

Hudz S.A., Godun T.M., Dariienko V.V.

REFINEMENT OF GEOMETRICAL PROPERTIES OF OPEN THIN-WALLED CROSS-SECTIONS

The paper deals with the issue of refinement of geometrical properties of open thin-walled cross-sections of steel beams under the action of an eccentrically applied load, which leads to torsion. In this case, the supporting elements are in conditions of complex spatial operation of the frame system. Attention is paid to the need to take into account the real structural features of the cross-sections that affect the distribution of stresses and strains during operation. The influence of rounding at the junction of the flange to the web of rolled open profiles, which leads to a significant increase in the torsion constant, is investigated.

A refined approach to the determination of the warping constant is proposed, which takes into account not only the geometric parameters of the cross-section but also the stiffness characteristics of the attached structural elements. This makes it possible to more accurately model the operating conditions of a beam as part of a spatial system, in particular, when it is rigidly detached from the bending plane. The refinement of these properties avoids significant errors in the determination of normal stresses in the cross-section, which in turn affects the overall spatial stability and operational reliability of the structure.

The use of refined properties ensures a uniform distribution of stresses, more rational use of material strength and avoidance of local overloads, which is critical for thin-walled elements. Taking these factors into account improves the accuracy of calculations, reduces the material consumption of structures, improves technical and economic performance, and ensures the durability of the designed objects. The calculations that use these geometric characteristics include the conventional calculation of beams for general stability and an alternative calculation based on the second-order theory; calculation for the combined effect of transverse bending (in one or two planes) and torsion due to eccentricity of load application; calculation of beams with damage and distortion.

Keywords: geometrical properties, open cross-sections, bending, torsion.

Стаття надійшла 06.05.2025 р.

УДК 621.867.2

doi.org/10.31498/2522-9990292025330264

Нефьодов І.О., Лаврик В.П., Суглобов В.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ФРОНТАЛЬНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ

Досліджено умови експлуатації навантажувачів в морських портах та виникаючі при цьому пошкодження вантажопідійомників. Розроблено твердотільні моделі для дослідження напружено-деформованого стану металоконструкції вантажопідійомника автонавантажувачів методом кінцевих елементів, які дозволили виявити найбільш навантажені ділянки - опора направляючого ролика, бічний лист внутрішньої рами, напрямний ролик.

Запропоновано використання пружних амортизаторів, які крім амортизації динамічних навантажень забезпечують демпфування коливань за рахунок внутрішнього тертя пружних матеріалів. Надано рекомендації щодо вибору матеріалів пружних амортизаторів для балансирних візків з урахуванням їхньої амортизуючої та демпфуючої здібностей.

Ключові слова: автонавантажувачі, вантажопідійомник, амортизуючи та демпфуючої здібності, матеріали пружних амортизаторів.

Постановка проблеми. В останні роки, у зв'язку зі збільшенням маси перевантажуваних вантажів у морських портах спостерігаються різке збільшення поломок фронтальних автонавантажувачів протягом малого періоду експлуатації. Проблема вирішується шляхом проведення аварійних та поточних ремонтів, проте це не дозволяє продовжити термін експлуатації навантажувача на тривалий період.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових публікацій [1,2] свідчить, що цій проблемі приділяється багато уваги, однак недостатньо вивченими є взаємодія сил, що діють на навантажувачі при різних режимах його експлуатації.

Найбільш інтенсивне використання навантажувачів спостерігається при вантажно-розвантажувальних роботах у портах для перевантаження та складування штучних вантажів (сляби, рулони, контейнери і т.д.). Широке застосування отримали навантажувачі зарубіжних фірм: "Тойота" (Японія), "Валмет" (Фінляндія), Сісу (Фінляндія), "Кальмар" (Фінляндія), "SMV" (Швеція), та інших.

Мета дослідження. Дослідження умов експлуатації навантажувачів і причин виходу з ладу вантажопідійомника, розробка заходів з підвищення надійності та довговічності, забезпечення працездатності в реальних умовах експлуатації. Розробка 3D моделей, які дозволяють методом кінцевих елементів дослідити напружено-деформований стан металоконструкції вантажопідійомника, розподіл напружень у закритих частинах металоконструкцій, надати кількісну оцінку напружень у конструкції.

Основний матеріал дослідження. Експлуатація навантажувачів відбувається при великих перепадах температур, в умовах підвищеної вологості, запиленості, в агресивних середовищах і режимах динамічних перевантажень, які проявляються при транспортуванні з непостійною швидкістю руху, різких розворотах і поворотах з вантажем, передачі вантажу з вил на вила навантажувача, у разі подолання перешкод у процесі руху.

Обстеження навантажувачів з різним терміном експлуатації виявило такі несправності вантажопідійомного механізму: зношування робочих поверхонь зовнішньої або внутрішньої рами; кольори побіжалості поверхонь катання роликів і катків рам і кареток; поломка вила навантажувача; тріщини у металоконструкції рам, вили навантажувача, плити каретки; зріз опор ковзанок рами, кріпильних елементів; вигін зовнішньої або внутрішньої рами; обрив на зварюванні металоконструкції рам, місць зварювання опори катка та бічних листів рами; вм'ятини на металоконструкціях рам; заклинювання, заїдання у гідроциліндрах вантажопідійомника, роликах та котках рам; перетирання у блоках, ланцюгах.

На підставі проведеного аналізу пошкоджень навантажувачів з різним терміном експлуатації виявлено, що найбільш часто зустрічаються дефекти, якими є тріщини у рухомої і нерухомої рами в області з'єднання бічного листа з опорами направляючих котків.

Виявлені тріщини розташовані у зварних швах та зоні сплавлення профілю рами, у зварних швах кронштейна стійок гідроциліндрів та опор напрямних котків. Ремонт у вигляді механічної обробки та повторного зварювання не вирішує проблеми довговічності роботи вузлів.

Аналіз типів підійомно-транспортних машин і механізмів, застосовуваних при вантажно-розвантажувальних роботах у морських портах показав, що машини безрейкового транспорту напільного типу отримали найбільшого поширення, тому що володіють універсальністю, внаслідок можливості застосування широкої номенклатури швидко замінюваних вантажозахоплювальних пристроїв у поєднанні з мобільністю, автономністю приводу і відсутності прив'язки до певного місця. На рисунку 1 показаний один з варіантів автонавантажувача з вантажопідійомником дворадної конструкції



Рисунок 1 – Фронтальний автотранспортер з вантажопідіймником дворами конструкції

Більшість методів проектування і конструктивних рішень не враховують специфіку експлуатації навантажувачів в умовах технологічних ліній морських портів і ряд режимів навантаження (залізничні переїзди; нерівності шляху пересування як на причалі, так і в трюмі судна; наявність поодиноких перешкод), які призводять до зниження їхньої довговічності.

Для вирішення завдань щодо підтримки працездатності та підвищення довговічності автотранспортерів необхідні конкретні дослідження, такі як:

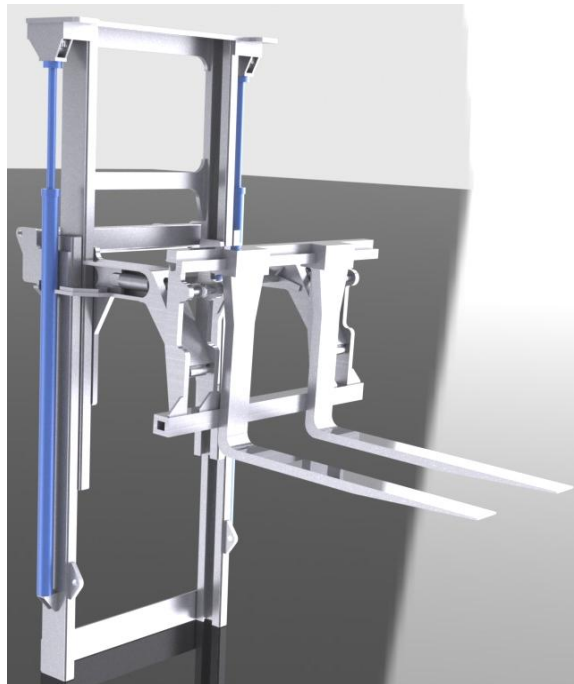
- визначення навантажень на несучу систему автотранспортера;
- оцінка жорстких характеристик автотранспортера та їх впливу на власні динамічні характеристики навантажувача [3];
- оцінка величини допустимих експлуатаційних швидкостей машини.

При цьому, проектування нових навантажувачів з метою зниження динамічних навантажень, необхідно вести з використанням математичних моделей формування зовнішніх навантажень, які базуються на режимах навантаження основних силових елементів при русі по нерівності шляху і при фронтальному наїзді на перешкоду [4,5].

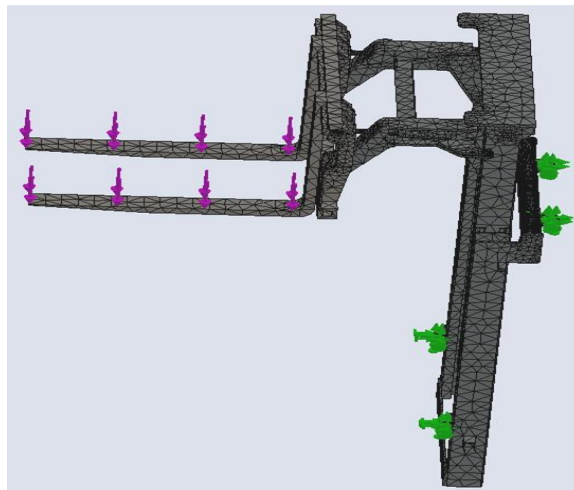
Вивчення закономірностей руху навантажувачів вантажопідйомністю більше 12 т по нерівності шляху раніше не було актуальним, оскільки використовувалися вантажопідйомні механізми, рами яких були виконані з профілів підвищеної металоміцності та високим коефіцієнтом запасу міцності всієї силової установки механізму підйому. При використанні полегшених конструкцій рам вантажопідйомника з С-подібним профілем виникла необхідність використання даних для точної оцінки навантажень вантажопідйомника і ресурсу навантажувача, що робить необхідним вивчення основних закономірностей руху навантажувача по нерівності шляху і наїзді на перешкоду.

Ремонт та відновлення деталей машин

З метою проведення аналізу напружено-деформованого стану несучих елементів автонавантажувача, розроблені 3D моделі (рисунки 2, 3), які дозволили методом кінцевих елементів дослідити напружено-деформований стан металоконструкції вантажопідйомника, розподіл напружень у закритих частинах металоконструкцій і кількісну оцінку напружень у конструкції. За результатами досліджень виконано аналіз пошкоджень у найбільш навантажених місцях металоконструкції вантажопідйомника, які експлуатуються в морських портах, та їх порівняння з аналогічними результатами, наведеними в роботах інших авторів.



а)



б)

Рисунок 2 – Твердотільна модель:

а) - загальний вигляд вантажопідйомника навантажувача; б) – сітка на тілі 3D моделі для застосування методу кінцевих елементів

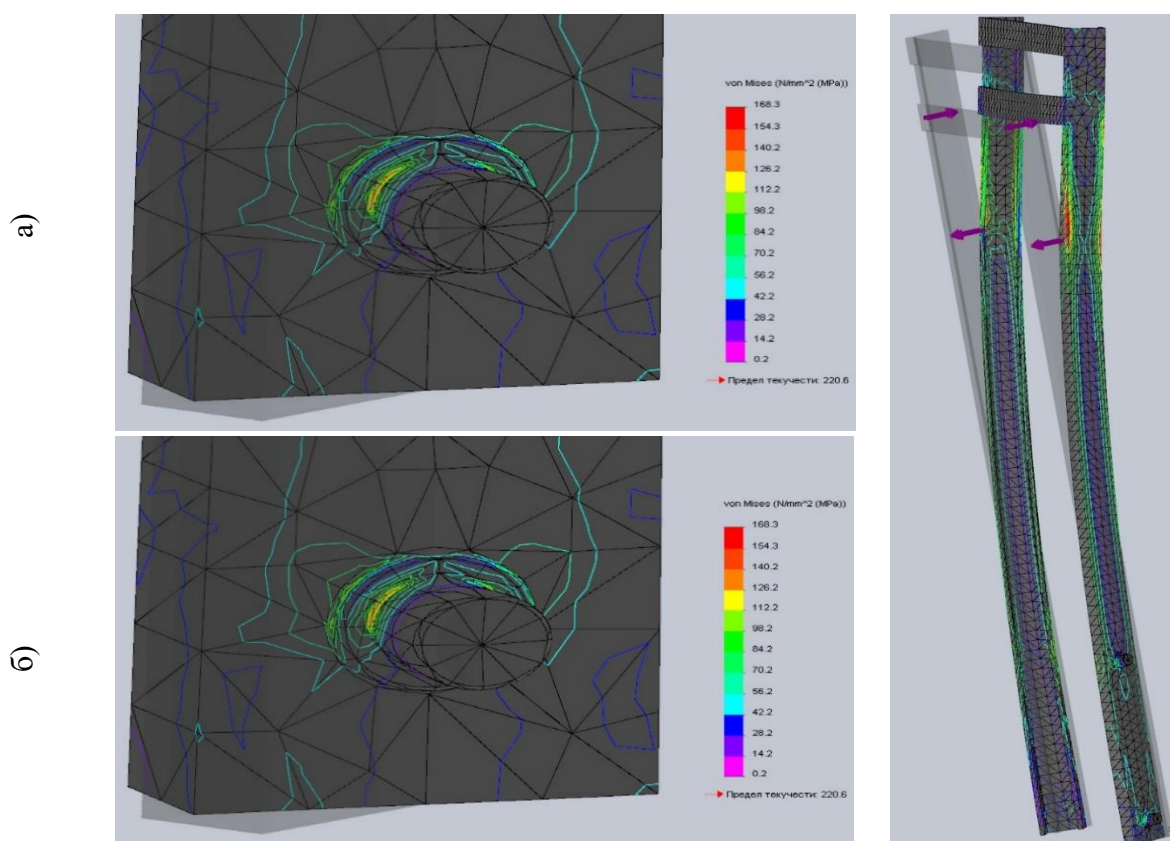


Рисунок 3 – Розподіл еквівалентних напружень вантажопідійомника:

а) - верхній напрямний каток; б) - нижній напрямний каток

Рівень динамічних навантажень оцінювався коефіцієнтом динамічності. Опори (верхні та нижні) напрямних котків є найбільш навантаженими, т.к. сприймають горизонтальне навантаження, яке виникає під час руху навантажувача по нерівності шляху пересування.

Дослідження умов експлуатації автотранспорту та системи технічного обслуговування та ремонту структури пошкоджень зварних з'єднань показало, що суттєвий вплив на довговічність вантажопідійомника автотранспорту мають циклічні навантаження.

Оцінка навантажень металоконструкції у процесі експлуатації дозволила встановити причини появи дефектів у зазначених вузлах.

Встановлено конструкційний модуль пружності матеріалу.

Запропоновано нову конструкцію балансиру розвантажувального візка (рис. 4 а), що враховує жорсткість пружних елементів, яка залежить від форми і типу їх закріплення (рис. 4 б).

Було визначено технічні характеристики балансиру розвантажувальних візків, що дозволяють отримати еквівалентні коефіцієнти жорсткості для різних автотранспорту.

Аналіз отриманих даних показав, що як матеріал демпферів доцільно застосування поліуретану, який має високий опір розриву, високу зносостійкість і здатність витримувати великий тиск поряд з великою еластичністю, маслостійкістю і теплостійкістю, значним внутрішнім тертям.

Визначальним фактором напружено-деформованого стану балансиру пристрою є його жорсткість і можливість демпфування.

Ремонт та відновлення деталей машин

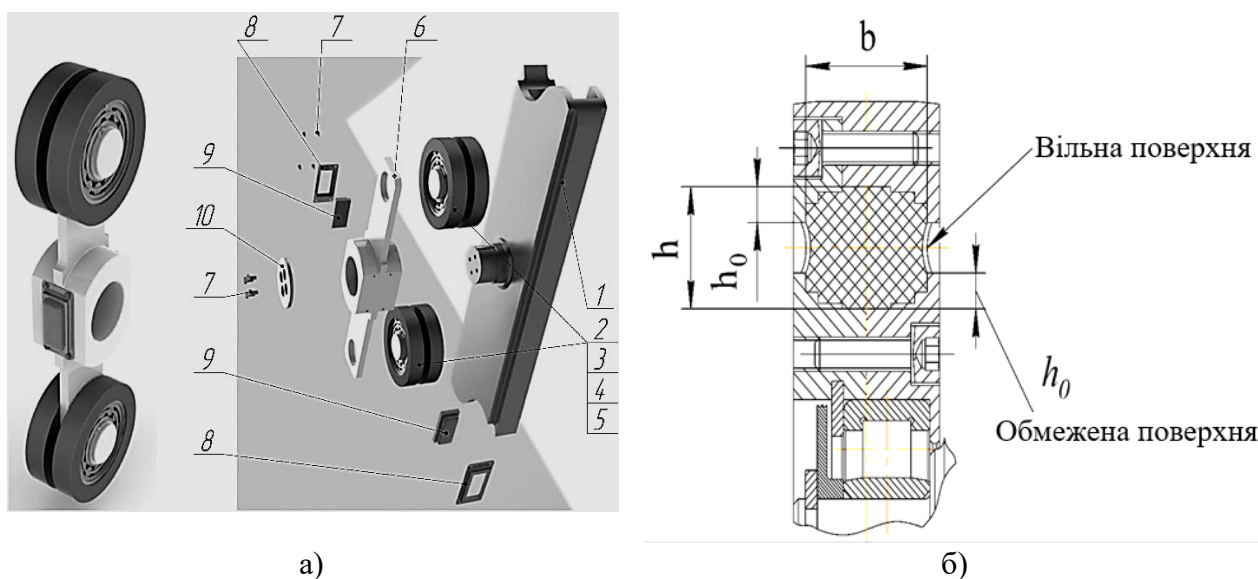


Рисунок 4 – Балансирний візок з опорою розташованої в центрі:
а) - конструкція балансирного візка; б) - схема до розрахунку параметрів пружного амортизатор

При встановленні демпферів (4 на один балансирний вузол) найменші значення коефіцієнта динамічності спостерігаються при використанні поліуретану.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу роботи фронтальних автонавантажувачів встановлено, що при переміщенні вантажів навантажувачі піддаються дії додаткових динамічних навантажень, пов'язаних з переміщенням по нерівності колії.

Розроблено твердотільні моделі для дослідження напружено-деформованого стану металоконструкції вантажопідіймника автонавантажувачів методом кінцевих елементів, які дозволили виявити найбільш навантажені ділянки - опора направляючого ролика, бічний лист внутрішньої рами, напрямний ролик.

Запропоновано використання пружних амортизаторів, які крім амортизації динамічних навантажень забезпечують демпфування коливань за рахунок внутрішнього тертя пружних матеріалів. Надано рекомендації щодо вибору матеріалів пружних амортизаторів для балансирних візків з урахуванням їхньої амортизуючої та демпфуючої здібностей.

Підтверджено зменшення коефіцієнта динамічності при пересуванні фронтальних автонавантажувачів за рахунок встановлення в раму вантажопідіймника демпфуючого балансирного візка з 1,35 до 1,15.

Список використаних джерел

1. Суглобов В.В. Исследование условий эксплуатации и причин выхода из строя фронтальных автопогрузчиков / В.В. Суглобов, В.П. Лаврик, И.А. Нефёдов // Вісник Приазовського державного технічного університету: 3б. наук. пр. – Маріуполь: ПДТУ, 2005. – Вип. 15. – С. 101–104.

2. Суглобов В.В. Исследование причин отказов автопогрузчиков при эксплуатации в морских портах / В.В. Суглобов, В.П. Лаврик, И.А. Нефёдов // Підйомно-транспортна техніка – Дніпропетровськ: ДПТ, 2009. – № 3. – С. 103–108.

3. Нефёдов И.А. Разработка математической модели колебаний виличного автопогрузчика / И.А. Нефёдов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – Вып. 57. – С. 140–145.

4. Суглобов В.В. Разработка динамической модели автопогрузчика / В.В. Суглобов, В.П. Лаврик, И.А. Нефёдов // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ: ДПТ, 2006. – № 3. – С. 32 – 41.

5. Карпенко Т.Н. Исследование движения автопогрузчика после фронтального наезда на препятствие / Т.Н. Карпенко, И.А. Нефёдов // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – Донецьк: «Рекламно-видавнича фірма «Молнія», – 2012. – № 4. – С. 67–77.

Nefyodov I.O., Lavryk V.P., Suglobov V.V.

RESEARCH OF THE OPERATING CONDITIONS OF FRONT LOADERS

The operating conditions of forklifts in seaports and the resulting damage to forklifts were investigated. Solid-state models were developed to study the stress-strain state of the metal structure of the forklift truck's forklift using the finite element method, which allowed identifying the most loaded areas - the guide roller support, the side sheet of the inner frame, the guide roller.

The use of elastic shock absorbers was proposed, which, in addition to the absorption of dynamic loads, provide damping of vibrations due to the internal friction of elastic materials. Recommendations were given on the selection of elastic shock absorber materials for balance carts, taking into account their shock-absorbing and damping capabilities.

Keywords: *forklifts, forklift, shock-absorbing and damping capabilities, materials of elastic shock absorbers.*

Стаття надійшла 20.04.2025 р.

УДК 621.833.1

doi.org/10.31498/2522-9990292025330267

Суглобов В.В., Кльон А.М.

АНАЛІЗ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ДЛЯ СИЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

У статті розглянуто сучасний стан нормативної бази для силового розрахунку циліндричних зубчастих передач в Україні та світі. Проведено порівняння методик розрахунку міцності зубців циліндричних коліс, викладених у стандартах ISO 6336 та ГОСТ 21354-87.

Ключові слова: *циліндричні зубчасті передачі, силовий розрахунок, стандарт.*

Постановка проблеми. З 1 січня 2018 року, згідно з наказом ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», чинність міждержавних стандартів (ГОСТів), розроблених до 1992 року, в Україні було скасовано [1]. Незважаючи на це, автори навчальної та технічної літератури, виданої останніми роками, у розрахунках зубчастих передач продовжують посилалися на згаданий міждержавний стандарт (див., наприклад, [2]).