



DOI 10.51885/1561-4212_2025_4_97
FTAXP 55.03.33

МОЙЫНТІРЕК ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ СТАТИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕ КЕЗІНДЕГІ КЕРНЕУ ЖӘНЕ ДЕФОРМАЦИЯ СИПАТТАМАЛАРЫ

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКА ПРИ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

CHARACTERISTICS OF STRESS AND DEFORMATION OF THE BEARING STRUCTURE UNDER STATIC LOAD

Д.С. Мырзалиев ¹, Яцек Цеслик ², О.Б. Сейдуллаева ^{1*}, А.Б. Усеров ¹

^{1,3,4}М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент қ., Қазақстан

²«AGH Краков университеті», Краков қ., Польша

*Жауапты автор: Сейдуллаева Орынкул Бахытқызы, e-mail: orynkul_s@mail.ru

Түйінді сөздер:

мойынтірек; статикалық жүктеме; сандық модельдеу; SolidWorks Simulation; көміртекті болат; кернеу; деформация; инженерлік талдау

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл зерттеуде мойынтірек моделі SolidWorks Simulation бағдарламасы арқылы статикалық жүктеме жағдайында талданды. Зерттеу мақсаты — көміртекті болаттан жасалған құрылымның жүктеме астындағы механикалық мінез-құлқын бағалау. Модельдеуге арналған геометрия үш өлшемді денелер түрінде ұсынылып, олардың өзара байланысы «Bonded» шартымен орнатылды. Жүктеме ретінде 1000 Н шамасындағы қалыпты күш қолданылды, ал тіректер ретінде Roller/Slider және Fixed Geometry түрлері пайдаланылды. Талдау нәтижесінде кернеу, ығысу және деформация көрсеткіштері өте төмен деңгейде болғаны анықталды, бұл құрылымның беріктігін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері модельдің механикалық тұрғыдан тұрақты екенін дәлелдеп, инженерлік жобалауда осындай тәсілдердің тиімділігін көрсетті. Алынған мәліметтер нақты инженерлік қолданбаларда пайдалануға жарамды және мойынтірек элементтерін жобалау кезінде сандық талдаудың маңыздылығын дәлелдейді.

Ключевые слова:

подшипник; статическая нагрузка; численное моделирование; SolidWorks Simulation; углеродистая сталь; напряжение; деформация; инженерный анализ

АННОТАЦИЯ

В этом исследовании модель подшипника была проанализирована в условиях статической нагрузки с помощью программы SolidWorks Simulation. Цель исследования — оценить механическое поведение конструкции из углеродистой стали под нагрузкой. Геометрия для моделирования была представлена в виде трехмерных тел, и их взаимосвязь была установлена при условии «Bonded». В качестве нагрузки использовалась нормальная сила около 1000 Н, а в качестве опор использовались типы Roller/Slider и Fixed Geometry. В результате анализа было обнаружено, что показатели напряжения, сдвига и деформации находятся на очень низком уровне, что указывает на прочность конструкции. Результаты исследования показали эффективность таких подходов в инженерном проектировании, доказав, что модель механически устойчива. Полученные данные пригодны для использования в конкретных инженерных



приложениях и доказывают важность количественного анализа при проектировании несущих элементов.

Keywords:

bearing; static load;
numerical simulation;
SolidWorks Simulation;
carbon steel; stress;
deformation; engineering
analysis

ABSTRACT

In this study, the bearing model was analyzed under static load conditions using the SolidWorks Simulation program. The purpose of the study is to evaluate the mechanical behavior of a carbon steel structure under load. The geometry for modeling was presented in the form of three-dimensional bodies, and their relationship was established under the condition of "Bonded". A normal force of about 1000 N was used as the load, and Roller/Slider and Fixed Geometry types were used as supports. As a result of the analysis, it was found that the stress, shear and deformation indicators are at a very low level, which indicates the strength of the structure. The results of the study have shown the effectiveness of such approaches in engineering design, proving that the model is mechanically stable. The data obtained is suitable for use in specific engineering applications and proves the importance of quantitative analysis in the design of load-bearing elements.

КІРІСПЕ

Машина жасау мен мехатроника саласында айналмалы қозғалысты қамтамасыз ететін мойынтіректердің сенімділігі мен беріктігі маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Қазіргі таңда осындай құрылымдардың жұмысын модельдеу және алдын ала болжау мақсатында сандық әдістер мен компьютерлік симуляциялар кеңінен қолданылуда. SolidWorks Simulation сияқты инженерлік бағдарламалар механикалық жүйелерді зерттеуде тиімді құрал болып саналады. Бұл зерттеуде мойынтіректің статикалық жүктеме жағдайындағы күйі зерттеліп, құрылымның кернеу және деформация сипаттамалары анықталды. Әдеби деректерде мойынтірек элементтері бойынша көптеген зерттеулер жүргізілгенімен, нақты геометрия мен нақты материал негізінде жүргізілген талдаулардың өзектілігі сақталып отыр (Budynas, & Nisbett, 2015).

Зерттеудің мақсаты — көміртекті болаттан жасалған мойынтірек моделінің статикалық жүктеме кезіндегі механикалық жауаптарын бағалау. Бұл мақсатқа жету үшін SolidWorks Simulation бағдарламасы арқылы жүктеме мен тіректерге сәйкес модель жасалып, кернеу, ығысу және деформация көрсеткіштері анықталды. Қолданылған әдіс модельдің инженерлік тұрғыдан жарамдылығын бағалауға және оның сенімділік деңгейін болжауға мүмкіндік береді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Домалау мойынтіректері өлшемі, салмағы, жүк көтергіштігі, беріктігі, дәлдігі, үйкеліс және т.б. артықшылыққа ие. Мойынтіректердің басқа конструкциялары көбінесе белгілі бір параметрде жақсырақ, бірақ басқа параметрлердің көпшілігінде нашар, дегенмен сұйық мойынтіректер кейде жүк көтергіштігі, беріктігі, дәлдігі, үйкелісі, айналу жылдамдығы және кейде құны бойынша бір уақытта асып түсуі мүмкін. Тек сырғанау мойынтіректері жылжымалы мойынтіректер сияқты кеңінен қолданылады. Олар автомобиль, өнеркәсіп, теңіз және аэроғарыш салаларында кеңінен қолданылады. Олар заманауи технологиялар үшін маңызды өнімдер болып табылады. Домалау мойынтіректері мыңдаған жылдар бойы жасалған берік іргетас негізінде жасалған. Бұл тұжырымдама өзінің қарабайыр түрінде Рим империясы кезінде пайда болды. Бұйымдардың бірқатар конструкцияларында домалау мойынтіректерінің жұмыс жағдайлары дәстүрліден өзгеше болатын механизмдер қолданылады, атап айтқанда, мойынтіректің сыртқы сақинасы тұрқыға орнатылмаған кезде, бірақ белгілі бір бетке



айналады. Өкінішке орай, мойынтіректерді статикалық жүктеме бойынша есептеудің стандартты әдістерінде мойынтірек сақиналарының кернеулі деформацияланған күйін анықтау үшін тәуелділіктер берілмейді (Budynas және Nisbett, 2015), өйткені серпімділік теориясында берілген мәселенің аналитикалық шешімі жоқ және оны тек сандық әдістермен алуға болады (Marimuthu, 2014).

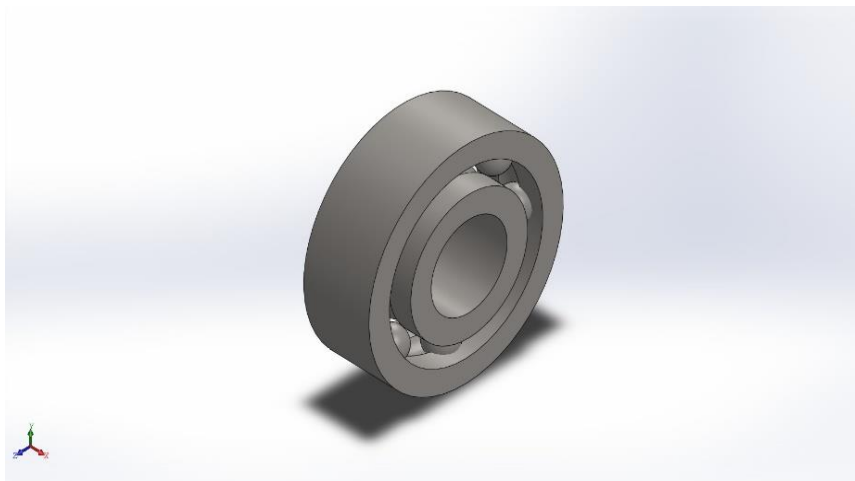
Сонымен, қалалық автобус трансмиссиясы үшін жаңа типтегі өзін-өзі реттейтін механикалық импульсті үздіксіз беруді жобалау процесінде (Mahadevan, және Reddy, 2014) сыртқы сақинасы эксцентриктің бетіне домалап, жеткілікті үлкен радиалды жүктемені қабылдайтын мойынтіректерді есептеу және таңдау қажет болды. Беріктікті бағалау бойынша қойылған міндет домалау денелерінің жанасу орындарындағы жанасу кернеулерін, сондай-ақ статикалық жүктеме әсерінен мойынтірек сақиналарының деформацияларын бірлесіп есептеуді көздейді, өйткені бұл жағдайда айналу жиілігі өте төмен деп болжанады (Бейзельман, Цыпкин & Перель 1967).

Сонымен қатар, егер зерттелетін мойынтіректе сепаратор болса, онда оның жылжымалы денелері бір-бірінен салыстырмалы түрде алыс орналасады, бұл радиалды жүктеме әсерінен сыртқы сақинаның айтарлықтай деформациясына әкеледі. Сондықтан мұндай мойынтіректің жұмысының толық бейнесін алу үшін екі есептік жағдайды қарастыру қажет:

- а) жүктеме векторы доптың (роликтің) ортасынан өткенде;
- б) жүктеме векторы екі сұр шардың (роликтердің) дәл ортасына бағытталған кезде.

Стандартты емес жұмыс жағдайында мойынтіректердің жұмысын компьютерлік модельдеу әдісі 5 кезеңнен тұрады.

1-кезең. Домалау мойынтіректерінің геометриялық пішінінің салыстырмалы қарапайымдылығына байланысты геометриялық модельді құру үшін үш өлшемді дизайн пакеттерін тартудың қажеті жоқ. Мысал ретінде 1-суретте есептелген жағдайға арналған мойынтіректің 3D моделі келтірілген



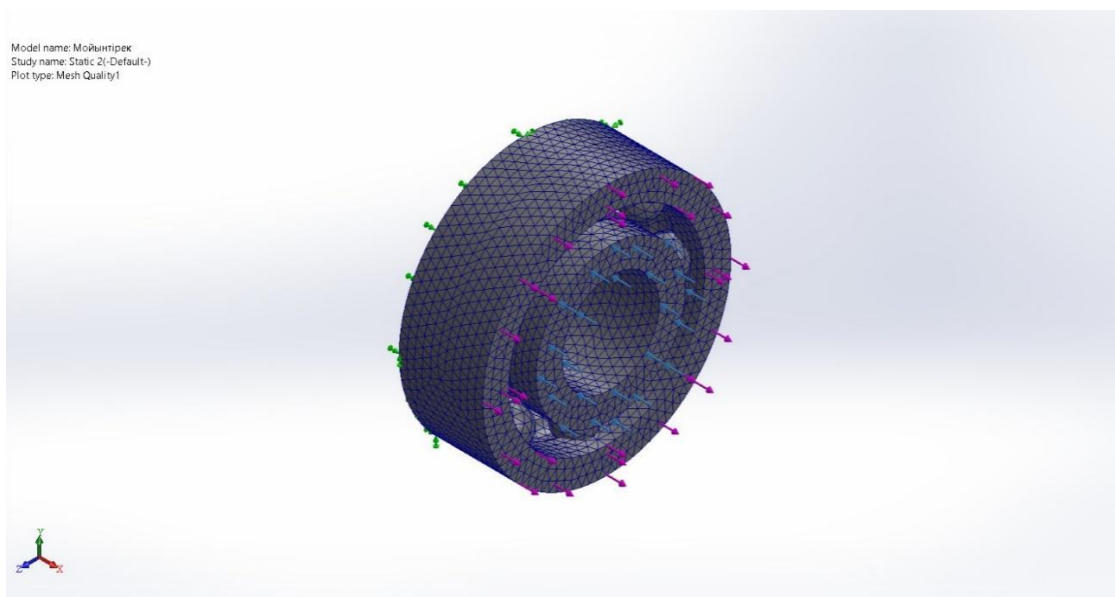
1-сурет. Мойынтіректің 3D моделі

Ескерту – авторлар SolidWorks Corporation. (2023) деректері негізінде құрастырған

2-кезең. Қатты күйдегі геометриялық модель SolidWorks типті соңғы элементтерге таңдалады. Мойынтірек сақиналары тікелей SolidWorks Simulation препроцессорында жасалғандықтан, бұл жуықтау тұрғысынан тұрақты (Mesh Control) соңғы элементтер торын жасауға мүмкіндік береді (2-сурет). Эксперимент барысында жоғары сапалы Blended curvature-based mesh 28 698 түйін (nodes) және 17 301 элемент (elements) пайдаланылды.



Моншақтардың ұңғымалармен түйісуінде бет-беткі байланыс жұптарын жасау керек (Кудрявцев, 2020). Мойынтіректің сыртқы сақинасы мен эксцентриктің жанасу орнында да байланыс жұбын жасау керек.



2-сурет. Mesh Control

Ескерту – авторлар SolidWorks Corporation. (2023) деректері негізінде құрастырған

3-кезең. Модельге келесі шекаралық шарттар қойылады.

– Кесу жазықтықтарында симметрия шарттары белгіленеді.

– Мойынтірек домалайтын эксцентриктің төменгі беті барлық еркіндік дәрежелері бойынша бекітіледі.

– Мойынтірек сепараторы жүгіру жолдарындағы домалақ денелердің салыстырмалы орналасуын сақтау үшін ғана қызмет ететіндіктен және мойынтіректің жүк көтергіштігіне әсер етпейтіндіктен, оның қатты күйдегі моделін модельдеудің мағынасы жоқ. Сепараторды имитациялау орталықтан өтетін және жүгіру жолымен домалау денесінің қозғалыс бағытына перпендикуляр жазықтығына салынған симметрия шарттарын орнату арқылы жүзеге асырылады (3-сурет).

– Мойынтіректің ішкі сақинасының ішкі бетінде орналасқан тораптар бойынша тік ось бойынша еркіндік дәрежелерін біріктіру қажет. Бұл бірлестік жүктемені беру үшін біліктің мойынтірегімен қатты қозғалысын модельдеуге мүмкіндік береді.

4-кезең. Сызықтық емес байланыс мәселелерін шешудің жалпы принциптеріне сәйкес модельді жүктеу 2 қадамда жүзеге асырылады (Кожевников, 2012). Жүктеудің бірінші қадамында білікке мойынтіректердің қону бетінде жатқан біріктірілген түйіндердің жиынтығынан түйінге жанасатын беттерді жақындастыру үшін жеткілікті ОУ осі бойынша шағын қозғалыстар қолданылады.

Жүктеудің екінші қадамында қолданылатын қозғалыстар алынып тасталады және сол түйінге екі есе азаятын тік күш қолданылады, өйткені модельдің жартысы ғана талданады.

5-кезең. Сызықтық емес есептің шешімін табудың итерациялық процесі аяқталғаннан кейін алынған нәтижелерге талдау жасалады. Тор сапасын бағалау және ұсыныстарды ескере отырып жасалуы мүмкін.

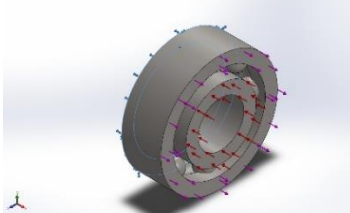


Зерттеуге SolidWorks ортасында құрылған «Мойынтірек» моделі пайдаланылды. Модель бірнеше қатты денеден (solid body) тұрады және олардың барлығы көміртекті болат (Plain Carbon Steel) материалынан жасалған. Материалдың негізгі сипаттамалары: серпімділік модулі – $2,1 \times 10^{11}$ Н/м², Пуассон коэффициенті – 0,28, тығыздығы – 7800 кг/м³. Модельге Roller/Slider және Fixed Geometry тіректері орнатылды. Жүктеме ретінде 1000 Н шамасындағы қалыпты күш қолданылды. Барлық денелер арасындағы байланыс шарты «Bonded» түрінде орнатылды. Top (mesh) сапасы жоғары деңгейде орнатылып, барлық элементтердің деформациялық көрсеткіштері есепке алынды. Анализ Solid Mesh негізінде жүргізіліп, нәтижелер von Mises кернеу критерийі бойынша бағаланды.

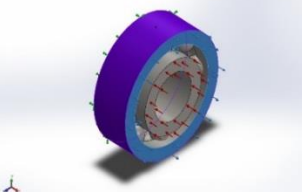
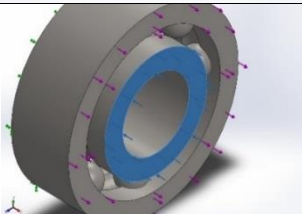
НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Модельге қолданылған статикалық жүктеме нәтижесінде есептелген кернеу, ығысу және деформация мәндері өте төмен болды. Von Mises кернеуі 0 Н/м² деңгейінде көрсетілсе, ығысу да $1,00 \times 10^{-30}$ мм шамасында тіркелді (SolidWorks Corporation, 2023). Мұндай төмен көрсеткіштер, бір жағынан, модельдің тіреу шарттарының аса қатты бекітілгендігінен, екінші жағынан, жүктеме шамасының материал сипаттамаларына қарағанда әлсіз болуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, «Bonded» байланыс шарты деформацияның таралуына шектеу қояды, бұл нәтижелердің минималды болуына әсер етті.

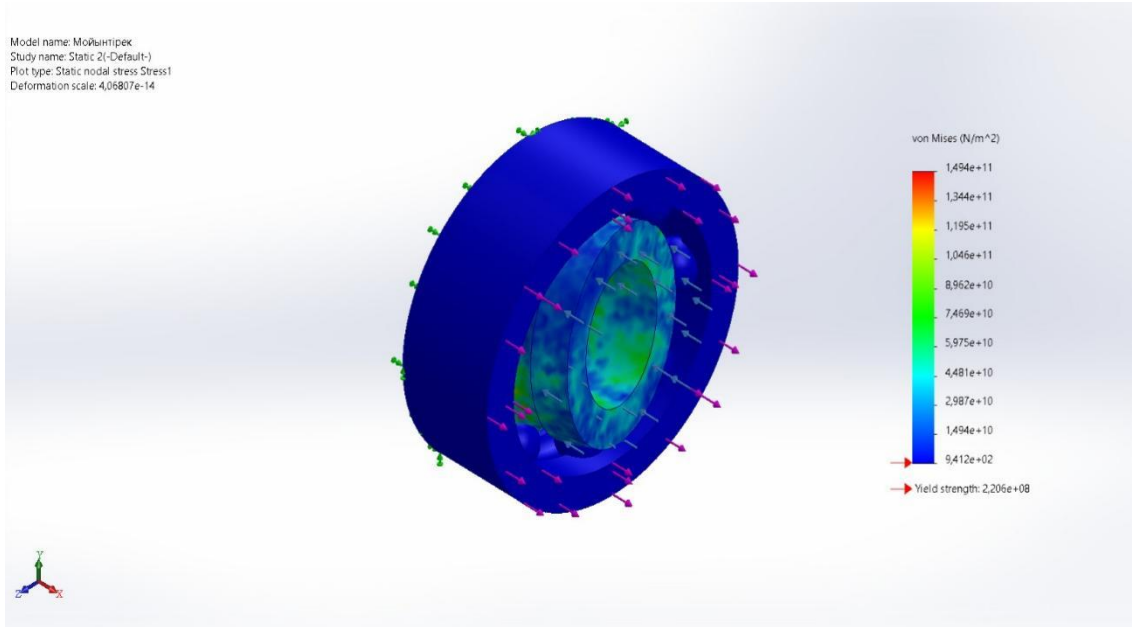
1-кесте. Модельге қолданылған орнықтыру

Орнықтыру атауы	Орнықтыру суреті	Орнықтырылған мәліметтер
Бекітілген-1		Түрі: Бекітіген бөлік
<i>Ескерту – автор SolidWorks Corporation. (2023) негізінде құрастырған</i>		

2-кесте. Модельге қолданылған жүктеме нәтижесі

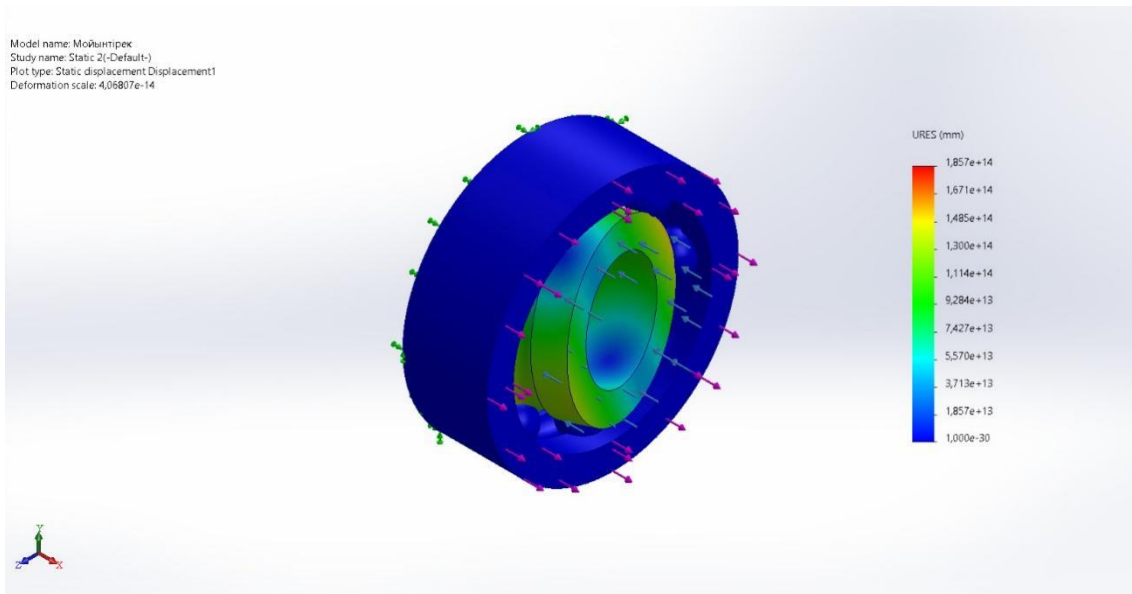
Компоненттер	X	Y	Z	Нәтиже
Реакция күші(N)	-1 000	3,57628e-07	1,93715e-07	1 000
Реакция моменті (Н. м.)	0	0	0	0
Жүктеме атауы	Жүктеме суреті			Жүктеме мәліметтері
Күш-1				Түре: Қалыпты күш Мәні: -1 000 N
Қысым-1				Түре: Таңдалған бетке қалыпты Мәні: 340
<i>Ескерту – автор SolidWorks Corporation. (2023) негізінде құрастырған</i>				

Алынған нәтижелер нақты инженерлік тұрғыда қолданылатын жағдайда мойынтіректің құрылымы статикалық жүктемеге төтеп бере алатынын және оның механикалық тұрақтылығын көрсетеді. Бұл зерттеу басқа ғылыми жұмыстармен салыстырғанда нақты геометрия мен материал негізінде орындалғанымен ерекшеленеді.



3-сурет. Статикалық жүктеме

Ескерту – авторлар SolidWorks Corporation. (2023) деректері негізінде құрастырған



4-сурет. Орын ауыстыру

Ескерту – авторлар SolidWorks Corporation. (2023) деректері негізінде құрастырған

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу барысында көміртекті болаттан жасалған мойынтірек моделі SolidWorks Simulation бағдарламасында статикалық талдауға ұшыратылды. Зерттеу



нәтижелері модельдің өте төмен кернеу және деформация көрсеткіштерін көрсетті, бұл оның механикалық тұрақтылығын және сенімділігін дәлелдейді.

Қойылған мақсаттар мен міндеттер толықтай орындалып, модельдеу әдісінің тиімділігі дәлелденді. Зерттеу барысында алынған мәліметтер теориялық негізде ғана емес, сонымен қатар практикалық инженерлік есептеулер мен жобалау жұмыстарына қолдануға жарамды. Бұл зерттеу мойынтірек элементтерін жобалау барысында сандық талдау әдістерін пайдаланудың маңыздылығын айқын көрсетіп, ғылыми ортада осындай тәсілдердің өзектілігін растайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Marimuthu, P., & Muthuveerappan, G. (2014). Optimum profile shift estimation on direct design asymmetric normal and high contact ratio spur gears based on load sharing. *Procedia Engineering*, 86, 709–717. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.089>.
- Mahadevan, K., & Reddy, K. B. (2014). *Design Data Handbook for Mechanical Engineers*. CBS Publishers.
- SolidWorks Corporation. (2023). *SolidWorks Simulation User Guide*. Dassault Systèmes.
- Бейзельман, Р. Д., Цыпкин, Б. В., & Перель, Л. Я. (1967). *Подшипники качения*. Справочник. Изд-е пятое, исправленное и дополненное. – М.: Машиностроение. – 563 с.
// Beizel'man, R. D., Tsyupkin, B. V., & Perel', L. Ya. (1967). *Podshipniki kacheniya*. *Spravochnik*. Izd-e pyatoye, ispravlennoe i dopolnennoe [Rolling Bearings: Handbook. 5th ed., revised and enlarged]. – Moscow: Mashinostroenie. (In Russ.)
- Кудрявцев, В. В. (2020). *Подшипники: конструкция, расчет, эксплуатация*. – М.: Инфра-Инженерия. – 312 с. // Kudryavtsev, V. V. (2020). *Podshipniki: konstruktsiya, raschet, ekspluatatsiya* [Bearings: Design, Calculation, Operation]. – Moscow: Infra-Inzheneriya. (In Russ.)
- Кожевников, Н. М. (2012). *Машина бөлшектері және конструкция элементтері*. – Алматы: Эверо баспасы. // Kozhevnikov, N. M. (2012). *Mashina bölşekteri jäne konstruktsiya elementteri* [Machine Parts and Design Elements]. – Almaty: Evero baspasy. (In Kaz.)
- Рахимбаев, М. Р. (2020). *Машинатану негіздері*. – Нұр-Сұлтан: Технополис. // Rakhimbaev, M. R. (2020). *Mashinatanu negizderi* [Fundamentals of Machine Science]. – Nur-Sultan: Tekhnopolis. (In Kaz.)
- Сидоров, А. В., & Иванов, В. П. (2018). *Подшипники качения: расчет и конструирование*. – М.: Машиностроение. // Sidorov, A. V., & Ivanov, V. P. (2018). *Podshipniki kacheniya: raschet i konstruirovaniye* [Rolling Bearings: Calculation and Design]. – Moscow: Mashinostroenie. (In Russ.)
- Николаев, В. И. (2019). *Прочность материалов и конструкций при статических нагрузках*. – СПб.: Профессия. – 286 с. // Nikolaev, V. I. (2019). *Prochnost' materialov i konstruktsii pri staticheskikh nagruzkakh* [Strength of Materials and Structures under Static Loads]. – St. Petersburg: Professiya. (In Russ.)
- Кочергин, В. А. (2021). *Механика деформируемого твердого тела: Теория упругости и пластичности*. – М.: Лань. – 410 с. // Kochergin, V. A. (2021). *Mekhanika deformiruemogo tverdogo tela: Teoriya uprugosti i plastichnosti* [Mechanics of Deformable Solid: Theory of Elasticity and Plasticity]. – Moscow: Lan'. (In Russ.)
- Баранов, П. А., & Иванов, К. С. (2022). *Статические характеристики подшипников качения в условиях сложного нагружения*. *Вестник машиностроения*, (4), 55–61. // Baranov, P. A., & Ivanov, K. S. (2022). *Statische kharakteristiki podshipnikov kacheniya v*



usloviyakh slozhnogo nagruzheniya [Static Characteristics of Rolling Bearings under Complex Loading]. Vestnik Mashinostroeniya, (4), 55–61. (In Russ.)

Попов, Е.П. (2022). Механика материалов. 2-е изд. – М.: Физматлит. – 528 с. // Попов, Е.П. (2022). Mekhanika materialov [Mechanics of Materials]. 2nd ed. – Moscow: Fizmatlit. (In Russ.)

Harris, T. A., & Kotzalas, M. N. (2021). Rolling Bearing Analysis (5th ed.). CRC Press.

Johnson, K. L. (2021). Contact Mechanics. Cambridge University Press.

Ломакін, А. А. (2023). Численные методы анализа напряжённого состояния подшипников скольжения. Инженерный журнал: наука и инновации, (6). // Lomakin, A.A. (2023). Chislennye metody analiza napryazhennogo sostoyaniya podshpnikov skolzheniya [Numerical Methods for Stress State Analysis of Sliding Bearings]. Inzhenernyi Zhurnal: Nauka i Innovatsii, (6). (In Russ.)

Власов, В.З. (2020). Теория упругости и пластичности. – М.: Наука. – 368 с. // Vlasov, V.Z. (2020). Teoriya uprugosti i plastichnosti [Theory of Elasticity and Plasticity]. – Moscow: Nauka. (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер Информация об авторах Information about authors



Мырзалиев Дархан Сапарбайұлы – т.ғ.к., доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті» КЕАҚ, Шымкент қ., Қазақстан

Мырзалиев Дархан Сапарбаевич – к.т.н., доцент, факультет «Механика и нефтегазовое дело» НАО «Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова», г. Шымкент, Казахстан

Myrzaliyev Darkhan Saparbaevich – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M. Aueзов South Kazakhstan Research University», Kazakhstan, Shymkent

e-mail: darkhan-m7@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4465-4140>



Яцек Цеслик – т.ғ.д., профессор «AGH Краков университеті», Краков қ., Польша

Яцек Цеслик – д.т.н., профессор «Краковский университет AGH», г. Краков, Польша

Jacek Cieslik – Doctor of Technical Sciences, Professor, AGH University of Krakow, Poland, Krakow

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0203-5149>



Сейдуллаева Орынгул Бахытқызы – «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті» КЕАҚ, Шымкент қ., Қазақстан

Сейдуллаева Орынгул Бахытовна – докторант по ОП «Машиностроение», факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казakhstanский исследовательский университет им. М. Ауэзова», г. Шымкент, Казахстан

Seidullayeva Oryngul Bakhytkyzy – corresponding author, Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan Research University», Shymkent, Kazakhstan

e-mail: orynkul_s@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5006-0683>



Усеров Алтынбек Батырбекұлы – «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті» КЕАҚ, Шымкент қ., Қазақстан

Усеров Алтынбек Батырбекович – докторант по ОП «Машиностроение», факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казakhstanский исследовательский университет им. М. Ауэзова», г. Шымкент, Казахстан

Userov Altynbek – Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan Research University», Shymkent, Kazakhstan

e-mail: usserov.sirmecc@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1275-1290>