режиме // В. С. Щербаков, И. А. Реброва / Омский научный вестник. – 2006. – №7. – С. 107-109.
2. Пелевін Л. Є., Почка К. І. та ін. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: Підручник // Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, Д. О. Міщук, О. М. Гаркавенко, І. В. Русан. – К.: Київ, – 2016, – ТОВ "НВП "Інтерсервіс"" – 258 с.
3. Wu, Q. C., Wang, X. S., Chen, B., & Wu, H. T. Development of an RBFN-based neural-fuzzy adaptive control strategy for an upper limb rehabilitation exoskeleton. *Mechatronics*, - 2018. – 53. – P. 85-94. <https://doi.org/10.1016/20j.mechatronics.2018.05.014>.
4. Міщук Д. О. Розробка системи керування будівельного робота із застосуванням технологій «Microsoft robotic studio». II Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоощадні машини і технології», Київ, КНУБА, – 29 вересня - 1 жовтня. – 2015. – С. 47.
5. Міщук Д. О. Кінематичний аналіз маніпуляційної системи будівельного робота // Д. О. Міщук / Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2014. – 65-66. – С. 90-96.
6. Зенкевич С. Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. Для вузов / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 400 с.
7. Karlik B., Aydin S. An improved approach to the solution of inverse kinematics problems for robot manipulators // *Engineering applications of artificial intelligence*. – 2000. – Vol. 13. – No. 2. – P. 159-164.
8. Спыну Г. А. Промышленные роботы. Конструирование и применение: Учеб. Пособие. – 2е изд., перераб. и доп. / Г. А. Спыну. – К.: Выща шк., 1991. – 331 с.
9. Feng Y., Yaonan W., Yimin Y. Inverse kinematics solution for robot manipulator based on neural network under joint subspace // *International Journal of Computers Communications & Control*. – 2014. – Vol. 7. – No. 3. – P. 459-472.
10. Ловейкін В. С. Оптимізація режимів зміни вильоту маніпулятора з гідроприводом. Монографія / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук. – К.: ЦП «Компринт», – 2013. – 206 с.
11. Ловейкін, В. С., Міщук, Д. О. Математичне моделювання зміни вильоту вантажу маніпулятором з гідроприводом // В.С. Ловейкін, Д.О. Міщук / Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, – 2012, – 79. – С. 9-15.
12. Міщук Д., Горбатюк Є., Волянчук В. Визначення геометричних параметрів маніпу-

- лятора за характеристиками робочого середовища / Д. Міщук, Є. Горбатюк, В. Волянчук // Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, – 2019, – 94. – С. 25-34.
13. **Momani S., Abo-Hammour Z. S., Alsmadi O. M. K.** Solution of inverse kinematics problem using genetic algorithms // *Applied Mathematics & Information Sciences*. – 2016. – Т. 10. – No. 1. – P. 225.
 14. **LaValle S. M.** Planning algorithms. – Cambridge university press / S. M. LaValle – 2006. – P. 1007.
 15. **Stilman M. et al.** Manipulation planning among movable obstacles / M. Stilman // *Robotics and Automation 2007 IEEE International Conference on*. – IEEE, 2007. – P. 3327-3332.
 16. **Hirano Y., Kitahama K., Yoshizawa S.** Image-based object recognition and dexterous hand/arm motion planning using rrt for grasping in cluttered scene // *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on*. – IEEE, 2005. – P. 2041-2046.
 17. **Graca Marcos M., Machado J. A. T., Azevedo-Perdicoulis T. P.** Trajectory planning of redundant manipulators using genetic algorithms // *Communications in nonlinear science and numerical simulation*. – 2009. – Vol. 14. – No. 7. – P. 2858-2869.
 18. **Mischuk D. O.** Increasing efficiency manipulator by optimal control // D. O. Mischuk / Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, – 2015. – No. 85, 43-50. – (in Ukrainian).
 19. **Ловейкін В.С., Міщук Д.А.** Синтез оптимального динамічного режиму руху стріли манипулятора, встановленого на пружному основанні. Наука і техніка. – 2019, – 18(1). – С. 55-61. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-1-55-61>.
 20. **Ловейкін В. С.** Визначення оптимальних режимів руху манипулятора за процес пуску (гальмування) під час роботи за однією з узагальнених координат / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2009. – № 73. – С. 35-42.
 21. **Міщук, Д., Бойченко А.** Розробка концепції системи керування роботом для штучатурних робіт на основі нейронної мережі / Д. Міщук, А. Бойченко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2019. – № 93. – С. 46-60. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0501>.
 22. **Bingul Z., Ertunc H. M., Oysu C.** Applying neural network to inverse kinematic problem for 6R robot manipulator with offset wrist // *Adaptive and Natural Computing Algorithms*. – Springer, Vienna, – 2005. – P. 112-115.
 23. **Köker R., Çakar T., Sari Y.** A neural-network committee machine approach to the inverse kinematics problem solution of robotic manipulators // *Engineering with Computers*. – 2014. – Vol. 30. – No. 4. – P. 641-649.
 24. **Міщук Д.** Модульний принцип побудови будівельного робота / Д. Міщук, В. Волянчук, Є. Горбатюк. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2017. – №89. – С. 90-97. <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/114398>.
 25. **Дорогов А. Ю.** Теория и проектирование быстрых перестраиваемых преобразований и слабосвязанных нейронных сетей / А. Ю. Дорогов. – 2014. – Политехника. – 328 с.
 26. **Жерон О.** Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / О. Жерон. – Диалектика-Вильямс. – 2020. – 688 с.
 27. **TensorFlow Core for beginners. Keras basics.** <https://www.tensorflow.org/tutorials?hl=en>.
 28. **Комоцька С., Бігун М.** Випробування пневмоциліндрів з використанням реле часу / С. Комоцька, М. Бігун // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2019. – № 94. – С. 51-62. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0501>
 29. **Сукач М. К.** Лабораторные исследования скобовидных пластинчатых рессор // М. К. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – 2019, – Вип.94. – С. 16-24. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0102>.

REFERENCES

1. **Sherbakov V. S., Rebrova I. A.** (2006). Plannirovanie traektorii rabocheho organa stroitel'nogo manipulyatora v avtomaticheskom rezhime [Planning the trajectory of the working body of the construction manipulator in automatic mode]. *Omskij nauchnyj vestnik*, Nr.7, 107-109. – (in Russian).
2. **Pelevin L. Ye., Pochka K. I., Mischuk D. O., Garkavenko O. M., Rusan I. V.** (2016). Sintez robototekhnichnih sistem v mashinobuduvanni: Pidruchnik [Synthesis of robotic systems in mechanical engineering: Textbook]. Kyiv, "NVP "Interservis"" Publ., 258. – (in Ukrainian).

3. **Wu, Q. C., Wang, X. S., Chen, B., & Wu, H. T.** (2018). Development of an RBFN-based neural-fuzzy adaptive control strategy for an upper limb rehabilitation exoskeleton. *Mechatronics*, 53, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.05.014>.
4. **Mischuk D. O.** Development of control system for construction robot using technologies "Microsoft robotic studio". II International scientific and technical conference "Energy-saving machines and technologies", September 29 - October 1, (2015). Kyiv, KNUCA, 47. – (in Ukrainian).
5. **Mischuk D. O.** (2014). Kinematichnij analiz manipulyacijnoyi sistemi budivelnogo robota [Kinematic analysis of the manipulation system of a construction robot]. *Vestnik Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, Vol. 65-66, 90-96. – (in Ukrainian).
6. **Zenkevich S. L., Yushenko A. S.** (2000). *Upravlenie robotami. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami: Ucheb. Dlya vuzov* [Robot control. Fundamentals of manipulation robots control: Textbook]. Moscow, MG TU Publ., 400.
7. **Karlik B., Aydin S.** (2000). An improved approach to the solution of inverse kinematics problems for robot manipulators. *Engineering applications of artificial intelligence*, Vol.13, Nr. 2, 159-164.
8. **Spiny G. A.** (1991). *Promyshlenye roboty. Konstruirovaniye i primeneniye* [Industrial robots. Design and Application]. Kyiv, Vysha shk. Publ., 331. – (in Russian).
9. **Feng Y., Yaonan W., Yimin Y.** (2014). Inverse kinematics solution for robot manipulator based on neural network under joint subspace. *International Journal of Computers Communications & Control*, Vol.7, Nr. 3, 459-472.
10. **Lovejkin V. S., Mischuk D. O.** (2013). Optimizaciya rezhimiv zmini vilotu manipulyatora z gidroprivodom. Monografiya. [The optimization modes of change departure the manipulator with hydraulic drive. Monograph]. Kyiv, CP Komprint Publ., 206. – (in Ukrainian).
11. **Lovejkin V. S., Mischuk D. A.** (2012). Matematichne modeljuvannya zmini vil'otu vantazhu manipulyatorom z gidroprivodom [Mathematical modeling of changes in cargo flight with hydraulic manipulator]. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini* [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 79, 9-15. – (in Ukrainian).
12. **Mischuk D., Gorbatiyuk Ye., Volyanyuk V.** (2019). *Viznachennya geometrichnih parametrov manipulyatora za charakteristikami robochogo seredovisha* [Determination of geometric parameters of a manipulator using by characteristics the working environment]. *Girnichy, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini*, Nr. 94, 25-34. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0201>
13. **Momani S., Abo-Hammour Z. S., Alsmadi O. M. K.** (2016). Solution of inverse kinematics problem using genetic algorithms. *Applied Mathematics & Information Sciences*, Vol. 10, No.1, 225.
14. **LaValle S. M.** (2006). *Planning algorithms*. Cambridge university press, 1007.
15. **Stilman M. et al.** Manipulation planning among movable obstacles. *Robotics and Automation*. (2007) IEEE International Conference on., IEEE, 3327-3332.
16. **Hirano Y., Kitahama K., Yoshizawa S.** Image-based object recognition and dexterous hand/arm motion planning using rrts for grasping in cluttered scene. *Intelligent Robots and Systems, (IROS 2005)*. (2005) IEEE/RSJ International Conference on., IEEE, 2041-2046.
17. **Graca Marcos M., Machado J.A.T., Azevedo-Perdicoulis T. P.** (2009). Trajectory planning of redundant manipulators using genetic algorithms. *Communications in non-linear science and numerical simulation*, Vol.14, Nr.7, 2858-2869.
18. **Mischuk D. O.** (2015). Increasing efficiency manipulator by optimal control. *Girnichy, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini*, Nr. 85, 43-50. – (in Ukrainian).
19. **Lovejkin V. S., Mischuk D. A.** (2019). Synthesis of Optimal Dynamic Mode of Manipulator Boom Movement Mounted on Elastic Base. *Science & Technique*, Nr. 18(1), 55-61. – (in Russian) <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-1-55-61>.
20. **Lovejkin V. S., Mishuk D. O.** (2009). *Viznachennya optimalnih rezhimiv ruhu manipulyatora za proces pusku (galmuvannya) pid chas roboti za odniyeyu z uzagalnenih koordynat* [Determining the optimal modes of movement of the manipulator for the process of starting (braking) while working on one of the generalized coordinates]. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, Nr.73, 35-42. – (in Ukrainian).
21. **Mischuk, D., Bojchenko A.** (2019). Rozrobka koncepciyi sistemi keruvannya robotom dlya shtukaturnih robit na osnovi nejronnoyi merezhi [Development of the concept of control system work for plaster works based on neural net-

work]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 93, 46-60. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0501>.

22. **Bingul Z., Ertunc H. M., Oysu C.** Applying neural network to inverse kinematic problem for 6R robot manipulator with offset wrist. Adaptive and Natural Computing Algorithms. (2005). Springer, Vienna, 112-115.
23. **Koker R., Cakar T., Sari Y.** (2014). A neural-network committee machine approach to the inverse kinematics problem solution of robotic manipulators. Engineering with Computers, Vol.30, Nr. 4, 641-649.
24. **Mischuk D., Voliyanuk V., Gorbatyk Eu.** (2017). The module design of construction robot. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 89, 90-97. – (in Ukrainian). <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/114398>.
25. **Dorogov A. Yu.** (2014). Teoriya i proektirovanie bystrykh perestraivaemykh preobrazovaniy i slabosvyazannykh nejronnykh setej [Theory and design of fast reconstructed transformations and loosely coupled neural networks]. Politehnika Publ, 328. – (in Russian).
26. **Zheron O.** (2020). Prikladnoe mashinnoe obuchenie s pomoshyu Scikit-Learn i TensorFlow: koncepcii, instrumenty i tehniki dlya sozdaniya intellektualnykh sistem [Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow]. Dialektika-Vilyams, 688.
27. **TensorFlow** Core for beginners. Keras basics. <https://www.tensorflow.org/tutorials?hl=en>.
28. **Komotska S., Bigun M.** (2019). Viprobuвання пневмодієдвигу з використанням реле часу [Testing of pneumatic cylinders using time relays]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 94, 51-62. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0501>.
29. **Sukach M. K.,** (2019). Laboratory research of staple leaf springs. Mining, construction, road and melioration machines, Nr. 94, 16-24. – (in Russian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.01.02>.

Possibilities of using the packet TensorFlow neural network design library for the kinematic study of a manipulator

Andriy Boychenko¹, Dmitry Mishchuk²

*Kyiv National University of
Construction and Architecture*

Abstract. The study of the kinematic structures of multi-link manipulators is not a trivial task. Difficulties appear in the study of kinematic schemes in which the number of moving independent parts exceeds the number of generalized independent degrees of mobility, since in such cases there is an overabundance of mobility of the system and more than two manipulator configurations can exist for one position. Such ambiguity greatly complicates the search for dependencies between the generalized coordinates of the system and the endpoint of movement of the working body. It is also necessary to take into account that in the future, when compiling dynamic equations of motion for such systems, such ambiguity complicates the study of problems of dynamics. The solutions to such problems are carried out by different methods, and this article discusses the possibility of using neural networks to study such ambiguous problems using the example of a kinematic study of an articulated manipulator. In the presented work, the possibilities of using the Tensor-Flow library from Google are considered with the help of which models of neural networks and "neurons" are created, as well as functions for finding the weight coefficients of setting the created network model. In the course of the study, a neural network was created to calculate the regression function of the dependencies between the geometric coordinates of the point of movement of the manipulator gripper and the generalized coordinates of its boom system.

The purpose of this study is to demonstrate the capabilities of neural networks in solving engineering problems that require complex mathematical transformations.

The use of neural network architectures in manipulator control systems makes it possible to create universal mechanisms for performing various technological procedures, while reducing the cost of developing such solutions.

In general, neural networks are not universal means for solving all engineering problems, since they require a larger set of test samples to adjust (train) the parameters of their models however, there are a number of problems in solving which neural networks have great advantages.

Keywords: TensorFlow, manipulator, control system, neural network.

УДК 623.4

Тенденції збільшення прохідності та безпеки машин (на прикладі броневих автомобілів армії США)

Михайло Сукач¹, Анатолій Кравчук²

Київський національний університет будівництва і архітектури
03037, Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна,

¹msukach@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0485-4073>

²a.m.kravchuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0002-2248>

Received: 25.03.2020; Accepted: 29.05.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0202>

Анотація. В умовах мінної небезпеки гостро стоїть питання наявності транспортних засобів з необхідним ступенем захисту. Теоретичні розрахунки на підлив машини та їх практичне впровадження у виробництво дозволяють створювати захищені машини підвищеної прохідності, а використання «маніпулятора» з розміщеними спереду машини додатковими приладами виявлення мін чи вибухонебезпечних предметів, упереджують потрапляння їх під колеса та зменшують пов'язані із цим небезпечні фактори. Разом з тим, підвищення ступеню захищеності машин призводить до зростання маси, а збільшення кліренсу – до перекидання машини під час руху. Необхідність встановлення маніпуляторного обладнання також вимагає додаткових розрахунків машини на стійкість.

Розглянуто зразки захищених машин підвищеної прохідності, що використовуються армією США, – MAXX PRO (Navistar International), RG-31, RG-33 (BAE Systems), CAIMAN (Armor holdings / BAE), COUGAR, BUFFALO (Force Protection), M-ATV (OSHKOSH), їх конструктивні особливості та технічні характеристики. Найбільше розповсюдження отримали захищені машини L-M-ATV (Oshkosh), оскільки вони при однаковому ступеню захисту мають меншу масу, висоту і виявились більш маневреними.

Аналіз шляхів підвищення прохідності й безпеки військової техніки в подальшому може бути врахований для уточнення технічного завдання з розробки як транспортних засобів, так і машин для спеціальних робіт (аварійно-ремонтних, рятувальних) із необхідним ступенем захисту.

Ключові слова: прохідність, безпека машин, мінна загроза, MRAP, броневий автомобіль, технічне завдання, категорії машин, маніпулятор.

ВСТУП

На початку вторгнення американських сил в Ірак стало ясно, що саморобні вибухові пристрої і міни є улюбленою зброєю противника. Зібрана до кінця 2003 року статистика показала, що більше половини смертей американських військовослужбовців припадає на випадки підливу, адже міни були оголошені загрозою №1.

З'ясувалося, що в армії немає заготовлених ідей щодо протидії мінам, оскільки чиновники в принципі не розраховували на затяжний характер кампанії, будучи абсолютно впевненими, що війська будуть повернуті додому протягом року. Питанню дій в «післяконфліктний період» приділялося дуже мало уваги. Мало того, збройні сили не мали практики затяжного військового конфлікту аж з часів В'єтнаму і абсолютно розучилися боротися в «іррегулярній війні».

Спочатку проблему намагались вирішити комплексно, за рахунок добронювання Хаммерів [1, 3, 17, 18] (на момент старту операції з 110 000 Хаммерів броньованими були лише 2%), за рахунок доставки в Ірак патрульних броньовиків M1117 (машина, дуже схожа на наші БРДМ), але це було все не те.

До того ж, противник також удосконалювався – якщо в перші місяці вибухові пристрої просто закидали під колеса проїжджаючих по дорозі машин, то незабаром сили опору перейшли до закладання зарядів, що підриваються дистанційно за допомогою мобільних телефонів. А коли на театрі військових дій стали з'являтися броньовані Хаммери, то момент вибуху намагалися вгадати так, щоб він відбувся під мало захищеним і розшташованим близько до землі днищем джипа. Найбільш смертоносними були заряди типу EFP (Explosively Formed Penetrator – «Пробивач»), чия пробивна спроможність формується самим вибухом. Вони представляли собою запаяну трубу діаметром приблизно 30 сантиметрів, з іншого кінця якої вставлений увігнутий всередину сталевий або мідний диск. Під час вибуху заряду диск стискається, змінює форму і, перетворюючись в металеве жало, зі швидкістю 2,0...2,5 км/с прошиває броню. Хоча зі зрозумілих причин виготовити високоякісний і високоефективний заряд підручними засобами вдавалося нечасто, проте бронепробивна здатність таких мін іноді досягала 40 мм сталі.

Аналіз мінних пристроїв, застосовуваних проти бронетехніки показав, що в основному використовувалися вибухові пристрої з тротиловим еквівалентом близько 6...8 кг, але в окремих випадках заряд доходив до 45 кг.

Таким чином, швидко стало ясно, що ні доброньовані Хаммери, ні тим більше зовсім вже старі за конструкцією M1117 не можуть захистити від мінної загрози (більш того, обважування Хаммерів бронею лише погіршувало справу – захищеність машин піднімалася не дуже, а ось маневреність падала істотно). У 2004 р тодішньому секретареві з оборони США Дональду Рамсфелду на зустрічі з особовим складом американських військ в Кувейті довелося вислухати звинувачення від солдатів в непридатності використовуваної ними техніки: «...ми хапаємо, де доведеться, шматки іржавого металу і бронескла, відірваного від розстріляної техніки або просто кинутого, і споруджуємо, що можемо, з усього цього мотлоху, щоб зробити наші машини придатними до

бою. У нас немає належним чином захищених машин...».

Під впливом таких очевидних обставин, у січні 2005 р. Департамент оборони (в США немає міністерств, замість них Департаменти, а очолюють їх Секретарі – саме звідси найменування їхнього міністерства закордонних справ як Держдепу – це всього лише прямий переклад «Department of State» прийняв рішення про старт програми з розробки машин, спеціально адаптованих під умови нової війни, яка і отримала назву MRAP (розшифровується як Mine Resistant and Ambush Protected, що в перекладі означає міностійкий і засідкозахисний) – назва програми із масової закупівлі армією США машин з протимінним захистом, яка згодом стала жаргонною назвою таких бронеавтомобілів взагалі). [1, 3]

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МАШИН

Ідея MRAP-броньовиків не створювалась на порожньому місці. По-перше, американцям були відомі південноафриканські машини з V-подібним днищем, що застосовувалися ПАР в так званій «війні в кущах» в Родезії в 70-е і в ангольській війні 70...80-х років. [2] По-друге, вони вже закуповували невелику кількість все тих же південноафриканських броньовиків Mamba і Casspir для армії та мали уявлення про їх використання. Конкретним же прообразом технічного завдання проекту стало техзавдання, яке Корпус морської піхоти видав компанії Force Protection (яка вже мала досвід робіт в цьому напрямку, спільно з південноафриканцями) ще в 2004 році, не чекаючи, поки вся громіздка структура Департаменту відреагує на мінну загрозу.

Не варто дивуватися тому, що Морська піхота перейнялася цим питанням. Справа в тім, що в США морпіхи – це не зовсім те, що морські піхотинці в інших країнах. Тобто вони також «заточені» під операції з десантуванням з кораблів, але їх функції не обмежуються прибережними операціями. По суті, це ще одна повноцінна армія, а їхня назва marines (тобто «морські війська») слід

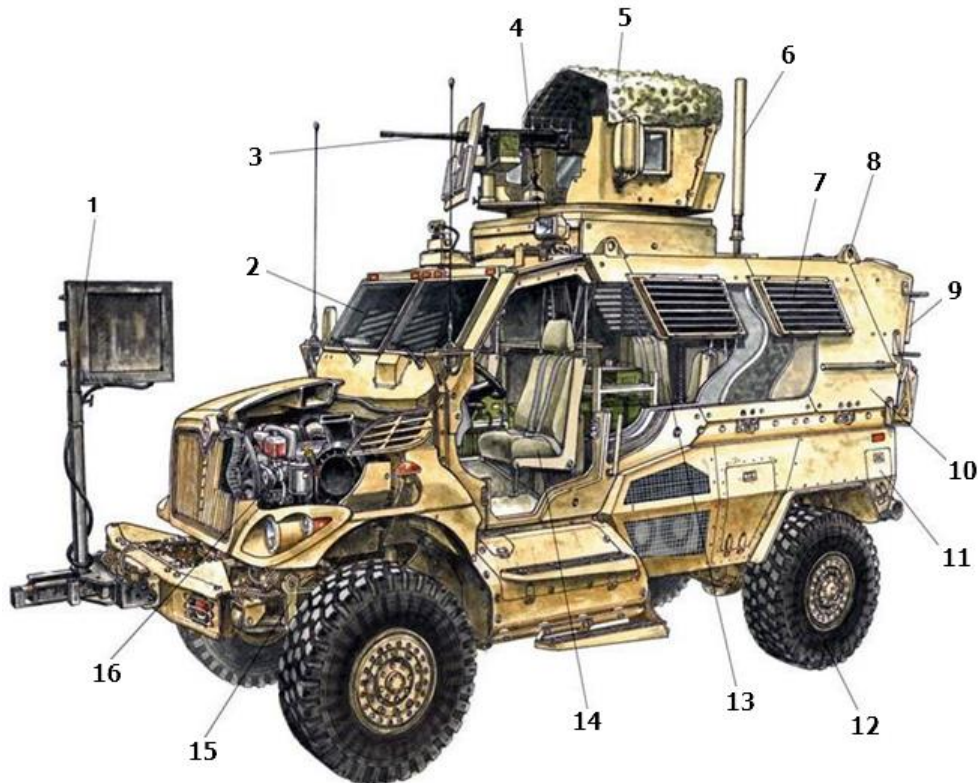


Рис.1. Типова конструкція MRAP-машини (на прикладі Navistar MaxxPro):

1 - детектор мін, 2 - кулетривке скло, 3 - станковий кулемет М2 Браунінг, 4 - тактична фара-шукач, 5 - набір захисту стрілка (думаю, це вони так називають саму турель), 6 - антена GPS, 7 - решітки на вікнах, 8 - вушко для «троса загального призначення», 9 - задня апарель, 10 - багатошарова броня (від Plasan), 11 - місця для зберігання, 12 - шини з ран-флетами, 13 - відсік екіпажу, 14 - сидіння водія, 15 - незалежна підвіска (це вже доопрацювання, спочатку вони були з цільними осями), 16 - двигун

Fig. 1. Typical design of an MRAP machine (on the example of Navistar MaxxPro):

1 - IED electronic detection device, 2 - bullet- and blast-resistant glass, 3 - M2 Browning machine gun, 4 - tactical floodlight, 5 - objective gunner's protection kit, 6 - GPS/communication antenna, 7 - grated window armor, 8 - general purpose cable aperture, 9 - quick-release ramp, 10 - plasan-manufactured body armor, 11 - external storage, 12 - "run flat" tires, 13 - crew compartment, 14 - driver's seat, 15 - DXM fully independent suspension, 16. MaxxForce 9.3D engine

розуміти в буквальному сенсі – тобто це війська для заморських операцій (найкраще сказати, що це «армія швидкого реагування»). Тому Корпус морської піхоти у американців такий численний – 184 тис. осіб, і тому вони брали участь в сухопутних операціях в Іраку, що здається нелогічним, якщо думати, що морпіхи займаються лише десантом з моря. У випадку з Іраком саме Корпус морської піхоти отримав більшу частину (> 70%) MRAP-броньовиків [5].

Технічне завдання включало в себе 14 ключових вимог (Рис. 1):

1) машина повинна витримувати вибух як мінімум 13,5 кг вибухової речовини під колесами і 6,75 кг під днищем корпусу;

2) корпус машини повинен захищати екіпаж від вогню стрілецької зброї калібру 7,62 мм з 30 м (ця вимога базувалося на аналізі застосування стрілецької зброї іракськими повстанцями);

3) повинен забезпечуватись захист від бічних вибухів 155-мм снарядів. Такі снаряди (з детонаторами, якими замінялися ударні капсули і запобіжники) дуже часто використовувалися для виготовлення фугасів в Іраку;

4) по можливості повинний бути забезпечений захист екіпажу від отруйних газів або іншого біологічної/радіологічної зброї;

5) потрібні бійниці для стрільби, щоб екіпаж міг вести вогонь у відповідь;

6) потрібна бути забезпечена можливість установки дистанційно керованого бойового модуля;

7) машина повинна мати високу ремонтпридатність і бути побудованою за **модульним** принципом, що полегшувало б заміну її пошкоджених частин;

8) кожне робоче місце члена екіпажу має бути обладнано високоефективними ремнями безпеки. Найкраще використовувати ремінь безпеки по типу моделей, що застосовувалися на сімействі вертольотів UH-60 (Blackhawk, Seahawk і т.п.), які відрізняються особливо зручною конструкцією і мають функцію швидкого відстігання;

9) сидіння екіпажу повинні бути не гірше, ніж у вертольотів. Ця вимога включає в себе, по-перше, здатність до енергопоглинання (тобто власне якість протимінного сидіння), по-друге, «здатність до багатопозиційності, що дозволяє ефективно застосовувати зброю» (простіше кажучи, з сидіння має бути зручно стріляти);

10) машина повинна витримувати перекидання/переворот (аж до повного перекидання на 360°) без будь-яких значних пошкоджень силового каркаса кузова і внутрішнього обладнання;

11) машина повинна оснащуватись кондиціонером і обігрівачем;

12) конструкція кузова повинна забезпечувати можливість посилення бронезахисту шляхом установки додаткової «масштабованої» броні (мається на увазі, що додаткова броня може бути різної товщини і, відповідно, піднімати до різних рівнів);

13) машина повинні мати достатніх розмірів вантажний відсік і навіски, щоб мінімізувати ризик «вторинних снарядів», які можуть виникати при підриві на міні або при перевертанні машини (не цілком зрозуміла думка, але швидше за все мається на увазі, що частина вантажу повинна розташовуватися всередині машини, а якомога більша частина – назовні, щоб при підриві/перекиданні машини цей вантаж не літав по салону);

14) машина повинна мати систему пожежогасіння як у відсіку екіпажу, так і в інших відсіках. [1]

З самого початку було зазначено, що хоча машини повинні бути максимально функціональними, проте є необхідність поділити їх на 3 категорії за виконуваними завданнями (що, відповідно, відбивалося і на їх конструктивному виконанні).

Категорія I – найбільш компактні і легкі (відносно) з усього сімейства машин. Вони призначались для патрулювання в умовах міста, передбачались швидкісними, маневреними і повинні були вміщати до 6-ти осіб (включаючи командира, водія і навідника). Могли бути базовою платформою для «машин вогневої підтримки», озброєних крупнокаліберними кулеметами, або використовуватись в розвідувальних підрозділах для ведення розвідки на значній відстані від бази, а також для задач цілеуказання артилерії. Практично всі закуплені по цій категорії машини були 4×4 (виняток – Caiman).

Категорія II – більш важкі машини, здатні вмістити до 10-ти осіб (з урахуванням командира, водія і навідника). Так звані squadsize (термін погано перекладається, але за сенсом це щось на зразок «машини, розрахованої на одне відділення»). Вони передбачались найбільш універсальними з сімейства MRAP, виконуючи завдання по супроводженню конвоїв, транспортуванню особового складу між базами, вивезення поранених, а також використовуватись як командно-штабні машини.

Велика частина закуплених за цією категорією машин була 6×6. Згодом, в реальному застосуванні, машини категорії II використовувались як машини швидкого реагування (тобто те, що спочатку покладалося виключно на машини категорії I).

Категорія III – вузькоспеціалізовані машини, призначені конкретно для робіт з розмінування території, з екстремально високою мінної захищеністю і оснащені спеціальним обладнанням (наприклад, «лапою»-маніпулятором).

Цікаво, що ця категорія, по суті, так і не отримала втілення. По ній було закуплено всього 200 машин однієї моделі, так як в реальності виявилося неможливим використовувати для розмінування тільки такі машини.

Після затвердження програми MRAP Пентагон вирішив не розраховувати на єдиного постачальника. Причому, враховуючи, що мінозахисні машини «були потрібні ще вчора», в якості одного з основних вимог називалась можливість термінового розгортання серійного виробництва запропонованої моделі. Остання вимога призвела до того, що, по-перше, в конкурсі брали участь в основному виробники з уже наявними серйозними виробничими потужностями, по-друге, їх прототипи, зазвичай, базувалися на вже існуючих моделях.

Всього в конкурсі за програмою MRAP взяли участь 9 фірм:

- BAE Systems
- Land Systems OMC (південноафриканський підрозділ BAE – кампанія, яка була першопрохідцем в MRAP-ах)
- Armor Holdings (спочатку незалежна фірма, але була викуплена BAE в 2007-му відразу після перемоги)
- Force Protection
- Navistar International
- Oshkosh Truck
- General Purpose Vehicles
- Protected Vehicles Inc. (за підтримки ізраїльського Rafael)
- Textron Marine and Land Systems.

Із цього списку дві фірми – General Purpose Vehicles і Protected Vehicles Inc. були новачками у військовому бізнесі, оскільки раніше займалась виробництвом інкасаторів (друга з них вийшла на конкурс спільно з великим військовим виробником Rafael). Решта були досвідченими і давно зарекомендували себе виробниками, які вже давно виробляють або безпосереднього броньованого автомобілі, або як мінімум військову колісну техніку (наприклад Oshkosh, яка ще з часів Другої світової війни була основним постачальником армійських вантажівок).

До речі, з усього списку тільки Rafael і OMC були іноземними компаніями, та й то,

перша йшла спільно з американською фірмою, а друга належала BAE System (тобто американцям).

Textron був відсторонений відразу, оскільки пропонував БРДМ-подібні броньовики M1117, які вже використовувались в армії і взагалі не відповідали висунутим вимогам.

GPI і **PVI** в процесі конкурсних випробувань (хоча Корпус морської піхоти, який гостро потребував мінозахисних машин, встиг замовити у PVI пробну партію в 60 броньовиків ще до початку випробувань, але використувавши їх в Іраку, залишився дуже незадоволений, що, в свою чергу зумовило і їх виключення з конкурсу).

Oshkosh спочатку теж вибув з конкурсу, через запропонований ними спочатку броньовик Alpha, який був забракований за «невідповідність ціни його технічним характеристикам», а запропонований пізніше австралійський Bushmaster не зовсім сподобався за конструктивним виконанням. Однак, вони повернуться в гру пізніше, у 2009 році, коли відбудеться переоцінка програми і стане ясно, що MRAPи повинні бути трохи не такими, як вбачалось спочатку (про це далі).

Поки ж переможцями були оголошені 5 (фактично – 3) компаній: **Navistar** з машиною MaxxPro, **Force Protection** з Cougar (не плутати з кугуар від Стрейт Груп, це просто збіг назв), **BAE** з RG-33, їх же підрозділ **BAE Land Systems OMC** з більш молодшою версією попередньої, RG-31 і **Armor Holdings** (які відразу ж після перемоги був куплений BAE) з машиною Caiman.

MAXX PRO (Navistar International)



Броньовик MaxxPro [1, 4, 6] був розроблений Navistar самостійно, на базі їхньої власної вантажівки International Workstar 7000 (це якраз та, що нам пропонував Богдан-Автомоторс).

Характеристики	
Повна вага, т	19,7 (22,9)
Довжина, мм	6350
Ширина по корпусу, мм	2591
Висота по даху, мм	3048
Кліренс, мм	277 / 394
Потужність двигуна, к.с.	375 (у перших партіях 330)
Швидкість, км/год	112

Ця модель закуповувалась найбільше, усього було поставлено 7460 машин. Практично всі поставлені броньовики належали до категорії I і лише 16 шт. відносились до категорії II.



Версія для категорії II була також 4×4 і відрізнялася від версії для категорії I тільки більш довгою колісною базою. Таким чином, вона була довшою (7200 мм.), важчою (23,6 т) і вміщала 10 осіб. Візуально її можна було відрізнити за трьома, а не двома парами вікон у відсіку десанту.

У 2008 році, після експлуатації перших партій MaxxPro в Іраку, виявилось, що дуже серйозно недоліком стає кліренс машини, який був нетипово малий як для вантажівки – усього 277 мм (при тому, що у Cougar і Caiman, хоча ті теж були зроблені на базі цивільних вантажівок з цільними осями, кліренс становив 381 мм і 366 мм відповідно). Це було виставлено компанії як серйозна технічна претензія, на що Navistar відреагував

спільною розробкою з компаніями Hendrickson і AxleTech незалежних осей DXM і оперативно переоснастив ними більшу частину машин [23, 24].



Крім поліпшених ходових якостей, нова підвіска мала велику навантажувальну здатність, що дозволило на 3 т збільшити вагу можливої додаткової броні/обладнання.



Всього такий незалежною підвіскою було дообладнати 6050 з 7460 машин.

RG-31 (BAE)



Характеристики	
Повна вага, т	14,2 / 17,0
Довжина, мм	6096 / 6807
Ширина по корпусу, мм	2469
Висота по даху, мм	2629
Кліренс, мм	382
Потужність двигуна, к.с.	275
Швидкість, км/год	100

Броньовик RG-31 [2, 3, 9, 17] був розроблений ще в кінці 90-х зусиллями Olifant Manufacturing Company, знаменитої південноафриканської компанії, яка в кінці 70-х стала першопрохідником у виробництві броньовиків з V-подібним днищем. Ця компанія багато разів переходила з рук в руки і врешті-решт 2005-го року була куплена корпорацією південноафриканського підрозділу BAE, Land Systems South Africa – таким чином, на момент старту програми вона вже входила в корпорацію BAE і займалася розробкою мінозахисних броньовиків для їх портфоліо (але далеко не завжди – їх виробництвом).

Основою для розробки був їхній попередній броньовик – Mamba, який відносно успішно продавався в 90-і роки. Mamba була побудована на шасі Unimog 400. Деталі базового шасі для RG-31 не розкривались, але, схоже, що також використовувалось шасі Unimog. Як і інші броньовики MRAP-програми, корпус і V-подібне днище представляли собою цільну конструкцію, встановлену поверх шасі. Це дозволяло машині витримувати вибух двох мін ТМ-57 (тобто 17 кг тротилового еквіваленту) під колесом, а також переставляти корпуси з шасі на шасі прямо в полі.

Перші версії RG-31 закуповувались США ще в 2001-му і, таким чином, до моменту старту програми це була вже знайома їм машина. Версія, що потрапила в програму, була RG-31 п'ятого покоління (Mk.5). Вироблялись RG-31 на заводах іншої великої корпорації, General Dynamics, давнього партнера BAE.

Всього було поставлено 1528 машин. Спочатку, через свої невеликі розміри і наявність тільки конфігурації 4×4, RG-31 розглядалися виключно як машини категорії I і ISSN(print)2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 95, 2020, 25-40

закуповувалася тільки по ній. Але в 2008-му компанія представила подовжену на 711 мм модифікацію, яка вміщувала додатково 2 людини, і Корпус морської піхоти знайшов це дуже вдалим рішенням, оскільки вони отримували 10-містну машину категорії II, яка при цьому як і раніше залишалася істотно менше і легше, ніж інші броньовики. В результаті, закупівлі за категоріями розподілилися приблизно в рівних пропорціях – 817 шт. категорії I і 711 шт. категорії II.



Крім довгої версії, було розроблено ще версію RG-31 Mk.5 Enhanced Mobility (з покращеною мобільністю), яка представляла собою поліпшену модифікацію короткої версії, з потужнішим двигуном (300 к.с.) і посиленою підвіскою, що давало можливість доводити вагу машини до 19 т. Втім, у такій модифікації було закуплено лише кілька десятків машин в уже останніх партіях і в Іраку вони практично не зустрічались.

RG-33 (BAE)



Характеристики	4×4	6×6
Повна вага, т	17,2	26,3
Довжина, мм	6736	8534
Ширина по корпусу, мм	2438	
Висота по даху, мм	2896	
Кліренс, мм	381	
Потужність двигуна, к.с.	400	
Швидкість, км/год	110	108

Броньовик RG-33 [1, 10, 17] також був розроблений компанією Olifant Manufacturing Company, вже безпосередньо під програму MRAP, і представляв собою, по суті, версію попередньої RG-31, з більш широкою кабіною (у RG-31 була дуже вузька кабіна, всього 1,65 м) і з третьою віссю. При цьому, крім версії 6×6, що вважалася основною, була і версія 4×4, яка за розмірами і вагою практично не відрізнялася від RG-31 подовженої модифікації, але комплектувалась істотно потужнішим двигуном у 400 к.с. (такий же двигун використовувався і у версії 6×6).

Машину побудовано на шасі Unimog (модифікованому), з цільним корпусом. Бронезахист машини описаний як такий, що витримує постріли з усіх куль калібрів 5,45 мм і 7,62 мм, а також вибухи мін «необмеженої потужності».

Відмінною рисою RG-33 є простора кабіна, завдяки чому особливо вдалимий вийшли її санітарна і командно-штабна модифікації. З якогось моменту всі санітарні MRAPи стали виготовлятися тільки на базі RG-33L 6×6.

На відміну від RG-31, RG-33 виготовлялися самою Olifant Manufacturing Company. Усього було поставлено 1735 машин, з них 292 шт. категорії I та 1435 шт. категорії II.



Машини категорії I (тобто RG-33 4×4) майже повністю використовувалися як розвідувальні, через що на них найчастіше з усіх броньовиків ставилися бойові модулі.



Крім того, з'ясувалося, що RG-33 відмінно підходять для протимінних команд і їх стали оснащувати «лапами»-маніпуляторами. В результаті відпала необхідність в закупівлі машин окремої категорії III і останніх було закуплено всього 200 штук.

CAIMAN (Armor Holdings / BAE)



Характеристики	
Повна вага, т	22,9
Довжина, мм	7848
Ширина по корпусу, мм	2588
Висота по даху, мм	988
Кліренс, мм	366
Потужність двигуна, к.с.	370
Швидкість, км/год	104

Броньовик Caiman [1, 12, 13] розроблено компанією Stewart and Stevenson на базі їхньої вантажівки FMTV M1078, яка випускається для армії США, ще до старту конкурсу

в 2001-му році. У 2004-му компанія була куплена холдингом Armor Holdings і машина подавалася на конкурс вже від їхнього імені. Відразу ж після виграшу, Armor Holdings був куплений BAE і, таким чином, випускалися Caiman вже під брендом BAE Systems.



Шасі практично не зазнало змін, в частині ходової Caiman мав 95% загальних вузлів і агрегатів з базовим вантажівкою FMTV, що забезпечило йому порівняно невисоку вартість і особливу легкість технічного обслуговування (в армії ремонт FMTV був знайомою всім процедурою). За основу броньованого корпусу було взято конструкцію стандартної бронекабіни – Low Signature Armored Cab (LSAC), також розробленої

Stewart & Stevenson для установки на свої вантажівки (у т.ч. на FMTV). Спеціально для програми MRAP її доповнили композитною бронєю.



За рівнем бронювання Caiman відповідав 2-му рівню STANAG 4569. Протимінна стійкість забезпечувала збереження життя екіпажу при підриві 8 кг вибухівки під днищем і 13 кг під колесом.

Caiman виготовлявся на заводах в Огайо і Техасі, при цьому в Огайо виготовлялося V-подібне днище, яке потім переправлялося до Техасу, де і проводилась остаточне збирання машини.

Всього було поставлено 2862 машини, з них 1154 шт. категорії I і 1708 шт. категорії II. Примітно, що для обох категорій бралися Caiman 6×6, а представлений на конкурс Caiman 4×4 (який пропонувався компанією для категорії I), у серію не пішов.



У 2009 році Caiman, за аналогією з МаххPro, також були дообладнані незалежною підвіскою (хоча, на відміну від МаххPro, у них не було серйозних проблем з кліренсом) розробки компанії Meritor.

COUGAR (Force Protection)



Характеристики	4×4	6×6
Повна вага, т	19,5	29,3
Довжина, мм	6299	7468
Ширина по корпусу, мм	2743	
Висота по даху, мм	2641	
Кліренс, мм	381 (460)	
Потужність двигуна, к.с.	330	
Швидкість, км/год	104	

Броньовик Cougar [1, 14, 15] розроблено компанією Force Protection. Ця компанія

була заснована в 1997 р., спочатку вона називалася Sonic Jet і спеціалізувалася на спортивних катерах. Однак в 2001 р., у зв'язку з відомими подіями, власник прийняв рішення переорієнтуватися на бізнес захист життя і в 2002 р. придбав американсько-британське конструкторське бюро Technical Solutions Group, яке тісно співпрацює з південноафриканцями, в т.ч. з виробниками мінозахисних машин.

Використовуючи налагоджену технічну співпрацю з Denel-Mechem, компанія розробила два броньовики – Buffalo і Cougar на базі Denel Lion II, який в свою чергу базувався на їх знаменитому Casspir.

Обидві машини були запропоновані Морський піхоті США, і Buffalo почав закуповуватись. Коли ж було оголошено програму MRAP, Force Protection серйозно переробили конструкцію (у першу чергу, в частині бронекорпусу) Cougar, а також розробили його версію 6×6. Таким чином, до моменту старту програми, Force Protection були єдиними, здатними запропонувати свої рішення по всіх трьох категоріях. У підсумку, Cougar 4×4 було обрано по Категорії I, Cougar 6×6 – по категорії II, а Buffalo, відповідно, по категорії III.



Cougar зроблено за стандартною схемою – корпус, цілісний з V-подібним днищем, поставлений зверху на шасі. У стандартній конфігурації забезпечує захист від куль 7,62 мм, але при використанні накладної броні забезпечувався захист від бронебійних куль 12,7 мм. Крім того, броньовано радіатори, паливні баки, відсік акумулятора. Рівень протимінного захисту становить 7 кг під

днищем і 14 кг під колесом. В реальності машини витримували набагато більш потужні вибухи.

Машина категорії I представляла версію 4×4, в іншому була ідентична машині категорії II. Всього було поставлено 2847 машин, з них 1498 шт. категорії I і 1349 шт. категорії II.



У 2009 році Cougar, як і MaxxPro і Caiman, були дообладнані незалежною підвіскою TAK-4 розробки Timoney і виробництва Meritor (відмінною рисою цієї підвіски є регулювання дорожнього просвіту). Підвіска підвищила кліренс з 381 мм до 460 мм.

BUFFALO (FORCE PROTECTION)

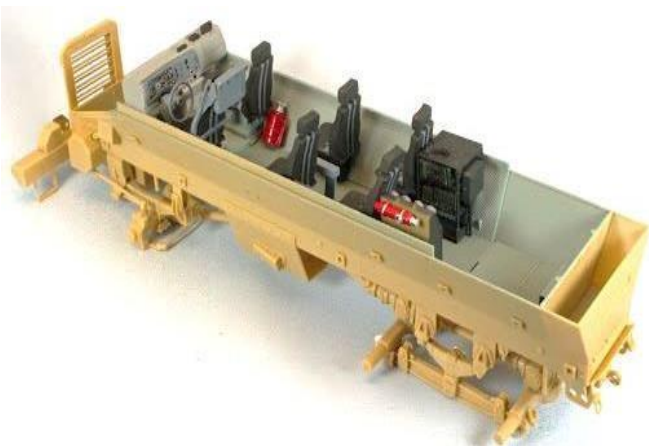


Характеристики	
Повна вага, т	25,4
Довжина, мм	8230
Ширина по корпусу, мм	2590
Висота по даху, мм	3022 (з «лапою» 3962)
Кліренс, мм	381
Потужність двигуна, к.с.	450
Швидкість, км/год	105

Броньовик Buffalo [1, 16-18] конструкційно нагадує їхній Cougar і виробляється на

тій же базі, але з іншим корпусом. Відмінною рисою є наявність довгого маніпулятора, за допомогою якого можна було підбирати й вивчати підозрілі об'єкти на відстані до 7 м.

Buffalo почали закуповувати ще в 2000 р., до початку програми MRAP. Це визначило його перемогу і в результаті Buffalo став єдиним панцерником, якого закуповували як машину категорії III.



Усього було поставлено 200 машин. Така мала кількість пояснюється тим, що як виявилось, вигідніше мати спеціальне обладнання, яке при необхідності ставиться на звичайні MRAP-и, ніж окрему модифікацію MRAP-а, придатну лише для робіт з мінної розчистки.

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ

Всього за 2007 – 2009 рр. було поставлено майже 17 тисяч машин. Це було найбільшою стислою в часі доставкою техніки з часів Другої світової війни.

Ефект від їх використання був відчутний відразу. Відсоток тих, хто гине при підриві ISSN(print)2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 95, 2020, 25-40

впав з 22 до 6%, скоротивши таким чином вчетверо втрати. MRAPи були не настільки ефективні проти зарядів типу EFP, але в цілому користь від їхнього використання була відчутною. Було кілька випадків підривання на надпотужних зарядах. Зокрема, відомий випадок, коли броньовик Cougar 6×6 підірвався на вибуховому пристрої, згодом оціненому в 135 кг тротилу, і всі п'ятеро членів екіпажу вціліли (фото нижче).

19 січня 2008 року був зареєстрований ще більш потужний підрих – броньовика MaxxPro за оцінкою на 265 кг тротилу. Стрілець (в турелі) загинув, але інші троє вижили, причому один отримав лише контузію. Крім безпосереднього зменшення смертельних випадків при підривах, використання MRAP-ів дало ще два позитивних ефекту. По-перше, партизани почали намагатися закладати по можливості більш потужні заряди, які б гарантовано вражали машини. Але оскільки такі міни вимагають не тільки більше часу і ресурсів для створення, а й багато часу на установку, це призводило до того, що американські солдати ловили і нищили партизанів прямо під час закладки. По-друге, MRAP-и, особливо коли їх стали доукомплектовувати накладною бронею, були дуже ефективні проти стрілецьких атак. В результаті, кількість обстрілів на дорогах скоротилась у 9 разів.

Однак, поряд з доведеною ефективністю спільної ідеї мінозахисної машини, були виявлені і недоліки конкретного її виконання. Всі великі моделі MRAP-броньовиків, незалежно від виробника, мали два суттєвих недоліки [1, 24, 25].

1. Схильність до перекидання. У своєму прагненні зробити так, щоб екіпаж машини сидів якнайдалі від землі, розробники перестаралися з висотою. Більшість моделей переверталися вже по досягненню крену в 25°. В результаті, наприклад, в середині 2008 р. була зібрана статистика, за якою за 7 місяців сталося 66 дорожніх аварій, з яких 40 були випадками перекиданнями. При цьому в двох випадках машини падали у воду (в канали), в результаті чого загинуло 5 осіб, які

опинилися в пастці під водою. У звіті говориться, що 75% всіх перекидань відбулися в



сільській місцевості, часто там, де дороги були побудовані вище рівня з прилеглим ровом або каналом.

2. Погана прохідність. Практично у всіх машин були проблеми з прохідністю по бездоріжжю, особливо на м'яких ґрунтах (при тому, що, наприклад, на Saïmane, побудованому на базі військової вантажівки, центральна підкачка була вже у базовій версії, ще до установки незалежної підвіски). Також недоліком була вага машин – 72% мостів їх

просто не могли витримати. Нарешті, ще однією частою скаргою було те, що машини

мали дуже високу чутливість керма – вкрай небажана характеристика для військової машини.

Для вирішення другої проблеми було розгорнуто велику програма доукомплектування наявних машин незалежними підвісками (а також деякими іншими речами, як-то додаткова броня, РПГ-сітки та ін.). Перша ж проблема була непереборною, оскільки виникала з самої геометрії машин. Для її вирішення було оголошено програму, згідно з якою Управління операцій швидкого реагування ініціювало в січні 2009 р. ще одну закупівлю, яка отримала неофіційну назву «MRAP II».

Ця програма передбачала закупівлю MRAPів по доопрацьованому, з урахуванням набраного практичного досвіду, технічному завданню (згодом це техзавдання ляже в основу програми JLTV по заміні Хаммерів на більш сучасні броньовики). Основною вимогою до MRAP 2-го покоління стали менші розміри і вага. У конкурсі брало участь 4 виробника – **Armor Holdings** (вже належав BAE) з зменшеною версією Caiman, **Navistar** з MXT, **Force Protection** з Cheetah і **Oshkosh**, який не пройшов конкурс 2007-го, куди він заявлявся зі своїм Alpha і австралійським Bushmaster [23], а на конкурс 2009-го заявив нову розробку M-ATV. Переможцем став **Oshkosh**.

M-ATV (Oshkosh)



Характеристики	
Повна вага, т	14,7
Довжина, мм	6270
Ширина по корпусу, мм	490
Висота по даху, мм	695
Кліренс, мм	407
Потужність двигуна, к.с.	370
Швидкість, км/год	105

Броньовик M-ATV [1, 19-20] був розроблений Oshkosh самостійно, на базі їхньої власної армійської вантажівки Oshkosh MTVR 4×4. Це машина відразу мала незалежну підвіску (ТАК-4 з регульованим просвітом від Timoney/Meritor) і дуже добре зарекомендувала себе в армії і Морський піхоті, тому саме використання Oshkosh MTVR багато в чому визначило перемогу машини в конкурсі.



Бронекорпус розроблявся спільно з ізраїльським Plasan. Рівень бронезахисту склав повного 3го СТАНАГ, через що споряджена маса машини досягла 12,5 т, а повна – 14,7 т. Це було значно більше вимог техзавдання, де прописувалося 7,7 т і 11,4 відповідно. Але так як навіть з таким перевищенням цільових значень, машина все одно виходила легше інших MRAP-ів, плюс дорожні випробування переконливо показали її високу прохідність навіть з такою масою, розбіжність було визнано прийнятною.

За іншими параметрами машина повністю відповідала техзавданню, зокрема вимогам до габаритів і прохідності. Вона мала суттєво менші, ніж інші машини, розміри, що дозволяло транспортувати її літаками C-130, невеликий радіус повороту, що дозволяло використовувати її в умовах міської забудови практично без обмежень, а крім того дуже хорошу прохідність по бездоріжжю. Окремо наголошувалося на дуже хорошій керованості, яка була основним об'єктом скарг при експлуатації попередніх машин.

Втім, були і мінуси. Однією з вимог була висока живучість – здатність діяти певний час після деяких бойових ушкоджень систем охолодження, змащення двигуна або паливної системи. В реальності M-ATV не завжди міг продемонструвати таку живучість, а



Рис. 2. Порівняння трьох машин – HMMWV, Oshkosh L-ATV, Oshkosh M-ATV
Fig. 2. Comparison of three cars – HMMWV, Oshkosh L-ATV, Oshkosh M-ATV

крім того, були часті нарікання на ненадійність двигуна і «механічні проблеми».

Однак, навіть з цим М-ATV стали абсолютно кращими серед усіх MRAP-ів і використовувалися по можливості для всіх завдань, навіть не дивлячись на те, що наявність тільки 5 посадочних місць накладало обмеження на область їх використання. Всього було закуплено 8772 машини.

Тому не дивно, що саме Oshkosh М-ATV став прообразом техзавдання на JATV (програма по заміні Хаммерів легкими броневидами) і ще більш дивно, що її переможцем став Oshkosh L-ATV, зменшена версія М-ATV (Рис. 2).

ВИСНОВКИ

1. Існуючі проблеми безпеки й терористичні загрози в зоні бойових дій з використанням мін, вимагають створення та постійного вдосконалення захищених машин підвищеної прохідності. В статті розглянуто сучасні зразки броньованої техніки, яка використовується армією США та інших держав, конструктивні особливості, основні технічні характеристики та шляхи їхнього вдосконалення.

2. Значна вага машин спеціального призначення спричинює проблеми прохідності, збільшення кліренсу підвищує вірогідність перевертання машин під час руху, а встановлення додаткових засобів маніпуляторного типу погіршує стійкість машини, що вимагає нових розрахунків, досліджень і випробувань транспортних засобів.

3. Огляд та аналіз шляхів підвищення прохідності й безпеки військової техніки може бути врахований для уточнення технічного завдання з розробки машин для аварійно-ремонтних і рятувальних робіт з урахуванням підвищеного ступеню рухомості машини та модульного принципу її формування.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Mike Guardia.** US Army and Marine Corps MRAPS / Mike Guardia // Oxford: Osprey Publishing, 2006. – P. 50. ISBN 978-1-78096-255-9.
2. **Mark Huntiller.** Mrap, a Rather Old Idea (англ.) Mark Huntiller // Armada International: журнал. – 2012. – № 02. – С. 13-20.

3. **Суворов С.** MRAP. Панацея или только одно из средств? / С. Суворов // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра: журнал. – 2011. – № 11. – С. 24-33.
4. https://www.navistardefense.com/navistardefense/vehicles/maxxpromrap/maxxpro_mrap.
5. Army Guide – Ирак получает противоминные машины MAXXPRO. http://www.army-guide.com/rus/article/article_2733.html.
6. <https://www.baesystems.com/en/product/rg33-mineresistant-ambush-protected-vehicle>.
7. **RG-31** / MRAP Category II, Nyala, RG-31 Mk3, RG-31 Mk5.
8. www.TrucksPlanet.com, BAE Systems RG-31 Nyala.
9. "BAE Systems – AUSA 2008.– RG33 Series Mine Protected Vehicles". Archived from the original on 5 November 2014. Retrieved 5 November 2014.
10. "RG33 Mine-Resistant Ambush Vehicle (MRAP)". Army Technology. 15 June 2011. Archived from the original on 18 February 2010. Retrieved 1 January, 2012.
11. <https://www.armyrecognition.com>, Caiman 4x4 MRAP BAE Mine resistant protected armoured vehicle.
12. "Caiman MTV 6x6 MRAP vehicle in service with UAE army - December 2017 Global Defense Security news industry - Defense Security global news industry army 2017. – Archive News year". www.armyrecognition.com. Archived from the original on 12 December 2017. Retrieved 22 April 2018.
13. <https://trucksplanet.com>, news, BAE Systems, Caiman.
14. **Cougar** 6x6 specifications Archived 2007-08-13 at the Wayback Machine, ForceProtection.net.
15. "The truck the Pentagon wants and the firm that makes it". USA Today, 10/2/2007.
16. **Buffalo** Mine Protected Route Clearance Vehicle, <https://www.military.com>.
17. **BAE's LROD** Cage Armor. Defense Industry Daily.
18. "Force Protection – Orders for an Additional 48 EROC Vehicles: Blast-Resistant Buffalo and Cougars – Industry News Release". Canadian American Strategic Review. November 2008. Archived from the original on 2008-12-04. Retrieved 2008-11-04.
19. <https://oshkoshdefense.com>, M-ATV Multi-Mission Family of Vehicles Brochure.
20. <https://www.army-technology.com>, Oshkosh MRAP All Terrain Vehicle.
21. <http://www.army-guide.com>, BUSHMASTER.
22. **Carrier** (brochure)" (PDF). War Wheels. Thales Australia. 17 September 2012.
23. **Haugh, David, Keenan, Patrick.** "Bushmaster Protected Mobility Vehicle (PMV)" / David Haugh, Patrick Keenan // WarWheels.Net. Retrieved 28 February 2015.
24. **Сукач М. К.** Обоснование принципов усовершенствования упругих устройств / М.К. Сукач // Гірн., буд., дор. та меліорат. машини, – 2018, – Вип.91, 28-35 <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0301>.
25. **Сукач М. К.** Особливості застосування скобоподібних ресор в автомобільному транспорті / М.К. Сукач // VI МНПК «Transfer of Innovative Technologies 2020». – Київ, – КНУБА (20-21.05.2020), – С.81-84. <https://tit-conference.iimdoft.com>.

REFERENCES

1. **Mike Guardia** (2006). US Army and Marine Corps MRAPS. Oxford, Osprey Publishing, 50, ISBN 978-1-78096-255-9.
2. **Mark Huntiller** (2012). Mrap, a Rather Old Idea (англ.) Mark Huntiller. Armada International: zhurnal, No.02, 13-20.
3. **Suvorov S.** (2011). MRAP. Panaceja ili tol'ko jedno iz sredstv. Tehnika i vooruzhenie vchera, segodnja, zavtra: zhurnal, No.11, 24-33 (in Russian).
4. https://www.navistardefense.com/navistardefense/vehicles/maxxpromrap/maxxpro_mrap.
5. Army Guide – Irak poluchaet protivominnye mashiny MAXXPRO. http://www.army-guide.com/rus/article/article_2733.html. (in Russian).
6. <https://www.baesystems.com/en/product/rg33-mineresistant-ambush-protected-vehicle>.
7. **RG-31** / MRAP Category II, Nyala, RG-31 Mk3, RG-31 Mk5.
8. www.TrucksPlanet.com, BAE Systems RG-31 Nyala.
9. **BAE Systems** – AUSA 2008. RG33 Series Mine Protected Vehicles. Archived from the original on 5 November 2014. Retrieved 5 November 2014.
10. **RG33** Mine-Resistant Ambush Vehicle (MRAP). (2012). Army Technology. 15 June 2011. Archived from the original on 18 February 2010. Retrieved 1 January, 2012.
11. <https://www.armyrecognition.com>, Caiman 4x4 MRAP BAE Mine resistant protected armoured vehicle.
12. "Caiman MTV 6x6 MRAP vehicle in service with UAE army – December 2017 Global Defense Security news industry – Defense Security global news industry army 2017. Archive News year". www.armyrecognition.com.

- [com](#). Archived from the original on 12 December 2017. Retrieved 22 April 2018.
13. <https://trucksplanet.com>, news, BAE Systems, Caiman.
 14. **Cougar** 6×6 specifications Archived 2007-08-13 at the Wayback Machine, ForceProtection.net.
 15. **The truck** the Pentagon wants and the firm that makes it. USA Today, 10/2/2007.
 16. **Buffalo** Mine Protected Route Clearance Vehicle, <https://www.military.com>.
 17. **BAE's LROD** Cage Armor. Defense Industry Daily.
 18. **Force Protection** – Orders for an Additional 48 EROC Vehicles: Blast-Resistant Buffalo and Cougars – Industry News Release. Canadian American Strategic Review. November 2008. Archived from the original on 2008-12-04. Retrieved 2008-11-04.
 19. <https://oshkoshdefense.com>, M-ATV Multi-Mission Family of Vehicles Brochure.
 20. <https://www.army-technology.com>, Oshkosh MRAP All Terrain Vehicle.
 21. <http://www.army-guide.com>, BUSHMASTER
 22. **Carrier** (brochure)" (PDF). War Wheels. Thales Australia. 17 September 2012.
 23. **Haugh, David, Keenan, Patrick** (2015). Bushmaster Protected Mobility Vehicle (PMV). WarWheels.Net. Retrieved 28 February 2015.
 24. **Sukach M. K.** (2018). Obosnovanie principov usovershenstvovaniya uprugih ustrojstv. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini, Nr. 91, 28-35. – (in Russian). <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0301>.
 25. **Sukach M. K.** (2020). Osoblivosti zastosuvannya skobopodibnih resor v avtomobil'nomu transporti. VI MNPK Transfer of Innovative Technologies 2020. Kyiv, KNUBA (20-21.05.2020), 81-84 (in Ukrainian). <https://tit-conference.jimdofree.com>.

Trends in increasing the possibility and security of machines (on the example of armored vehicles of the US Army)

Mykhailo Sukach¹, Anatoly Kravchuk²

*Kyiv National University of
Construction and Architecture*

Abstract. In the conditions of mine danger the question of availability of vehicles with the necessary degree of protection is acute. Theoretical calculations for detonation of the machine and their practical implementation in production allow to create protected off-road vehicles, and the use of "manipulator" with additional devices for detecting mines or explosive objects placed in front of the machine, prevent them from getting under the wheels and reduce hazards. knitted. However, increasing the security of the machines leads to an increase in weight and increasing the clearance can lead to the overturning of the machine when moving. Also, the presence of a manipulator body creates the need to calculate the machine for stability.

Samples of protected off-road vehicles used in the US Army, such as MAXX PRO (Navistar International), RG-31, RG-33 (BAE Systems), CAIMAN (Armor holdings / BAE), COUGAR, BUFFALO (Force Protection), M-ATV (OSHKOSH), their design features and technical characteristics. Protected cars L-M-ATV (Oshkoh) became the most widespread as they at the same degree of protection had smaller weight, height, more maneuverability.

The results of the inspection of "protected" equipment can be further used to clarify the terms of reference for the development of both vehicles and machines for special works (emergency repair, rescue with the required degree of protection).

Keywords: cross-country ability, vehicle safety, mine threat, MRAP, armored car, terms of reference, vehicle categories, manipulator

УДК 693.548.4.001.5

Дослідження форм власних коливань листів касетних установок для формування залізобетонних виробів

Володимир Сівко¹, Валерій Яковенко², Євген Міщук³

¹Національний транспортний університет,
01010, вул. Ємельяновича-Павленко 1, Київ, Україна,
^{2,3}Київський національний університет будівництва і архітектури,
03037, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна,
¹jqu20749@cuoly.com, <https://orcid.org/0000-0003-4826-6601>
²vyakoven@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8759-8652>
³jmishchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7850-0975>

Received: 07.04.2020; Accepted: 25.05.2020
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0301>

Анотація. Касетні установки отримали широке застосування для формування виробів будівництва: панелей перегородок, внутрішніх стін, плит перекриття. Касетна технологія виготовлення залізобетонних виробів характеризується простотою обладнання, високою продуктивністю, проте має ряд суттєвих недоліків: використання рухомих бетонних сумішей (осадка конуса 12...16 см), що призводить до підвищених витрат цементу; незадовільна в ряді випадків якість поверхні, що потребує додаткових шпаклювальних робіт; неоднорідні показники міцності по висоті виробу. В роботі представлені результати експериментальних досліджень форм власних коливань касетних установок з врахуванням і без врахування бетонної суміші. На основі досліджень проведено аналіз найбільш сприятливих режимів роботи касетної установки. Наведено результати чисельних розрахунків, які виконані по методу кінцевих елементів з врахуванням коефіцієнтів впливу, відомих із курсу опору матеріалів і які показують величину прогину від дії одиничного навантаження при розгляді пластини як двовимірної балки. Розрахункова модель отримана діленням листа на 7х16 кінцевих елементів. Отримано п'ять частот і відповідних їм форм власних коливань, аналіз яких показав, що найбільш допустимою з технологічної точки зору є третя форма, яка має дві напівхвилі в поздовжньому напрямку з вузловою лінією по середині пластини. Врахування бетонної суміші при коливаннях роздільних листів виконувалось при значеннях коефіцієнтів приєднання маси бето-

ну $\alpha = 0,3$ з двох боків. Експериментальні дослідження касетних установок виконувались в натурних умовах, вимірюванням амплітуд коливань роздільних листів з використанням спеціального віброщупа, закріпленого на телескопічній штанзі і пов'язаного з осцилографом. Така конструкція датчика дозволила виміряти динамічний режим практично в будь-якій точці площини листа при різних видах технологічного навантаження.

Ключові слова: касетна установка, форма коливань, бетонна суміш, частота коливань.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

При швидкому будівництві будинків актуальним є застосування виробів, формування яких здійснюється касетними установками: панелей перегородок, внутрішніх стін, плит перекриття [1]. Конструктивно вони представляють набір роздільних листів і парових просторів, встановлених із зазором на товщину виробу (10...16 см). Бетонна суміш подається у вузьку щілину на глибину до 2,5 м, яка заповнена арматурою і конструктивними технологічними елементами: розпірними конусами, закладними деталями, дверними блоками [2, 3]. Ущільнення суміші відбувається за рахунок коливань роздільних листів вібраторами, що навішуються збоку на корпус установки [3, 4] (Рис.1).

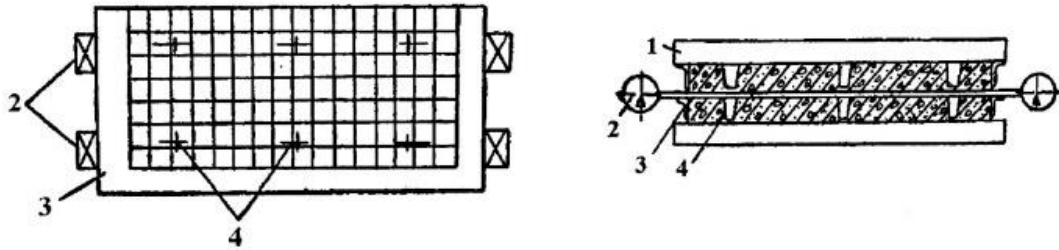


Рис. 1. Фрагмент касетної установки:

1 – паровий відсік; 2 – віброзбудувач; 3 – бортоснащення; 4 – розпірні конуси.

Fig. 1. Fragment of cassette device:

1 – steam compartment; 2 – vibrating exciter; 3 – board equipment; 4 – spacer cones

Касетна технологія виготовлення залізо-бетонних виробів характеризується простою обладнання, високою продуктивністю, проте має ряд суттєвих недоліків: використання рухомих бетонних сумішей (осадка конуса 12...16 см), що призводить до підвищених витрат цементу; незадовільна в ряді випадків якість поверхні, що потребує додаткових шпаклювальних робіт; неоднорідні показники міцності по висоті виробу.

Аналіз конструкцій касетних установок і дослідження промислового обладнання [3-6] показали, що коливання роздільних листів мають нерівномірний характер і малу величину (0,1...0,2 мм). Це не дозволяє добитися якісного ущільнення бетонної суміші.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідити форми власних коливань листів касетних установок без врахування і з врахуванням бетонної суміші та проаналізувати режими їх роботи, визначивши найбільш сприятливі умови для ущільнення бетону.

ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Чисельні розрахунки виконані по методу кінцевих елементів з врахуванням коефіцієнтів впливу, відомих із курсу опору матеріалів і які показують величину прогину від дії одиничного навантаження при розгляді пластини як двовимірної балки [7-9]. Наприклад для системи з трьома степенями свободи маємо три коефіцієнта прямого

впливу a_{11}, a_{22}, a_{33} , що відповідають одиничним силам і прогинам, які вимірюються в точках прикладання цих сил, і шести коефіцієнтів спряженого впливу $a_{12}, a_{21}, a_{13}, a_{31}, a_{23}, a_{32}$, що відповідають різним точкам прикладання одиничних сил і вимірюваних прогинів. Центри мас, на які виконано розбиття, сприймають дію сил $m_1 \ddot{x}_1, m_2 \ddot{x}_2, m_3 \ddot{x}_3$, де m_1, m_2, m_3 - маси кінцевих елементів; $\ddot{x}_1, \ddot{x}_2, \ddot{x}_3$ - прискорення цих мас.

Прогин під дією цих сил в першій масі дорівнює

$$x_1 = -\alpha_{11} m_1 \ddot{x}_1 - \alpha_{12} m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_{13} m_3 \ddot{x}_3.$$

Аналогічно для другої і третьої мас

$$x_2 = -\alpha_{21} m_1 \ddot{x}_1 - \alpha_{22} m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_{23} m_3 \ddot{x}_3.$$

$$x_3 = -\alpha_{31} m_1 \ddot{x}_1 - \alpha_{32} m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_{33} m_3 \ddot{x}_3.$$

Приведені рівняння описують поведінку розглядуваної системи з врахуванням сил інерції і пружних відновлюваних сил, закладених в коефіцієнт впливу. Під дією збуджуючої сили $P_0 \sin \omega t$ (P_0 - амплітуда збуджуючого зусилля; ω - частота) в першій масі статичні деформації в кожній із мас будуть

$$\alpha_{11} P_0 \sin \omega t; \alpha_{21} P_0 \sin \omega t; \alpha_{31} P_0 \sin \omega t.$$

Тоді рівняння збуджуючих коливань

$$\begin{cases} x_1 = -\alpha_{11}m_1\ddot{x}_1 - \alpha_{12}m_2\ddot{x}_2 - \alpha_{13}m_3\ddot{x}_3 + \\ + \alpha_{11}P_0 \sin \omega t, \\ x_2 = -\alpha_{21}m_1\ddot{x}_1 - \alpha_{22}m_2\ddot{x}_2 - \alpha_{23}m_3\ddot{x}_3 + \\ + \alpha_{21}P_0 \sin \omega t, \\ x_3 = -\alpha_{31}m_1\ddot{x}_1 - \alpha_{32}m_2\ddot{x}_2 - \alpha_{33}m_3\ddot{x}_3 + \\ + \alpha_{31}P_0 \sin \omega t. \end{cases} \quad (1)$$

Припускаючи, що рішення мають вид

$$x_1 = a_1 \sin \omega t, x_2 = a_2 \sin \omega t, x_3 = a_3 \sin \omega t \quad (2)$$

де (a_i - амплітуда переміщення), після підстановки в (1) їх можна звести до наступної форми:

$$\begin{cases} (m_1\alpha_{11} - 1/\omega^2)a_1 + m_2\alpha_{12}a_2 + m_3\alpha_{13}a_3 = \\ = -\alpha_{11}P_0/\omega^2; \\ m_1\alpha_{21}a_1 + (m_2\alpha_{22} - 1/\omega^2)a_2 + m_3\alpha_{23}a_3 = \\ = -\alpha_{21}P_0/\omega^2; \\ m_1\alpha_{31}a_1 + m_2\alpha_{32}a_2 + (m_3\alpha_{33} - 1/\omega^2)a_3 = \\ = -\alpha_{31}P_0/\omega^2. \end{cases} \quad (3)$$

Визначник цієї системи

$$\Delta = \begin{vmatrix} m_1\alpha_{11} - 1/\omega^2 & m_2\alpha_{12} & m_3\alpha_{13} \\ m_1\alpha_{12} & m_2\alpha_{22} - 1/\omega^2 & m_3\alpha_{23} \\ m_1\alpha_{31} & m_2\alpha_{32} & m_3\alpha_{33} - 1/\omega^2 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Розкладаючи написаний визначник, отримаємо кубічне рівняння відносно $1/\omega^2$, відоме під назвою «рівняння частот», яке має три кореня, що визначають три власні частоти. Кожному з цих рішень відповідають значення амплітуд, котрі визначають конфігурацію системи при коливанні (форму коливань). Таким чином, маємо три види власних коливань.

Амплітуда деформацій

$$a_1 = \frac{\Delta_{a1}}{\Delta}; a_2 = \frac{\Delta_{a2}}{\Delta}; a_3 = \frac{\Delta_{a3}}{\Delta},$$

де

$$\Delta_{a1} = \begin{vmatrix} -\alpha_{11}P_0/\omega^2 & m_2\alpha_{12} & m_3\alpha_{13} \\ -\alpha_{21}P_0/\omega^2 & m_2\alpha_{22} - 1/\omega^2 & m_3\alpha_{23} \\ -\alpha_{31}P_0/\omega^2 & m_2\alpha_{32} & m_3\alpha_{33} - 1/\omega^2 \end{vmatrix} \quad (5)$$

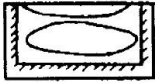
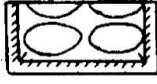
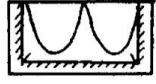
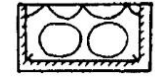
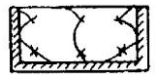
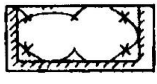
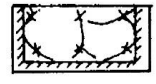
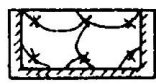
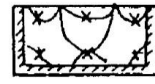
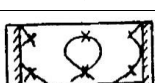
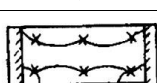
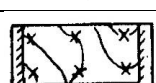
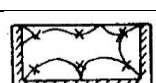
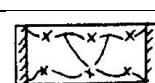
Аналогічно визначаються Δ_{a2}, Δ_{a3} .

Із збільшенням кількості розбиття, рівняння коливань (1) ускладнюється, проте точність рішення збільшується. В даній роботі розрахункова модель отримана діленням листа на 7x16 кінцевих елементів. Розрахунки виконані на ПК. Виконаний розрахунок власних коливань вільної пластини без врахування і з врахуванням розпірних конусів, власних і змущених коливань пластин з бетонною сумішшю. Отримано п'ять частот і відповідних їм форм власних коливань, аналіз яких показав, що найбільш допустимою з технологічної точки зору є третя форма (Табл. 1), яка має дві на півхвилі в поздовжньому напрямку з вузловою лінією по середині пластини.

Розрахунок частот власних коливань пластини з врахуванням розпірних конусів, схема розташування яких приведена на рисунку, показав, що значення частот і відповідних їм форм коливань практично не змінились [10].

Врахування бетонної суміші при коливаннях роздільних листів виконувалось при значеннях коефіцієнтів приєднання маси бетону $\alpha = 0,3$ з двох боків. Значення частот і форм и власних коливань листа з врахуванням приєднаної маси приведені в табл. 2. В порівнянні з коливаннями вільної пластини, значення частот дещо збільшились. Значить, бетонна суміш оказує вплив на спектр частот роздільних листів. Проте форми коливань залишились практично незмінними, з більш чіткими лініями перегину листа.

Таблиця 1. Форми коливань пластини касетної установки для формування залізобетонних виробів**Table 1.** Forms of oscillations of the plate of the cassette device for the formation of reinforced concrete products

Власні коливання вільної пластини без розпірних конусів					
Частота, Гц	12,0	15,7	18,7	20,5	23,5
Форма коливання					
Власні коливання з врахуванням бетонної суміші					
Частота, Гц	13,51	18,65	19,97	21,06	37,34
Форма коливання					
Вимушені коливання з бетонною сумішшю					
Частота, Гц	24,0	36,68	43,0	49,0	62,0
Форма коливання					

Форми змушених коливань пластини з бетонною сумішшю вивчалися при частотах характерних для заводських умов формування (24; 36,8; 43; 49; 62; Гц). Найбільш часто зустрічається частота 43 Гц. Із Табл. 1 видно, що при цьому є багато точок перегину, які вказують на вірогідну причину нерівномірної міцності виробу по площі.

Експериментальні дослідження касетних установок виконувались в натурних умовах, вимірюванням амплітуд коливань роздільних листів з використанням спеціального віброщупа, закріпленого на телескопічній штанзі і пов'язаного з осцилографом. Така конструкція датчика дозволила виміряти динамічний режим практично влюбій точці площини листа при різних видах технологічного навантаження. Замір переміщень проводився в точках на висоті 250, 1250 і 2000 мм від верху пластини. На кожному рівні знімалися покази в семи точках: дві 1,1 і 1,7 – за межами робочої зони, на

консольних ділянках роздільного листа і п'яти (1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6) – в робочій зоні на рівних відстанях друг від друга. Результати замірів для рівня 250 мм і заповнення відсіків бетоном на одну третю представлені в Табл. 2. Порівнюючи розрахункові і дослідні значення переміщення роздільного листа, неважко бачити, що вони задовільно узгоджуються (середня похибка складає 18%). Наявність похибки значень для точки 1,1 викликано неможливістю точного врахування способу заземлення листа в реальних умовах роботи касетних установок.

ВИСНОВКИ

Аналіз викладених досліджень дозволив визначити режими коливань роздільних листів і відповідні їм форми коливань, що задовольняють технологічним вимогам підвищення інтенсивності коливань (частоти 46, 48 і 49 Гц) [10, 11]. З метою зменшення

Таблиця 2. Результати замірів амплітуд коливань роздільного листа касетної установки**Table 2.** The results of measurements of the amplitudes of oscillations of the separate sheet of the cassette device

№ точки	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
А дослідна, мм	0,86	0,6	0,7	0,6	0,36	0,25	0,6
А розрахункова, мм	1,81	0,71	0,71	0,70	0,27	0,18	0,72

непродуктивної передачі енергії на парові відсіки і станину машини в цілому і підвищення амплітуди коливань роздільних листів без суттєвих переробок машин є можливим дати рекомендації по розміщенню технологічного оснащення у вузлових лініях.

Викладена методика вдосконалення динамічних параметрів касетних установок отримала у виробничих умовах практичну перевірку і задовільну оцінку.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Сівко В. Й.** Напружено-деформований стан будівельних матеріалів в технологічних процесах виробництва // В. Й. Сівко, В. А. Поляченко, М. П. Кузьмінець, Є. В. Сівко, Ю. В. Науменко – К.: НТУ, 2010. – 352 с. – Бібліогр. – С. 342 – 347.
2. **Стефанов Б. В.** Технология бетонных и железобетонных изделий // Б. В. Стефанов, Н. Г. Русанов, А. А. Волянский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 406 с.
3. **Борщевский А. А.** Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учеб. для вузов по спец. / А. А. Борщевский, А. С. Ильин. – «Пр-во строит. изделий и конструкций». – М.: Высш.шк., – 1987. – 368 с.
4. **Молчанов П. О.** Аналіз поперечних коливань активного робочого органу касетної установки // П. О. Молчанов, М. П. Нестеренко, В. М. Череди́ков / Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництв. – 2012. - №1 (31). – С. 240-247.
5. **Молчанов П. О.** Вивчення коливань активного робочого органу вібраційної касетної установки та їх динамічних характеристик // П. О. Молчанов, М. П. Нестеренко, В. М. Череди́ков / Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництв. – 2013. - №1 (36). – С. 27-38.
6. **Сівко В. Й.** Деякі питання теорії будівельних матеріалів і сумішей // В. Й. Сівко, М. П. Нестеренко / Збірник наукових праць Серія галузеве машинобудування, будівництв. – 2000. - №6. – С. 84-89.
7. **Назаренко І.** Обґрунтування алгоритму розрахунку вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи // І. Назаренко, О. Дєдов, О. Дьяченко / Гірничі будівельні, дорожні та

меліоративні машини. – 2019. – №93. – С. 19-26.

8. **Басов К. А.** ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д. Г. Красковского. – М.: Компьютер Пресс, – 2002. – 224 с.
9. **Сівко В. Й.** Прикладна механіка робочих процесів машин / В. Й. Сівко, М. П. Кузьмінець. – К.: НТУ, – 2009 – 349 с.
10. **Назаренко І. І.** Дослідження напружено-деформованого стану вібраційної шокової дробарки з використанням САЕ технологій // І. І. Назаренко, Є. О. Міщук / Теорія і практика будівництва, - №9.–2012.–С. 27-30
11. **Міщук Є., Назаренко І.** Дослідження динаміки вібраційної шокової дробарки двосторонньої дії // Є. Міщук, І. Назаренко / Гірничі будівельні, дорожні та меліоративні машини, – 2019. – №94. – С. 5-15. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0101>.
12. **Шаленко В. О.** Експериментальні дослідження процесу вібраційного формування бетонних сумішей / В. О. Шаленко, В. О. Гарнец., М. О. Пристайло // Гірничі будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2016. – №87. – С. 63-68.

REFERENCES

1. **Sivko V. Y., Polyachenko V. A., Kuz'minets M. P., Sivko J. V., Naumenko U. V.** (2010). Napruzhenodeformovanyy stan budivel'nykh materialiv v tekhnolohichnykh protsesakh vyrobnytstva [Stress-deformed state of building materials in technological processes of production]. Kyiv, NTU., 347. – (in Ukrainian).
2. **Stefanov B. V., Rusanov N. H., Volyanskyy A. A.** (1982). Tekhnolohyya betonnykh y zhelezobetonnykh izdeliy [Technology of concrete and reinforced concrete products (3 ed.)]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 406. – (in Russian).
3. **Borshchevskyy A. A., Ylyn A. S.** (1987). Mekhanycheskoe oborudovanye dlya proyzvodstva stroytel'nykh materyalov y izdeliy [Mechanical equipment for the production of building materials and products: Textbook. for the institutes of higher education on specialty]. Moscow, Vyssh. Shk. Publ., 368. – (in Russian).
4. **Molchanov P. O., Nesterenko, M. P., Cherednikov, V. M.** (2012). Analiz poperechnykh kolyvan' aktyvnogo robochoho orhanu kasetnoyi ustanovky [Analysis of transverse vibrations of the active working unit of the cassette installation]. Zbirnyk naukovykh prats. Seriya haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstv [Collection of scientific works. A series of

- branch engineering, construction], 1 (31), 240-247. – (in Ukrainian).
5. **Molchanov P. O., Nesterenko M. P., Cherednikov V. M.** (2013). Vyvchennya kolyvan' aktyvnogo robochoho orhana vibratsiynoyi kasetnoyi ustanovky ta yikh dynamichnykh kharakterystyk [Studying the vibration of the active working body of the vibration cassette system and their dynamic characteristics]. Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstv [Collection of scientific works. A series of branch engineering, construction], Nr.1 (36), 27-38. – (in Russian)
 6. **Sivko, V. Y., Nesterenko, M. P.** (2000). Deyaki pytannya teoriiy budivel'nykh materialiv i sumishey [Some questions in the theory of building materials and mixtures]. Zbirnyk naukovykh prats. Seriya haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstv [Collection of scientific works (branch mechanical engineering, constructions)], Nr. 6, 84-89. – (in Ukrainian).
 7. **Nazarenko I., Dedov O., Diachenko O.** (2019). Substantiation of the algorithm of calculation of a vibrating installation for compaction of concrete mixes with variable operating mode. [Mining construction, road and reclamation machines], Nr. 93, 19-26. – (in Ukrainian).
 8. **Basov K. A.** (2002). ANSYS v prymerakh y zadachakh [ANSYS in examples and tasks] (ed. D. H. Kraskovskoho). Moscow, Kompyuter Press., 224. – (in Russian).
 9. **Sivko, V. Y., Kuz'minets', M. P.** (2009). Prykladna mekhanika robochykh protsesiv mashyn [Applied mechanics of working processes of machines]. Kyiv, NTU. – (in Ukrainian).
 10. **Nazarenko I. I., Mishuk Ye. O.** (2012). Research of deflect mode of vibration jaw crusher using CAE technology. Teoriya i praktika budivnictva, Nr. 9, 27-30. – (in Ukrainian).
 11. **Shalenko V. O., Garnec V. O., Pristajlo M. O.** (2016) Eksperimental'ni doslidzhennja procesu vibracijnogo formuvannja betonnih sumishej [Experimental research on the process of vibration formation of concrete mixtures] Girnichi budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini, Nr. 87, 63-68.
 12. **Mishchuk Ye., Nazarenko I.** (2019). Doslidzhennya dinamiki vibracijnoyi shokovoyi drobarki dvostoronnoyi diyi. Girnichi budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining construction, road and reclamation machines],

Nr. 94, 5-15. <https://doi.org/2010.32347/gbdmm2019.94.0101>.

Improvement of dynamics battery moulds for the formation of reinforced concrete products

Volodymyr Sivko¹, Valeriy Yakovenko²,
Yevhen Mishchuk³

¹National Transport University,

^{2,3}Kyiv National University of
Construction and Architecture

Abstract. Battery moulds have widely use for the formation elements of the house during its construction: partition panels, internal walls, floor plate. Cassette technology for the manufacture of reinforced concrete products is characterized by the simplicity of equipment, high productivity, but has a number of significant drawbacks: the use of moving concrete mixtures (cone draft 12 ... 16 cm) which leads to increased costs of cement; unsatisfactory in some cases the surface quality, which requires additional spatula work; heterogeneous indexes of strength in the height of the product. The paper presents results of experimental studies forms of natural oscillations of cassette devices with and without the without concrete. Analyzed the most favorable modes of cassette devices which based on the research. Presented results of numerical calculations, which are performed on the finite element method taking into account coefficients of influence are known from the course of strength of materials and show the value of the deflection from the action of the single load when considering the plate as a two-dimensional beam. The calculation model is obtained by dividing the letter into 7x16 finite elements. Five frequencies and their corresponding forms of oscillation have been obtained, the analysis of which has shown that the most acceptable from the technological point of view is the third form, which has two half-wave in the longitudinal direction with a nodal line in the middle of the plate. At fluctuations of separate sheets the account of the concrete mixture was carried out at the values of the coefficients of connection of the mass of concrete $\alpha = 0,3$ on both sides. Experimental studies of battery mould were carried out in natural conditions, measuring the amplitudes of oscillations of separate sheets using a special vibration sensor fixed on a telescopic rod and connected with an oscilloscope.

Keywords: the cassette device, forms of oscillations, concrete mix, oscillation frequency.

УДК 621.87

Експериментальні дослідження заглиблення зуба розпушника при різних швидкостях переміщення базової машини

Леонід Пелевін¹, Євгеній Горбатюк²,
Микола Пристайло³, Богдан Мельниченко⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури,
03037, Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна,

¹pelevin_leonid@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4010-8556>

²gek_gor@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8148-5323>

³pristaylo_na@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3151-4680>

⁴0969005258@ukr.net, <https://orcid.org/0000-000-0000-0010>

Received: 01.03.2020; Accepted: 25.05.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0401>

Анотація. В статті дано опис експериментальної установки для дослідження опорів ґрунту заглибленню зуба розпушника, завдяки якій визначені дотичні та нормальні сили опорів ґрунту. Розглянуто взаємодію міцного ґрунту з робочим органом розпушника, зуб якого за допомогою гідроциліндра примусово заглиблюється в масив, таким чином збільшуючи швидкість самого заглиблення. Проведені експериментальні дослідження заглиблення зуба розпушника в ґрунт з різними швидкостями заглиблення, шляхом виконання серії різів на парафіні при заглибленні робочого органа. За результатами досліджень побудовані порівняльні графіки дотичних та нормальних сил опорів ґрунту наконечнику із різними швидкостями базової машини.

Теоретично та експериментально доведено раціональність використання на розпушнику розробленої конструкції обладнання, що дозволяє збільшувати швидкість заглиблення зуба розпушника.

Для забезпечення більшої величини заглиблення робочого органа запропоновано технічне рішення забезпечення збільшення швидкості пересування тільки робочого органа, незалежно від землерийної машини.

Ключові слова: землерийна машина, розпушувальне обладнання, навіска робочого органа, режим заглиблення, зуб розпушника

ВСТУП

Практика земляних робіт показує, що одним із найбільш ефективних способів розробки міцних (скельних і мерзлих) ґрунтів є пошарове розпушення навісними розпушниками на базі потужних гусеничних ISSN(print)2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 95, 2020, 47-53

тракторів. Цей спосіб вигідно відрізняється від інших високою продуктивністю, низькими енергоємністю і собівартістю розробки ґрунту. Застосування розпушників як машин для підготовчих робіт забезпечує практично цілорічне використання землерийних і землерийно-транспортних машин в будь-яких кліматичних зонах і сприяє збільшенню ефективності будівельних і інших робіт.

МЕТА РОБОТА

Метою роботи є проведення експериментальних досліджень роботи розпушників в режимі заглиблення робочого органа з різними швидкостями переміщення базової машини для розробки заходів із оптимізації режиму заглиблення.

Порівняння отриманих на стенді сил опорів ґрунту заглибленню зуба розпушника з визначеними (розрахованими) раніше значеннями зазначених опорів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Особливістю роботи розпушників є постійна зміна глибини різання ґрунту. Це обумовлене кількома факторами. По-перше, при гострому стані наконечників зуб розпушника затягується в ґрунтовий масив, при наявності на наконечнику площадки зносу – виштовхується із масиву. Для встановлення необхідної глибини різання необхідно виглиблювати чи заглиб-

лювати зуб. По-друге, при розробці неоднорідного за міцністю ґрунтового масиву чи наявності у ньому твердих включень великих розмірів розпушник може буксувати чи навіть зупинятись. Це призводить до необхідності зменшення глибини різання чи повного виглиблення зуба з наступним його заглибленням. Враховуючи вищевказане доцільним є проведення аналізу даного процесу та розроблення рекомендацій для зменшення зусиль при заглибленні зуба розпушника.

Так, на кафедрі Будівельних машин ім. Ю. О. Ветрова Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) ведуться дослідження процесу заглиблення зуба розпушника в ґрунт [1 – 4]. При зазначених дослідженнях визначені зміни опорів ґрунту в режимі заглиблення зуба розпушника з паралелограмною навіскою [1].

Розрахунки показали, що сили опорів ґрунту при заглибленні зуба підпорядковуються тим же закономірностям як і при сталому різанні ґрунту. Дотичні сили опорів ґрунту із заглибленням зуба збільшуються: передній грані наконечника прискорено, площадці зносу - уповільнено.

Величини дотичної сили опору наконечника перевищують значення максимальної сили тяги розпушника ($T = 257$ кН) після заглиблення зуба на $0,45$ м [3]. Таким чином, максимальна глибина різання ґрунту складає $0,45$ м, в зв'язку з нехваткою сили тяги для заглиблення зуба розпушника на більшу глибину. При цьому слід зазначити, що сила тяги дозволяє розроблювати ґрунт на більшій глибині. В зв'язку з чим, зменшується максимально можлива продуктивність розпушника, оскільки не використовується повна сила тяги базової машини під час розробки ґрунтів.

Крім того, для визначення впливу швидкості руху розпушника на силові показники процесу заглиблення робочого органу виконано відповідні розрахунки [3, 5], для швидкості переміщення базової машини $V_p = 0,472$ м/с (I передача) і при двічі збільшеній швидкості $V_p = 0,944$ м/с.

Аналіз залежностей дотичних сил опорів ґрунту від швидкості переміщення ба-

зової машини показує, що із збільшенням швидкості переміщення робочого органу в ґрунті забезпечується збільшення величини максимального можливого заглиблення робочого органу. При швидкості заглиблення зуба розпушника в ґрунт $V_p = 0,472$ м/с цей показник приблизно дорівнює $0,45$ м, для $V_p = 0,472$ м/с – $0,54$ м, що забезпечує більшу продуктивність розпушника.

Враховуючи зазначене, з метою перевірки вищенаведених розрахунків групою авторів на кафедрі будівельних машин проведено експериментальні дослідження для визначення закономірностей зміни опорів в ґрунті при різних швидкостях переміщення робочого органу розпушника на стенді, показаного на Рис. 1.



Рис. 1. Стенд визначення зусиль КНУБА

Fig. 1. KNUBA effort determination stand

Стенд має наступну будову: станина 1, на якій на роликах 2 встановлено рухому раму 3. До неї через тензометричні балочки 4 і 5 закріплено утримувач 6, в якому закріплено різець для дослідження розподілення навантаження на його елементи 7. Рама 3 має механізм підйому - опускання 8 з рукояткою 9 і механізм горизонтального переміщення 10, що складається з передачі гвинт-гайка 11, клинопасової передачі 12 та електродвигуна 13 з пультом керування 14 і кінцевими вимикачами 15, механізм тарування 16 для горизонтальної балочки 5 та механізм тарування 17 для вертикальної балочки 4, контейнер 18 для дослідного матеріалу.

Робочий орган для дослідження розподілення навантаження на його елементи 7 (Рис. 2) складається з рами 19, до якої прикріплено циліндр 1. До штоку циліндра 1 прикріплено зуб 21.

Заглиблення та виглиблення зуба розпушника в ґрунт відбувається за рахунок приводу для лабораторних досліджень (Рис. 3). Зазначений привод складається з циліндра 1, до штоку якого жорстко закріплено ніж 2. Циліндр 1 під'єднано до компресору 3, після якого послідовно з'єднані фільтр 4 з манометром 5, блок підготовки повітря 6, однопозиційний розподільник 7 та трипозиційний розподільник з ручним керуванням 8. Після трипозиційного розподільника з ручним керуванням 8 напірна магістраль розгалужується на два потоки: один потік під'єднано до поршневої порожнини, а інший до штокової порожнини гідроциліндра 1. Переміщення робочого органа 2 під час заглиблення відбувалось в ручному режимі за допомогою рукояті 6 (Рис. 3) або за допомогою електродвигуна (на Рис. 3 не показано).

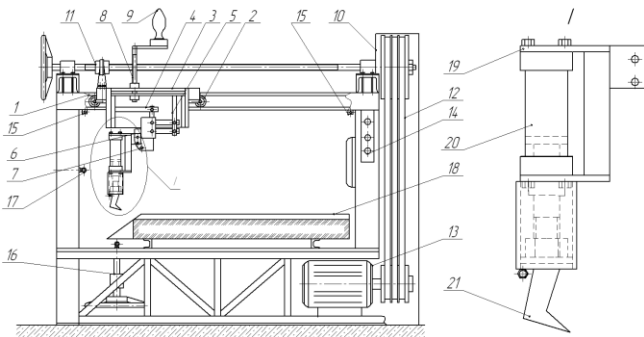


Рис. 2. Схема станда: 1 – станина; 2 – ролики; 3, 19 – рама; 4, 5 – тензOMETричні балочки; 6 – утримувач; 7 – різець; 8 – механізм підйому-опускання; 9 – рукоятка; 10 – механізм горизонтального переміщення; 11, 12 – передачі; 13 – електродвигун; 14 – пульт керування; 15 – вимикач; 16, 17 – механізм тарування; 18 – контейнер; 20 – циліндр; 21 – зуб.

Fig. 2. Scheme of the stand: 1 – bed; 2 – rollers; 3, 19 – frame; 4, 5 – strain gauges; 6 – holder; 7 – cutter; 8 – lifting-lowering mechanism; 9 – handle; 10 – mechanism of horizontal displacement; 11, 12 – transfers; 13 – electric motor; 14 – control panel; 15 – switch; 16, 17 – tare mechanism; 18 – container; 20 – cylinder; 21 – tooth

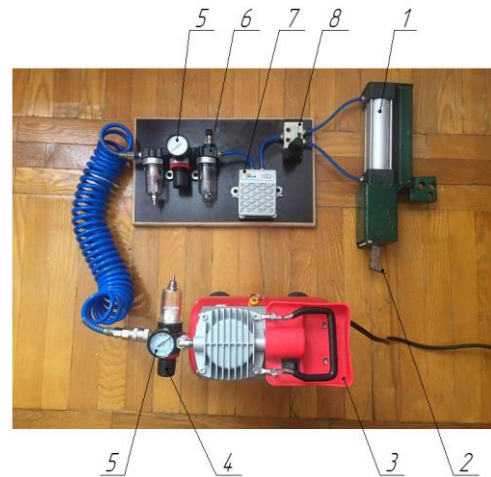


Рис. 3. Привод для лабораторних досліджень: 1 – циліндр; 2 – ніж розпушника; 3 – компресор; 4 – фільтр; 5 – манометр; 6 – блок підготовки повітря; 7 – однопозиційний розподільник; 8 – розподільник з ручним керуванням

Fig. 3. Drive for laboratory research: 1 – the cylinder; 2 – ripper knife; 3 – the compressor; 4 – the filter; 5 – manometer; 6 – air preparation unit; 7 – single-position distributor; 8 – manual distributor

При заглибленні зуба тензобалочки сенда реєструють загальну нормальну та дотичну складові сили різання, що дозволяє отримати розширений спектр навантажень при моделюванні взаємодії ріжучого органа з ґрунтом. Конструктивні параметри сенда дозволяють різати ґрунт на глибину до 0,15 м при довжині різання 0,7 м, кутом різання від 20° до 90° із швидкістю 0,5 м/с, що забезпечується двигуном сенда та зі збільшеною швидкістю, що утворюється ручною подачею робочого органа, завдяки рукояті 6.

В комплект вимірювальної апаратури (рис. 3) входить: блок живлення 1, кабель живлення 2 модуль АЦП (аналогоцифровий перетворювач), штистиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування 3, кабель передачі сигналу (інтерфейс SCI – SerialCommunicationInterface) 4 та персональний комп'ютер 5.

Проводилися серії різів на парафіні при заглибленні робочого органа, при ширині наконечника 0,015 м. Реєструвалися: дотична сила опору ґрунту наконечнику заглибленню та нормальна сила опору ґрунту наконечнику (Рис. 5).

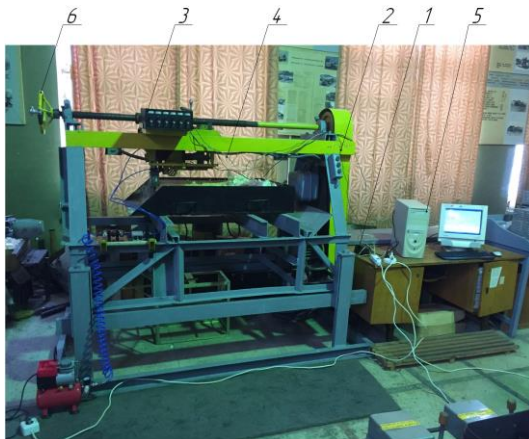


Рис. 4. Фото станда для дослідження процесу заглиблення виглиблення зуба розпушника: 1 – блок живлення; 2 – кабель живлення; 3 – шестиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування; 4 – кабель передачі сигналу; 5 – персональний комп'ютер; 6 – рукоят

Fig. 3. Photo of the stand for the study of the process of deepening you digging out the ripper's tooth: 1 – power supply unit; 2 – power cable; 3 – shestichannel amplifier and microcontroller control unit, 4 – signal transfer cable, 5 – personal computer; 6 – handle

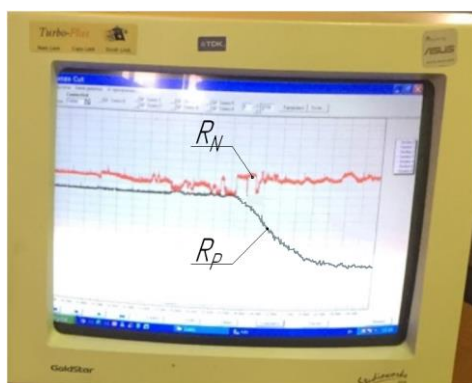


Рис. 5. Осцилограми дослідів

Fig. 5. Oscillograms of experiments

Після отримання осцилограм, останні приведені в координати сили (проведене тарування) та отримані середні значення. Результати дослідів зведені в таблицях 1, 2.

Табл. 1. Значення сил опорів ґрунту при заглибленні зі швидкістю 0,5 м/с

Table. 1. The value of soil resistance forces when deepening at a speed of 0,5 m/s

Глибина різання, мм	R_N , Н	R_P , Н
10	5,5	17,8
20	3,58	22,3
30	-8,21	28,2
35	-13,8	31,9

Табл. 2. Значення сил опорів ґрунту при заглибленні зі швидкістю 0,72 м/с

Table. 2. The value of soil resistance forces when deepening at a speed of 0,72 m/s

Глибина різання, мм	R_N^* , Н	R_P^* , Н
10	5,71	15,99
20	5,2	20,23
30	2,7	25,37
35	-4,07	28,71

Також, за результатами досліджень побудовані порівняльні графіки (Рис. 6) дотичних та нормальних сил опорів ґрунту наконечнику зі швидкістю базової машини 0,5 м/с та 0,72 м/с (на графіку із *).

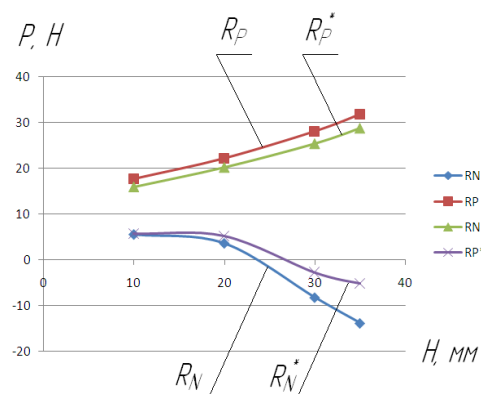


Рис. 6. Залежності нормальних і дотичних сил опорів ґрунту від заглиблення стійки.

Fig. 6. Dependences of the normal and tangential forces of soil resistances from the depression stand

Враховуючи вищевказане, для забезпечення більшої величини заглиблення робочого органу пропонується наступне технічне рішення забезпечення збільшення швидкості пересування тільки робочого органу [4]. Конструктивно це досягається наступним чином (Рис. 7).

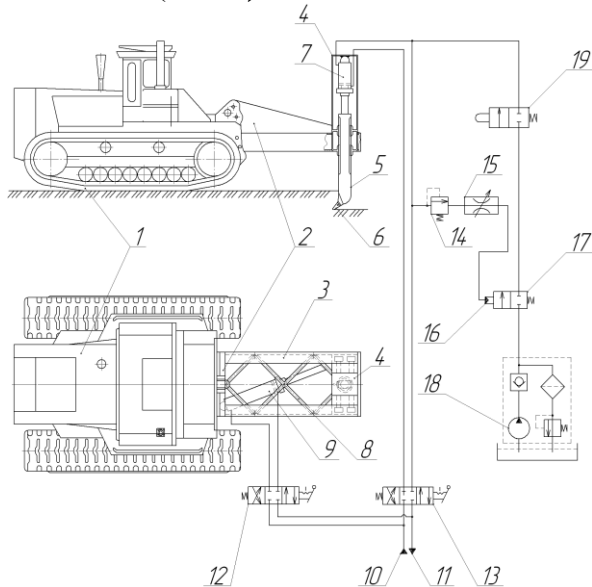


Рис. 7. Розпушник із збільшеною швидкістю переміщення робочого органу: 1 – базова машина; 2 – навіска; 3 – напрямні; 4 – рама; 5 – стійка; 6 – ніж; 7 – гідроциліндр; 8 – шарнірні напрямні; 9 – силовий гідроциліндр; 10 – напірна магістраль; 11 – зливна магістраль; 12, 13 – трипозиційний дволінійний розподільник з ручним керуванням; 14 – перепускний клапан; 15 – регульований дросель; 16 – гідралічна камера керування; 17, 19 – двопозиційний однопровідний розподільник; 18 – допоміжний гідронасос

Fig. 7. Bulkhead with increased speed of movement of the working body: 1 – base machine; 2 – Pencil; 3 – guides; 4 – frame; 5 – stand; 6 – knife; 7 – hydraulic cylinder; 8 – hinged guides; 9 – power hydraulic cylinder; 10 – pressure line; 11 – drainage line; 12, 13 – three-position two-line distributor with manual control; 14 – bypass valve; 15 – adjustable throttle; 16 – hydraulic control camera; 17, 19 – two-position single-conductor distributor; 18 – auxiliary hydraulic pump

Розпушник із збільшеною швидкістю переміщення робочого органу при заглибленні є базовою машиною 1 з розпушувальним обладнанням, що складається з навіски 2, до напрямних 3 якої з можливістю горизонтального переміщення, приєднано раму 4 робочого органу розпушника у вигляді перевернутого стакана. В середині

рами 4 робочого органу з можливістю вертикального переміщення розміщено стійку 5 розпушника. На нижній частині стійки 5 встановлено наконечник 6, а до верхньої її частини жорстко прикріплено шток гідроциліндра 7, корпус якого своїм днищем жорстко приєднано до внутрішньої частини дна стакана рами 3 робочого органу.

Рама 4 робочого органу приєднується до базової машини 1 за допомогою шарнірних напрямних 8, з можливістю пересування вздовж напрямних 3. Між напрямними 3, паралельно шарнірним напрямним 8 встановлено силовий гідроциліндр 9, корпус якого шарнірно кріпиться до базової машини 1, а його шток жорстко приєднується до крайньої шарнірної напрямної 8.

Гідроциліндр 7 та силовий гідроциліндр 9 підключені до гідралічної системи базової машини 1, від якої підведена напірна магістраль 10 та зливна магістраль 11. Напірна магістраль 10 розгалужується на два напірні потоки: лівий напірний потік під'єднано до трипозиційний двопровідний розподільник 12 з ручним керуванням силового гідроциліндра 9, а правий потік під'єднаний до трипозиційний двопровідний розподільник 13 з ручним керуванням гідроциліндра 7. Лівий вихідний патрубок розподільника 12 під'єднано до поршневої порожнини силового гідроциліндра 9, а правий вихідний патрубок розподільника під'єднано до штокової порожнини силового гідроциліндра 9. А лівий вихідний патрубок розподільника 13 під'єднано до штокової порожнини гідроциліндра 7, а правий вихідний патрубок розподільника під'єднано до штокової порожнини силового гідроциліндра 9, причому поршнева порожнина гідроциліндра 7 паралельно під'єднана до перепускного клапана 14, вихідний патрубок якого через регульований дросель 15 під'єднано до гідралічної камери 16 керування двопозиційним однопровідним розподільником 17, до якого на вхід під'єднано напірний трубопровід від допоміжного гідронасоса 18, а вихід з двопозиційного однопровідного розподільника 17 з'єднано з двопозиційним однолінійним розподільником 19 з механічним керуван-

ням, що також з'єднаний з поршневою порожниною гідроциліндра 7.

Таким чином, дана конструкція дає можливість додатково збільшити швидкість переміщення робочого органа розпушника під час заглиблення, завдяки чому зменшуються опори ґрунту руйнування, що в свою чергу призводить до підвищення продуктивності роботи розпушника.

ВИСНОВКИ

Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів дослідження доводить адекватність отриманих залежностей змін опорів ґрунту в режимі заглиблення отриманих при розрахунку.

Також, експериментальні дослідження показали, що в режимі заглиблення при збільшеній швидкості переміщення базової машини опори руйнування ґрунту зменшуються і, як наслідок, підвищується максимально можлива глибина заглиблення зуба розпушника.

Таким чином, для зменшення опорів заглибленню та збільшення продуктивності роботи розпушників запропоновано наступне:

- використання конструкції навіски розпушника яка забезпечує додаткове збільшення швидкості пересування робочого органа незалежно від швидкості пересування машини і вертикальне заглиблення робочого органа, що забезпечує величину максимально можливого заглиблення зуба;

- заглиблення робочого органа починати на найбільшій передачі, де швидкість найбільша, та поступово переходити до першої передачі.

Запропонована конструкція розпушника дає можливість збільшити швидкість переміщення робочого органа розпушника незалежно від швидкості руху базової машини, що дає можливість максимально заглибити зуб розпушника, завдяки чому збільшується продуктивність роботи розпушника.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко**

Б. М. Стабілізація режиму заглиблення робочого органа розпушника. Вестник харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2012 р. - № 57. – С. 174-179.

2. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко Б. М.** Зменшення опорів ґрунту зубу розпушника в режимі заглиблення робочого органа. Вестник харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2014 р. - № 65-66. – С. 256-263.
3. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко Б. М.** Анализ процесса заглупления зуба рыхлителя в грунт. Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. - Тюмень – 2014 р. - № 65-66. – С. 247-253.
4. **Пелевін Л.** Методика вибору основних параметрів системи керування розпушувального агрегату / Л. Пелевін, Є. Горбатюк, О. Терентьев, В. Волянчук, Д. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.91. Київ: КНУБА, липень-грудень 2018. С. 66–72. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0402>
5. **Pelevin L.** Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines / L. Pelevin, A. Fomin, Ie. Gorbatyuk, G. Machishin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – vol. 3, no. 7 (93): Applied mechanics. – pp. 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>
6. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко Б. М.** Патент на корисну модель «Розпушник із збільшеною швидкістю переміщення робочого органа при заглибленні», 2018.
7. **Захарчук Б. З., Телушкин В. А., Шлойдо Г. А., Яркін А. А.** Бульдозеры и рыхлители. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
8. **Пристаило Ю. П., Фомин А. В., Пелевин Л. Е.** Устройство для снижения усилия заглупления зуба рыхлителя – Горн., строит., дор. и мелиорат. машины: Респ. межвед. научн. - техн. Сб., 1987. – 40 – с. 3-6
9. **Ветров Ю. О., Власов В. В.** Машини для земляних робіт. Приклади розрахунку: Навч. посібник – К: ІСДО, 1995. – 304с.
10. **Фомин А. В.** Повышение эффективности гусеничных рыхлителей путём ограничения износа наконечников: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев, 1986. – 22с.
11. **Баладинский В. Л., Смирнов В. Н., Фомин А. В.** Теория разрушения рабочих

сред: Учебное пособие для специалистов и студентов.– Киев: КГТУСиА 1999. – 230с.

12. Пелевін Л. С., Рашківський В. П., Мельниченко Б. М. Аналіз сил, що діють на навіску розпушника. ГБДММ № 78 – Київ, 2011 – 75-79 с

REFERENCES

1. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2012) Stabilization mode recess the ripper working body. Journal of Kharkiv National Automobile-road university, Nr. 57, 174-179.
2. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2014). Reducing soil resistance the ripper tooth mode recess working body. Journal of Kharkiv National Automobile-road university, Nr. 65-66, 256-263.
3. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2014). Analysis of the process of deepening the ripper tooth into the ground. Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference, Tyumen. Nr. 65-66, 247-253.
4. Pelevin L., Gorbatyuk Ie., Terentyev O., Voliyanuk V., Mischuk D. (2018). Methodology of choice of basic parameters of control system of soil-ripping aggregate. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashyny, Nr. 91, 66–72. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0402>
5. Pelevin L., Fomin A., Gorbatyuk Ie., Machishin G. (2018). Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, Nr. 7 (93), 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>
6. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2018). Patent for a utility model "Pulled with an increased speed of movement of a working body at deepening".
7. Zakharchuk B. Z., Telushkin V. A., Shloydo G. A., Yarkin A. A. (1987). Bulldozers and rippers. Mechanical Engineering, 240.
8. Pristailo Yu. P., Fomin A. V., Pelevin L. E. (1987). Device for reducing the effort of burrowing the ripper tooth. Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 40. 3-6.
9. Vetrov Yu. O., Vlasov V. V. (1995). Machines for earthworks. Examples for calculation, manual ISDO, 304.
10. Fomin A. V. (1986). Improving the efficiency of tracked rippers by limiting tip wear: Author. dis. cand. tech. sciences, Kyiv, 22.
11. Baladinsky V. L., Smirnov V. N., Fomin A. V. (1999). The theory of destruction of working environments. A textbook for specialists and students. – Kiev: KGTUSiA – 230 P.
12. Pelevin L. Y., Rashkivskij V. P., Melnichenko B. M. (2011). Analysis of forces acting on the attachment of the loosener. Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 78, 75-79.

Experimental dosage of the loosening of the tooth of the rocket when changing the base of machine

Leonid Pelevin¹, Ievgenii Gorbatyuk²,
Mykola Prystajlo³, Bogdan Melnichenko⁴

Kyiv National University of
Construction and Architecture

Abstract. The aim is to carry out experimental studies of deepening the ripper's tooth in an array with different rates of deepening. Improving the process of the ripper by increasing the efficiency of deepening and deepening of the tooth from the array, which in turn will have a positive effect on the effectiveness of preparatory work. **Methodology/approach.** Experimental studies carried out the deepening of the ripper's tooth into the ground with different rates of deepening. **Findings.** Theoretically and experimentally proved rationality of using on the ripper of the developed design equipment, allowing to increase the speed of deepening of the ripper tooth. **Research limitations/implication.** An experimental bench was developed to determine the regularities of soil resistance in the deepening mode. The dependences of the resistance of the deepening of the ripper tooth depending on the depth of penetration are established. **Originality/value.** Analysis of the obtained dependences allows us to conclude that as the rate of deepening of the ripper tooth deepens into the ground, the resistance of the mail decreases, which in turn allows to achieve the greatest possible deepening.

Keywords: digging machine, ripping equipment, the hinge of the working body, the mode of penetration, the ripper tooth.

УДК 621.86.032

Проблема стійкості короткобазових колісних навантажувачів при виконанні транспортних операцій та шляхи її вирішення

Олександр Єфименко¹, Мусаєв Заур²

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
61002, вул. Ярослава Мудрого. 25, Харків, Україна,

¹khadi.alef@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0628-7893>

²0336musaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5533-0897>

Received: 05.02.2020; Accepted: 28.05.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0402>

Анотація. На сьогодні короткобазові колісні навантажувачі є досить розповсюдженими, як на території України так і за кордоном. Вони використовуються у багатьох галузях будівництва та мають широкий спектр змінних робочих органів. Завдяки відмінно виваженій конструкції навантажувач здатний працювати в замкнених умовах, це робить його незамінним у подібних ситуаціях. У поданій роботі розглядається стійкість короткобазових навантажувачів під час виконання ними транспортних операцій, а саме, під час подолання нерівностей на робочих ділянках. Пропонуємо методологічний підхід до вирішення означеної проблеми шляхом впровадження системи автоматизації. Експериментально доведено, що машина втрачає стійкість при транспортуванні матеріалу через свої конструктивні особливості, а саме, коротку базу та центр мас розміщений ближче до задньої осі машини. У зв'язку з цим виникає проблема підвищення стійкості короткобазових навантажувачів у транспортному режимі.

Ключові слова: стійкість, навантажувач, перешкода, опорна поверхня, деформація, критерій стійкості, переміщення, центр мас.

ВСТУП

Завдяки універсальності, економічності, високій мобільності та маневреності, а також швидкій зміні робочих органів короткобазові навантажувачі є високоефективним засобом механізації ручної праці. У цей час понад 25 фірм США, Великобританії, Німеччини, Японії, Канади, Італії, Словаччини й Китаю виготовляють ці машини як для внутрішнього, так і для зовнішнього ринку. Їх річний випуск становить близько

100 тис. машин (80% доводиться на частку США, де в будівництві використовується приблизно 30% короткобазових навантажувачів). На частку України припало близько 20 – 22%, що використовуються в будівництві.

Вітчизняний і закордонний досвіди використання малогабаритних машин свідчать про їх недостатню стійкість, особливо при виконанні транспортних операцій. Внаслідок цього експлуатаційна продуктивність даного класу машин значно нижче заявленої.

МЕТА РОБОТИ

Дослідження проблеми стійкості короткобазових навантажувачів при виконанні ними транспортних операцій, на прикладі процесу подолання машиною одиначної перешкоди, що дозволить раціоналізувати параметри машини з метою подальшого вдосконалення транспортного режиму навантажувача шляхом автоматизації.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Одним із показників безпеки експлуатації машин є їх стійкість під час виконання робочих операцій і в транспортному режимі руху. Аналіз конструкцій короткобазових навантажувачів з регульованими гідроб'ємними трансмісіями свідчать про те, що їх стійкість повинна бути забезпечена не тільки в положеннях, передбачених стандартами. ISSN(online)2709-6149. Mining, constructional, road and melioration machines, 95, 2020, 54-59

ртами, але й у транспортному режимі руху з виникненням можливої аварійної ситуації, наприклад, при подоланні машиною поодиноких нерівностей.

Поняття стійкості будь-якої системи не є однозначним. З одного боку існує поняття математичної стійкості, або стійкості по А. М. Ляпунову [2], а з іншого боку існує технічна стійкість [3] системи, яка дещо відрізняється від стійкості по А. М. Ляпунову. Основною ідеєю математичної стійкості є накладення одного невеликого обмеження, при цьому рівновага системи не залежить від зовнішніх факторів. Технічна стійкість відрізняється наявністю та врахуванням зовнішніх факторів, як збудників, що призводять до втрати загальної рівноваги системи. Саме тому у поданій роботі було розглянуто процес втрати технічної стійкості короткобазового навантажувача, основним параметром якої є кут відхилення центру мас машини відносно вертикалі, яка проходить

через вісь ходових коліс.

Закордонні виробники намагаються мінімізувати ризик перекидання машини не тільки при повороті, а й при взаємодії навантажувача з перешкодою. У зв'язку з цим усе частіше тестуються короткобазові навантажувачі з безповітряними шинами, які здатні повністю вирішити проблему перекидання машини при повороті, але не вирішують проблему стійкості при виконанні транспортних операцій на достатньому рівні.

Відомо, що на стійкість навантажувача при взаємодії його коліс з нерівностями робочої поверхні впливає положення його робочого обладнання [4]. За рахунок відсутності повітря у шинах, змінюється жорсткість, що призводить до зменшення частоти вимушених коливань навантажувача при подоланні нерівностей опорної поверхні (Рис.1) [5].

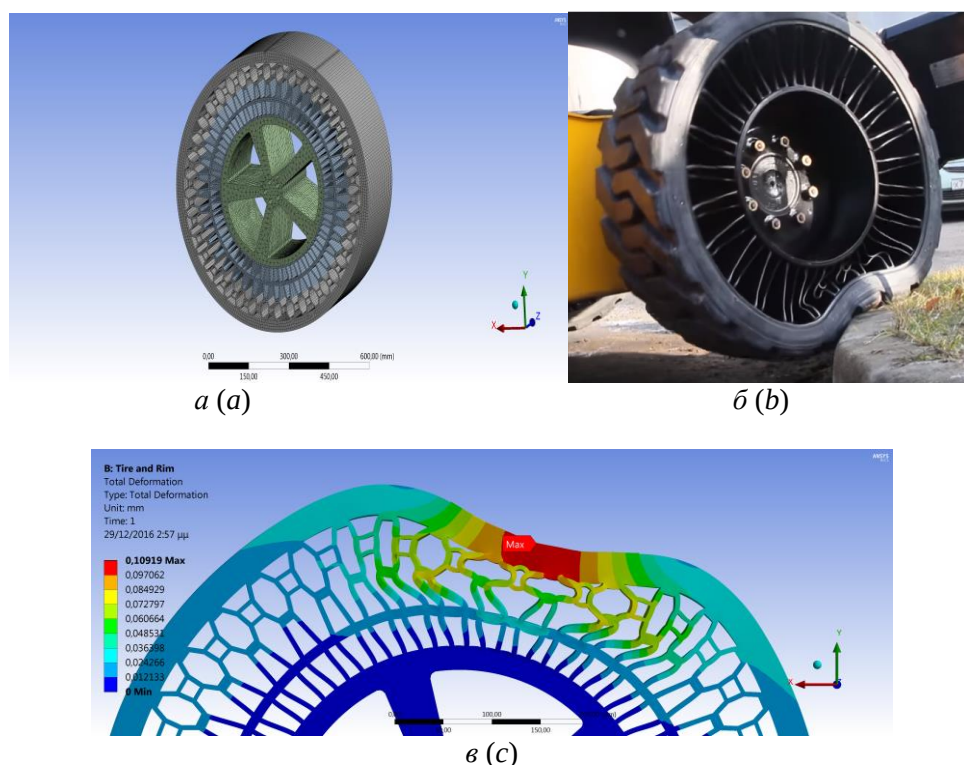


Рис. 1. Безповітряна шина на моделі короткобазового навантажувача:

a – комп'ютерна модель шини; *б* – натурна модель шини; *в* – статичний розрахунок безповітряної шини за допомогою програмного комплексу Ansys 17.2

Fig. 1. Airless tire on the model of a short-base loader:

a – computer tire model; *b* – natural tire model; *c* – static calculation airless tire using Ansys 17.2 software system

Запропонований метод дозволить частково мінімізувати ризик втрати стійкості навантажувача при транспортуванні матеріалу, але через свої конструктивні особливості машина втратить стійкість, якщо робоче обладнання буде піднято вище рекомендованого [6].

При комп'ютерному моделюванні, експериментальних дослідженнях та теоретичних розрахунках були побудовані наступні залежності:

- залежність критерію стійкості навантажувача від часу при масі вантажу 600 кг під час взаємодії його задніх коліс з перешкодою;
- залежність критерію стійкості навантажувача від часу при масі вантажу 1200 кг під час взаємодії його задніх коліс з перешкодою.

Слід зазначити, що комп'ютерне моделювання дозволило оцінити вплив висоти положення робочого обладнання машини на критерій її стійкості [7] (Рис.2).

У дослідженнях розглядалися короткобазові навантажувачі марки ПМТС 1200, оскільки вони набули широкого розповсюдження в Україні, до того ж мають потребу в забезпеченні стійкості та удосконаленні.

Швидкості робочих переміщень усіх короткобазових навантажувачів відносно невеликі й коливаються від 11 до 13 км/год під час руху вперед і до 9,0 км/год під час руху заднім ходом, а прискорення розгону до 1,4 рази менше прискорення гальмування.

Математична, експериментальна та комп'ютерна моделі повністю підтверджують фізичний процес втрати стійкості навантажувачів у поздовжній площині [7]. Критерієм стійкості є кут відхилення центру мас навантажувача відносно вертикалі що проходить через вісь ходових коліс. Важливо зазначити, що в такому режимі машина втрачає стійкість, але не перекидається. Через коливання відбувається зіткнення робочого органа з опорною поверхнею. Отже, з розглянутого етапу взаємодії машини зі перешкодою з наступним відривом коліс можна зробити висновок про те, які умови необхідні для збереження стійкості розглянутої моделі навантажувача.

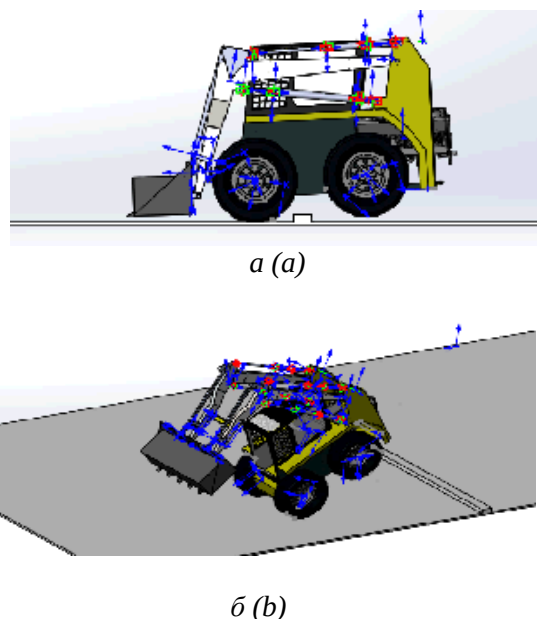


Рис. 2. Комп'ютерне моделювання процесу подолання одиничної нерівності короткобазовим навантажувачем: *а* – процес прямолінійного наїзду навантажувача на перешкоду з опущеним робочим обладнанням; *б* – процес прямолінійного наїзду навантажувача на перешкоду з піднятим робочим обладнанням на 1,75 м

Fig. 2. Computer simulation of the process of eliminating single inequality by a short-base loader: *a* – the process of straightforward collision of the loader on an obstacle with the work equipment lowered; *b* – the process of straight-line impact of a loader on an obstacle with the raised working equipment on 1,75 m

Зі збільшенням швидкості та маси вантажу в ковші відбувається більша частота змушених коливань, а сили інерції сприяють перекиданню машини вперед.

За результатами досліджень було отримано залежності впливу швидкісних, вантажних та конструктивних характеристик короткобазового навантажувача на критерій його динамічної стійкості (Рис. 3).

Основним лінійним параметром, що визначає динамічну стійкість навантажувача при переїзді через перешкоду, є переміщення його центра мас у горизонтальній та вертикальній площинах. Виникає задача дослідження та раціоналізації транспортного режиму машини.

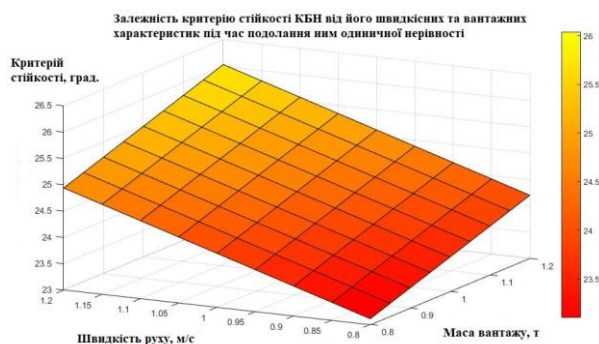


Рис. 3. Залежність впливу швидкісних та вантажних характеристик короткобазового навантажувача на критерій його динамічної стійкості

Fig. 3. Dependence of influence of speed and load characteristics of a short-base loader on the criterion of its dynamic stability

За результатами математичного моделювання [7] було отримано рівняння регресії, що можна вжити в якості вхідних параметрів при використанні автоматизованої системи керування:

$$y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2, \quad (1)$$

де B_0, B_1, B_2 – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2 – швидкість навантажувача та маса вантажу відповідно.

Із втратою стійкості будівельних машин подібного типу, що не мають захисних механізмів, робоче обладнання псується, машина не здійснює свій повний життєвий цикл, а в окремих випадках під час роботи навіть відбуваються порушення техніки безпеки [8].

Системи захисту металоконструкцій у цілому досить надійні й ефективні. Водночас неухильне зростання світових цін на енергоефективні машини вимагає їх подальшого вдосконалення. Це пов'язано з наступними обставинами:

- сучасні міжнародні стандарти допускають підвищений запас міцності;
- підвищена маса пасивних металоконструкцій машин призводить до додаткової витрати металу й палива у зв'язку з тим, що

в транспортних режимах зайва вага спричиняє підвищення опору руху.

Розглядаючи втрату стійкості короткобазових навантажувачів, зазначимо, що відбувається зіткнення ковша з робочою поверхнею, що негативно впливає на елементи гідропривода й металоконструкції машини [9]. Істотним є те, що під час цього процесу відбуваються, як правило, суттєві коливання машини в поздовжній площині, які спричиняють максимальні навантаження на гідропривід і свідчать про високу динамічність процесу [10].

Виявилося, що найбільше на критерій стійкості навантажувача впливає положення його робочого обладнання (рис. 4).

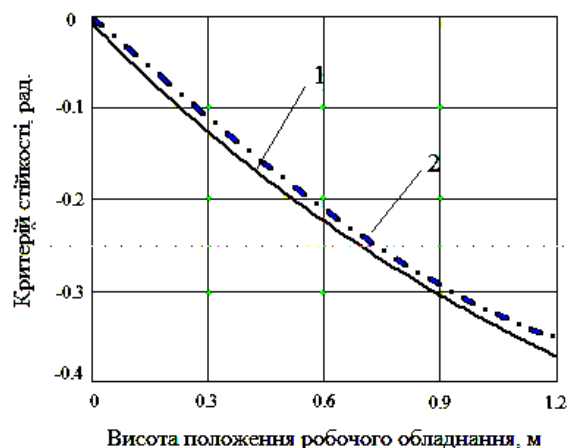


Рис. 4. Залежність впливу положення робочого обладнання КБН на критерій його стійкості: 1 – крива даних дослідження; 2 – крива рівняння апроксимації.

Fig. 4. The dependence of the influence of the position of the work equipment of short-base loader on the criterion of stability:

1 - the curve of the research; 2 - the curve of the approximation equation

Для автоматизації транспортного режиму навантажувача потрібно запропонувати системі необхідні умови, які можна сформулювати наступним рівнянням [11]:

$$f_i = F_0 + e^{(F_1 \cdot X_i)} + F_2, \quad (2)$$

де F_0, F_1, F_2 – постійні коефіцієнти рівняння апроксимації;

X_i – значення критерію стійкості короткобазового навантажувача.

Для оцінки вірогідності отриманих результатів відбувалося узгодження даних дослідження з рівнянням апроксимації (2). Для підтвердження правильності ухвалених рішень, був прийнятий критерій Пірсона χ^2 [12].

При зіставленні даних дослідження з даними рівняння апроксимації виявилось, що ймовірність їх збігу становить $P(\chi^2, q) = 0,906$.

Порівняння експериментальних даних із кривою рівняння апроксимації, свідчить про достатню збіжність результатів і відповідає критерію Пірсона на 90 %. Отримане рівняння (2), а також рівняння (1) можна використовувати для будь-якої моделі короткобазового навантажувача, за винятком коефіцієнтів, які для окремо взятої машини будуть різними.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень:

- проаналізовано сучасні підходи до вирішення проблеми стійкості короткобазових навантажувачів;
- встановлені дійсні причини втрати рівноваги короткобазових навантажувачів під час подолання ними одиначної перешкоди;
- запропоновано методологічний підхід до вирішення означеної проблеми за допомогою комп'ютерного моделювання;
- у результаті проведених досліджень було отримано вхідні умови для стабілізації руху короткобазового навантажувача шляхом використання автоматизованої системи керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Мусаєв З. Р.** Дослідження транспортного режиму короткобазового навантажувача / З.Р. Мусаєв // Молода наука – роботизація та нано-технології сучасного машинобудування. – Кроматорськ.: ДДМА, – 2019. – №75. – С. 88 – 91.
2. **Платонов В. Ф.** Машиностроение энцикл.: в 40 т. Т. IV-15. Колесные и гусеничные ма-

шины / В. Ф. Платонов // под общ. ред. В. Ф. Платонова. – М.: Машиностроение. 2005. 688 с.

3. **Хачатуров А. А.** Динамика системы дорогашина-автомобиль-водитель / А. А. Хачатуров – М.: Машиностроение, – 1967. – 323 с.
4. **Мусаєв З. Р.** Вплив нерівностей земної поверхні на динамічну стійкість короткобазового навантажувача під час виконання ним транспортних операцій / З.Р. Мусаєв, О. В. Єфименко // Scientific discussion journal – Praha, Czech Republic ISSN 3041-4245. – 2019. – Vol 1, No 36. – Р. 42 – 46.
5. **Хижняк Н.** Больше никаких проколов: Michelin и GM обещают выпустить безвоздушные шины к 2024 году / Н. Хижняк // Технологии, available at: <https://hi-news.ru/technology/bezvozdushnye-shiny.html>
6. **Єфименко О. В.** Моделювання робочого обладнання малогабаритного навантажувача за допомогою сучасних програмних засобів / О. В. Єфименко, Т. В. Пługина, З. Р. Мусаєв // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля: науковий журнал – Северодонецьк. – 2017. – Вип. 4. – С. 98 – 102.
7. **Розенфельд М. В.** Математичне моделювання процесу подолання одиначної перешкоди короткобазовим навантажувачем / М. В. Розенфельд, О. В. Єфименко, З. Р. Мусаєв // 9 – а міжнародна наукова-практична конференція: Тези доповідей 9-ї міжнародної науково-практичної конференції «проблеми розвитку транспорту і логістики» – Одеса. – 2019. – Т. 5. – С. 164 – 167.
8. **Назаров Л. В.** Динамическая устойчивость короткобазового погрузчика с бортовой системой поворота / Л. В. Назаров, Л. В. Разаренов // Наук. висн. – Харків: ХДТУБА – 2009. – Вып. 55. – С. 217 – 224.
9. **Назаров Л. В.** Динамика поворота малогабаритного колесного погрузчика / Л. В. Назаров, Л. В. Разаренов // Вестник ХНТУСХ им. П. Василенка. 3б. наук. праць – Харьков: 2009. – Вып. 81. – С. 62 – 64.
10. **Зленко А. А.** Определение параметров ковшового фронтального погрузчика / А. А. Зленко, И. М. Рябикова // Механизация строительства. – 2007. – № 9. – С. 22.
11. **Нефедов Л. И.** Обобщенная модель системного синтеза автоматической трансмиссии / Л. И. Нефедов, А. А. Осьмачко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – №4(42). – 2009. – С. 10 – 13.
12. **Пискунов Н. С.** Дифференциальное и интегральное исчисления / Н. С. Пискунов // Т. 1.

Учебное пособие для вузов. – М: Наука. – 1985. – 432 с.

REFERENCES

1. **Musajev Z. R.** (2019). Doslidzhennja transportnogo rezhymu korotkobazovogo navantazhuvacha. Moloda nauka – robotyzacija ta nano-tehnologii' suchasnogo mashynobuduvannja. Kromators'k, DDMA, Publ., Nr. 75, 88-91. – *(in Ukrainian)*.
2. **Platonov V. F.** (2005). Mashinostroenie jencikl.: v 40 t. T. IV-15. Kolesnye i gusenichnye mashyny. Pod obshh. red. V. F. Platonova. Moscow, Mashinostroenie. *(in Russian)*.
3. **Hachaturov A. A.** (1967). Dinamika sistemy doroga-shina-avtomobil'-voditel'. Moscow, Mashinostroenie. *(in Russian)*.
4. **Musajev Z. R., Jefymenko O. V.** (2019). Vplyv nerivnostej zemnoi' poverhni na dynamichnu stijkist' korotkobazovogo navantazhuvacha pid chas vykonannja nym transportnyh operacij. Scientific discussion jornal. Praha, Czech Republic ISSN 3041-4245. Vol 1, Nr. 36, 42-46. *(in Czech Republic)*.
5. **Hizhnjak N.** (2019). Bol'she nikakih prokolov: Michelin i GM obeshhajut vypustit' bezvozdušnye shiny k 2024 godu. Tehnologii, available at: <https://hi-news.ru/technology/bezvozdušnye-shiny.html>.
6. **Jefymenko O. V., Plugina T. V., Musajev Z. R.** (2017). Modeljuvannja robochogo obladdannja malogabarytnogo navantazhuvacha za dopomogoju suchasnyh programnyh zasobiv. Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu im. Volodymyra Dalja: naukovyj zhurnal. Severodonec'k, Vol. 4, 98-102. – *(in Ukrainian)*.
7. **Rozenfel'd M. V., Jefymenko O. V., Musajev Z. R.** (2019). Matematyčne modeljuvannja procesu podolannja odynychnoi' pereshkody korotkobazovym navantazhuvachem. 9 – a mizhnarodna naukova-praktyčna konferencija: Tezy dopovidej 9-i' mizhnarodnoi' naukovopraktyčnoj konferencii' «problemy rozvytku transportu i logistyky». Odesa, Vol. 5, 164 – 167. – *(in Ukrainian)*.
8. **Nazarov L. V., Razarenov L. V.** (2009). Dinamicheskaja ustojchivost' korotkobazovogo pogruzchika s bortovoj sistemoj povorota. Nauk. visn. Harkiv, HDTUBA. Vol. 55, 217 – 224. – *(in Ukrainian)*.
9. **Nazarov L. V., Razarenov L. V.** (2009). Dinamika povorota malogabaritnogo kolesnogo pogruzchika. Vestnik HNTUSH im. P. Va-

silenska. Zb. nauk. prac'. Har'kov, Vol. 81, 62-64. *(in Ukrainian)*.

10. **Zlenko A. A., Rjabikova I. M.** (2007). Opre-delenie parametrov kovshovogo frontal'nogo pogruzchika. Mehanizacija stroitel'stva. Publ., Nr. 9, 22. – *(in Ukrainian)*.
11. **Nefedov L. I., Os'machko A. A.** (2009). Obobshhennaja model' sistemnogo sinteza avtomaticheskoy transmissii. Vostochnoevropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Publ., Nr. 4(42), 10-13. – *(in Ukrainian)*.
12. **Piskunov N. S.** (1985). Differencial'noe i integral'noe ischislenija. T. 1. Uchebnoe posobie dlja vtuzov. Moscow, Nauka, 432. *(in Russian)*.

The problem of the stability of short-wheel loaders in the performance of transport operations and ways to solve it

Alexander Yefymenko¹, Zaur Musaiev²

Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. To date, compact wheel loaders are quite common, both in Ukraine and abroad. They are used in many industries and have a wide range of variable working bodies. Due to its well-designed construction, the loaders is capable of operating under closed conditions, which makes this mode of transport indispensable in such situations. This article examines the stability of short-base loaders during their transport operations, namely, in overcoming irregularities in work areas.

A methodological approach to solving this problem by introducing an automation system is proposed. It is experimentally proven that the machine loses its stability when transporting material due to its structural features, namely, the short base and center of mass, which is structurally located closer to the rear axle of the machine. This raises the problem of increasing the stability of short-base loaders in transport mode.

Keywords: stability, loader, obstacle, support surface, deformation, stability criterion, displacement, center of mass.

УДК 69:002; 69.059

Методи та аналіз причин пошкодження системи діагностики технічного стану будівель та споруд

Олександр Терентьев¹, Андрій Білощицький², Євгеній Горбатюк³,
Володимир Волянчук⁴, Дмитро Міщук⁵

^{1,3,4,5}Київський національний університет будівництва і архітектури,
03037, Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна,

²Astana IT University,

020000, вул. Туркестан, Нур-Султан, Казахстан,

¹terentyev79@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6995-1419>

²ba01978@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>

³gek_gor@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8148-5323>

⁴volian535@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6852-9037>

⁵tdmid@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8263-9400>

Received: 15.04.2020; Accepted: 01.06.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0501>

Анотація. Елементи та конструкції будівель відрізняються різним ступенем складності та невизначеності технічного стану, а також значною кількістю чинників, що призводять до їх фізичного зносу, деформацій, дефектів та пошкоджень. Інформація про дефекти будівлі має бути представлена у вигляді результатів обстеження та діагностики. Визначення зв'язку між дефектами та причинами їх появи, прогнозування наслідків цих дефектів на подальший технічний стан об'єкту є багатофакторним завданням, тому потребує детального вивчення.

Дефекти та пошкодження будівельних об'єктів є наслідком негативних факторів, що існують на всіх етапах життєвого циклу, у зв'язку з чим виникає завдання забезпечення їх експлуатаційної придатності шляхом отримання інформації щодо технічного стану, діагностування та прийняття рішень із відновлення. Оцінка технічного стану будівель є одна з найбільш складних задач на ринку інтелектуальних систем оцінки та прийняття рішень, складність якої полягає у великій кількості чинників, що впливають на оцінку, які досить складно формалізувати.

Дане дослідження висвітлює питання, що пов'язані з методами обстеження та аналізу причин виявлення пошкоджень діагностики технічного стану будівель і споруд. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія системи підтримки прийняття рішень, яка базується на потужних щодо інтелектуалізації аналітичних засобах, які дозволяють експертам приймати більш достовірні оцінки та управління

ські рішення.

Ключові слова: методи обстеження, аналіз причин пошкоджень, технічний стан.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Виявлення та аналіз причин руйнування будівельних конструкцій, розробка методів їх пошуку та оцінювання здійснюється в процесі технічної діагностики об'єктів будівництва.

Для технічної діагностики будівель необхідно структурно формалізувати опис та засоби контролю фактичних значень параметрів конструкцій будівельних споруд і їх експлуатаційних якостей. З них можна виділити декілька найбільш загальних, які суттєво впливають на експлуатаційну придатність: міцність і стійкість будівельних конструкцій; теплозахисні властивості; герметичність, особливо будівельних конструкцій; звукоізоляцію; освітленість; вологість матеріалів будівельних конструкцій.

Перелік таких параметрів та їх нормативні або розрахункові значення для кожного типу будівельних конструкцій встановлюються проектом.

Порівнюючи фактичне значення параметра, встановлене за експертною оцінкою, з нормативним, роблять висновок про експлуатаційну придатність конструкції та

споруди в цілому. Потім приймається рішення про заходи з підтримки даного параметра на заданому нормами або розрахунковому рівні. В ході проведення технічної діагностики використовують наступні методи обстеження: візуальний, візуально-інструментальний, неруйнівний [1].

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проведено вивчення наукових джерел за проблематикою дослідження теоретичних засад щодо побудови методів обстеження діагностики технічного стану та аналізу причин пошкодження, отриманих відомими вітчизняними науковцями, серед яких Михайленко В. М. [2], Терентьев О. О. [3], Горбатюк Є. В. [3], Цюцюра М. І. [4], Єременко Б. М. [5].

Забезпечення довготривалої та надійної експлуатації будівельних конструкцій і споруд за рахунок своєчасного прогнозування та використання методів обстеження діагностики їх технічного стану є актуальною теоретичною та техніко-економічною проблемою, що потребує застосування ефективних рішень на всіх етапах життєвого циклу будівель та регламентуються положенням «Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд» [6].

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Мета дослідження – побудова математичних моделей оцінки ризику для задачі діагностики технічного стану конструкцій будівельних споруд з використанням апарату нечітких множин.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

1. Запропонувати методологічні засади побудови методів обстеження системи діагностики технічного стану будівель та обґрунтування ефективності технологій інструментального визначення параметрів будівель, споруд і території забудови на

всіх етапах їх життєвого циклу, які розглядаються з позиції стратегічного інформаційного менеджменту.

2. Проаналізувати подальший розвиток аналітичних засобів оцінки прогнозування прийнятих рішень відносно процесу спостереження та своєчасного прийняття необхідних рішень щодо безпечної та надійної експлуатації будівель і споруд.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

При обстеженні будівель і споруд виявляються видимі дефекти і пошкодження, наводять обміри, схематичні плани фотографії, виявляються місця, які необхідно обстежити більш детально за допомогою інструментів і приладів (Рис.1).

Візуально-інструментальне обстеження є деструктивним, оскільки у спорудах будівельних конструкцій відбираються зразки матеріалів для випробування в лабораторних умовах. Таке обстеження в умовах експлуатації не завжди є прийнятним, бо може призвести до ослаблення конструкцій.

Неруйнівний метод обстеження полягає в тому, що необхідні виміри проводяться за допомогою різних приладів і пристосувань, без зниження міцності конструкцій і без порушення обробки приміщень. Прилади для діагностики технічного стану використовуються для контролю якості матеріалів і конструкцій.

До методів контролю фізико-технічних параметрів відносяться: спостереження за тріщинами в конструкціях, контроль місцевих і загальних деформацій, а також визначення: міцності конструкцій; товщини трубопроводів при контролі за корозією; вологості деревини та інших матеріалів; товщини лакофарбових покриттів; повітропроникності стиків і конструкцій; теплозахисних якостей конструкцій; звукоізолюючої здатності огорожувальних конструкцій; місць пошкодження прихованої гідроізоляції; контроль герметичності стиків.

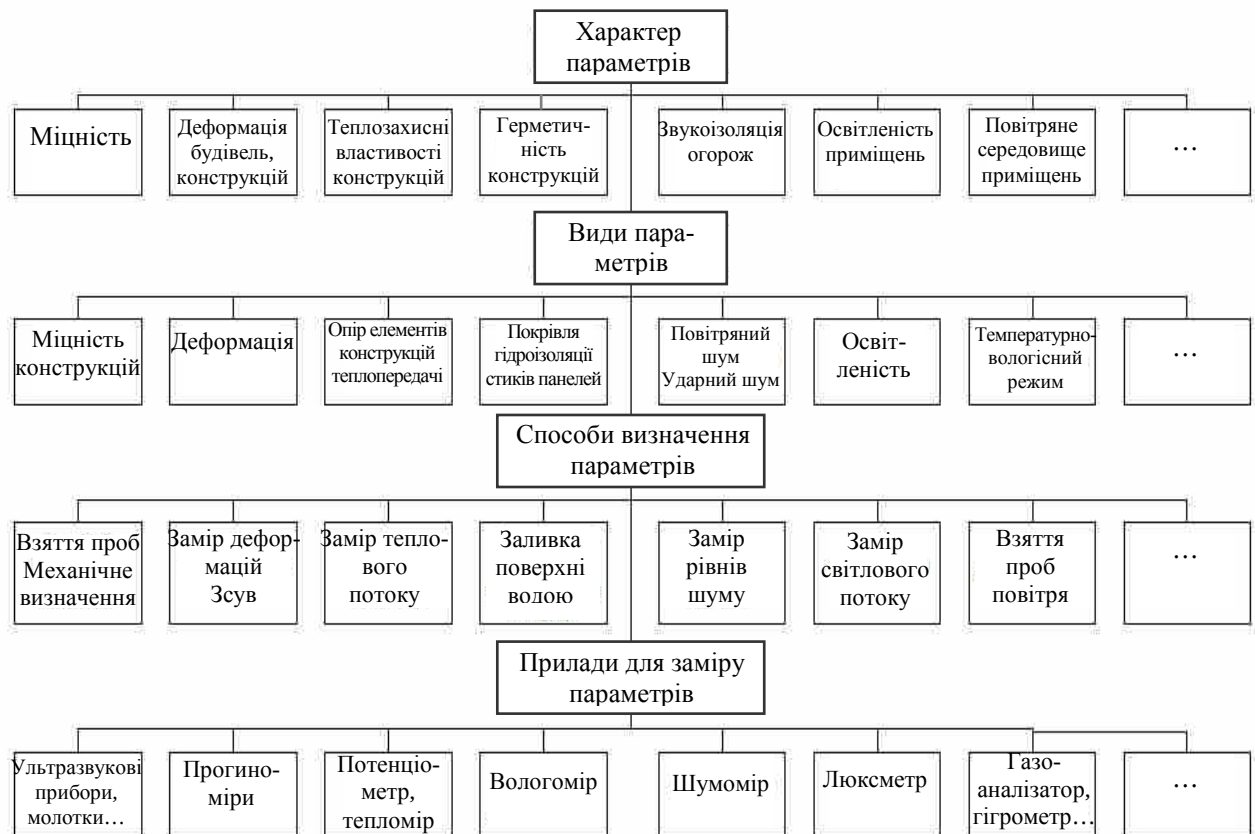


Рис. 1. Структура формалізованого опису та засоби контролю фактичних значень параметрів і їх експлуатаційних якостей конструкцій будівель і споруд

Fig. 1. Structure of the formalized description and controls of actual values of parameters and them operating internals of constructions of building and building

Тріщини в будівельних конструкціях служать зовнішніми ознаками їх перевантаження та деформації. Вони можуть бути зумовлені різними причинами, мати різні наслідки, а тому поділяються на небезпечні (категорії А, Б) і безпечні (категорії В). При виявленні тріщин важливо з'ясувати причину їх виникнення та дати їм правильну характеристику, встановити триває їх розвиток або припинився.

У будівельних конструкціях можуть виникати деформації під впливом різних навантажень в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалів конструкцій.

Уявлення про напружений стан конструкції можна отримати шляхом вимірювання та вивчення деформацій.

Деформації можуть мати різноманитний характер у вигляді паралельного зсуву перерізів конструкцій, розтягування або стиснення. Вони поділяються на місцеві, коли

переміщення або повороти відбуваються у вузлах і конструкціях (подовження або стиснення елементів) і загальні, коли переміщуються й деформуються конструкції або споруди в цілому. Деформації можуть бути залишковими або пружними, зникаючими після закінчення навантаження. Тому для оцінки стану конструкцій необхідно знати їх геометричні характеристики до навантаження, під навантаженням і після його закінчення.

Неруйнівні методи випробувань контролю якості матеріалів і конструкцій дозволяють оцінити їх фізико-механічні властивості: міцність, пружність, щільність, напружено-деформований стан конструкцій та виявлення дефектів в них.

Під час обстеження будівельних конструкцій аналізуються чинники, що впливають на міцність і стійкість руйнування конструкцій (Рис.2, Рис.3).



Рис. 2. Чинники впливу на міцність та стійкість конструкцій будівель і споруд

Fig. 2. Factors of influence are on durability and firmness of constructions of building and building

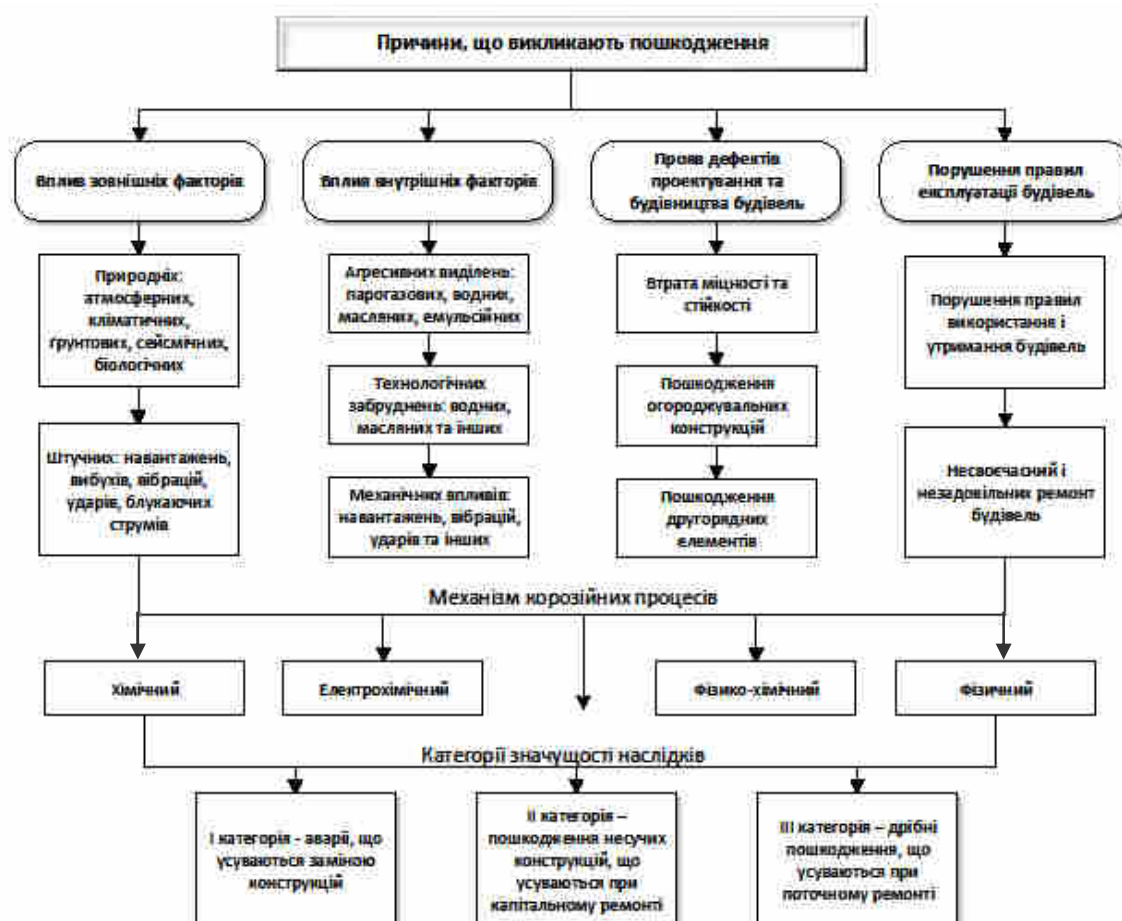


Рис. 3. Чинники виникнення пошкодження конструкцій будівель і споруд

Fig. 3. Factors of origin of damage of constructions of building and building

Аварії будівельних конструкцій є наслідком сукупності причин:

- дефектів виконання будівельних робіт;
- відхід від проектів при зведенні конс-

трукцій;

- неправильної експлуатації споруд або їх окремих конструкцій;
- порушення елементарних правил монтажу збірних залізобетонних конструкцій і деталей;
- введення споруд в експлуатацію з великими недоробками.

Дефекти інженерно-геологічних вишукувань призводять до руйнувань майданчика будівництва в результаті недостатніх досліджень геологічних та гідрогеологічних умов, неправильної конструкції фундаментів, недостатнього врахування впливу підземних комунікацій, розташованих поблизу споруд, відсутності у проектах вказівок про заходи забезпечення стійкості конструкцій при будівництві на просадочних ґрунтах [7, 8].

Чинниками руйнування конструкцій можуть бути недоліки проектів та проектних рішень, а саме:

- застосування неповноцінних конструкторських рішень;
- недостатнє забезпечення жорсткості та стійкості збірних конструкцій у процесі будівництва та при експлуатації;
- недостатнє деталювання креслень окремих відповідальних вузлів несучих конструкцій і споруд;
- неправильний облік навантажень, що діють на конструкцію або споруду;
- помилки в розрахунках конструкцій.

Низька якість, а також дефекти виробництва робіт є наслідком:

- відсутності на будівництві кваліфікованого технічного персоналу, а також частою його зміни;
- порушення вимог нормативних документів до виконання робіт;
- відхід від проектів, зокрема, застосування матеріалів недостатньої міцності;
- недотримання послідовності монтажу споруд із збірних конструкцій;
- відсутності контролю якості матеріалів і виробів, що надходять на будівництво;
- недотримання правил будівництва на просадних ґрунтах;
- незадовільної якості виконання окремих конструкцій або їх елементів;
- неточної розбивки осей несучих конс-

трукцій споруд;

- заміни матеріалів конструкцій або їх частин без санкції проектною організацією.

Руйнування будівельних конструкцій відбуваються через:

- відсутність на заводах конструкцій кваліфікованого нагляду та контролю за виготовленням виробів;
- недбале їх армування та грубі відступи від проектів, які виражаються у зміщенні робочої арматури до стислій зоні, внаслідок чого захисні шари товщають до 40 - 60 мм;
- відсутність арматури в опорних частинах;
- недостатнє анкерування стержнів;
- довільну заміну арматури в порівнянні з проектною;

- неправильне армування, що веде до обвалення плит, балок, перекриттів і покриттів, консольних балок, балконів.

Руйнування, викликані неправильною експлуатацією споруд, походять від перенапруги конструкцій та їх елементів внаслідок встановлення додаткового обладнання, не передбаченого технологічним проектом; заміни одного обладнання іншим з більшою динамічним навантаженням; додаткового пробивання різного роду отворів в конструкціях. Дефекти також виникають внаслідок значної вібрації обладнання, шкідливо відбивається на конструкціях і спорудах.

Основними причинами обвалення покриттів є грубі відступи від вимог будівельних норм і правил у частині провадження робіт з виготовлення та монтажу конструкцій [9, 10].

До аварій призводить сукупність таких порушень, як:

- недостатнє врахування особливостей сучасних проектних рішень; перевантаження будівельних конструкцій;
- довільна заміна перерізів елементів конструкцій;
- зміна розрахункової схеми роботи конструкцій; невдалі проектні рішення конструкцій покриттів; порушення порядку монтажу конструкцій.

Будівлі, що будуються за типовими проектами, виявляються в аварійному стані внаслідок допущення занижених, порівняно

з діючими нормами, коефіцієнтів запасу міцності в несучих конструкціях.

Необхідність посилення будівельних конструкцій в процесі їх експлуатації виникає як при реконструкції та технічному переоснащенні підприємств, так і внаслідок фізичного зносу та різних пошкоджень, викликаних корозією матеріалів, механічними впливами, діями агресивного середовища.

Одним з головних завдань процесу проведення експертизи споруд є виявлення їх дійсного стану та прогнозування можливості їх подальшої експлуатації.

В період експлуатації будівельних конструкцій під навантаженням можна виділити три основні стадії:

- перерозподіл і вирівнювання піків механічних напруг за рахунок розвитку пластичних деформацій;
- накопичення та розвиток дефектів і пошкоджень внаслідок впливу експлуатаційних факторів: вібрацій, ударів, локальних і загальних перевищень навантажень, нагрівання або переохолодження конструкцій, зміни властивостей матеріалів конструкцій, розвитку втомних тріщин, появи різниці осідань фундаментів, впливу агресивних факторів;

- стадія деградації та руйнування, коли внаслідок накопичення пошкоджень конструкції переходять в обмежено працездатний і навіть в аварійний стан.

Під час проведення експертизи будівельних конструкцій виявлено, що осередками початку руйнування є:

- місця сполучення елементів конструкцій: вузли, стики – особливо, коли останні виконані з різних матеріалів;
- концентратори напружень: місця різкої зміни перерізів, отвори, надрізи, тріщини, зварні шви;
- місця шкідливих технологічних впливів: локальних нагрівів, можливих переохолоджень конструкцій, впливу агресивних газів і рідин, місця можливих ударів і вібрацій від технологічних агрегатів, місця скупчення пилу, скрапу, снігу на покрівлі разом з пиловими відкладеннями, місця підвіски вантажів, не передбачених проектом.

Стосовно до споруд розрізняють два ви-

ди зносу: фізичний і моральний. Фізичний знос дозволяє оцінювати втрату первісної споживчої вартості, експлуатаційних якостей і технічних властивостей конструкцій об'єкта. Моральний – невідповідність споруд існуючим нормативним об'ємно-планувальним, архітектурно-конструктивним та іншим вимогам. Тому споруди, збудовані в різні періоди, мають різну ступінь зносу.

Встановлення ступеня фізичного зносу здійснюється за методикою, визначеною ВСН 53-86(р). Суть її полягає в тому, що за результатами обстеження технічного стану конструктивних елементів встановлюється відсоток зносу кожного елементу. Процент зносу будівлі в цілому визначають як середній зважений, виведений з відсотка зносу окремих конструктивних елементів, за формулою:

$$Z_{\phi}^i = \sum_{i=1}^n Z_{\phi}^i \cdot D_i / 100, \quad (1)$$

де Z_{ϕ}^i – знос конструктивного елементу, встановлюється на підставі обстеження фактичного технічного стану; D_i – питома вага вартості конструктивного елемента в загальній вартості споруди на момент обстеження.

Експерт повинен провести обстеження технічного стану об'єкта, проаналізувати причини руйнувань і надати висновки про можливості збереження, ремонту чи повної заміни окремих конструкцій або їх елементів.

Експертиза проводиться з метою виявлення дефектів і своєчасного відновлення умов безпечної експлуатації у таких випадках:

- виконання програми запобігання аварій;
- зміна технології виробництва або його консервації;
- зміна власника;
- страхування організації;
- визначення економічної доцільності ремонту та реконструкції;
- збільшення нормованих природно-

кліматичних впливів (сейсмічні, снігові, вітрові навантаження);

- закінчення строків обстеження або нормативних строків експлуатації;
- необхідність наявності висновку про стан споруд для одержання організацією ліцензії на експлуатацію виробничого об'єкта.

Процес проведення експертизи складається з наступних етапів:

- підготовчі роботи до проведення обстеження, або попередній етап;
- проведення обстеження;
- видача висновку експертизи.

Підготовчі роботи до проведення обстеження виконуються експертною організацією на підставі письмового звернення до неї у формі заявки від організації (Замовника) на виконання даної роботи.

За кожною заявкою наказом керівника призначається експертна група фахівців-експертів різних галузей науки в залежності від характеру виконуваних робіт.

Одночасно із заявкою Замовник подає експертній організації проектну, будівельну, експлуатаційну документацію по об'єкту обстеження.

Експертна група в ході підготовчих робіт вивчає об'єкт з метою встановлення обсягів і строків виконання робіт при проведенні обстеження [11, 14], а саме:

- проводить огляд об'єкта та оцінку умов експлуатації конструкцій;
- визначає ділянки з найбільшим ступенем зносу конструкцій і наявні небезпечні дефекти та пошкодження.

В ході попереднього огляду експерт збирає інформацію, яка дозволяє уточнити програму та обсяги робіт з обстеження, вивчає технічну документацію.

При відсутності робочих креслень укладається додаткова угода на їх виготовлення та відновлення.

Підготовчий етап закінчується оформленням таких документів:

- договору на створення науково-технічної продукції;
- технічного завдання;
- програми обстеження;
- календарного плану;
- кошториси на виконання робіт.

Після узгодження та підписання вищевказаних документів складається акт приймання-здачі виконаних робіт за попереднім обстеженням. Даний документ є підставою для виставлення рахунку Замовнику на виплату авансу за договором.

Експертна організація виступає як генеральний підрядник робіт із обстеження конструкцій. Для окремих досліджень, що з певних причин не виконано експертною організацією може бути найнятий Субпідрядник.

Другий етап – обстеження починається з оцінки відповідності фактичних об'ємно-планувальних та конструктивних рішень будівлі початкового проекту.

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Обстеження конструкцій включає:

- визначення фактичних розмірів перерізів конструкцій і з'єднань, їх просторового положення;
- перевірку відповідності конструкцій проектної документації, фактичної геометричної незмінюваності, виявлення відхилень, дефектів та пошкоджень елементів і вузлів конструкцій із складанням відомостей дефектів і пошкоджень;
- уточнення фактичних і прогнозованих навантажень та впливів, узгодження їх із Замовником;
- встановлення фактичних фізико-механічних властивостей матеріалів конструкцій;
- перевірку фундаментів при виявленні деформацій каркаса споруди та несучої здатності ґрунту внаслідок виникнення осад фундаментів.

За результатами обстеження складається відомість дефектів, підтверджуючими документами яких є фотофіксація дефектів і показання приладів. Під дефектом розуміють будь-яке відхилення від проекту або стандарту, що перевищує допустиме нормоване відхилення. У відомості, поряд з описом виду та місця розташування дефекту, вказується категорія його небезпеки, встановлювана за ознаками:

А – дефекти та пошкодження особливо відповідальних елементів і споруд, що

представляють небезпеку руйнування. Якщо в результаті обстеження виявляються пошкодження групи А, то відповідну частину конструкцій слід негайно вивести з експлуатації до виконання необхідного ремонту або підсилення.

Б – дефекти та пошкодження, які не загрожують в момент огляду небезпекою руйнувань конструкцій, але в подальшому здатні викликати пошкодження інших елементів і вузлів або при розвитку пошкодження перейти в категорію А.

В – дефекти та пошкодження локального характеру, які при подальшому розвитку не можуть впливати на інші елементи та конструкції (пошкодження допоміжних конструкцій, майданчиків, місцеві прогини і вм'ятини ненапружених конструкцій).

Залежно від характеру дефектів здійснюється перевірочний розрахунок конструкцій та прийняття рішень про способи їх усунення. Для цього необхідно виконати наступні роботи:

- вибрати розрахункову схему конструкцій з урахуванням наднормативних відхилень фактичних навантажень і властивостей матеріалів конструкцій;
- перевірити несучу здатність елементів, вузлів і з'єднань.

Перерахунок конструкцій за даними обстеження представляє собою: аналітичну схему в якій є реальна конструкція з її дефектами різного ступеня небезпеки і дійсне відхилення розрахункових параметрів. На цьому етапі експертизи багато залежить від якості обстеження споруд, зокрема від правильної обробки і аналізу зібраної інформації [11, 12].

Остаточний перевірочний розрахунок проводиться за методикою, встановленою ДБН В.2.1-10-2009 для відповідних конструкцій.

За результатами обстеження розробляються рішення по відновленню працездатного стану конструкцій [13].

Третій етап – видача висновку експертизи є оформлення результатів обстеження у вигляді звіту. Звіт містить докладний аналіз та оцінку технічного стану конструкцій та схеми їх посилення [14].

Замовник отримує технічний висновок

разом з актом здачі-приймання виконаних робіт. Після цього експертна організація виставляє Замовнику рахунок на оплату.

ВИСНОВКИ

Запропоновані методологічні засади обстеження системи діагностики технічного стану будівель та обґрунтування ефективності технологій інструментального визначення параметрів будівель, споруд і території забудови на всіх етапах їх життєвого циклу, які розглядаються з позиції стратегічного інформаційного менеджменту; отримала подальший розвиток інформаційна технологія системи діагностики технічного стану будівель і споруд, яка базується на потужних щодо інтелектуалізації аналітичних засобах, які дозволяють експертам приймати більш достовірні оцінки та управлінські рішення, що було оцінено я ході форуму експертів [15].

ЛІТЕРАТУРА

1. **ГОСТ 10180-78, 1979.** Бетон. Методы определения прочности на сжатие и растяжение. Госстрой СССР, Издательство стандартов. Москва, 24.
2. **Міхайленко В.М., Терентьєв О.О., Єремеєнко Б.М., 2013.** Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей. Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов Под общей редакцией профессора В.И. Большакова выпуск. Дніпропетровськ, Вип. 70, 133-141.
3. **Міхайленко В.М., Терентьєв О.О., Єремеєнко Б.М., 2014.** Обработка экспериментальных результатов работы экспертной системы для задачи диагностики технического стану будівель. Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов Под общей редакцией профессора В.И. Большакова выпуск. Дніпропетровськ, Вип. 78, 190-195.
4. **Терентьєв О.О., Шабала Є.Є., Малина Б.С., 2015.** Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель та споруд. Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць. К.: КНУБА, Вип. 22, 138-143.
5. **Terentyev O., Tsiutsiura M.** July 2015. The Method of Direct Grading and the Generalized

Method of Assessment of Buildings Technical Condition. International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 7, 827-829.

6. **Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд, 2003.** Київ, 144.
7. **ГОСТ 18105-86 (СТСЭВ 2046-79), 1987.** Бетоны. Правила контроля прочности. Госстрой СССР, Издательство стандартов. Москва, 18 с.
8. **ГОСТ 8829-84 (ДСТУ Б.В.2.6-7-95), 1982.** Изделия строительные бетонные и железобетонные сборные. Методы испытания нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. Госстрой СССР, Издательство стандартов. Москва, 20.
9. **ИИ-04-7, 1966.** Сборные элементы зданий каркасно-конструкционных. Лестницы. Железобетонные лестницы для зданий с высотой этажей 3,3, 4,2 метра. Центральный институт типовых проектов. Москва, Выпуск 1, 20 с.
10. **Каталог** приборов неразрушающего контроля качества железобетона, 1986. НИИСК Госстроя СССР. Киев, 24 с.
11. **Пелевін Л., Фомін А.** Проведення ефективного прогнозування роботи машин для земляних робіт // Л. Пелевін, А. Фомін, Є. Горбатюк, В. Шаленко / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №93. – 2019. – С. 12-18. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0102>
12. **Гайдайчук В.** Адекватність і можливості скінченно-елементної моделі споруди міжнародного виставкового центру для динамічного моніторингу // В. Гайдайчук, О. Дедов, К. Котенко / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №90. – 2017. – С. 5-10.
13. **Гайдайчук В. В., Котенко К. Е., Ткаченко І. А.** Комплексний моніторинг технічного стану великорозмірної будівельної споруди. Підводні технології. – № 05. – 2017. – С. 61-66.
14. **Городжа А.** Експертний неруйнівний контроль параметру міцності бетону на стиск в конструкціях монолітного способу виготовлення // А. Городжа, С. Ловейкін, В. Ярас / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №89. – 2017. – С. 29-40.
15. **Сукач М.** Проведено V міжнародну конференцію трансферу інноваційних технологій // М. Сукач / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №93. – 2019. – С. 61-67. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0601> – (in Ukrainian).

REFERENCES

1. **GOST 10180-78.** (1979). Beton. Metody opredelenija prochnosti na szhatie i rastjazhenie. [Concrete. Methods for determination of the compressive strength and the tensile strength] Gosstroy of the USSR, Publishing house of standards. Moscow, 24.
2. **Mikhailenko V.M., Terentyev O.O., Eremenko B.M.** (2013). Informacijna tehnologija ocinki tehničnogo stanu elementiv budivel'nih konstrukcij iz zastosuvannjam nechitkih modelej. [Information technology assessment of technical condition of building structures using fuzzy models]. Construction, materials, engineering, scientific collection. works Under the General editorship of Professor V.I. Bolshakov edition. Dnipropetrovsk, Iss. 70, 133-141.
3. **Mikhailenko V.M., Terentyev O.O., Eremenko B.M.** (2014). Obrobka eksperimental'nih rezul'tativ roboti ekspertnoї sistemi dlja zadachi diagnostiki tehničnogo stanu budivel'. [Treatment of experimental results of the expert system for diagnostics of technical condition of buildings]. Construction, materials, engineering, scientific collection. works Under the General editorship of Professor V. I. Bolshakov edition. Dnipropetrovsk, Iss. 78, 190-195.
4. **Terentyev O. O. Sabala Y. Y., Malyna B. S.** (2015). Osnovi organizacii nechitkogo vivedennja dlja zadachi diagnostiki tehničnogo stanu budivel' ta sporud. [Fundamentals of the organization of fuzzy inference for the task of diagnosing the technical condition of buildings and structures]. Managing the development of complex systems, collection of scientific papers. Kyiv, Iss. 22, 138-143.
5. **Olexander Terentyev, Mykola Tsiutsiura.** (July 2015). The Method of Direct Grading and the Generalized Method of Assessment of Buildings Technical Condition. International Journal of Science and Research (IJSR), Vol. 4 Issue 7, 827-829.
6. **Normativni dokumenti z pitan' obstezhen', pasportizacii, bezpechnoi ta nadijnoi ekspluatacii virobnychih budivel' i sporud.** (2003). [Normative documents W issues of abstieg, pasportist, bezpechno Nadine exploits of virobnychih budwell first sparud]. Kyiv, 144.
7. **GOST 18105-86 (STSM 2046-79).** (1987). Betony. Pravila kontrolja prochnosti. [Concretes. The rules control the strength]. Gosstroy of the USSR, Publishing house of

ISSN(online)2709-6149. Mining, constructional, road and melioration machines, 95, 2020, 60-69

- standards. Moscow, 18.
8. **GOST 8829-84 (DSTU B. V. 2.6-7-95)**, (1982). Izdelija stroitel'nye betonnye i zhelezobetonnye sbornye. Metody ispytaniya nagruzheniem. Pravila ocenki prochnosti, zhestkosti i treshhinostojkosti. [Product construction of concrete and reinforced concrete prefabricated. Test methods loading. Rules for the evaluation of strength, stiffness and fracture toughness]. Gosstroy of the USSR, Publishing house of standards. Moscow, 20.
9. **II-04-7**, (1966). Sbornye jelementy zdanij karkasno-konstrukcionnyh. Lestnicy. Zhelezobetonnye lestnicy dlja zdanij s vysotoj jetazhej 3,3, 4,2 metra. [Prefabricated buildings of frame construction. Stairs. Concrete stairs for buildings with the floor height of 3.3, 4.2 metres]. Central Institute of model projects. Moscow, Iss. 1, 20.
10. **Katalog priborov nerazrushajushhego kontrolja kachestva zhelezobetona**. (1986). [Catalog of instruments for non-destructive testing of concrete]. Scientific-investigational center of Gosstroy of the USSR. Kiev, 24.
11. **Pelevin L., Fomin A., Gorbatyuk Ie., Shalenko V.** (2019). Realization of effective prognostication of work of machines for earthmovings. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], Nr. 93, 12-18. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0102>. – (in Ukrainian).
12. **Gaidaychuk V., Dedov O., Kotenko K.** (2017). Adequacy and possibilities finite-element models of building's international exhibition center. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], Nr. 90, 5-10. – (in Ukrainian).
13. **Gaidaychuk V.V., Kotenko K.E. Tkachenko I.A.** (2017). Kompleksnij monitoring tehničnogo stanu velikorozmirnoï budivel'noï sporudi. [Integrated monitoring the technical condition of large-scale building structure.]. *Underwater technologie*, Nr. 5, 61-66.
14. **Horodzha A., Loveykin S., Yaras V.** (2017) Expert non-destructive testing compressive strength of concrete in the construction of monolithic method of manufacture. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], Nr. 89, 29-40. – (in Ukrainian).
15. **Sukach M.** (2019). The V International Conference by Transfer of Innovative

Technologies was held. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], Nr. 93, 61-67. <https://doi.org/10.32347/gbdmm202019.93.0601>. – (in Ukrainian).

Methods and analysis of causes of processing of the system of diagnosis of the technical condition building and construction

Olexander Terentyev¹, Andriy Biloshchytskyi², Ievgenii Gorbatyuk³, Volodymyr Voliyanuk⁴, Dmytro Mischuk⁵

^{1,3,4,5}*Kyiv National University of Construction and Architecture,*
²*Astana IT University*

Abstract. Elements and constructions of building differ in the different degree of complication and vagueness of the technical state, and also far of factors, that result in their physical wear, deformations, defects and damages. Information about the defects of building must be presented as results of inspection and diagnostics. Determination of connection between defects and reasons of their appearance, prognostication of consequences of these defects on the further technical state of object is a multivariable task, that is why needs the detailed study.

Defects and damages of building objects are the consequence of negative factors that exist on all stages of life cycle, in this connection there is a task of providing of them service ability by the receipt of information on the technical state, diagnosing and making decision from renewal. The estimation of the technical state of building is one of the most intricate problems at the market of the intellectual systems of estimation and making decision, complication of that consists in great numbers factors that influence on an estimation, that it is difficult enough to formalize.

This study highlights the issues related to the methods of examination and analysis of the causes of damage diagnostics of the technical condition of buildings and structures. The information technology of the decision support system has been further developed, which is based on powerful analytical tools for intellectualization, which allow experts to make more plausible assessments and managerial decisions.

Keywords: survey methods, analysis of causes of damage, technical condition.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

1. **Андрій Білощицький** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи та інновацій, Astana IT University.
2. **Андрій Бойченко** – студент спеціальності «Галузеве машинобудування», Київський національний університет будівництва і архітектури.
3. **Володимир Воляннюк** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
4. **Олександр Єфименко** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних та дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
5. **Євгеній Горбатюк** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
6. **Анатолій Кравчук** - аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури.
7. **Богдан Мельниченко** – аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури.
8. **Дмитро Міщук** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
9. **Євген Міщук** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури.
10. **Заур Мусаєв** – асистент кафедри будівельних та дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
11. **Леонід Пелевін** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
12. **Микола Пристайло** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
13. **Олександр Терентьєв** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, Київський національний університет будівництва і архітектури.
14. **Володимир Сівко** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри, Національний транспортний університет.
15. **Михайло Сукач** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
16. **Валерій Яковенко** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури.

Правила підготовки рукописів та Приклади оформлення статей наведено на сайті збірника “Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини”: www.gbdmm.knuba.edu.ua.

Підписані авторами матеріали разом із електронною версією, супровідними документами і зовнішньою рецензією подаються до редакції безпосередньо або електронною поштою за адресою gbdmm@ukr.net. Звертаємо увагу на відповідність матеріалів зазначений у збірнику проблематиці, вимогам ВАК та державних стандартів до наукових статей.

Постановою президії ВАК України від 10.05.2017 р., № 693 Всеукраїнський збірник наукових праць “Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини” включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Збірник розміщено в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури та в Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського. Електронний архів його зберігається на сайті НБУВ www.irbis-nbuv.gov.ua в розділі “Журнали та продовжувані видання” і на сайті КНУБА <http://science.knuba.edu.ua> в розділі “Наукові видання університету” та доступний через мережу Internet.

ВЗНП “Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини” включено до міжнародних наукометричних баз даних:

- “Ulrichs web” – <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>,
- “Index Copernicus” – www.journals.indexcopernicus.com,
- “Research Bible” – <http://journalseeker.researchbib.com>,
- “Web ИРБИС” – <http://irbis-nbuv.gov.ua>,
- “Get CITED” – <http://www.getcited.org>,
- “JOUR Info” – <http://jourinfo.com>,
- “The Global Impact Factor” – <http://globalimpactfactor.com>,
- “Scientific Indexing Services” – <http://www.sindexs.org>
- “Google academy” – <http://scholar.google.com.ua/citations?user=2-FASc4AAAAJ&hl=uk>,
- “Socioindex” – <http://socio.in.ua>,
- “EBSCO” – <https://www.ebscohost.com>,
- “Universal Impact Factor” – <http://uifactor.org>,
- “ProQuest” – <http://www.proquest.com>,
- “GEOBASE” – <https://www.elsevier.com/solutions/engineering-village/content/geobase>,
- “Engineering Village” – <http://www.engineeringvillage.com>,
- “Ingentaconnect” – <http://www.ingentaconnect.com>,
- “USJ” – <http://usj.org.ua>.

Наукове видання

ГІРНИЧІ, БУДІВЕЛЬНІ, ДОРОЖНІ ТА МЕЛІОРАТИВНІ МАШИНИ

Всеукраїнський збірник наукових праць

Випуск 95
(Січень – Червень, 2020)

Редакторський відділ:

Редагування та коректура: *Тетяна Щербина*
Інформаційне забезпечення: *Дмитро Міщук*

Оригінал-макет виготовлено в редакції ВЗНП
Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31,
лаб. корпус, к. 2311, Київ, Україна, 03680.
Електронна пошта: e-mail: gbdmm@ukr.net.
Сайт: www.gbdmm.knuba.edu.ua.
Тел.: +38 044 2415474, факс +38 044 2454217

Підписано до друку 17.07.2020. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 9. Обл.-вид. арк. 10
Наклад 100 прим. Вид. №29/III-20. Зам. №48/2-20

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680
E-mail: red-isdat@ukr.net, тел. (044)241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.