

https://doi.org/10.51885/3134-8009_IJS_2026_1_12

XFTAP 73.31.21

ҚАЙШЫ КӨТЕРГІШ ПЛАТФОРМАСЫНЫҢ ҚАТТЫЛЫҒЫ МЕН САЛМАҒЫНА ПЕРФОРАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРФОРАЦИИ НА ЖЕСТКОСТЬ И МАССУ ПЛАТФОРМЫ НОЖНИЧНОГО АВТОПОДЪЕМНИКА

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF PERFORATION ON THE STIFFNESS AND WEIGHT OF A SCISSOR LIFT PLATFORM

О.Н. Костюченкова ¹, С.А. Нуркушева ^{1*}, М. Vembenek ²

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

²AGH Краков университеті, Краков, Польша

*Жауапты автор: Нуркушева Салтанат Амангелдіқызы, e-mail: saltanat.nurkusheva@kazatu.edu.kz

Түйінді сөздер:

көтергіш, оңтайландыру,
беріктік, қаттылық,
деформация, платформа.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл зерттеу ығысу және артық салмақ мәселелерін шешу үшін қайшы көтергіш платформасын жаңартуға бағытталған. Зерттеудің мақсаты – фланецтері бар оңтайландырылған перфорацияны пайдалану арқылы металл шығынын азайту және құрылымдық қаттылықты арттыру. Әдістемеге ANSYS компьютерлік модельдеу және 200 кг-ға дейін жүктелген Ст45 болат сынақ үлгілерімен далалық тәжірибелер кірді. Деформацияны жоғары дәлдіктегі сенсорларды пайдаланып өлшенген. Негізгі нәтижелер: 200 кг жүктеме кезінде оңтайландырылған перфорацияланған платформа берік платформаға қарағанда 2,46 есе төмен ауытқуды көрсетті, салмақ 8 %-ға төмендеді. Күрделі меншікті қаттылық критерийі 2,66 есеге артты. Тесіктердің диаметрі мен көлбеуіне 25%-ға дейінгі тәуелділік анықталды. Зерттеудің ғылыми құндылығы рационалды перфорация арқылы иілу элементтеріндегі массаны азайту және қаттылықты максимизациялаудың біріктірілген үлгісінде жатыр. Тәжірибелік маңыздылығы: ұсынылған әдістеме өндіріс шығындарын азайту және автомобиль көтергіштерінің сенімділігін арттыру үшін тиімді жобалау шешімдерін жасауға мүмкіндік береді.

Ключевые слова:

автоподъемник,
оптимизация, прочность,
жесткость, деформация,
платформа.

АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено модернизации платформы ножничного подъемника для решения проблем смещения и избыточной массы. Цель работы – снижение металлоемкости и повышение жесткости конструкции за счет применения оптимизированной перфорации с бортами. Методология включала компьютерное моделирование ANSYS и натурные эксперименты с опытными образцами из стали Ст45, нагружаемыми до 200 кг. Деформации измерялись высоко-



© 2026 О.Н. Костюченкова, С.А. Нуркушева, М. Vembenek

Бұл жұмыс Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясы

(CC BY 4.0) бойынша таратылады.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

точными датчиками. Основные результаты: оптимизированная перфорированная платформа при нагрузке 200 кг показала прогиб в 2,46 раза меньше, чем сплошной аналог, при снижении массы на 8 %. Комплексный критерий удельной жесткости увеличился на 2,66 раза. Установлена зависимость снижения массы от диаметра и шага отверстий до 25 %. Научная ценность работы заключается в выявленной закономерности совместной минимизации массы и максимизации жесткости элементов, работающих на изгиб, посредством рациональной перфорации. Практическая значимость – предложена методика, позволяющая генерировать эффективные конструктивные решения для снижения затрат на изготовление и повышения надежности автоподъемников.

keywords:

car lift, optimization,
strength, stiffness,
deformation, platform.

ABSTRACT

This study focuses on upgrading a scissor lift platform to address issues of displacement and excess weight. The objective of this study is to reduce metal consumption and increase structural rigidity by utilizing optimized perforation with flanges. The methodology included ANSYS computer modeling and field experiments with St45 steel test specimens loaded up to 200 kg. Deformations were measured using high-precision sensors. Key results: the optimized perforated platform, under a 200 kg load, demonstrated deflection 2.46 times lower than its solid counterpart, with an 8% weight reduction. The complex specific stiffness criterion increased by 2.66 times. A dependence of up to 25% on the diameter and pitch of the holes was established. The scientific value of the study lies in the identified pattern of combined mass minimization and stiffness maximization in bending elements through rational perforation. Practical significance: the proposed methodology enables the generation of effective design solutions to reduce manufacturing costs and improve the reliability of car lifts.

КІРІСПЕ

Заманауи көлік көтергіштерін пайдалану жұмыс уақытын қысқартуға, автомобиль компоненттеріне қол жетімділікті жақсартуға және жалпы қауіпсіздікті арттыруға мүмкіндік береді (Nurkusheva S., Bembenek M., Kostyuchenkova O). Көлік көтергіштердің жұмысы Техникалық қызмет көрсету мен жөндеу сапасына айтарлықтай әсер етеді. Сонымен қатар, сенімді көтеру жүйелері жұмысшылардың жарақат алу қаупін азайтуға көмектеседі, өйткені олар қызмет көрсету кезінде автомобильдің тұрақты және қауіпсіз орналасуын қамтамасыз етеді. Алайда, артықшылықтарға қарамастан, көлік көтергіштер жұмыс жағдайында бірқатар белгілі мәселелерге тап болады. Ең жиі кездесетіндердің бірі – қайшы көтергіш платформасының көтерілу кезінде ығысуы, бұл төтенше жағдайларға және көлік құралдарының зақымдалуына әкеледі. Сондай-ақ, гидравликалық жүйелерде құрылғының үлкен өлшемдері мен салмағына байланысты проблемалар жиі кездеседі. Басқа мәселелерге техникалық қызмет көрсетудің жеткіліксіздігінен туындайтын компоненттердің тозуы және басқару жүйесінің дұрыс орнатылмауы жатады. Бұл біркелкі емес көтерілуге әкелуі мүмкін.

Бұл мәселелер осы зерттеуді жүргізу қажеттілігін көрсетеді. Көлік көтергіштердің дизайнында қолданылатын технологияларды зерттеу көтергіштердің өнімділігін жақсартып қана қоймай, сонымен қатар автомобильдердің қауіпсіздігі мен қызмет көрсету сапасын едәуір арттырады.

Зерттеудің мақсаты – металл сыйымдылығын төмендету және қаттылықты арттыру үшін қайшы көтергіштің платформасын жаңарту мен платформаның конструкциясын борттық перфорация әдісімен оңтайландыру.

Зерттеу нысаны: пайдалану жүктемелері жағдайында қайшы көтергіш платформасының жұмыс істеу процесі.

Зерттеу пәні: жүктемелерге байланысты көтергіш платформа құрылымының кернеулі-деформацияланған күйінің өзгеру заңдылықтары.

Соңғы жылдары көтергіш технологиясы, әсіресе оларды жасау үшін қолданылатын материалдарға қатысты айтарлықтай алға жылжыды. Дәстүр бойынша, автокөлік көтергіштері беріктігі үшін негізінен болаттан жасалған. Дегенмен, металл конструкцияларының салмағын жеңілдету үшін балама материалдарды пайдалану үрдісі артып келеді (Taub A. I., Babu S. және Taub A. et al). Осындай баламалардың бірі – көтергіштің жалпы салмағының айтарлықтай төмендеуімен жоғары беріктікті қамтамасыз ететін жеңіл қорытпаларды (алюминий, магний) пайдаланады (Jhaveri K. et al.). Баламалы материалдарға көшу автомобильдерге техникалық қызмет көрсету кәсіпорындарында тиімділікті арттыру және энергия шығынын азайту ниетінен туындады. Жеңіл қорытпалар көтергіштерді маневрлеу мен пайдалануды жеңілдетіп қана қоймайды, сонымен қатар энергия сыйымдылығын төмендетуге ықпал етеді. Сонымен қатар, көтергіш қолданылатын материалдарды талдау кез келген ықтимал зақымдануды немесе тозуды анықтау үшін сенсорларды біріктіру арқылы күрделене түсті (Williams B., Hall A., Myers O. Terfenol-D). Бұл датчиктер профилактикалық қызмет көрсетуде шешуші рөл атқарады, көтергіш компоненттерін уақтылы жөндеуге немесе ауыстыруға мүмкіндік береді, осылайша қауіпсіз және сенімді жұмыс жасайды. Мақалада сәтсіздік түрлерін зерттеу үшін екі деректер жиынтығы қолданылады (Bastidas-Rodriguez M. X. et al.). Бастапқы жиынтықта нақты сынықтар туралы мәліметтер бар, ал екінші жиынтықта сканерлеуші электронды сенсор арқылы алынған суреттер бар. Бұл деректер жиынтығындағы жарықтарды жіктеудің тиімділігі объектілер мен текстураларды талдауға арналған стандартты конволюциялық нейрондық желілерді қолдану арқылы бағаланды. Нәтижесінде озық материалдар мен сенсорлық технологиялардың интеграциясы көтергіштер индустриясында төңкеріс жасап, қауіпсіз, тиімді және экологиялық таза шешімдерге жол ашты.

Көлік көтергіштерінің гидравликалық жүйелерін жетілдіру қызығушылық тудыратын өзекті тақырып болып қала береді. Гидравликалық қайшы көтергіш жүйесі, оның құрамына гидравликалық сорғы кіреді, тегіс және дәл тік қозғалысты қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Бұл саладағы жақсартулар өнімділіктің жоғарылауына, техникалық қызмет көрсету шығындарының төмендеуіне және энергия тиімділігінің жоғарылауына әкеледі. Мақалада белгіленген көлемді сорғыларды қолдана отырып, қайшыны көтеретін гидростатикалық жүйелердегі жылдамдықты реттеудің жаңа тәсілі ұсынылған. Олардың зерттеулері қайшы көтергіш операцияларының жылдамдығы мен дәлдігін арттыруға бағытталған. Мақалада қайшы көтергіштің платформаларында қос гидравликалық цилиндрлерді синхронды басқару әдісі анық емес пропорционалды-интегралды-дифференциалды реттелді (Zhang L., Li Y.). Олардың зерттеулері көтеру механизмінің синхрондалуы мен тұрақтылығын жақсартуға, жалпы өнімділік пен қауіпсіздікті арттыруға бағытталған. Жұмыста бірнеше гидравликалық цилиндрлерді қалпына келтірудің және қолданудың балама тәсілдері зерттелді (Gong W., Yu Z. J.).

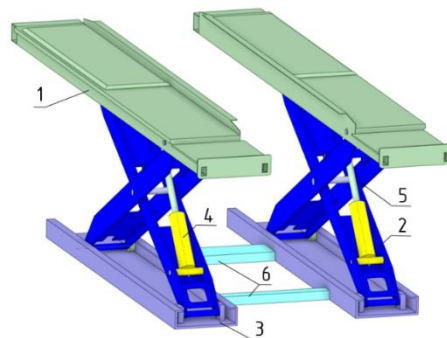
Зерттеу жұмысында гидравликалық жүйелерді ауамен басқаруға арналды (Yan T. P.), ал келесі жұмыста қайшы көтергіштің гидравликалық цилиндрлерін оңтайландыруға бағытталған (Zhang W., Wang X. X., Wang L.). Басқа мақалада қайшы көтергіштің арқылы көрсетілген жүктерді көтеру/түсіру жылдамдығын көлемді реттейтін жаңа жетек жүйесінің эксперименттік зерттеулері талқыланды (Kosucki A. et al.). Ол сондай-ақ қайшы көтергіштің жұмыс жылдамдығына жүктеме өзгерген кезде гидравликалық цилиндр мен платформаның берілген жылдамдығы арасындағы корреляцияны салыстырмалы талдауды қамтиды.

Сонымен қатар, көлік көтергіштерін пайдалану кезінде бірдей маңызды фактор қауіпсіздік болып табылады. Кейде көлік құралының қайталанатын көтерілуі кезінде платформаның ығысуы мүмкін, бұл ықтимал қауіп. Бұл мәселені жеңілдету үшін датчиктер мен контроллерлерді, сондай-ақ гидростатикалық жүйелерде инверторларды қолдануды ұсынады (Stawiński Ł. et al.), нәтижесінде тиімділік жоғарылайды, жеделдету төмендейді және пайдалану қауіпсіздігі жақсарады. Жұмыста (Sanusi H. et al.), көтергіштің ішінде пайда болатын өтемақы күшін реттеу үшін серіппелердің екі түрі ұсынылған. Сонымен қатар, (Takesue N. et al.) басқа жұмыста қауіпсіздік коэффициенттерін, максималды жүктемелерді зерттеді. Бұл шаралар мен талдау көлік көтеру жүйелерінің қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз етуге деген міндеттемені көрсетеді, осылайша осы саладағы маңызды мәселелерді шешеді.

Автокөлікті көтеру жүйелерінің істен шығуын талдау кезінде бірқатар проблемалар туындайды, соның ішінде әлсіз жерлерді, кернеу концентрацияларын және ықтимал істен шығу түрлерін анықтау (Crivelli D., Ghelichi R., Guagliano M.). Автокөлік көтеру жүйелерінің негізгі мәселелерінің бірі – олардың жүк көтергіштігі және энергия құрылымы. Энергияны тұтынуды басқара отырып, әртүрлі массадағы көліктерді тиімді көтеру және қолдау қабілеті күрделі инженерлік міндет болып табылады (Delatte N., 2010 және Delatte N., 2004). Әртүрлі массадағы көліктермен қайшы көтергішті көтеру және түсіру үшін жалпы энергия шығынын жұмыста зерттелінген (Stawinski L. et al., 2021). Көлік көтеру жүйелерінің энергетикалық талаптары мен шектеулерін түсіну олардың өнімділігін оңтайландыру және үнемді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін қажет.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу аясында қайшы көтергіш моделі жасалып (1-сурет) ANSYS Workbench-те статикалық есептеулер арқылы беріктікке талдау жасалды. Қайшы көтергіштің өлшемдері, материалдық қасиеттері және геометриялық сипаттамалары қолданыстағы 3500 кг Heshbon 51G көтергішінен пайдаланылды. көтергіштің өлшемдері 5660 мм x 2040 мм x 265 мм 1800 кг. есептеулерде S235JR маркалы болат стандарт бойынша пайдаланылды EN 10025-2. Ең төменгі кірістілік шегі 235 МПа құрайды. Химиялық құрамы (%): көміртегі (C) < 0,20% қалыңдығы 40 мм-ден аз, < 0,17% 40 мм-ден жоғары, марганец (Mn) ≤1,40 %; фосфор (P) және күкірт (S) ≤0,035% (ұзақ өнім үшін 0,005% жоғарылауға рұқсат етіледі); азот (N) < 0,12; мыс (Cu) ≤0,45%.

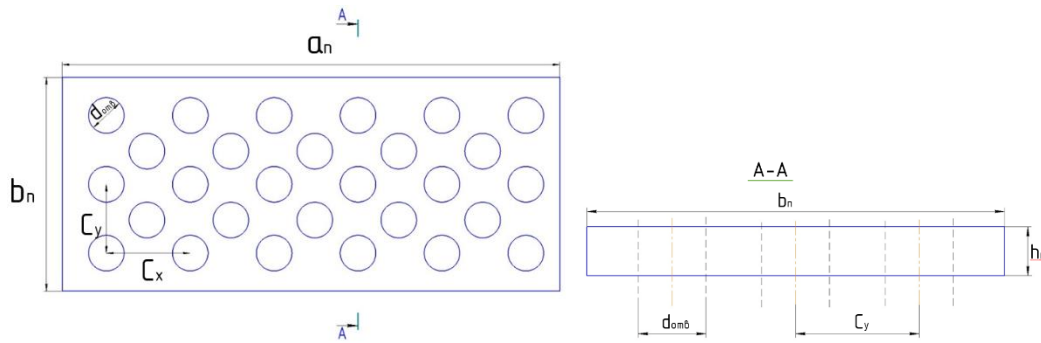


1-сурет. Heshbon 51G қайшы көтергіш моделі:

1-платформа, 2,5-қайшы, 3-төменгі платформа, 4-гидравликалық цилиндр,
6-байланыстырушы арқалықтар

Ескерту – авторлар құрастырған

Зерттеудің мақсаты көтергіштің жоғарғы платформасының дизайнын оңтайландыру болғандықтан, 2-суретте көрсетілгендей зерттеу үшін оның моделі ұсынылды.



2-сурет. Жоғарғы платформаның дизайн моделі: a_n – платформаның ұзындығы, м; b_n – платформаның ені, м; h_n – платформаның қалыңдығы, м; $d_{отв}$ – саңылаудың диаметрі, м; C_x – ұзындығы бойынша саңылаулар арасындағы қашықтық a_n , м; C_y – ені бойынша саңылаулар арасындағы қашықтық b_n , м

Ескерту – авторлар құрастырған

Ұсынылған құрылымдық өзгерістердің тиімділігін сандық бағалау үшін жаңартылған құрылымның массасын бағалауға мүмкіндік беретін математикалық модель жасалды.

Платформаның массасы $M_{плат}$ негізгі мойынтірек тақтасының массасынан және қосымша күшейту элементтерінің массасынан қалыптасады. Жалпы алғанда құрылымның массасы келесі өрнекпен сипатталады:

$$M_{плат} = M_{пл} - M_{уд.м} + M_{рж} \quad (1)$$

$M_{плат}$ – платформаның массасы, кг

$M_{пл}$ – қатты платформаның толық массасы, кг

$M_{уд.м}$ – меншікті масса, кг

$M_{рж}$ – қаттылық шеттерінің жалпы массасы, кг.

Әрбір компонентті егжей тегжейлі есептеу үшін нақтыланған формула қолданылады:

$$M_{плат} = 4M_{пл} - q_m N_{отв} S_{отв} + 4M_{рж} \rightarrow \min \quad (2)$$

q_m – металдың меншікті салмағы, кг/м³

$N_{отв}$ – саңылаулардың жалпы саны, шт.

$S_{отв}$ – бір саңылаудың ауданы, м²

Платформа массасының жиынтық параметрлік формуласы:

$$M_{плат} = 4M_{пл} + M_{рж} - [\rho \cdot h \cdot \left(\frac{a_n}{C_x} + 1\right) \cdot \left(\frac{b_n}{C_y} + 1\right) \cdot \frac{\pi d^2}{4}] \quad (3)$$

$4M_{пл} + M_{рж}$ – бастапқы платформаның массасы

C_x, C_y – айнымалы параметрлер

ρ – материалдың тығыздығы, кг/м³ (болат үшін $\rho = 7850$ кг/м³);

h – материалдың қалыңдығы, 0,004 м.

Мақсатты функция $M_{плат}(d, C_x, C_y) \rightarrow \min$, мұндағы d, C_x, C_y – өзгермелі параметрлер. Массаның төмендеуі материалдың өзіндік құнының төмендеуіне, жетектің қуат тұтынуының төмендеуіне және инерциялық жүктемелердің төмендеуіне тікелей әкеледі.

Шектеулер: құрылымның кез келген элементіндегі беріктік бойынша материалдың рұқсат етілген кернеуінен $[\sigma] = 235$ МПа аспауы керек.

Бұл модель кейінгі параметрлік талдаудың негізі болып табылады және Перфорацияның геометриялық параметрлеріне (саңылаулардың саны мен ауданы) байланысты платформа массасының өзгеруін бағалауға мүмкіндік береді. Қауіпсіз және тиімді инженерлік шешімдерді әзірлеу үшін жүктемедегі металл конструкцияларының мінез-құлқын зерттеу 50, 100, 150 және 200 кг жүктемелерді қолдана отырып жүргізілді.

Эксперименттер жүргізу үшін 2 металл пластина дайындалды: стандартты және перфорацияланған, өлшемдері 700x300x4 мм. Салыстырмалы талдау үшін материал ретінде S235JR маркалы құрылымдық болат қабылданды. Шекаралық шарттар мен жүктеме: консоль тақтасының таза иілу схемасы модельденген. Пластиналар 2 тірекке болды (барлық қозғалыстар мен бұрылыстарға тыйым салынады). Орталықта жүктің 50 кг (490.33 Н), 100 кг (980.67 Н), 150 кг (1471.00 Н) және 200 кг (1961.33 Н) салмағына сәйкес келетін шоғырланған күш қолданылды. Елеулі ауытқулармен дұрыс есептеу үшін үлкен қозғалыстарды ескере отырып, статикалық шешуші қолданылды.

Сенімділікті растау. Прототиптерді жасау үшін қалыңдығы 0,4 мм Ст45 маркалы қаңылтыр құрылымдық болат пайдаланылды. Болаттың бұл маркасы жоғары икемділікпен және жақсы штамптаумен, сондай-ақ жарықтар пайда болмай қарқынды суық деформация қабілетімен сипатталады, бұл кейінгі алау операциясы үшін өте маңызды. Пластиналар арнайы салмақтардың көмегімен 50, 100, 150 және 200 кг жүктемелерге ұшырады. Пластинадағы деформациялар сенсорлар арқылы өлшенді және одан әрі талдау үшін есептелді. Атап айтқанда, сандық дисплейі бар жоғары дәлдіктегі сағат типті индикатор басы (бөлу бағасы 0,01 мм) құрылғылар және сандық дисплейі бар сыртқы және ішкі өлшемдерді өлшеуге арналған электронды штангенциркуль (бөлу бағасы 0,01 мм). Эксперимент жүргізу жүктеме кезінде металл пластинаның жүктеме кезінде иілу әрекеті байқалды.

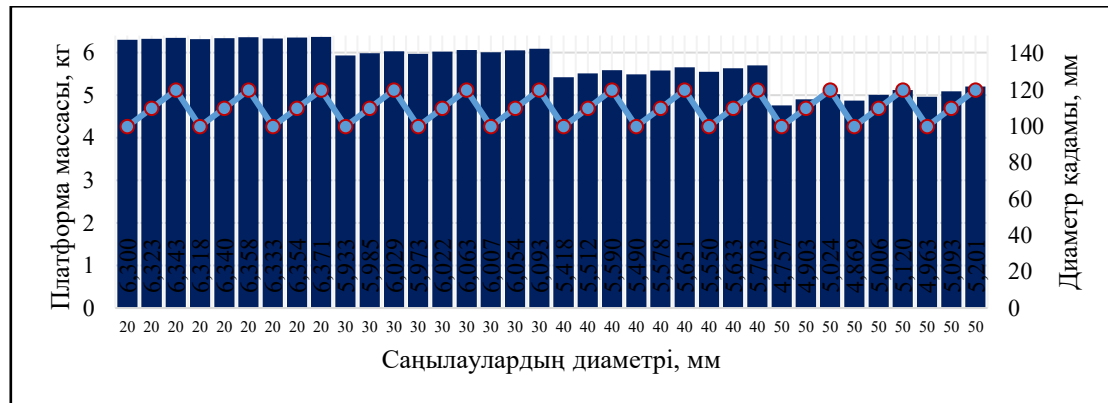
НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Luo L. жұмысында зерттеушілер ANSYS көмегімен шекті элементтер модельдеріндегі параметрлік модельдеуге және торларды бөлуге байланысты мәселелерді сипаттады (Luo L. et al.). Шекаралық нүктелердегі өзгерістер тордың тұтастығын сақтауда қиындықтарға әкеледі, бұл сенімді модельдеу әдістерінің қажеттілігін көрсетеді. Shi D. жұмысында статикалық беріктікке, шаршау беріктігіне және буынның кернеуінің таралуына, сондай-ақ ішкі компоненттердің дірілінің беріліс білігінің мещысуына және жүктеме реакциясына әсері талданды (Shi D. et al.). Сілтеме бұрыштарының қайшы көтергіштің жұмысына әсері ANSYS-те екі өлшемді және үш өлшемді модельдеуді қолдана отырып зерттелді (Turan K.). Көлік көтеру жүйелерін жетілдіру мақсатында олардың дизайны мен өнімділігін жақсарту үшін модельдеу мен талдаудың әртүрлі әдістері зерттелді. Осы мәселелерден басқа, болат (Uhrýński A. et al.) немесе алюминий қорытпалары сияқты қайшыны көтеру компоненттерінің материалдарының қасиеттері материалдың мінез-құлқын модельдеуді қиындатады, соның ішінде икемділік, жорғалау және шаршау. Бұл мәселелерді шешу үшін модельдеу дәлдігін жақсарту үшін сызықтық емес материал модельдері және байланыс алгоритмдері сияқты жетілдірілген шекті элементтер әдістері қолданылды. Бұл әдістер әртүрлі жүктеме жағдайларында модельдеуді шынайы түрде ұсынуға мүмкіндік береді, бұл дизайнды оңтайландыруға және дизайн сипаттамаларын болжауға әкеледі.

Платформаның кернеулі-деформацияланған күйін анықтау үшін оны имитациялық модельдеу жүргізілді. Көтергіш компоненттерін имитациялық модельдеудің ең дәл нәтижелерін алу үшін имитациялық модельдеудегі шекаралық шарттар нақты жағдайларды толығымен көбейту үшін таңдалады. Көлік соқтығысқан кезде автомобиль салмағының жүктемесі біркелкі бөлінбейді, бірақ платформаның бетіне шоғырланады. Көлденең қиманың ауданы ені 165 мм автомобиль дөңгелегі шығаратын ықтимал байланыс аймағына негізделген. Ол үшін 165x50 мм аумақ алынады. Бұрын жүргізілген модельдеу нәтижелері бойынша (Vembenek M. et al.) жоғарғы пластинаның құрылымындағы эквивалентті кернеудің максималды мәні – 56 МПа, максималды орын ауыстыру – 0,77 мм, максималды деформация – 0,0002 мм. Бұл эквивалентті кернеу, орын ауыстыру және деформация

мәндері зерттелетін жоғарғы пластинаның құрылымы үшін айнымалы емес. Осы нәтижелерге сүйене отырып, осы дизайн элементтерінің қауіпсіздік шегі тым үлкен деп қорытынды жасауға болады, бұл материалдың артық шығындалуына және массасы мен құнының өсуіне әкеледі.

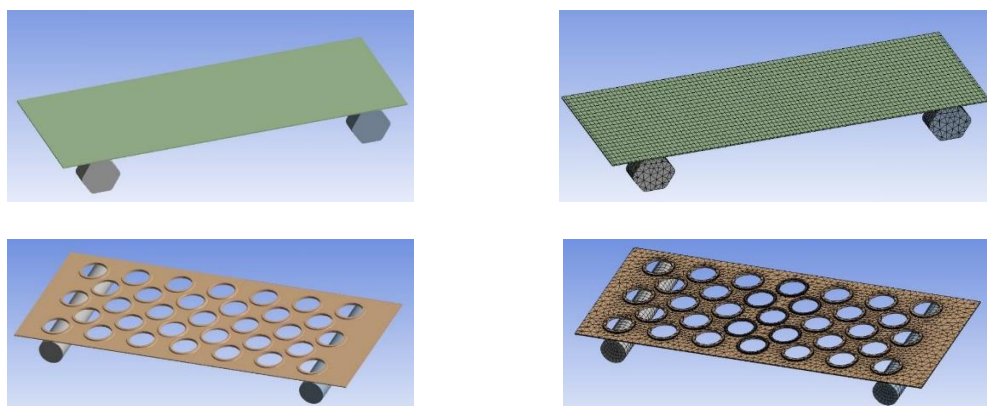
Анықталған тәуелділіктерді көрнекі түрде көрсету және перфорация параметрлерінің платформа массасына әсерін талдауды жеңілдету үшін алынған нәтижелер 3-суретте көрсетілген. Графикалық бейнелеу $d_{отв}$, C_x көрсеткіштерінің өзгеруімен $M_{плат}$ жиынтық массасының өзгеру тенденцияларын нақты бақылауға мүмкіндік береді.



3-сурет. Жаңартылған платформаның параметрлік массасын талдау нәтижелері
Ескерту – авторлар құрастырған

Бұл бөлімде зерттеу барысында алынған негізгі нәтижелер келтірілуі қажет. Ұсынылған деректер анық құрылымдалуы тиіс, қажет болған жағдайда кестелермен, диаграммалармен, суреттермен толықтырылуы мүмкін. Артық сипаттаудан аулақ болып, негізгі байқауларды, өлшеулерді немесе есептеулерді интерпретациялауға назар аудару қажет. Қажет болған жағдайда нәтижелер тақырыптық бөлімшелерге немесе мазмұндық блоктарға бөлінуі мүмкін.

Бұл параметрлік талдау дизайнды оңтайландырудың бірінші кезеңі болып табылады. Алынған мәндер беріктік пен қаттылыққа арналған шекті элементтер әдісті егжей-тегжейлі талдау үшін параметрлердің бірнеше перспективалы комбинацияларын мақсатты түрде таңдауға мүмкіндік береді. Әрбір үлгі үшін ANSYS Mechanical көлемді 3D геометриялық модель құрастырылды және шекті элементтер торы салынды (4-сурет).



4-сурет. Қатты және перфорацияланған пластинаның шекті элементтерінің 3D моделі мен торы

Ескерту – авторлар құрастырған

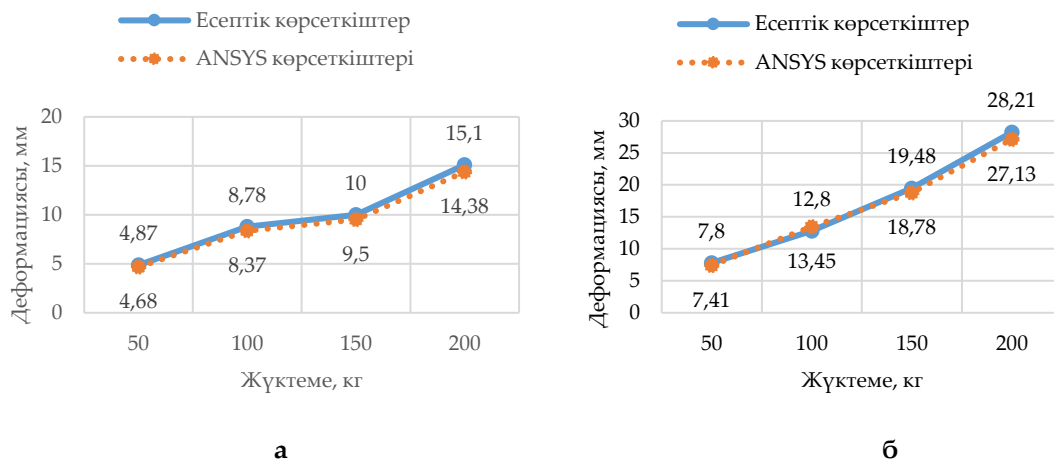
Өртүрлі жүктемелердегі пластинаның бақылау нүктелерінің нәтижелерін салыстыру сәйкестіктің жоғары дәрежесін көрсетілген (1-кесте). Аналитикалық есептеу мен ANSYS деректері арасындағы орташа қателік 5 %-дан аспады, бұл есептеулер үшін рұқсат етілген шектерде және салынған модельдің сәйкестігін, таңдалған шекаралық шарттар мен тор параметрлерінің дұрыстығын растайды.

1-кесте. Қатты пластинаның деформациясының нәтижелері

Қатты пластина	Деформация нәтижелері, мм											
	2			3			4			5		
Жүктеме	50 кг – 490,3325Н			100 кг – 980,665Н			150 кг – 1470,9975Н			200 кг – 1961,33Н		
Аймақ	Пластинаның соңы	Ортасы мен соңы арасында	Ортасы	Пластинаның соңы	Ортасы мен соңы арасында	Ортасы	Пластинаның соңы	Ортасы мен соңы арасында	Ортасы	Пластинаның соңы	Ортасы мен соңы арасында	Ортасы
Есеп айырысу	0	4,87	7,8	0	8,78	12,8	0	10,0	19,48	0	15,1	28,21
ANSYS	0,28	4,68	7,41	0,51	8,37	13,45	0,31	9,5	18,78	0,73	14,38	27,13
Есептеу қателігі	–	3,9 %	5 %	–	4,9 %	5 %	–	5 %	3,59 %	–	5 %	3,83 %

Ескерту – авторлар құрастырған

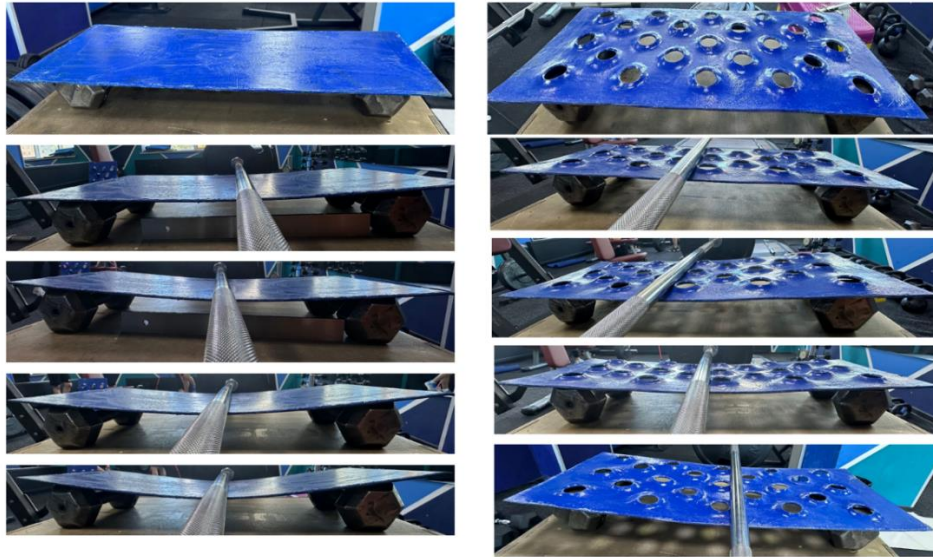
Екі үлгі үшін де геометриялық сызықтық емес тапсырмаға (үлкен қозғалыстарға) тән жүктеменің жоғарылауымен сызықтық емес иілу өсуі байқалады. Модельдеудегі және есептеу әдісіндегі деформация мәндерінің пластинаның ортасы мен соңы арасындағы, сондай-ақ ортасында тәуелділігі 5-суретте көрсетілген.



5-сурет. Пластинаның деформациясы пластинаның ортасы мен соңы арасындағы аймақта (а), пластинаның ортасында (б) қатты пластина үлгісі

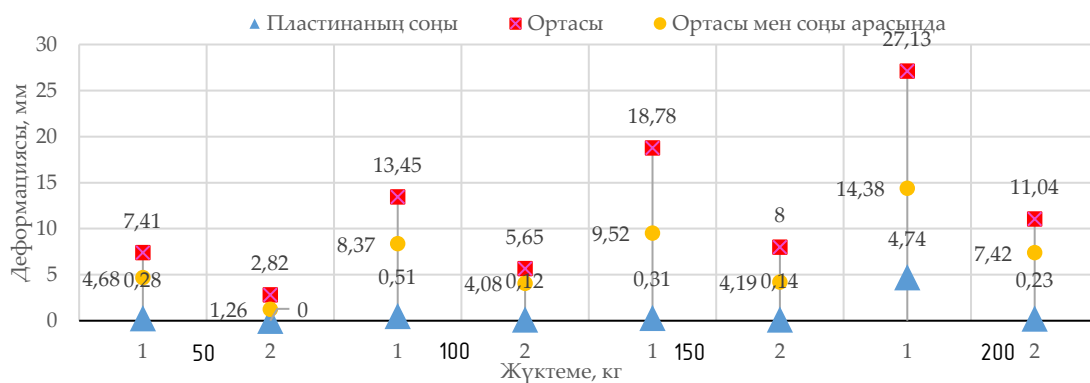
Ескерту – авторлар құрастырған

Кәдімгі қатты пластина үлгісінің салмағы 6,4 кг, ал перфорацияланған пластинаның салмағы 5,9 кг, әдеттегіден 8 % аз. 6-суретте 50, 100, 150, 200 кг жүктеме кезінде деформацияланған үлгілер көрсетілген.

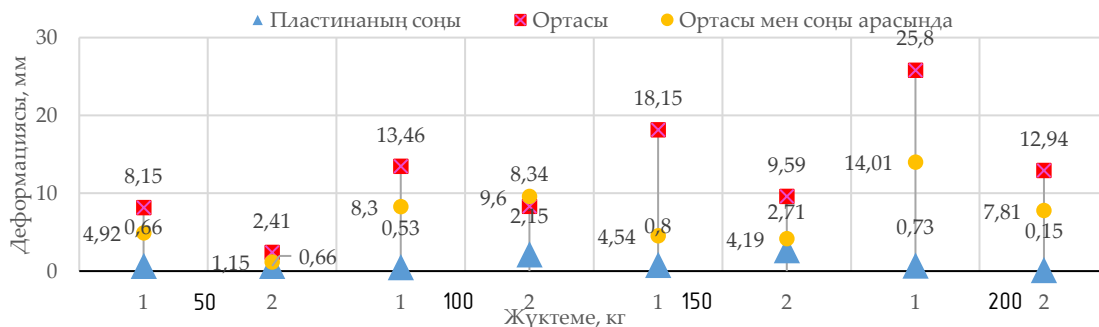


6-сурет. 0, 50, 100, 150, 200 кг жүктеме кезінде пластинаның деформациясы
Ескерту – авторлар құрастырған

Барлық зерттелетін жүктеме диапазонында перфорацияланған пластина қатты пластинаға қарағанда 2.35-2.63 есе аз ауытқуды көрсетеді. Қаттылық үстемдігінің орташа мәні 2.46 құрайды. Төменде модельдеудегі деформация мәндерінің салыстырмалы графиктері және 7-8-суреттегі пластинаның эксперименті (валидациясы) берілген.



7-сурет. ANSYS нәтижелері бойынша 2 пластинаның деформациясы
Ескерту – авторлар құрастырған



8-сурет. Эксперименттен 2 пластинаның деформациясы
Ескерту – авторлар құрастырған

Перфорацияланған пластинаның қаттылығын арттыру контринтуитивті, бірақ деформация механикасы тұрғысынан түсінікті. Кесу әдісімен жасалған перфорация шын мәнінде қатты қиманы торлы құрылымға айналдырады. Иілу кезінде негізгі жүктемені экстремалды талшықтар көтереді. Материалдың таралуын оңтайландыру (оны төмен кернеу аймағынан шығару) бейтарап оське қатысты қиманың тиімді Инерция моментінің жоғарылауына әкеледі, бұл ауытқулардың төмендеуінде көрінеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелерін талдау келесі тұжырымдарды жасауға мүмкіндік береді:

1. Саңылау диаметрінің әсері. $d_{отв}$ диаметрін ұлғайту массаны азайтудың ең тиімді әдісі болып табылады. C_x және C_y тұрақты қадамдарымен диаметрдің 20 мм-ден 50 мм-ге дейін өсуі $M_{плат}$ платформасының массасының 20-25 %-ға төмендеуіне әкеледі. Мысалы, $C_x=100$ мм және $C_y=110$ мм кезінде масса 6,300 кг-нан 4,757 кг-ға дейін азаяды.

2. Екі үлгі үшін де геометриялық сызықтық емес есептерге тән жүктеменің жоғарылауымен сызықтық емес иілу өсімі байқалады.

3. 200 кг жүктеме кезінде перфорацияланған пластина бірдей өлшемдегі қатты пластинаға қарағанда 2,46 есе аз (11,04 мм қарсы 27,13 мм) ауытқуды көрсететіні анықталды.

4. Үлгі массасының 8 %-ға төмендеуі (6,4 кг-нан 5,9 кг-ға дейін) қаттылықтың өсуімен бірге меншікті қаттылықтың кешенді критерийінің 2,66 есе өсуіне әкелді.

Ғылыми-практикалық қорытынды: нәтижелер рационалды перфорация түріндегі мақсатты геометриялық оңтайландыру серпінді кезеңде жүк көтергіштігін жоғалтпай, иілу үшін жұмыс істейтін металл конструкцияларының элементтерінің массасын және қаттылығын бірлесіп азайтудың тиімді әдісі ретінде қызмет ететінін дәлелдейді.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Авторлар түйіндеме мәтінін қысқарту және пайдаланылған әдебиеттер тізімін безендіру үшін жасанды интеллект құралдарын пайдаланған.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Bastidas-Rodriguez, M. X. et al. (2020). Deep Learning for fractographic classification in metallic materials. *Engineering Failure Analysis*, 113, 104532. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104532>
- Bembenek, M. et al. (2025). Study of the stress-strain state of a perforated plate with stiffening ribs. *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 24(2), 18–32. <https://doi.org/10.17512/jamcm.2025.2.02>
- Crivelli, D., Ghelichi, R., & Guagliano, M. (2011). Failure analysis of a shaft of a car lift system. *Procedia Engineering*, 10, 3683–3691. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.606>
- Delatte, N. (2004). Undergraduate Summer Research in Structural Engineering. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 130(1), 37–43. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(2004\)130:1\(37\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2004)130:1(37))
- Delatte, N. (2010). Failure literacy in structural engineering. *Engineering Structures*, 32(7), 1952–1954. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.02.023>
- Gong, W., & Yu, Z. J. (2014). Mathematical Modeling and Simulation Analysis of Lift for Car Hydraulic System. *Applied Mechanics and Materials*, 490–491, 447–450. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.490-491.447>
- Jhaveri, K. et al. (2018). Life cycle assessment of thin-wall ductile cast iron for automotive lightweighting applications. *Sustainable Materials and Technologies*, 15, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.01.002>

- Kosucki, A. et al. (2021). Electro-Hydraulic Drive of the Variable Ratio Lifting Device under Active Load. *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, 67(11), 599–610. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2021.7320>
- Luo, L. et al. (2019). Number simulation analysis of self-lubricating joint bearing liner wear. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13(1), 23–34. <https://doi.org/10.1007/s12008-018-0471-y>
- Nurkusheva, S., Bembenek, M., & Kostyuchenkova, O. (2023). Overview of the use of lifting equipment in auto maintenance in Astana. *Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Technical Science and Technology Series*, 143(2), 136–146. <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-143-2-136-146>
- Sanusi, H. et al. (2019). Optimisation of scissor lifting machine structures using finite element analysis (FEA). *AIP Conference Proceedings*, 2111(1), 020003. <https://doi.org/10.1063/1.5118011>
- Shi, D. et al. (2015). Finite element and experimental analysis of pinion bracket-assembly of three gorges project ship lift. *Journal of Central South University*, 22(4), 1307–1314. <https://doi.org/10.1007/s11771-015-2647-y>
- Stawiński, Ł. et al. (2019). A new approach for control the velocity of the hydrostatic system for scissor lift with fixed displacement pump. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1104–1115. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2019.06.001>
- Stawiński, L. et al. (2021). Energy Consumption Structure and Its Improvement of Low-Lifting Capacity Scissor Lift. *Energies*, 14(5), 1366. <https://doi.org/10.3390/en14051366>
- Takesue, N. et al. (2016). Scissor lift with real-time self-adjustment ability based on variable gravity compensation mechanism. *Advanced Robotics*, 30(15), 1014–1026. <https://doi.org/10.1080/01691864.2016.1181008>
- Taub, A. I., & Babu, S. S. (2018). Opportunities and challenges for introducing new lightweight metals in transportation. *International Journal of Powder Metallurgy*, 54(2), 27–33.
- Taub, A. et al. (2019). Materials for Automotive Lightweighting. *Annual Review of Materials Research*, 49(1), 327–359. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-010134>
- Turan, K. (2013). Joint angle effect on the failure behavior of pinned joint composite plates. *Journal of Composite Materials*, 47(24), 3027–3039. <https://doi.org/10.1177/0021998312461079>
- Uhryński, A. et al. (2024). A Comparative Thermal Analysis of Two Workpiece Materials of Different Machinability When Turning Based on Ir Thermography. *Journal of Machine Engineering*, 24(1), 50–59. <https://doi.org/10.36897/jme/185359>
- Williams, B., Hall, A., & Myers, O. (2020). Terfenol-D Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP): Embedded Sensing for Early Localized Damage Detection. *Proceedings of the ASME 2020 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1115/SMASIS2020-2283>
- Yan, T. P. (2011). The Air Controlled Hydraulic System Design of 3201z-Type Dump Truck Lifting Mechanisms. *Advanced Materials Research*, 383–390, 1202–1207. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.1202>
- Zhang, L., & Li, Y. (2020). Synchronous Control of Double Hydraulic Cylinders of Scissors Aerial Work Platform Based on Fuzzy PID. *2020 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT)*, 349–354. <https://doi.org/10.1109/ICECTT50890.2020.00084>
- Zhang, W., Wang, X. X., & Wang, L. W. (2011). Strength Optimization Design of Box-Shape Arms of a Scissor Lift Mechanism with Single Hydraulic Cylinder. *Applied Mechanics and Materials*, 141, 513–518. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.141.513>

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Костюченкова Оксана Николаевна – техникалық ғылымдарының кандидаты, PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің аға оқытушы, Астана қ., Қазақстан

Костюченкова Оксана Николаевна – кандидат технических наук, доктор PhD, старший преподаватель Казахского агротехнического исследовательского университета им.С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

Kostyuchenkova Oksana Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences, PhD, Senior Lecturer of Seifullin University, Astana, Kazakhstan

e-mail: oxy_uno@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2060-7083>



Нуркушева Салтанат Амангелдіқызы – хат-хабар авторы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің докторантты, Астана қ., Қазақстан

Нуркушева Салтанат Амангельдиевна – автор для корреспонденции, докторант Казахского агротехнического исследовательского университета им.С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

Nurkusheva Saltanat Amangeldiyeva – corresponding author, PhD-student of Seifullin University, Astana, Kazakhstan

e-mail: saltanat.nurkusheva@kazatu.edu.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7263-3797>



Bembenek Michal – техника ғылымдарының докторы, PhD, Краков АГН университетінің профессоры, Краков қ., Польша

Bembenek Michal – доктор технических наук, доктор PhD, профессор АГН Университета в Кракове, г. Краков, Польша

Bembenek Michal – Doctor of Technical Sciences, PhD, Professor, AGH University in Krakow, Krakow, Poland

e-mail: bembenek@agh.edu.pl,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7665-8058>