

*М.С. ЯРМАК, В. В. ГЛЕБОВ, А. В. НЕФЬДОВ, Д. Л. ДАШКОВ, Р. В. КАС'ЯН, Є. Я. СЛИВАР*

### **ОЦІНКА ВПЛИВУ РІЗНОМАНІТНИХ ФОРМ РАМНОЇ КОНСТРУКЦІЇ НА ЇЇ МІЦНІСНІ ЯКОСТІ**

У статті поставлено завдання оптимізації рамної конструкції з метою зменшення її власної ваги з урахуванням виявлення фактору руйнування. Пошук рішення здійснюється з використанням еволюційного моделювання, що в свою чергу включає вибір механічної моделі і чисельної моделі. Обчислювальна схема включає такі основні етапи: знаходження на основі оптимального проектування варіанта конструкції, що відповідає вимогам замовника, виконання розрахунків цього об'єкта в статичній постановці в умовах появи локальних пошкоджень, реалізація послідовності еволюційних синтезів конструкції при виконанні розрахунків деформацій пошкоджених систем. За результатами цієї перевірки можуть коригуватися вихідні передумови для розрахунку та повторно виконуватись процедури оптимізації. Розрахунок у статичній постановці реалізується у межах деформаційної теорії пружності з урахуванням впливу зовнішніх навантажень. Це завдання реалізовувалося за допомогою застосування сучасного програмного комплексу ANSYS. Таким чином, проведено порівняння різних варіантів виконання несучих рам колісної техніки. Визначено вплив форм та ваги конструкції на міцність за певних видів навантаження. Показано, що при застосуванні певного типу оптимізації конструкції можливе збільшення міцності конструкції за додаткового зниження її ваги.

**Ключові слова:** ANSYS, рамна конструкція, оптимізація 3D моделі, завдання статички, теорія пружності, оптимізація ваги, міцність конструкції, скінченні елементи

*Н.С. ЯРМАК, В. В. ГЛЕБОВ, А. В. НЕФЬДОВ, Д. Л. ДАШКОВ, Р. В. КАС'ЯН, Е. Я. СЛИВАР*

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ЕЕ ПРОЧНОСТНЫЕ КАЧЕСТВА**

В статье поставлена задача оптимизации рамной конструкции с целью уменьшения ее собственного веса с учетом выявления возникновения фактора разрушения. Поиск решения осуществляется с использованием эволюционного моделирования, что в свою очередь включает в себя выбор механической модели и численной модели. Вычислительная схема включает следующие основные этапы: нахождение на основе оптимального проектирования варианта конструкции, удовлетворяющего требованиям заказчика, выполнение расчетов этого объекта в статической постановке в условиях появления локальных повреждений, реализация последовательности эволюционных синтезов конструкции при выполнении расчетов деформаций поврежденных систем. По результатам этой проверки могут корректироваться исходные предпосылки для расчета и повторно выполняются процедуры оптимизации. Расчет в статической постановке реализуется в рамках деформационной теории упругости с учетом влияния внешних нагрузок. Данная задача реализовывалась с помощью применения современного программного комплекса ANSYS. Таким образом, проведено сравнение различных вариантов исполнения несущих рам колесной техники. Определено влияние форм и веса конструкции на прочность при определенных видах нагружения. Показано, что при применении определенного типа оптимизации конструкции возможно увеличение прочности конструкции при дополнительном снижении ее веса.

**Ключевые слова:** ANSYS, рамная конструкция, оптимизация 3D модели, задача статички, теория упругости, оптимизация веса, прочность конструкции, конечные элементы

*N. YARMAK, V. GLIEBOV, A. NEFODOV, D. DASHKOV, R. KASYAN, E. SLYVAR*

### **ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT FORMS OF FRAME STRUCTURE FOR ITS STRENGTH**

The article sets the task of optimizing the frame structure in order to reduce its own weight, taking into account the identification of the occurrence of a destruction factor. The search for a solution is carried out using evolutionary modeling, which in turn includes the choice of a mechanical model and a numerical model. The computational scheme includes the following main stages: finding, on the basis of optimal design, a design option that meets the requirements of the customer, performing calculations of this object in a static formulation under conditions of local damage, implementing a sequence of evolutionary syntheses of the structure when performing calculations of deformations of damaged systems. Based on the results of this check, the initial assumptions for the calculation can be corrected and the optimization procedures can be repeated. The calculation in a static setting is implemented within the framework of the deformation theory of elasticity, taking into account the influence of external loads. This task was implemented using the modern ANSYS software package. Thus, a comparison was made of various versions of the load-bearing frames of wheeled vehicles. The influence of the shape and weight of the structure on the strength under certain types of loading is determined. It is shown that when applying a certain type of design optimization, it is possible to increase the strength of the structure with an additional reduction in its weight.

**Keywords:** ANSYS, frame structure, 3D model optimization, static problem, elasticity theory, weight optimization, structural strength, finite elements

**Огляд.** На теперішній час задача високоточного визначення тривимірного статичного або динамічного напружено-деформованого стану (НДС) систем у загальному випадку може бути вирішена виключно на основі використання чисельних методів та прикладного програмного забезпечення [1–3]. Визначальними факторами забезпечення коректності відповідного моделювання є вибір механічної моделі (тобто розрахункової схеми) і чисельної моделі (тобто чисельного методу розв'язання відповідної математичної задачі та способу програмно-алгоритмічної реалізації), рівень потужності використовуваних ЕОМ є дещо менш значущим.

Взагалі-то більшість робіт [1–23] носить

індивідуальний характер, а саме застосування комплексу програм та його можливостей до конкретної задачі. Наприклад, у роботі [1], була проведена оптимізація коромисла з використанням модуля оптимізації поверхневого відгуку та багатокритеріального генетичного алгоритму в ANSYS Workbench. У роботі [2] обговорюються напруження та деформації стосовно виявлення режимів відмови за допомогою застосування модального аналізу, шляхом порівняльного дослідження різних рам скутерів. Робота [7] показує вплив вібрацій у рамі за

© М.С. Ярмак, В. В. Глебов, А. В. Нефьодов,  
Д. Л. Дашков, Р. В. Кас'ян, Є. Я. Слива, 2022

нестабільної роботи силосного модуля, де модальний аналіз рамної конструкції виконаний також за допомогою комплексу ANSYS. Тут шляхом аналізу внутрішнього взаємозв'язку між модою та вібрацією рами силосного модуля показано, як мода певного порядку рами силосного модуля резонує з частотою дорожнього покриття. І це не кажучи про те, що у кожній із робіт [22] можлива додаткова оптимізація по роботі з самим програмним комплексом (вибір вирішувача, типу скінченно-елементної сітки, типу контакту тощо).

Тому, проаналізувавши супутню технічну літературу, можна стверджувати, що немає універсального методу чи підходу до вирішення всіх завдань. Наприклад, при виведенні/перегляді у постпроцесорі стандартного результату розрахунку, а саме переміщень у вертикальній площині в точках конструкції, можна самостійно, спираючись на знання механіки, визначити неплоскостність самої конструкції. Що у свою чергу може виявитися дуже важливим результатом залежно від рішення, що висувається до завдання.

Грунтуючись на вище сказаному та зважаючи на специфіку поставленого завдання, нашої моделі та область її застосування, побудуємо власний робочий процес.

*Метою роботи* є розробка, дослідження, апробація та верифікація методики чисельного моделювання поведінки тривимірних систем на основі рамних конструкцій під дією статичних навантажень.

Спробуємо представити процедуру оптимізації габаритно-вагових характеристик рамної конструкції на основі скінченно-елементного формулювання, виконаного програмним комплексом ANSYS [15,22]. Розширене твердотільне моделювання у програмному забезпеченні ідеально підходить для перевірки працездатності конструкції загалом.

У цій статті показано, що метод скінченних елементів (МСЕ) допомагає розробнику оцінити вплив компонентів на загальну продуктивність системи, підвищити точність моделювання і таким чином наблизити його до проектування на рівні системи.

Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

1. Виконати оглядово-аналітичне дослідження сучасних постановок, чисельних методів та комплексів програм для розрахунків рам при статичних впливах.

2. Розробити методику чисельного моделювання поведінки рамних конструкцій за статичних впливів.

3. Реалізувати розроблену методику у доступному програмному комплексі чисельного моделювання задач механіки.

4. Верифікувати параметри розробленої методики на представницькому наборі модельних завдань.

5. За підсумками аналізу результатів розрахунку розробити рекомендації для реальної системи.

**Основна частина.** Одним з найважливіших завдань машинобудування є оцінка міцності несучої конструкції [23]. При проектуванні будь-якої конструкції, що працює як окрема деталь або у складі деталей, призначеної для сприйняття великих навантажень, або яка працює у досить складних умовах, уже на ранньому етапі, виникає питання про її

міцнісні якості.

Візьмемо, наприклад, конструкцію рамного типу. Найбільш навантаженими елементами є місце прикладення навантаження і несучі елементи рами. При необхідності підвищити вантажопідйомність такої конструкції посиленню, як правило, підлягають несучі елементи, що закономірно призводить до збільшення маси всієї конструкції. Для випадку машин високої прохідності такий підхід також означає збільшення питомого тиску на ґрунт і, як наслідок, зниження прохідності. Крім того, підвищення маси негативно позначається на паливно-економічних характеристиках машини, а також збільшує її собівартість.

У даній роботі розглянуто можливість збільшення несучої здатності рамної конструкції при одночасному зниженні її ваги шляхом застосування листової обв'язки рамної конструкції.

Розглянемо два варіанти виконання рами:

Варіант 1. Рама як «відкритий контур».

Варіант 2. Рама як «закритий контур».

Під час дослідження оцінювалася можливість зменшення напружено-деформованого стану рами за рахунок конструктивних можливостей самої рами.

Розрахункові 3D моделі наведено на рис. 1-4. Навантаження, що діють на раму, наведено у табл. 1.

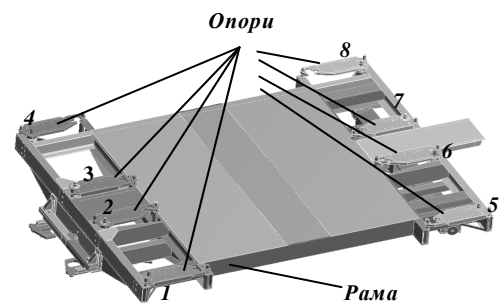


Рисунок 1 – Розрахункова 3D модель (варіант 1, вид 1)

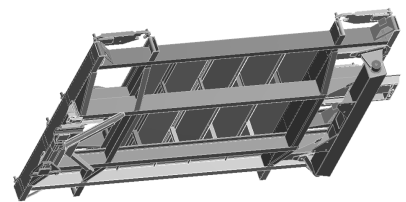


Рисунок 2 – Розрахункова 3D модель (варіант 1, вид 2)

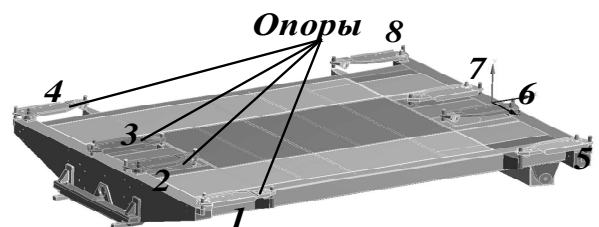


Рисунок 3 – Розрахункова 3D модель (варіант 2, вид 1)

Схеми навантаження рами (див. рис. 1, 3):

- схема 1, несиметрична (4 опори – 1, 2, 5, 6),
- схема 2, симетрична (8 опор – 1...8).

Вага рами: варіант 1,  $m \cong 1500$  кг, варіант 2,  $m \cong 1450$  кг.

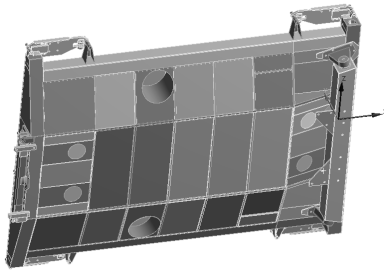


Рисунок 4 - Розрахункова 3D модель (варіант 2, вид 2)

Таблиця 1 - Значення зусиль, що діють на одну опору, кг

Місце навантаження (опори)	$R_x$	$R_y$	$R_z$
1...4	2570	-6960	$\pm 2100$
5...8	-	-2770	$\pm 640$

Для рішення задачі використовуємо можливості програмного комплексу ANSYS [22]. У програмі ANSYS використовуються три ітеративні алгоритми: високоефективний алгоритм PowerSolver на основі методу обумовлених сполучених градієнтів (PCG), алгоритм на основі методу сполучених градієнтів Якобі (JCG) та реалізація методу частково сполучених градієнтів Чолески (ICCG).

Вирішувач PowerSolver винятково точний і надійний, має «розпізнавач» скінченних елементів. Це єдиний ітеративний вирішувач, який може впоратися із оболонковими елементами та рівняннями-обмеженнями. Він дає можливість проводити аналіз складних завдань, використовуючи настільні робочі станції, при цьому для великих завдань забезпечується на порядок швидше вирішення та велика економія дискової пам'яті. Модуль PowerSolver дозволяє робити вибір між двома типами скінченних елементів з різною технологією обчислень – вибір між так званими  $h$ -елементами та  $p$ -елементами. Розглянемо можливості програми під час використання  $p$ -елементів.

Збіжність рішення контролюється користувачем і визначається за чотирма незалежними критеріями: загальної енергії деформацій, локальних переміщень, напружень та деформацій [22, 23].

Для вирішувача PowerSolver  $p$ -елементи є цілком прийнятними і дозволяють швидко отримати рішення для складних завдань при мінімальних витратах дискового простору. Це робить використання  $p$ -елементів дуже привабливою альтернативою  $h$ -елементам при лінійному пружному аналізі.

Застосуємо цей тип вирішувача для вирішення задачі оптимізації існуючої конструкції.

**Аналіз результатів.** Можливості пакета ANSYS пропонують великий вибір типу аналізу вихідних даних для подальшої обробки та застосування результатів розрахунку.

У цьому завданні ми застосували стаціонарний аналіз Static. Використовується для вирішення всіх

типів завдань (механіки твердого тіла, що деформується, механіки рідини і газу, термічного аналізу і т.д.). Програма ANSYS забезпечує користувача вичерпним набором твердотільних та оболонкових елементів для проведення пружного аналізу міцності в лінійній постановці.

Внаслідок чого ми отримуємо залежність характеристик НДС при дії статично доданого навантаження.

Зважаючи на те, що наше завдання полягає у визначенні впливу форми конструкції на її міцність, оцінку проведемо за отриманим рівнем напружень, виявленим у найбільш відповідальних місцях. Марка сталі приймалася – constant.

Результат виведення рівня деформацій і поля переміщення у вертикальній площині показав, що дані величини в обох випадках знаходяться в межах, що допускаються і є достатніми для конструкції в цілому [23]. Результати розрахунку напружено-деформованого стану рами наведено на рис. 5–12, а також наведені у табл. 2.

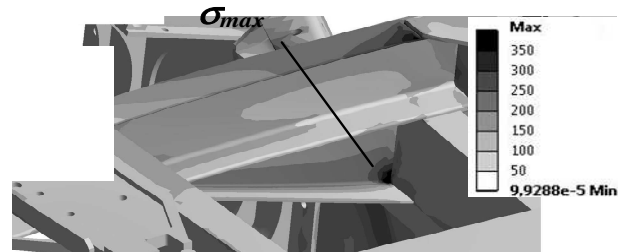


Рисунок 5 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 1, схема 1 (вид 1)), МПа

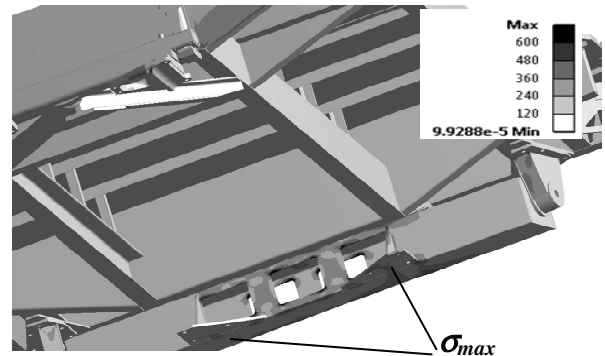


Рисунок 6 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 1, схема 1 (вид 2)), МПа

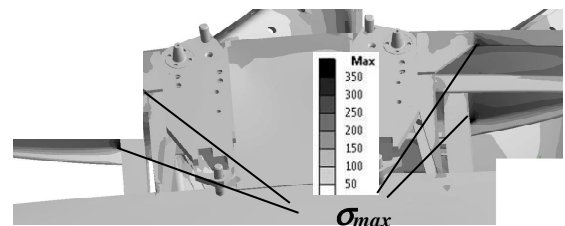


Рисунок 7 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 1, схема 2 (вид 1)), МПа

У конструкції «відкритий контур» значна частина рами є ненавантаженою. Усі звичайні

методи посилення рами значною мірою збільшували її вагу. У конструкції «закритий контур», за рахунок застосування обв'язки листами металу, навантаження розподіляється більш рівномірно по всій рамі, завдяки чому в роботі задіяні всі її елементи. При цьому варіант 2 має меншу масу.

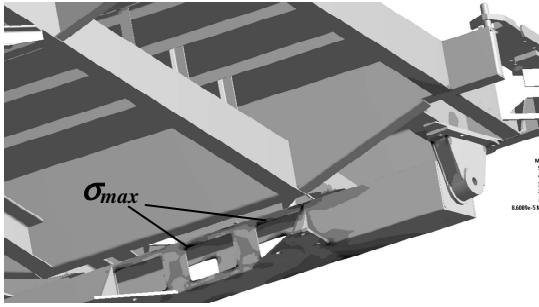


Рисунок 8 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 1, схема 2 (вид 2)), МПа

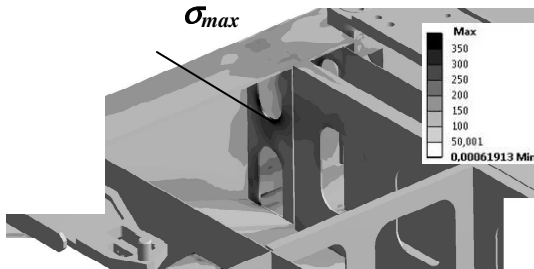


Рисунок 9 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 2, схема 1 (вид 1)), МПа

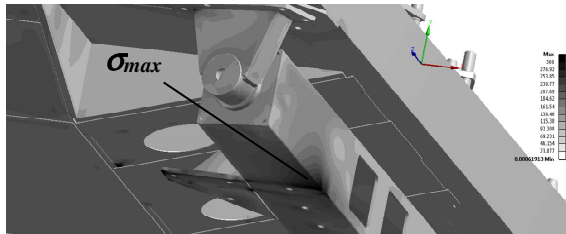


Рисунок 10 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 2, схема 1 (вид 2)), МПа

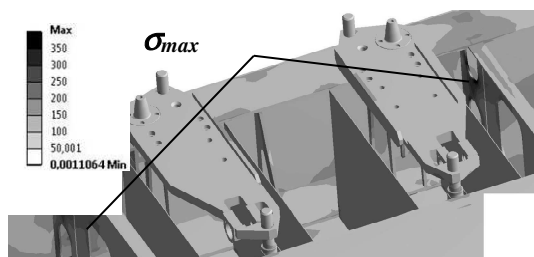


Рисунок 11 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 2, схема 2 (вид 1)), МПа

Таблиця 2 - Результати розрахунку

Варіанти навантаження	Величина еквівалентних напружень, $\sigma_{max}$ , МПа	
Варіант 1	Схема 1	300...600
	Схема 2	300...500
Варіант 2	Схема 1	140...400
	Схема 2	180...400

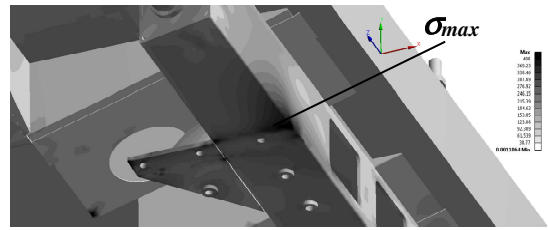


Рисунок 12 - Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі (варіант 2, схема 2 (вид 2)), МПа

**Висновки.** Застосування даного пакета до вирішення сформованої задачі дозволило значною мірою заощадити необхідний робочий час, а також більш точно вирішити поставлене завдання стосовно звичайного «ручного» математичного методу. Порівняння варіантів виконання рами показало, що застосування рами типу «закритий контур» при її зменшеній масі на 3% дозволило знизити рівень напруження в 1,5 рази при навантаженні за схемою 1 і в 1,25 рази - при навантаженні за схемою 2.

#### Список літератури

1. Weihua Wei, Jicheng Shen, Haipeng Yu, Bingrui Chen and Yu Wei. *Optimization Design of the Lower Rocker Arm of a Vertical Roller Mill Based on ANSYS Workbench*. 2021.
2. Balaguru, S., Natarajan, E., Ramesh, S., Muthuvijayan, B. *Structural and modal Analysis of Scooter Frame for Design Improvement*. mater. Today Proc. 2019, 16.
3. Jiang Feng Shen, Yu Jing He, Yong Chang Yu. *Frame Strength and Stiffness Analysis Based on ANSYS*. 2015.
4. Liu Lingzhi, Huang Zhiyong. Anal vsis on Intensity and Stiffness of Frame Based on ANSYS[J]. *Journal of Shuzhou College*, 2008, 23(3).
5. Li Xiya, Li Chenggang, Hu Yujin. General Conditions of the Frame Finite Element Analysis Technic [J]. *Special Purpose Vehicle*, 2001(1).
6. Huang Guidong, Shen Guanglie, Huang Changchun. Improvement on the finite element analytical model of automobile frame [J]. *Journal of Macine Design*, 2007, 24(12).
7. Wang Wei, Xin Yong. Finite element modeling and analysis for the modals of vehicle's frame [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2009(11).
8. Wang Qingchun. *Structure Improvement and FEM Analysis for the Frame of CDW3100 Dump Truck[D]*. Chong Qing university.
9. Shang Guan Yunfei, Wang Lirong, Liu Mingqiang. Finite Element Analysis and Optimization of the Frame Strength in a Semi-trailing Tractor [J]. *Modern Manufacturing Technology and Equipment*, 2007(6).
10. Huang Dingjian. Finite element model and dynamic characteristics analysis for a light duty truck frame [J]. *Journal of Fujian University of Technology*, 2008, 6(z1).
11. Su Yuzhen, Li Cheng, Jia Hongyu. Finite element analysis of the automobile frame [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2009(8).
12. Gao Shenbing, Gao Weiming, Zhang Qilin, Shen Zuyan. Research on the Measures for enhancing the Torsional Rigidity of SANTA – 2000 BIW *Automotive Engineering* 1996 (Vol. 18) no. 2, pp. 72-76.
13. Huang Tian-ze, Huang Jin-ling. *Automotive body structure design*. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006. (In Chinese).
14. Chen Xin, Yu Xue, Lin song. Calculation of Static Stiffness of Car Body Analysis of Vertical Bending and Optimization *Stiffness Automobile Technology* 2004, 1:15-1.
15. Wei Hong-ge, Tan Ji-jin, Ruan Ren-yu, Xu Jian-zhong. Study on Stiffness of Minibus BIW Based on FEM Analysis and Test. *Journal Of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)* 2011. 2:147-157.
16. Huang Zong-bin, Li Jiang-liu, Cheng Dan, et al. Study on stiffness improplement of minibus body. *Tractor & Farm Transporter*, 2008, 35(5):34-35.

17. *The Editorial Board of Engineering Manual. Automotive engineering manual (Experimental paper)*. Beijing: China Communications Press, 2001. (In Chinese).
  18. Tan Ji-jin, Zhang Dai-sheng. *Finite Element Analysis on Structure of Automobile*. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
  19. Gui Liang-jin, Fan Zi-jie, Zhou Chang-lu, et al. Study on stiffness of Chang'an Star minibus white body. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2004, 40(9):195-198.
  20. Beevers A, Steidler S M, Durodola J, et al. Analysis of stiffness of adhesive joints in cat bodies. *Journal of Material Processing Technology*, 2001, 118(1):95-100.
  21. Huang zong-bin, li jiang-liu, cheng dan, et al. Study on stiffness improvement of minicar body. *Tractor & farm transporter*, 2008, 35(5):34-35. (in Chinese).
  22. Tadeusz Stolarski, Y. Nakasone, S. Yoshimoto. *Engineering Analysis with ANSYS Software 2nd Edition - January 2*, 2018.
  23. Писаренко Г. С. и др. *Сопроотивление материалов*. Киев. Вища школа, 1986. 775с.
- References (transliterated)**
1. Weihua Wei, Jicheng Shen, Haipeng Yu, Bingrui Chen and Yu Wei. *Optimization Design of the Lower Rocker Arm of a Vertical Roller Mill Based on ANSYS Workbench*. 2021.
  2. Balaguru, S., Natarajan, E., Ramesh, S., Muthuvijayan, B. *Structural and modal Analysis of Scooter Frame for Design Improvement*. mater. Today Proc. 2019, 16.
  3. Jiang Feng Shen, Yu Jing He, Yong Chang Yu. *Frame Strength and Stiffness Analysis Based on ANSYS*. 2015.
  4. Liu Lingzhi, Huang Zhiyong. Anal vsis on Intensiv and Stiffness of Frame Based on ANSYS[J]. *Journal of Shuzhou College*, 2008, 23(3).
  5. Li Xiya, Li Chenggang, Hu Yujin. General Conditions of the Frame Finite Element Analysis Technic [J]. *Special Purpose Vehicle*, 2001(1).
  6. Huang Guidong, Shen Guanglie, Huang Changchun. Improvement on the finite element analytical model of automobile frame [J]. *Journal of Macine Design*, 2007, 24(12).
  7. Wang Wei, Xin Yong. Finite element modeling and analysis for the modals of vehicle's frame [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2009(11).
  8. Wang Qingchun. *Structure Improvement and FEM Analysis for the Frame of CDW3100 Dump Truck[D]*. Chong Qing university.
  9. Shang Guan Yunfei, Wang Lirong, Liu Mingqiang. Fillite Element Analysis and Optimization of the Frame Strength in a Semi-trailing Tractor [J]. *Modern Manufacturing Technology and Equipment*, 2007(6).
  10. Huang Dingjian. Finite element model and dynamic characteristics analysis for a light duty truck frame [J]. *Journal of Fujian University of Technology*, 2008, 6(z1).
  11. Su Yuzhen, Li Cheng, Jia Hongyu. Finite element analysis of the automobile frame [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2009(8).
  12. Gao Shenbing, Gao Weiming, Zhang Qilin, Shen Zuyan. Research on the Measures for enhancing the Torsional Rigidity of SANTA – 2000 BIW *Automotive Engineering* 1996 (Vol. 18) No2: 72-76.
  13. Huang Tian-ze, Huang Jin-ling. *Automotive body structure design*. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006. (In Chinese).
  14. Chen Xin, Yu Xue, Lin song. Calculation of Static Stiffness of Car Body Analysis of Vertical Bending and Optimization Stiffness *Automobile Technology* 2004, 1:15-1.
  15. Wei Hong-ge, Tan Ji-jin, Ruan Ren-yu, Xu Jian-zhong. Study on Stiffness of Minibus BIW Based on FEM Analysis and Test. *Journal Of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)* 2011. 2:147-157.
  16. Huang Zong-bin, Li Jiang-liu, Cheng Dan, et al. Study on stiffness improblement of minibus body. *Tractor & Farm Transporter*, 2008, 35(5):34-35.
  17. *The Editorial Board of Engineering Manual. Automotive engineering manual (Experimental paper)*. Beijing: China Communications Press, 2001. (In Chinese).
  18. Tan Ji-jin, Zhang Dai-sheng. *Finite Element Analysis on Structure of Automobile*. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
  19. Gui Liang-jin, Fan Zi-jie, Zhou Chang-lu, et al. Study on stiffness of Chang'an Star minibus white body. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2004, 40(9):195-198.
  20. Beevers A, Steidler S M, Durodola J, et al. Analysis of stiffness of adhesive joints in cat bodies. *Journal of Material Processing Technology*, 2001, 118(1):95-100.
  21. Huang zong-bin, li jiang-liu, cheng dan, et al. Study on stiffness improvement of minicar body. *Tractor & farm transporter*, 2008, 35(5):34-35. (in Chinese).
  22. Tadeusz Stolarski, Y. Nakasone, S. Yoshimoto. *Engineering Analysis with ANSYS Software 2nd Edition - January 2*, 2018.
  23. Pisarenko G. S. i dr. *Soprotivleniye materialov*. Kiyev: Vishcha shkola, 1986. 775 p.

Надійшла (received) 15.02.2022

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Ярмак Микола Сергійович (Ярмак Николай Сергеевич, Yarmak Mykola)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри «Інформаційні технології і системи колісних та гусеничних машин ім. О. О. Морозова», м. Харків, Україна; тел. 707-63-55, e-mail: iarmak.n@ukr.net

**Глебов Василь Васильович (Глебов Василий Васильевич, Gliebov Vasyil)** – доктор технічних наук, Державне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування імені О.О. Морозова», головний конструктор підприємства з нової техніки та науки, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5242-8138>, тел.: (057) 757-41-58, e-mail: admin@morozov.com.ua

**Нефьодов Анатолій Валерійович (Нефедов Анатолий Валерьевич, Nefodov Anatolii)** – кандидат технічних наук, Державне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування імені О.О. Морозова», начальник сектору, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0785-2815>, тел.: (057) 757-41-74, e-mail: admin@morozov.com.ua

**Дашков Дмитро Леонідович (Дашков Дмитрий Леонидович, Dashkov Dmytro)** - Державне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування імені О.О. Морозова», провідний інженер-конструктор, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1061-798X>, тел.: (057) 757-41-74 e-mail: admin@morozov.com.ua

**Кас'ян Роман Валерійович (Касьян Роман Валерьевич, Kasyan Roman)** - Державне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування імені О.О. Морозова», начальник сектору, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7634-9557>, тел.: (057) 751-41-51, e-mail: admin@morozov.com.ua

**Сливар Євген Ярославович (Сливар Евгений Ярославович, Slyvar Evgen)** - Державне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування імені О.О. Морозова», начальник сектору, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9619-437X>, тел.: (057) 751-41-51, e-mail: admin@morozov.com.ua