

increase their productivity and efficiency. It is shown that there is a need to create the theoretical and methodological foundations of the leasing of transport vehicles, as one of the ways to re-equip the system of vehicles in the regions of Ukraine and increase the efficiency of their use on the basis of leasing relations. It is substantiated that when developing the foundations, it is expedient to base the system on improving the technical condition of machines with the appropriate strategy of their maintenance and repair. A structural diagram of the system of transport vehicles of the region and motor transport enterprises, which have a modular structure of rolling stock, was built.

The main tasks in the development of issues of new leasing relations are outlined. When determining the number of leasing objects, the matrix of the system of technical effects of operations was used, according to the strategy of maintenance and repair of transport vehicles. When creating the theoretical and methodological foundations of the technical and economic efficiency of leasing, the costs for the implementation of maintenance and repair operations of transport vehicles were considered. It is noted that when leasing, it is important to assess the technical condition of transport vehicles by diagnosing them.

The work defines the conditions under which it is expedient to develop leasing relations and when motor vehicle enterprises simply buy new vehicles. The sequence of the assessment of the corresponding costs is shown.

**transport vehicle, theoretical and methodological principles, leasing, maintenance and repair, transport system, motor vehicle enterprise, technical condition, efficiency of use**

*Одержано (Received) 16.05.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 22.05.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023*

УДК 629.332

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.180-189](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.180-189)

**Ів.Б. Гевко**, проф., д-р техн. наук, **Ю.І. Пиндус**, канд. техн. наук, **М.Г. Левкович**, доц., канд. техн. наук, **В.О. Тесля**, канд. техн. наук, **А.Б. Гупка**, канд. техн. наук, **М.Д. Сіправська**, асист.

*Тернопільський національний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна  
e-mail: volodymyr\_teslya@ukr.net*

## Дослідження напружено-деформованого стану дна кузова напівпричіпа вантажного автомобіля в залежності від розміщення перемичок

За допомогою методу напруження-деформації було проведено комплексне дослідження кузовів вантажних напівпричепів, що призвело до розробки інноваційних інженерних рішень, спрямованих на підвищення їх техніко-економічних показників. Це було досягнуто шляхом аналізу впливу різних факторів на особливості будови та конструкції. Результати дослідження були отримані на основі напружено-деформованого стану (НДС) з використанням передових методів інженерного аналізу, зокрема із застосуванням спеціалізованого програмного комплексу SolidWorks на САД-моделі, що представляє кузов напівпричепа вантажівки.

**вантажний автомобіль, напівпричіп, конструкція, напружено-деформований стан, геометричні параметри**

**Постановка проблеми.** Транспортна галузь відіграє важливу роль в економіці України, причому ефективне переміщення товарів має вирішальне значення для різних секторів. Серед ключових компонентів транспортної галузі є причепа вантажних автомобілів, які є необхідним обладнанням для транспортування вантажів по країні.

Транспортна галузь України покладається на різноманітний асортимент причепів для задоволення різноманітних транспортних потреб. Кожен тип задовольняє певні вимоги до вантажу та надає спеціальні функції для забезпечення безпечного та ефективного транспортування.

Причепи відіграють вирішальну роль у транспортній галузі України завдяки своїм численним перевагам. Вони пропонують підвищену вантажопідйомність порівняно з іншими видами транспорту, що дозволяє перевозити значні обсяги вантажу за одну поїздку. Така ефективність допомагає оптимізувати логістичні операції, зменшити витрати на транспортування та підвищити загальну продуктивність.

Функціонування причепів у транспортній галузі України не позбавлене проблем. Обмеження інфраструктури, включаючи стан доріг і затори, можуть вплинути на ефективність роботи причепів. Крім того, дотримання транспортних правил, забезпечення безпеки вантажу, підтримання технічного обслуговування та придатності причепів до експлуатації є постійними проблемами.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є дослідження впливу геометричних параметрів елементів днища кузова напівпричіпа вантажного автомобіля на його напружено-деформований стан.

Щоб вирішити цю проблему, використовується комбінація аналітичних, чисельних та експериментальних методів для дослідження напружено-деформованого стану конструкції в кузовах автомобілів.

**Виклад основного матеріалу.** Під час проектування кузовів вантажівок мінімізація ваги має вирішальне значення через її вплив на витрати виробництва, вантажопідйомність і економію палива. Відповідно до концепції зменшення ваги при збереженні необхідної міцності моделюється та аналізується модель кузова зі змінними параметрами елементів днища. САД-моделі кузовів та напружено-деформаційний аналіз швелерів днища напівпричепів виконано за допомогою SolidWorks.

Як правило, нижня частина днища і бортів кузовів вантажних автомобілів виготовляються з використанням швелерних елементів (рис. 1).

Отже, виникає необхідність оптимізації конструкції кузова напівпричіпа вантажного автомобіля з метою підвищення вантажопідйомності, міцності, зниження ваги та продовження терміну експлуатації. Тому надзвичайно актуальним стає проведення оптимізації будови кузова шляхом вивчення різноманітних моделей.

При проектуванні борта кузова необхідно зосередити увагу на розміри швелера, матеріал їх розміщення та кількість, адже дані фактори відіграють значну роль при подальшій експлуатації [1].





Рисунок 1 – Зовнішній вигляд дна кузова напівпричіпа вантажного автомобіля

Джерело: [1]

В досліджуваній моделі використовувалися ребра жорсткості бортів, які виготовлені із матеріалу товщиною  $t=4$  мм, шириною полки  $b=55$  мм, висотою  $h=153$  мм, радіусом скруглення  $R=3,75$  мм та листового покриття дна кузова товщиною  $t=4$  мм. Також в даній модель розміщені косинки під кутом  $\alpha=45^\circ$  з обох боків внутрішньої частини кузова шириною  $b=150$  мм, товщиною  $t=3$  мм.

Для проведення дослідження напружено-деформованого стану (НДС) кузова вантажного автомобіля, засобами системи тривимірного моделювання SolidWorks створено САД - модель кузова з сіткою кінцевих елементів з глобальним розміром 30 мм та допуском 1,5 мм (рис. 2). Прикладена сила на об'єкт складала  $P=200$  кН, матеріал – сталь звичайної якості Ст3пс ГОСТ 380-88.

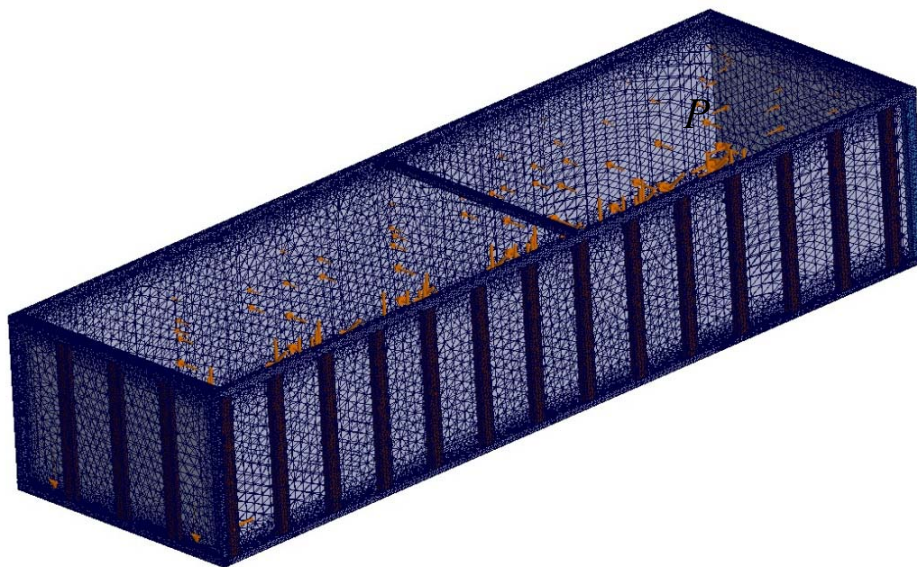


Рисунок 2 – Сітка кінцевих елементів на моделі кузова вантажного автомобіля

Джерело: розроблено автором

Умови закріплення кузова та прикладення зовнішнього навантаження зображено на рис. 2-3.

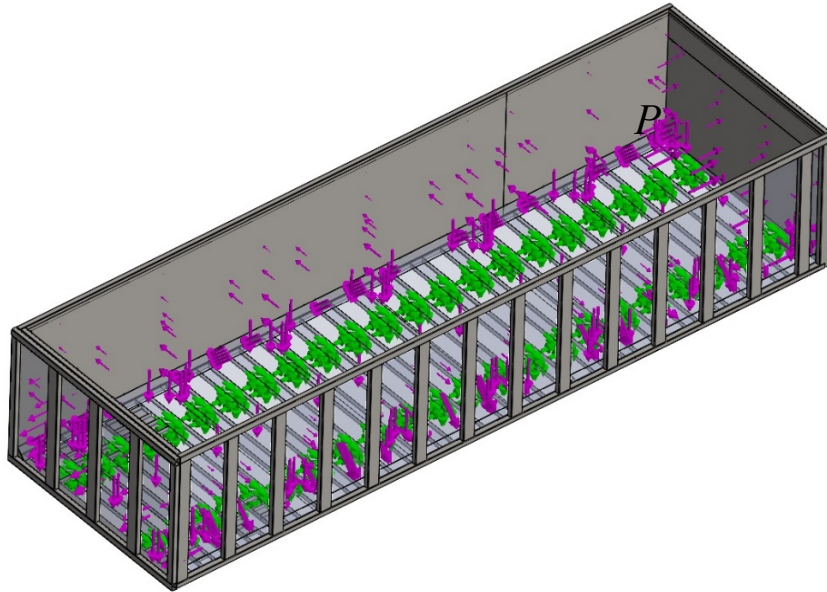


Рисунок 3 – Умови закріплення та прикладення навантаження у CAD - моделі кузова вантажного автомобіля

Джерело: розроблено автором

На рис. 4 зображено розміщення ребер жорсткості на дні та боках кузова вантажного автомобіля (з порядковими номерами від 1 до 23 та від 1 до 15), причому під порядковим номером 1 дна розміщено профільну трубу розміром 60 мм.

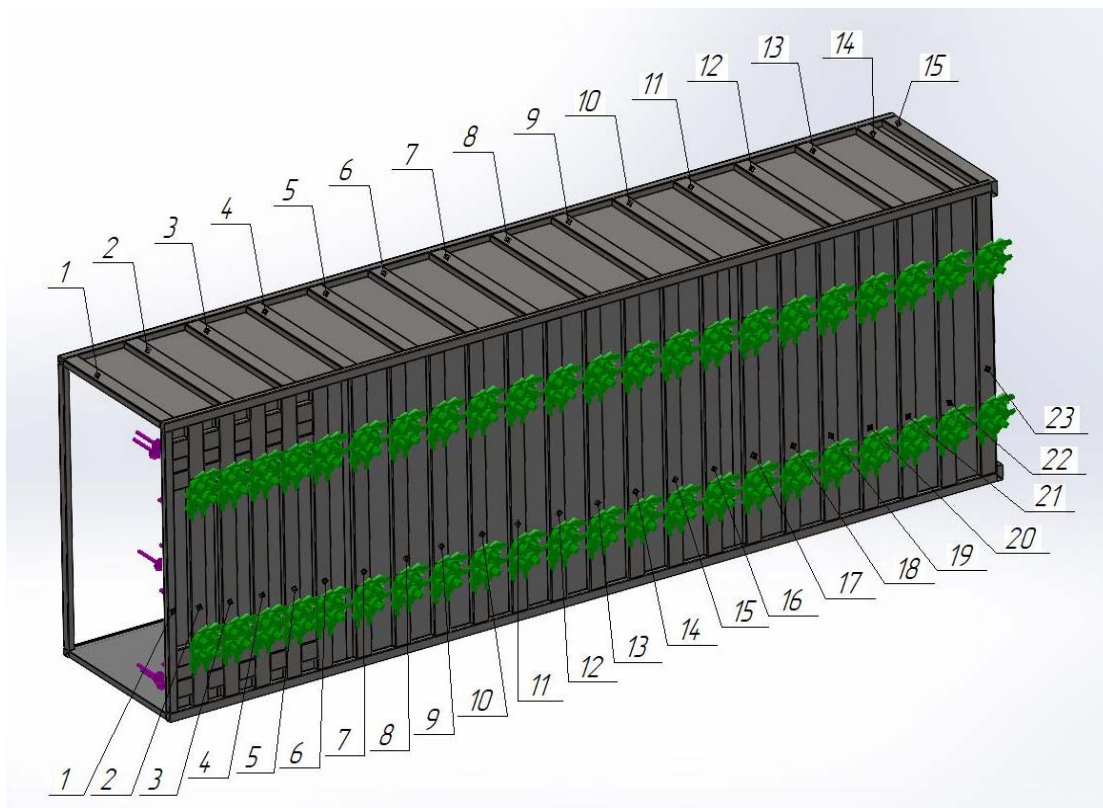


Рисунок 4 – Схема розміщення ребер жорсткості кузові вантажного автомобіля

Джерело: розроблено автором

При дослідженні дна кузова проводилася зміна кількості та місця розташування перемичок.

Отримані результати подано у таблиці 1, 2 на рис. 5-8.

Таблиця 1 – Розрахункові статичні напруження, що діють на ребра жорсткості дна кузова вантажного автомобіля, МПа

К-сть перемичок	Позиція ребра жорсткості дна кузова											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	39,99	184,05	114,03	79,04	72,42	74,82	73,1	63,51	66,9	70,13	58,41	57,19
1	33,47	134,82	71,25	48,66	43,05	42,24	41,07	34,87	35,12	39,57	37,23	36,13
2	27,92	98,67	49,6	43,09	38,7	40,48	37,58	33,86	33,69	33,44	27,19	24,06
3	27,86	95,5	47,71	38,51	34,61	35,37	35,55	32,1	31,97	33,19	28,32	26,07
К-сть перемичок	Позиція ребра жорсткості дна кузова											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
0	61,78	53,08	41,75	37,48	41,32	26,59	22,55	17,24	18,22	27,68	128,28	
1	38,81	34,22	26,3	18,9	17,92	22,49	20,76	17,53	20,14	30,5	104,31	
2	24,63	23,86	19,44	18,16	17,09	13,76	15,41	19,38	21,69	30,54	90,25	
3	26,49	23,58	18,08	15,2	15,35	12,89	16,02	20,57	<b>22,53</b>	32,96	87,86	

Джерело: розроблено автором

Таблиця 2 – Результати дослідження максимальних статичних переміщень ребер жорсткості дна кузова вантажного автомобіля, мм.

К-сть перемичок	Позиція ребра жорсткості дна кузова											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,280	0,260	0,270	0,280	0,290	0,30	0,320	0,330	0,330	0,340	0,330	0,330
1	0,210	0,20	0,210	0,210	0,210	0,210	0,220	0,210	0,210	0,20	0,180	0,170
2	0,180	0,170	0,170	0,170	0,170	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,150	0,150
3	0,180	0,170	0,170	0,170	0,170	0,160	0,160	0,160	0,150	0,150	0,140	0,140
К-сть перемичок	Позиція ребра жорсткості дна кузова											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
0	0,330	0,310	0,310	0,280	0,260	0,220	0,190	0,120	0,090	0,050	0,050	
1	0,160	0,150	0,150	0,150	0,140	0,130	0,110	0,090	0,070	0,050	0,040	
2	0,150	0,140	0,130	0,120	0,110	0,090	0,080	0,070	0,050	0,040	0,040	
3	0,130	0,130	0,120	0,110	0,10	0,090	0,080	0,060	0,050	0,040	0,040	

Джерело: розроблено автором

Таблиця 3 – Розрахункові статичні напруження, що діють на косинку, МПа

К-сть перемичок	Позиція бокових ребер жорсткості														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	23,36	4,49	6,17	8,47	9,44	11,55	12,74	13,16	12,55	13,2	12,66	12,83	9,33	5,36	3,26
1	15,57	3,75	5,88	6,9	5,71	5,81	3	2,82	3,47	6,38	6,44	8,42	6,59	3,48	4,69
2	14,74	2,88	3,35	3,67	2,96	3,84	4,27	4,96	4,05	4,21	5,21	4,92	4,07	3,55	7,82
3	2,75	1,44	2,59	1,35	2,02	1,09	0,93	1,25	2,59	1,29	4,33	1,08	1,61	2,36	0,51

Джерело: розроблено автором

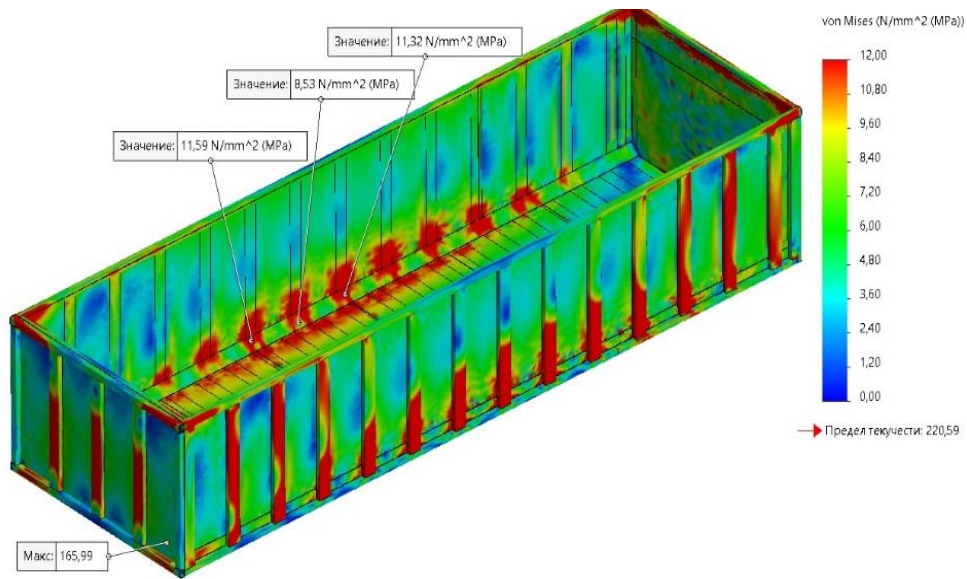


Рисунок 5 – Статичне напруження, що діє на косинку без встановлення перемичок ( $\alpha = 45^\circ, b = 150 \text{ мм}, t = 3 \text{ мм}, \text{МПа}$ )

Джерело: розроблено автором

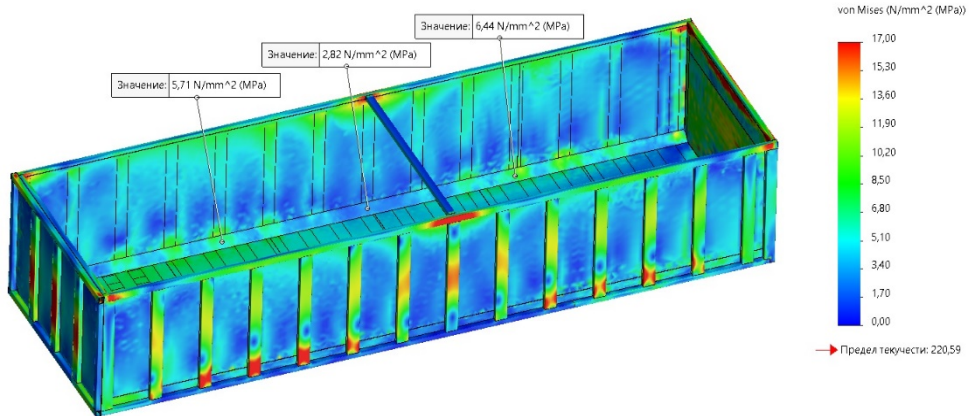


Рисунок 6 – Статичне напруження, що діє на косинку при встановленні 1 перемички ( $\alpha = 45^\circ, b = 150 \text{ мм}, t = 3 \text{ мм}, \text{МПа}$ )

Джерело: розроблено автором

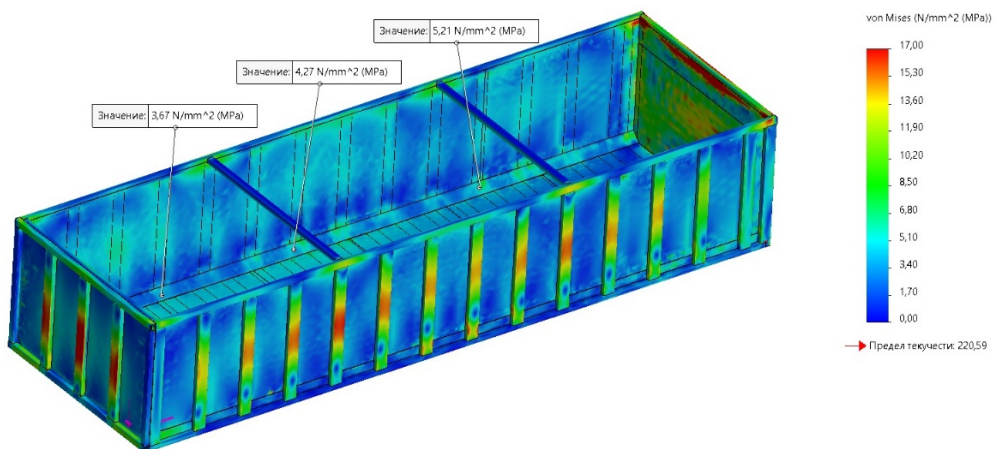


Рисунок 7 – Статичне напруження, що діє на косинку при встановленні 2-х перемичок ( $\alpha = 45^\circ, b = 150 \text{ мм}, t = 3 \text{ мм}, \text{МПа}$ )

Джерело: розроблено автором

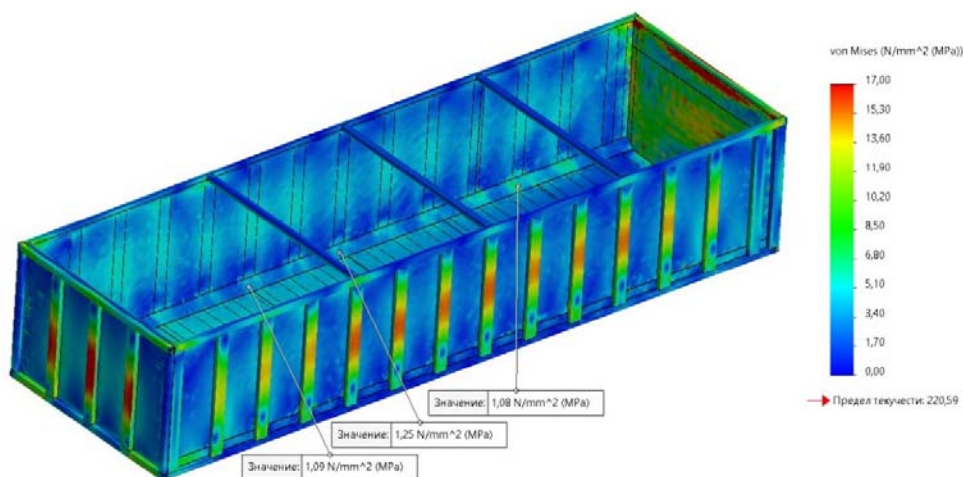


Рисунок 8 – Статичне напруження, що діє на косинку при встановленні 3-х перемичок ( $\alpha = 45^\circ, b = 150$  мм,  $t = 3$  мм, МПа)

Джерело: розроблено автором

На основі отриманих результатів побудовано залежність статичного напруження та переміщення в ребрах жорсткості дна кузова, а також залежність статичного напруження, що виникають на косинках в залежності від кількості та місця розміщення перемичок на кузові кузова (рис. 9-11).

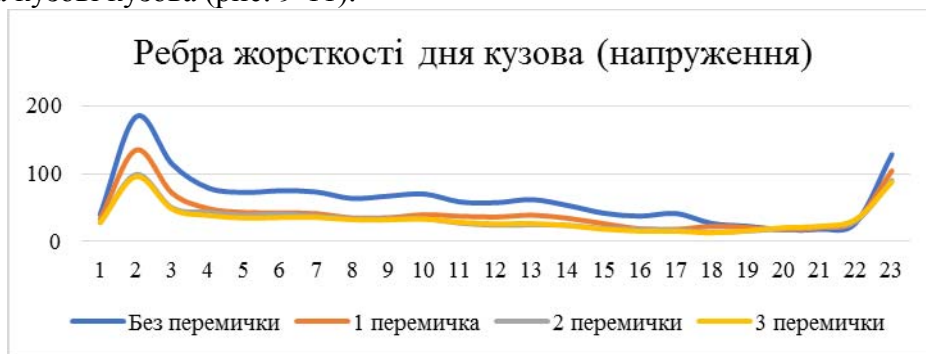


Рисунок 9 – Статичне напруження в ребрах жорсткості дна кузова в залежності від кількості та місця розташування перемичок (ребра жорсткості:  $t_p = 3$  мм,  $t_{л.дн} = 4$ ,  $\sigma_T = 206,8$ ; косинки:  $\alpha = 45^\circ, b = 150$  мм,  $t = 3$  мм, МПа)

Джерело: розроблено автором

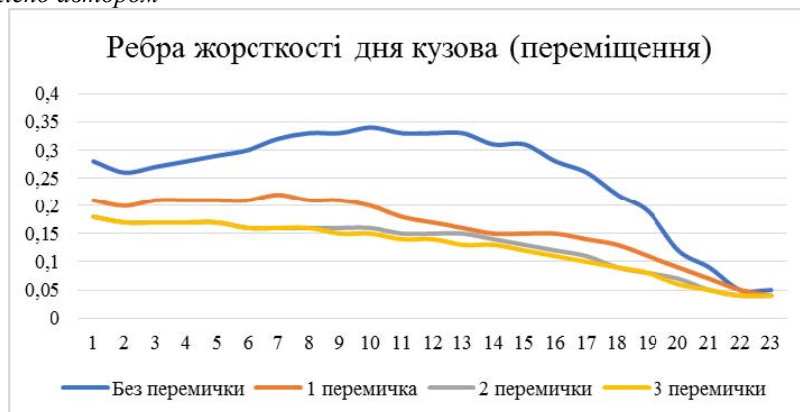


Рисунок 10 – Статичне напруження, що діє на косинку в залежності від кількості та місця розташування перемичок (ребра жорсткості:  $t_p = 3$  мм,  $t_{л.дн} = 4$ ,  $\sigma_T = 206,8$ ; косинки:  $\alpha = 45^\circ, b = 150$  мм,  $t = 3$  мм, мм)

Джерело: розроблено автором

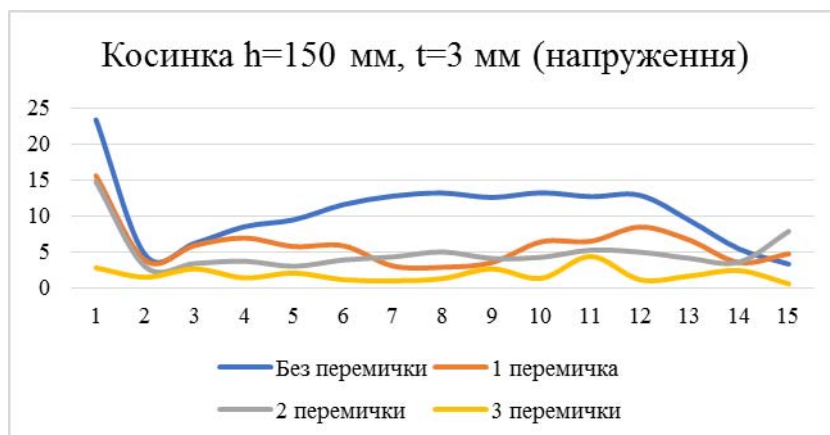


Рисунок 11 – Статичне напруження в ребрах жорсткості дна кузова в залежності від кількості та місця розташування перемичок ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $b = 150$  мм,  $t = 3$  мм, МПа)

Джерело: розроблено автором

**Висновки.** Використовуючи розроблену САД-модель кузова напівпричіпа вантажного автомобіля, аналіз напружено-деформованого стану дає змогу перевірити закономірності розподілу напружень в елементах кузова. Дані дослідження показали залежність рівня напружень та різного виду деформацій елементів кузова в залежності від кількості, а також від розміщення перемичок. Ідентифікацію критичних елементів кузова напівпричіпа з точки зору несучої здатності. Результати, отримані після проведення даних досліджень, служать основою для прийняття інженерних рішень, спрямованих на вдосконалення конструкції кузова вантажного напівпричіпа.

## Список літератури

1. Дослідження напружено-деформованого стану дна кузова напівпричіпа вантажного автомобіля / О.Л. Ляшук, та ін. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал*. 2021. № 1 (24). С 93-103.
2. K Vamshi Krishna, K Yugandhar Reddy, K Venugopal, and K Ravi. Design And Analysis of Truck Body for Increasing the Payload Capacity. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017. 263. 062065.
3. Sankararao Vinjavarapu1, Unnam Koteswararao2, V. Lakshmi Narayana. *Design Optimization of Tipper Truck Body. International Journal of Engineering Research and Development*. 2012, Vol. 4, Issue 9 (November 2012), Pp. 11-20.
4. Структурний синтез кузова напівпричіпа вантажного автомобіля з техніко-економічним обґрунтуванням / Ів.Б. Гевко та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч. II. С. 186-194.
5. Rohan Y Garud, Shahid C Tamboli, Dr. Anand Pandey Structural Analysis of Automotive Chassis. *Design Modification and Optimization International Journal of Applied Engineering Research*, 2018. Vol. 13, Number 11. pp. 9887-9892.
6. V. Raghavendra Prasad Nayak, Ch. Sambaiah . Design and Analysis of Dumped Body. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 2013. Vol. 2, Issue 3 . 2231-6477.
7. Техніко-економічне обґрунтування виготовлення кузова напівпричіпа вантажного автомобіля / Ів.Б. Гевко та ін. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики* : матеріали Міжнар. наук.-практ. кон., 29-30 вересня 2022 р., Тернопіль, 2022. С. 171-172.
8. N. Nagendra Kumar, B. Jithendra, Malaga. Anil Kumar . Optimization of Weight and Stress Reduction of Dump For Automotive Vehicles . *International Journal of Engineering Research and Development*. 2013, Vol. 2, Issue 10 (October 2013), pp.1884 - 1893.
9. Ramacharan C., Prashanth A.S. Design and analysis of Dump Truck Floor Bed . *International Journal of Engineering Research and Development*. 2015, Vol. 3, Issue 06, 2015. Pp. 706-710.



10. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія: підр. Київ: Знання-Прес, 2007. 527с.
11. Буренніков Ю.А., Кашканов А.А., Ребедайло В.М. Рухомий склад автомобільного транспорту: робочі процеси та елементи розрахунку : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ. 2009. С. 267.
12. KUANG-HUA CHANG . Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion . English, 2020.
13. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: навч. посіб. Чернівці: ЧДТУ, 2007. 288 с.

## References

1. Liashuk, O.L., Hevko, I.B., Levkovich, M.H., Vovk, Yu.Ia. Stashkiv, M.Ia. & Kapskyi, D.V. (2021). Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu dna kuzova napivprycheпа vantazhnoho avtomobilia [Research of the stressed-deformed state of the bottom of the truck semi-trailer]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii: naukovyi zhurnal – Scientific bulletin of the Kherson State Maritime Academy: scientific journal*, 1 (24), 93-103 [in Ukrainian].
2. K Vamshi Krishna, K Yugandhar Reddy, K Venugopal, & K Ravi (2017). Design And Analysis of Truck Body for Increasing the Payload Capacity. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 263, 062065 [in English].
3. Sankararao Vinjavarapu<sup>1</sup>, Unnam Koteswararao<sup>2</sup>, V. Lakshmi Narayana. (2012). Design Optimization of Tipper Truck Body. *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 4, Issue 9 (November 2012), pp. 11-20 [in English].
4. Hevko, Iv.B., Rohatynskiy, R.M., Liashuk, O.L. & Levkovich, M.H. (2022). Teslia Strukturnyi syntez kuzova napivprycheпа vantazhnoho avtomobilia z tekhniko-ekonomichnym obgruntuvanniam [Structural synthesis of the truck semi-trailer body with technical and economic justification]. *Zbirnyk naukovykh prats. Tsentralnourainskyi naukovyi visnyk – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue № 5(36), part II*, 186-194 [in Ukrainian].
5. Rohan Y Garud, Shahid C Tamboli, Dr. Anand Pandey (2018). Structural Analysis of Automotive Chassis. *Design Modification and Optimization International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 13, Number 11, pp. 9887-9892 [in English].
6. B. Raghavendra Prasad Nayak, Ch. Sambaiah. (2013). Design and Analysis of Dumped Body. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. Vol. 2, Issue 3, 2231-6477 [in English].
7. Hevko, Iv.B., Rohatynskiy, R.M., Liashuk, O.L., Levkovich, M.H. & Teslia, V.O. (2022). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia vyhotovlennia kuzova napivprycheпа vantazhnoho avtomobilia [Tehniko-ekonomichne obgruntuvannia vyhotovlennia kuzova napivprycheпа vantazhnoho avtomobilia]. Processes, machines and equipment of agro-industrial production: problems of theory and practice: *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (29-30 veresnia 2022, Ternopil) – International Science and Practice Conf.* (pp.171-172) [in Ukrainian].
8. N. Nagendra Kumar, B. Jithendra, Malaga. Anil Kumar . (2013). Optimization of Weight and Stress Reduction of Dump For Automotive Vehicles . *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 2, Issue 10 (October 2013), pp.1884 - 1893 [in English].
9. Ramacharan, C., Prashanth, A.S. (2015). Design and analysis of Dump Truck Floor Bed . *International Journal of Engineering Research and Development*. Vol. 3, Issue 06, 2015. Pp. 706-710 [in English].
10. Ludchenko, O.A. (2007). *Tekhnichna ekspluatatsiia i obsluhovuvannia avtomobiliv. Tekhnolohiia: pidruchnyk [Technical operation and maintenance of cars. Technology]*. Kyiv: Znannia-Pres [in Ukrainian].
11. Buriennikov, Yu.A., Kashkanov, A.A. & Rebedailo, V.M. (2009). *Rukhomyi sklad avtomobilnoho transportu: robochi protsesy ta elementy rozrakhunku [Road transport rolling stock: work processes and calculation elements]* . Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
12. KUANG-HUA CHANG (2020). Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion . English [in English].
13. Dubenets, V.H., Khilchevskiy, V.V. & Savchenko, O.V. (2007). *Osnovy metodu skinchennykh elementiv [Fundamentals of the finite element method]*. Chernihiv: ChDTU [in Ukrainian].

Ivan Hevko, Prof., DSc., Yuriy Pyndus, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Mykhailo Levkovich, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Volodymyr Teslia, PhD tech. sci., Andriy Gupka, PhD tech. sci., Maria Sipravska, assist. Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

### Study of the Stress-Deformation State of the Bottom of the Semi-Trailer Truck Body Depending on the Placement of the Jumpers

The purpose of this article is to study the influence of the geometric parameters of the elements of the bottom of the body of a truck semi-trailer on its stress-strain state.

To solve this problem, a combination of analytical, numerical and experimental methods is used to investigate the stress-strain state of the structure in car bodies.

With help of the stress-strain method, a comprehensive study of the bodies of cargo semi-trailers was carried out, which led to the development of innovative engineering solutions aimed at increasing their technical and economic indicators. This was achieved by analyzing the influence of various factors on the structure and design features. The research results were obtained on the basis of the stress-strain state (SST) using advanced methods of engineering analysis, in particular, using the specialized SolidWorks software complex on a CAD model representing the body of a semi-trailer truck.

The results obtained after conducting these studies serve as the basis for making engineering decisions aimed at improving the design of the truck body.

**truck, semi-trailer, construction, stress-strain state, geometric parameters**

*Одержано (Received) 20.05.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 26.05.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023*