

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2021)

---

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агенства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем  
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,  
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/EZKZ4794>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
**Зарубежные члены редакционной коллегии:**  
Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**МАЗМҰНЫ**

**МАШИНА ЖАСАУ**

**Мусаев М. М., Шеров К. Т., Ракишев А. К.,  
Карсакова Н. Ж., Куанышев Х. А.**  
Фрезалап жонуға арналған әмбебап құрылғының муфтасының  
серпімді элементінің кернеулік-деформацияланған күйін зерттеу ..... 9

**Назарьев А. В., Бочкарев П. Ю., Гумаров Г.С.**  
Дәлдігі жоғары бұйымдар буындарын құрастыруға  
қойылатын талаптарды дамыту ..... 18

**Касенов А. Ж., Янюшкин А. С., Маздубай А. В.,  
Искакова Д. А., Евтушенко Т. Л.**  
Пішінді кескіштерді жобалау ..... 27

**Шеров А. К., Өсербаев М. Т., Мырзахмет Б.,  
Имашева К. И., Смайлова Б. Қ.**  
Екі осьті қосылысқа ие тістегерішті сорғының серпімді  
сырғымалы элементінің деформацияланған күйін зерттеу ..... 35

**МЕТАЛЛУРГИЯ**

**Жакупов А., Богомолов А., Жакупова А.**  
Болат илемнің механикалық қасиеттерін анықтаудың бұзбайтын тәсілі ..... 44

**Шадрин Ю. И.**  
Алюминий дискілерін өндіру технологиясының ерекшеліктері ..... 50

**Жаксымбеков Д. Е., Таскарина А. Ж.,  
Абдрахманов Е. С., Тюлюбаев Р. А.**  
Таспалы конвейерлердің жұмыстың сенімділігін талдау және арттыру ..... 57

**Ларичкин В. В.**  
Электр болат балқыту өндірісінің бастапқы қождарын зерттеу ..... 64

**ҚҰРЫЛЫС**

**Гирнис С. Р., Украинец В. Н., Ыбыраева Е. М., Украинец А. В.**  
Тоннель қаптамасының геометриялық параметрлерінің жылжымалы жүктеме  
әсерінен тұқым массивінің кернеулік-деформацияланған күйіне әсері ..... 72

**Алдунгарова А. К., Мкилима Т., Утепов Е. Б.,  
Тулебекова А. С., Жарасов Ш. Ж.**  
Бөгеттерді жобалау және пайдалану кезіндегі  
нормативтік құжаттаманы салыстырмалы талдау ..... 85

**Утепбергенова Л. М., Толкынбаев Т. А.,  
Абдукаликова Г. М., Елеусинова А. Е., Абишева А. К.**  
Биік ғимараттардың екі құбырлы жылыту жүйесі ..... 95

**Рахметова А. Ш.**  
Тез тұрғызылатын ғимараттар мен құрылыстарды  
салу технологиясының ерекшеліктері ..... 104

**КӨЛІК**

<b>Зарипов Р. Ю., Сембаев Н. С., Гаврилов П., Жекенов А. Б., Имангазинова Д. Б.</b> Павлодар қаласы жағдайында велокөліктің тартымдылығын арттыру мәселесіне .....	110
<b>Костюченко Н. В., Абдрахманов А. Б., Оразалиев Б. Т., Қоңқыбаева А. Н., Мукашева А. Р.</b> Іштен жану қозғалтқышының жылуын жоғалту және сақтау мәселелері .....	123
<b>Дахам В. А.</b> Поршень-цилиндр құрылысына байланысты ІЖМ-дағы салқындату жүйесіне діріл мен кавитацияның әсері .....	132
<b>Балабаев О. Т., Аскаров Б. Ш., Қоңыртаева Қ. Б., Шәкетаева М. Т., Сайлау Ә. М.</b> «Шұбаркөл Көмір» АҚ жағдайында өнеркәсіптік темір жол көлігінің жұмысын талдау .....	139

**ХИМИЯ, МҰНАЙ-ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ**

<b>Рындин В. В., Шахаев А. Н., Шокан Р. М., Яновский А., Макушев Ю. П.</b> Mathcad жүйесіндегі магистральдық мұнай құбырының жұмыс режимдерін зерттеу .....	147
Сведения об авторах .....	160
Правила для авторов .....	172
Публикационная этика .....	182

**СОДЕРЖАНИЕ****МАШИНОСТРОЕНИЕ**

<b>Мусаев М. М., Шеров К. Т., Ракишев А. К., Карсакова Н. Ж., Куанышев Х. А.</b> Исследование НДС упругого элемента муфты универсального устройства для фрезоточения .....	9
<b>Назарьев А. В., Бочкарев П. Ю., Гумаров Г. С.</b> Развитие требований к сборке звеньев высокоточных изделий .....	18
<b>Касенов А. Ж., Янюшкин А. С., Маздубай А. В., Искакова Д. А., Евтушенко Т. Л.</b> Проектирование фасонных резцов .....	27
<b>Шеров А. К., Усербаев М. Т., Мырзахмет Б., Имашева К. И., Смайлова Б. К.</b> Исследование деформированного состояния упругого раздвижного элемента насоса шестеренного с двухосным соединением .....	35

**МЕТАЛЛУРГИЯ**

<b>Жакупов А., Богомолов А., Жакупова А.</b> Неразрушающий способ определения механических свойств стального проката .....	44
<b>Шадрин Ю. И.</b> Особенности технологии производства алюминиевых дисков .....	50
<b>Жаксымбеков Д. Е., Таскарина А. Ж., Абдрахманов Е. С., Тюлюбаев Р. А.</b> Анализ и повышение надежности работы ленточных конвейеров .....	57
<b>Ларичкин В. В.</b> Исследование первичных шлаков электросталеплавильного производства .....	64

**СТРОИТЕЛЬСТВО**

<b>Гирнис С. Р., Украинец В. Н., Ибраева Е. М., Украинец А. В.</b> Влияние геометрических параметров обделки тоннеля на напряженно-деформированное состояние породного массива при действии подвижной нагрузки .....	72
<b>Алдунгарова А. К., Мкилима Т., Утепов Е. Б., Тулебекова А. С., Жарасов Ш. Ж.</b> Сравнительный анализ нормативной документации при проектировании и эксплуатации плотин .....	85
<b>Утепбергенова Л. М., Толкынбаев Т. А., Абдукаликова Г. М., Елеусинова А. Е., Абишева А. К.</b> Двухтрубная система отопления высотных зданий .....	95

**Рахметова А. Ш.**Особенности технологии строительства  
быстровозводимых зданий и сооружений..... 104**ТРАНСПОРТ****Зарипов Р. Ю., Сембаев Н. С., Гаврилов П.,****Жекенов А. Б., Имангазинова Д. Б.**К вопросу повышения привлекательности велотранспорта  
в условиях города Павлодар ..... 110**Костюченко Н. В., Абдрахманов А. Б., Оразалиев Б. Т.,****Қоңқыбаева А. Н., Мукашева А. Р.**

К проблемам потери и сохранения тепла в ДВС ..... 123

**Дахам В. А.**Вибрационное и кавитационное воздействие на систему охлаждения  
в ДВС из-за конструкции поршень-цилиндр..... 132**Балабаев О. Т., Аскароев Б. Ш., Қоңыртаева Қ. Б.,****Шәкетаева М. Т., Сайлау Ә. М.**Анализ работы промышленного железнодорожного транспорта  
в условиях АО «Шубарколь Комир» ..... 139**ХИМИЧЕСКАЯ, НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ****Рындин В. В., Шахаев А. Н., Шокан Р. М., Яновский А., Макушев Ю. П.**Исследование режимов работы магистрального нефтепровода  
в системе Mathcad ..... 147

Сведения об авторах ..... 160

Правила для авторов ..... 172

Публикационная этика ..... 182

**CONTENTS****MECHANICAL ENGINEERING****Mussayev M., Sherov K., Rakishev A.,****Karsakova N., Kuanyshev K.**Research of the stress-strain state of the coupling elastic element  
of the milling universal device ..... 9**Nazaryev A. V., Bochkarev P. Yu., Gumarov G. S.**

Developing the requirements for assembling high-precision products ..... 18

**Kassenov A. Zh., Yanyushkin A. S., Mazdubay A. V.,****Iskakova D. A., Yevtushenko T. L.**

Design of shaped cutters ..... 27

**Sherov A. K., Ussebaev M. T., Myrzakhmet B.,****Imasheva K. I., Smaylova B. K.**Study of deformed state of elastic sliding element  
of a gear pump with two-shaft connection ..... 35**METALLURGY****Zhakupov A., Bogomolov A., Zhakupova A.**Non-destructive method for determining  
the mechanical properties of rolled steel ..... 44**Shadrin Yu. I.**

Features of aluminum disc production technology ..... 50

**Zhaksymbekov D. E., Taskarina A. Zh.,****Abdrakhmanov Ye. S., Tyulubayev R. A.**

Analysis and improvement of operational reliability of belt conveyors ..... 57

**Larichkin V. V.**

Research of primary slags of electric steelmaking production ..... 64

**CONSTRUCTION****Girnis S. R., Ukrainets V. N., Ibrayeva Ye. M., Ukrainets A. V.**Influence of the geometrical parameters of the tunnel lining  
on the stress-strain state of the rock mass under the action of a moving load ..... 72**Aldungarova A. K., Mkilima T., Utepov Ye. B.,****Tulebekova A. S., Zharassov Sh. Zh.**Comparative analysis of regulatory documents  
in the design and operation of dams ..... 85**Utebergenova L. M., Tolkunbaev T. A., Abdukalikova G. M.,****Eleusinova A. E., Abisheva A. K.**

Two-pipe heating system for tall buildings ..... 95

**Rakhmetova A. Sh.**Features of the technology of prefabricated  
buildings and structures construction ..... 104

**TRANSPORT**

<b>Zaripov R., Sembaev N. S., Gavrilov P., Zhekenov A. B., Imangazinova D. B.</b> To the issue of increasing the attractiveness of bike transport in the conditions of the city of Pavlodar .....	110
<b>Kostyuchenkov N. V., Abdrakhmanov A. B., Orazaliev B. T., Kongkybayeva A. N., Mukasheva A. R.</b> Problems of heat loss and preservation in ice.....	123
<b>Dahham A. W.</b> Vibration and cavitation effects on the cooling system in ice due to piston-cylinder design .....	132
<b>Balabaev O. T., Askarov B. Ş., Qoñyrtaeva Q. B., Şäketaeva M. T., Sailau Ä. M.</b> Analysis of the work of industrial railway transport in the conditions of JSC «Shubarkol Komir» .....	139

**CHEMICAL, OIL AND GAS ENGINEERING**

<b>Ryndin V. V., Shahaev A. N., Shokan R. M., Yanovskiy A., Makushev Yu. P.</b> Investigation of the operation modes of the oil trunk pipeline in the mathcad system.....	147
Information about the authors.....	160
Rules for authors .....	172
Publication ethics.....	182

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

FTAMP 55.03.35

<https://doi.org/10.48081/VFJG3824>

**\*М. М. Мусаяев<sup>1</sup>, К. Т. Шероев<sup>2</sup>, А. К. Ракишев<sup>3</sup>, Н. Ж. Карсакова<sup>4</sup>, Х. А. Куанышев<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4,5</sup>Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

<sup>2</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

**ФРЕЗАЛАП ЖОНУҒА АРНАЛҒАН ӘМБЕБАП ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ МУФТАСЫНЫҢ СЕРПІМДІ ЭЛЕМЕНТІНІҢ КЕРНЕУЛІК-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІН ЗЕРТТЕУ**

Фрезалап жону және термофрикциялық фрезалап жонуга арналған әмбебап құрылғының кинематикалық қозғалысын зерттеу құрылғының металл өңдеу процесінде өте жоғары жылдамдықта және күрделі кесу режимінде жұмыс істейтінін көрсетті. Сонымен қатар, оның ең көп жүктелген түйіні серпімді резеңке элементтер және серпімді элементтерді жартылай муфталармен байланыстыратын бұрандалы қосылыстар болып табылады. Бұл мақалада ANSYS бағдарламалық кешенінің көмегімен муфтаньң серпімді элементінің кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу нәтижелері келтірілген.

Зерттеулер ҚР Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған АР08956387 «Фрезерлеп жону технологиясын жүзеге асыруға арналған токарлық білдек базасындағы әмбебап қондырғының тәжірибелік үлгісін жасау» гранттық тақырыбы аясында орындалды.

Муфтаньң қуат сипаттамаларын құру үшін бір серпімді элементтің әрекеті зерттелді және оның геометриялық моделі жасалды. Серпімді элементтің бойындағы кернеу мен деформацияны сипаттайтын графиктер, сондай-ақ айналмалы жүктеме схемасы алынды.

Зерттеу нәтижесінде 4,98 МПа тең элементтегі кернеудің максималды мәні алынды, ол пайдаланылатын материалдың беріктік шегіне сәйкес келеді және қанағаттандырады. Максималды жүктемелерде муфтаньң жұмысы кезінде деформацияның максималды мәні 5,1 мм жететіні де анықталды.

Зерттеу нәтижелері муфтаньң серпімді элементінің таңдалған материалы мен геометриялық параметрлері оның берілген жұмыс жүктемелерінде жұмыс істеуін қамтамасыз ететіндігін көрсетті.

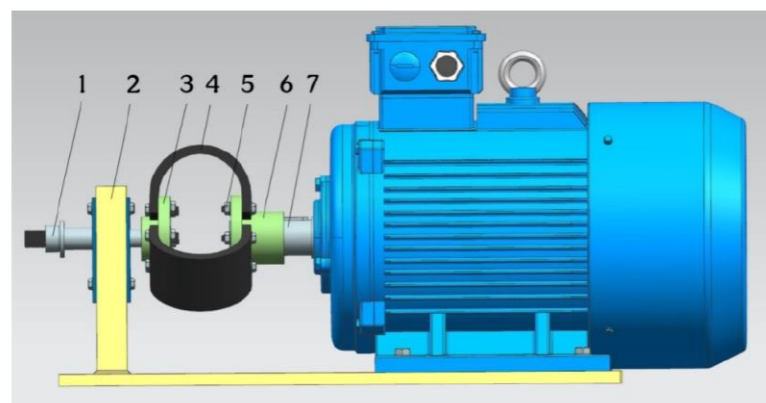
Кілтті сөздер: фрезалап жону құрылғысы, термофрикциялық фрезалап жону, серпімді элемент, кернеу, деформация, муфта.

**Кіріспе**

Фрезалап жону арқылы айналу денелері типтес бөлшектерді өндеудің өнімді әдісін кеңінен енгізу үшін қажетті станоктық жабдықтың болмауы және осы технологияның аз зерттелуі кедергі келтірді [1, 2]. Сондай-ақ, негізінен әмбебап станок жабдығы пайдаланылатын Қазақстан Республикасының машина жасау кәсіпорындары жағдайында бұл проблема одан сайын ушығып барады. Жоғары беріктігі бар материалдарды өңдеу кезінде өндеудің дәлдігі мен сапасын қамтамасыз ету әрдайым мүмкін емес, сонымен бірге өңдеу тиімділігіне қол жеткізу қиын және көп уақытты қажет ететін процесс болып табылады.

Осыған байланысты ҚР Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған АР08956387 «Фрезерлеп жону технологиясын жүзеге асыруға арналған токарлық білдек базасындағы әмбебап қондырғының тәжірибелік үлгісін жасау» гранттық тақырыбы аясында фрезалап жону технологиясын жүзеге асыруға арналған арнайы қондырғының құрылымы әзірленді.

Құрылғының конструкциясына [3] және фрезалап жону тәсіліне [4] ҚР патенті алынды.



Сурет 1 – Фрезалап жонуға арналған әмбебап құрылғы

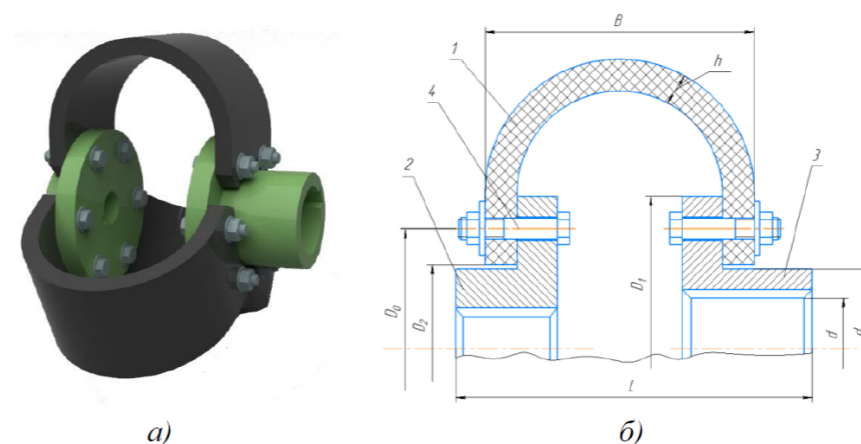
Токарлық білдек үшін әмбебап қондырғы (1-сурет) мойынтіректер орналасқан 2 кронштейнде орнатылған 1 аралық біліктің бір ұшына бекітілген жартылай муфтадан 3 және электрқозғалтқышының білігіне 7 орнатылған екінші жартылай муфтадан 6 және оларға бұрандалар 5 арқылы бекітілетін серпімді резеңке элементтерден 4 тұрады.

Құрылғы металл өңдеу процесінде өте жоғары жылдамдықта және күрделі кесу режимінде жұмыс істейтіндіктен, оның ең маңызды бөлігі – серпімді резеңке элементтер мен серпімді элементтерді жартылай муфталармен байланыстыратын бұрандалы қосылыстар. Осыған байланысты әмбебап фрезерлік құрылғы муфтасының серпімді элементінің кернеулік-деформацияланған күйін (КДК) зерттеу өзекті мәселе болып табылады.

**Материалдар мен әдістер**

1-суреттен жартылай муфталар аралық біліктің ұшына және электр қозғалтқышының білігіне орнатылғанын көруге болады. Айналмалы қозғалыс электр қозғалтқышынан муфталар арқылы аралық білікке беріледі. Муфтаның серпімді элементтері МБС-С маркалы техникалық пластинадан жасалған (МЕСТ 7338-90).

Резеңке төлкелердің қалыңдығының жұқа болуына байланысты біліктердің шамалы жылжуына мүмкіндік беретін муфтаның төмен иілгіштігі бар. Муфта шағын және орта айналу моменттерін беру кезінде машиналарды электр қозғалтқыштарымен қосу үшін кеңінен қолданылады [5]. Оны дайындау оңай. 2-суретте доға тәрізді серпімді элементтері бар муфтаның моделі және оның геометриялық сипаттамалары көрсетілген.



а – доға тәрізді серпімді элементтері бар муфта;

б – муфтаның геометриялық параметрлері:

1 – резеңке элемент; 2, 3 – жартылай муфталар;

4 – бұрандалы қосылыс; B – 115 мм; h – 12 мм; D<sub>0</sub> – 90 мм;

D<sub>1</sub> – 114 мм; D<sub>2</sub> – 64 мм; d – 38 мм; d<sub>ср</sub> – 60 мм; l – 170 мм.

Сурет 2 – Доға тәрізді серпімді элементтері бар муфтаның моделі және оның геометриялық параметрлері

Доға тәрізді серпімді элементтері бар серпімді муфта үш серпімді элементтен 1 тұрады және жартылай муфталар 2 және 3, оларға бұрандалы қосылыстармен 4 бекітіледі (2-суретті қараңыз).

Муфтаның жұмысына оған айналмалы қозғалыс беретін машина жұмысының сипатына байланысты динамикалық жүктемелердің (соққылардың, тербелістердің) шамасы, қарқындылығы мен сипаты айтарлықтай әсер етеді [6].

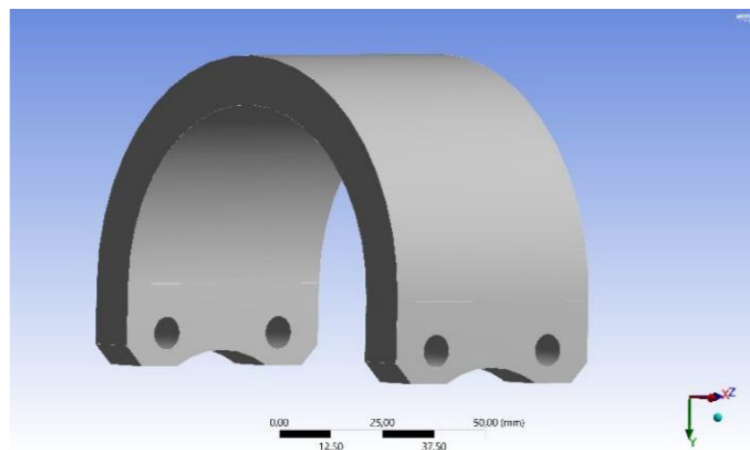
**Нәтижелер және талқылаулар**

Торо тәрізді серпімді элементтері бар муфталар үлкен қозғалыстармен және үлкен деформациялармен сипатталады, бұл оларды есептеу кезінде сызықтық емес серпімділік теориясының күрделі математикалық аппаратын қолдануды

немесе әр кадамда сызықтық физикалық қатынастарды қолдануға мүмкіндік беретін есепті шешудің кадамдық процедурасын талап етеді. Күрделі геометрияға және жоғары серпімді муфттардың серпімді элементтерін жүктеудің күрделі сипатына, материалдың ерекшелігіне байланысты, қарастырылып отырған типтегі муфттардың кернеулі-деформациялық күйін есептеу деформацияланатын қатты дененің механикасындағы ең күрделі әдістердің бірі деп санауға болады және олардың өзіндік әдістері көп жағдайда, металл бұйымдарын есептеу кезінде қолданылатын әдістерден өзгеше болады. Әрине, бұл мәселелерді тиімді шешу муфттардың резеңке серпімді элементтерін зерттеу құралы ретінде үздіксіз орта механикасының заманауи әдістерін қолданған кезде ғана мүмкін болады. Осындай әдістердің бірі – соңғы элементтер әдісі (СЭӘ).

Серпімді элементтің денесіндегі айналмалы ығысу кернеулерінің мәндрін анықтау және есептеу үшін біз ANSYS бағдарламалық кешенін қолданамыз. Муфтаның қуат сипаттамаларын құру үшін бір серпімді элементтің әрекетін қарастыру жеткілікті.

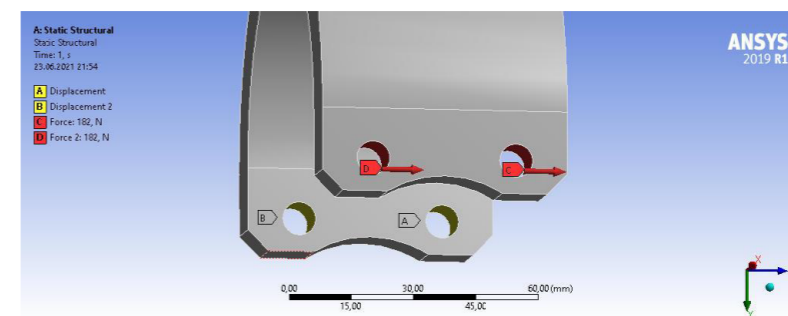
3-суретте муфтаның серпімді элементінің геометриялық моделі көрсетілген.



Сурет 3 – Муфтаның серпімді элементінің геометриялық моделі

ANSYS бағдарламалық кешенін қолдана отырып, тегіс серпімді элементі бар жоғары серпімді муфтаның типтік есебі [5, 6] жұмыстарда келтірілген. Онда резеңке жүзді композиттің реологиялық қасиеттерін математикалық сипаттаудың күрделілігіне байланысты торлы қабықтардың моментсіз теориясына негізделген модельдеуге жеңілдетілген тәсіл жүзеге асырылды, ол резеңке жүзді пластиналар мен қабықтардың ең толық дамыған математикалық моделі болып табылады.

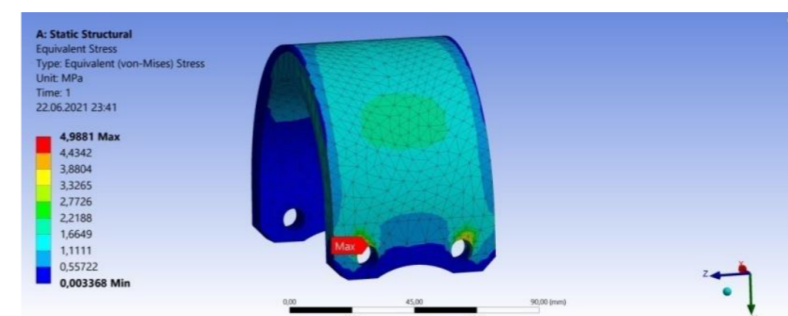
Муфтаның кернеулі-деформацияланған күйін анықтау статикалық құрылымның есептік шаблону негізінде жүзеге асырылады. Бұл есептеуде есептеу объектісін бекіту және жүктеу шарттарын белгілеу қажет. 4-суретте объектіні бекіту схемасы және оған қолданылатын момент көрсетілген.



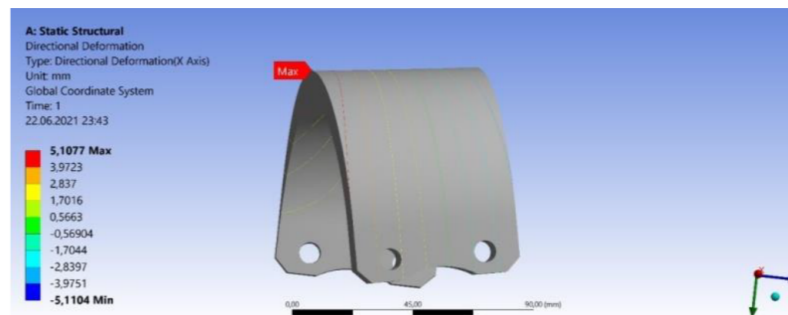
Сурет 4 – Айналу моментімен жүктелу сұлбасы:

A, B – бекіту нүктелері; C, D – айналу моментімен жүктелу нүктелері

ANSYS Static Structural шаблонндағы муфтаның серпімді элементінің кернеулі-деформацияланған күйін есептеу нәтижелері 6, 7-суреттерде келтірілген.



Сурет 6 – Муфтаның серпімді элементінің бойындағы кернеу мөлшері



Сурет 7 – Муфтаның серпімді элементінің бойындағы деформация шамасы

Алынған деректерді талдау нәтижесінде элементтегі кернеудің максималды мәні 4,98 МПа тең екендігі анықталды, бұл пайдаланылатын материалдың беріктік шегіне сәйкес келеді және қанағаттандырады. Максималды жүктемелерде муфтаның жұмысындағы деформацияның максималды мәні 5,1 мм жетеді.

Зерттеу нәтижелері муфтаның серпімді элементінің таңдалған материалы мен геометриялық параметрлері оның берілген жұмыс жүктемелерінде жұмыс істеуін қамтамасыз ететіндігін көрсетті.

**Қорытындылар**

1 Әмбебап фрезалап жону құрылғысының муфтасының серпімді элементінің ҚДК зерттеу нәтижесінде серпімді элементтің денесіндегі кернеу мен деформацияны сипаттайтын графиктер, сондай-ақ, айналдыру жүктемесінің схемасы алынды.

2 Элементтегі кернеудің максималды мәні 4,98 МПа тең, ол пайдаланылатын материалдың беріктік шегінде сәйкес келеді.

3 Максималды жүктемелерде муфтаның жұмысы кезінде деформацияның максималды мәні 5,1 мм жететіні анықталды.

4 Зерттеу нәтижелері муфтаның серпімді элементінің тандалған материалы мен геометриялық параметрлері оның берілген жұмыс жүктемелерінде жұмыс істеуін қамтамасыз ететіндігін көрсетті.

**ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **Шеров, К. Т., Шеров, А. К., Мусаев, М. М., Курманғалиев, Т. Б.** Қиын өңделетін материалдарды фрезалап-жону әдісімен өңдеу / Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева – Усть-Каменогорск : Изд-во ВКГТУ, 2016. – № 3(73) – С. 116–122.

2 **Mussayev, M., Sherov, K., Taskarina, A., Sherov, A., Gabdyssalik, R., Buzauova, T., Ainabekova, S.** Chip formation during thermal friction turn milling. In Journal of Applied Engineering Science. – Vol. 19. – № 1. – 2021. – P. 142–147.

3 **Шеров, К. Т., Мусаев, М. М., Шеров, А. К., Доненбаев, Б. С., Ракишев, А. К.** Универсальное устройство для токарного станка / Патент РК № 33088 на изобретение. Опубл. 17.09.2018. Бюл. № 35.

4 Иннов. пат. № 31934 РК. Способ термофрикционного фрезоточения и фреза трения / М. М. Мусаев, К. Т. Шеров, и др. Опубл. 05.07.2018, Бюл. № 25.

5 **Korneev, V. S.** Finite element research of rubber-cord flat coupling / V. S. Korneev, D. A. Romanyuk, S. A. Korneev, G. S. Russkih, M. V. Vaskova. In Procedia Engineering. – № 152. – Elsevier Ltd, 2016. – P. 321–326.

6 **Korneev, S. A.** Flat shell stress-strain state calculation / S. A. Korneev, V. S. Korneev, V. A. Ilyichev, M. V. Vaskova. In Procedia Engineering. – № 113. – Elsevier Ltd, 2015. – P. 270–275.

7 **Кокорев, И. А., Горелов, В. Н.** Курс деталей машин : Учебное пособие. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2017. – 287 с.

8 **Kang, J. H., Lee, H. W.** Study on the design parameters of a low speed coupling of a wind turbine. In Int. J. Precis. Eng. Manuf. – 2017. – Vol. 18. – P. 721–727.

9 **Романюк, Д. А.** Общий термодинамический анализ процессов деформирования упругого элемента плоской муфты // Физико-математическое моделирование систем : материалы XVII Международного семинара. – Воронеж : ВГЛУ, 2017. – Ч. 1. – С. 67–74.

10 **Зубков Н. Н.** Инструментальные материалы для изготовления лезвийных инструментов // Наука и образование. Научное изд. МГТУ им. Баумана. – 2018. – № 13. – С. 75–100.

**REFERENCES**

1 **Sherov, K. T., Sherov, A. K., Musayev, M. M., Kurmangaliev, T. B.** Kiyn ondeletin materialdardy frezalap-zhonu adisimen ondeu [Processing of hard-to-process materials by milling and turning]. In Bulletin of the Serikbayev EKSTU. – Ust` Kamenogorsk : Publ. EKSTU, 2016. – Vol. 3. – P. 116–122.

2 **Mussayev, M., Sherov, K., Taskarina, A., Sherov, A., Gabdyssalik, R., Buzauova, T., Ainabekova, S.** Chip formation during thermal friction turn milling. In Journal of Applied Engineering Science. – Vol. 19. – № 1. – 2021. – P. 142–147.

3 **Sherov, K. T., Musayev, M. M., Sherov, A. K., Donenbayev, B. S., Rakishev, A. K.** Universal'noye ustroystvo dlya tokarnogo stanaka [Universal device for lathe] / Patent RK № 33088. 17.09.2018. Bull. № 35.

4 Innov. patent of RK № 31934. Sposob termofriktsionnogo frezotocheniya i freza treniya [Thermal friction turn-milling method and friction milling cutter] / Musayev M. M., Sherov K. T. and others. 05.07.2018, Bull. № 25.

5 **Korneev, V. S.** Finite element research of rubber-cord flat coupling / V. S. Korneev, D. A. Romanyuk, S. A. Korneev, G. S. Russkih, M. V. Vaskova. In Procedia Engineering. – № 152. – Elsevier Ltd, 2016. – P. 321–326.

6 **Korneev, S. A.** Flat shell stress-strain state calculation / S. A. Korneev, V. S. Korneev, V. A. Ilyichev, M. V. Vaskova. In Procedia Engineering. – № 113. – Elsevier Ltd, 2015. – P. 270–275.

7 **Kokorev, I. A., Gorelov, V. N.** Kurs detaley mashin [Machine parts course] [Text]. – Samara : Samara State Technical University, 2017. – 287 p.

8 **Kang, J. H., Lee, H. W.** Study on the design parameters of a low speed coupling of a wind turbine. In Int. J. Precis. Eng. Manuf. – 2017. – Vol. 18. – P. 721–727.

9 **Romanyuk, D. A.** Obshchiy termodinamicheskiy analiz protsessov deformirovaniya uprugogo elementa ploskoy mufty [General thermodynamic analysis of deformation processes of an elastic element of a flat coupling]. In Fiziko-matematicheskoye modelirovaniye sistem : materialy XVII Mezhdunarodnogo seminar. – Voronezh : VSLTU, 2017. – P. 67–74.

10 **Zubkov, N. N.** Instrumental'nyye materialy dlya izgotovleniya lezviynykh instrumentov [Tool materials for the manufacture of blade tools]. In Nauka i obrazovaniye. – Bauman MSTU. – 2018. – Vol. 13. – P. 75–100.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

\***М. М. Мусаев<sup>1</sup>, К. Т. Шеров<sup>2</sup>, А. К. Ракишев<sup>3</sup>,**

**Н. Ж. Карсакова<sup>4</sup>, Х. А. Қуанышев<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4,5</sup>Қарагандинский технический университет,  
Республика Казахстан, г. Караганда;

<sup>2</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.



## ИССЛЕДОВАНИЕ НДС УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА МУФТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФРЕЗОТОЧЕНИЯ

*Исследование кинематического движения универсального устройства для фрезоточения и термофрикционного фрезоточения показали, что устройство работает в процессе металлообработки на очень высоких скоростях и в сложных режимах резания. При этом его самым нагруженным узлом являются упругие резиновые элементы и болтовые соединения, соединяющие упругие элементы с полумуфтами. В данной статье приводятся результаты исследования напряженно-деформированного состояния упругого элемента муфты с помощью конечно-элементного программного комплекса ANSYS.*

*Исследования были выполнены в рамках грантовой темы AP08956387 «Создание опытного образца универсального устройства на базе токарного станка для реализации технологии фрезоточения», финансируемой Комитетом науки Министерства образования и науки РК.*

*Для построения силовых характеристик муфты было исследовано поведение одного упругого элемента и построена его геометрическая модель. Были получены графики, характеризующие величины напряжения и деформации в теле упругого элемента, а также схема нагружения крутящим моментом.*

*В результате исследования получено максимальное значение напряжений в элементе равное 4,98 МПа, что удовлетворяет и соответствует характеристикам в пределах прочности используемого материала. Установлено, что максимальное значение деформации при работе муфты на максимальных нагрузках достигает величины 5,1 мм.*

*Результаты проведенных исследований показали, что выбранный материал и геометрические параметры упругого элемента муфты обеспечивают ее работоспособность при заданных эксплуатационных нагрузках.*

*Ключевые слова: устройство для фрезоточения, термофрикционное фрезоточения, упругий элемент, напряжения, деформация, муфта.*

\**M. Mussayev*<sup>1</sup>, *K. Sherov*<sup>2</sup>, *A. Rakishev*<sup>3</sup>,

*N. Karsakova*<sup>4</sup>, *K. Kuanyshev*<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup>Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>2</sup>S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 20.09.21.

## RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE COUPLING ELASTIC ELEMENT OF THE MILLING UNIVERSAL DEVICE

*The study of the kinematic movement of a universal device for turn-milling and thermal friction turn-milling showed that the device works in the process of metalworking at very high speeds and in difficult cutting conditions. At the same time, its most loaded unit is elastic rubber elements and bolted joints connecting elastic elements with half couplings. This article presents the results of the study of*

*the stress-strain state of the elastic element of the coupling using the finite element software package ANSYS.*

*The researches were carried out under the grant theme which are funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP08956387 «Creating a prototype universal device based on a lathe for the implementation of turn-milling technology»).*

*To construct the power characteristics of the coupling, the behavior of one elastic element was investigated and its geometric model was built. Were obtained graphs characterizing the values of stress and strain in the body of the elastic element, as well as the scheme of loading by a torque.*

*As a result of the study, the maximum value of the stress in the element was obtained, equal to 4.98 MPa, which satisfies and corresponds to the characteristics within the strength limits of the material used. It was found that the maximum value of deformation during the operation of the coupling at maximum loads reaches 5.1 mm.*

*The results of the studies have shown that the selected material and geometric parameters of the elastic element of the coupling ensure its operability at the given operational loads.*

*Keywords: turn-milling device, thermal friction turn-milling, elastic element, stress, deformation, coupling.*

**А. В. Назарьев<sup>1</sup>, П. Ю. Бочкарев<sup>2</sup>, \*Г. С. Гумаров<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина, Российская Федерация, г. Саратов;

<sup>2</sup>Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, Российская Федерация, г. Саратов;

<sup>3</sup>Западно-Казахстанский государственный университет имени М. Утемисова, Республика Казахстан, г. Уральск

### **РАЗВИТИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СБОРКЕ ЗВЕНЬЕВ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*В данной статье рассматривается вопрос совершенствования математического и методического обеспечения реализации укрупненного анализа требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки. Предложенные улучшения позволяют эффективнее выполнять конструкторский размерный анализ высокоточных сборочных единиц в автоматизированном режиме. А также дают возможность выбирать в системе автоматизированного планирования технологических процессов рациональные технологические процессы изготовления деталей при проведении технологической подготовки производства многономенклатурных механообрабатывающих комплексов.*

*Ключевые слова: высокоточное изделие, требование к сборке, комплекс проектных процедур, конструкторский размерный анализ, структурный элемент.*

#### **Введение**

Снижение себестоимости и времени изготовления единицы готовой продукции при сохранении требуемого качества и точности в современных экономических условиях являются основными факторами успеха любого машиностроительного производства. Особенно это касается высокоточных приборов и машин, к числу которых относится большинство изделий ракетно-космической и авиационной промышленности, прецизионного станкостроения и прочее. Именно поэтому целесообразно разрабатывать подходы, позволяющие комплексно решать поставленные перед производством задачи [1–3].

Для решения данной проблемы был предложен комплексный подход (комплекс формализованных проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (СТСТПМ)) [4]. Структура данного комплекса представлена на рисунке 1. Предложенная система позволяет выбирать в рамках системы автоматизированного планирования технологических процессов (САПЛТП) [5–7] рациональные технологии изготовления деталей. Что, в свою

очередь, обеспечивает уменьшение времени и трудоемкости сборки высокоточных изделий, снижение времени при технологической подготовке производства, а также повышение качества и надежности выпускаемой продукции.

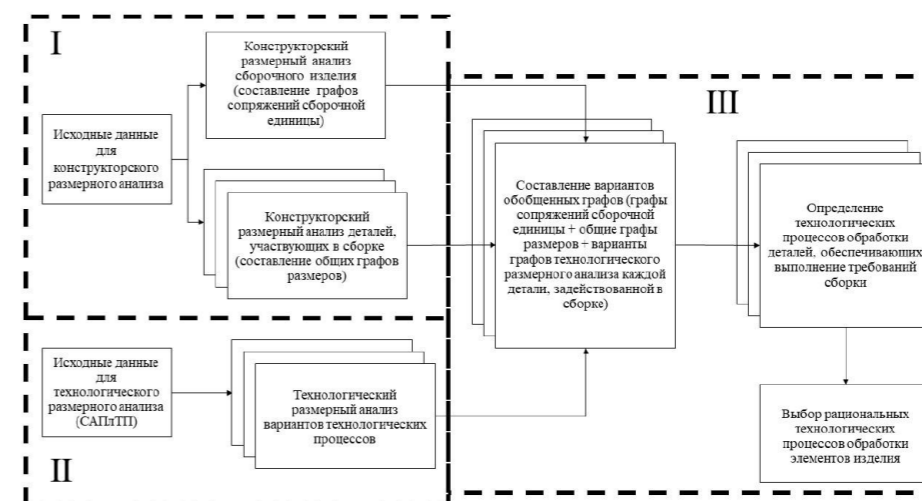


Рисунок 1 – Структура СТСТПМ в общем виде

#### **Постановка задачи**

В данной статье мы рассмотрим вопрос совершенствования укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий СТСТПМ (на рисунке 1, данный блок отмечен цифрой I).

#### **Цели**

Целью исследования является совершенствование методического и математического обеспечения укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий СТСТПМ для эффективного выполнения конструкторского размерного анализа (КРА) высокоточной сборочной единицы в автоматизированном режиме и выбора рациональных технологических процессов изготовления деталей при проведении технологической подготовки производства многономенклатурных машиностроительных комплексов.

#### **Методы исследования**

КРА заключается в построении графов размерного анализа сборочных единиц (графов сопряжений)  $G_C = (B_C, C_C)$  и графов размерного анализа деталей, входящих в данные сборочные единицы (графов размеров)  $G_P^j = (B_P, C_P)$  ( $j_1=1 \dots n$  обозначает номер детали в сборке). Для совершенствования математического аппарата реализации предложенного укрупненного блока выбраны и доработаны математические модели – прототипы [4, 8–10].

Процедура включает в себя следующие этапы:

1 Определение всех возможных выходных геометрических параметров – замыкающих звеньев, а также необходимых для расчета размеров комплектующих деталей – составляющих звеньев.

2 Разбиение высокоточного изделия или сборочной единицы на структурные элементы.

3 Определение возможных плоскостей, к которым принадлежат замыкающие и составляющие звенья.

4 Формирование размерных цепей для расчета замыкающих звеньев.

5 Выявление требований к сборке, которые не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости и определение плоскостей, в которых будет выполняться расчет.

Для корректного анализа исходных данных и формирования конструкторских размерных цепей для проведения КРА необходимо создать базу данных на основе конструкторской документации и (или) 3D моделей, в которой будет учитываться определенная индексация размеров, допусков форм и расположения:

$B_{k,l}^{i,j}$  – где:  $B$  – требования к сборке (замыкающие звенья); индекс  $i$  – порядковый номер требования ( $i = 1 \dots n_1$ ); индекс  $j$  – номер плоскости, к которой принадлежит данное требование ( $j = 1 \dots n_2$ ); индекс  $k$  – порядковый номер изделия ( $k = 1 \dots n_3$ ); индекс  $l$  – порядковый номер сборочной единицы или структурного элемента ( $l = 0 \dots n_4$ ).

$A_{k_1,m}^{i_1,j}$  – где:  $A$  – составляющие звенья конструкторской размерной цепи; индекс  $i_1$  – порядковый номер составляющего звена ( $i_1 = 1 \dots n_5$ ), индекс  $k_1$  – номер детали ( $k_1 = 1 \dots n_6$ ), индекс  $m$  – порядковый номер размера в детали ( $m = 1 \dots n_6$ ).

#### Результаты

Реализацию данного укрупненного блока целесообразно начинать с выявления выходных геометрических параметров высокоточного изделия или сборочных единиц – замыкающих звеньев (требований к сборке), допуск которых более жесткий по сравнению с точностью размеров комплектующих деталей (составляющих звеньев).

Исходными данными для реализации данного этапа служат:

1 Размеры, допуски формы и расположения, заложенные в сборочном чертеже на изделие;

2 Размеры, допуски формы и расположения, заложенные в сборочных чертежах на сборочные единицы, входящие в конечное изделие;

3 Размеры, допуски формы и расположения, заложенные в чертежах на детали, которыми комплектуется изделие и сборочные единицы.

Требования к точности, которым должно удовлетворять сборочное соединение, представлены на рисунке 2 [3].

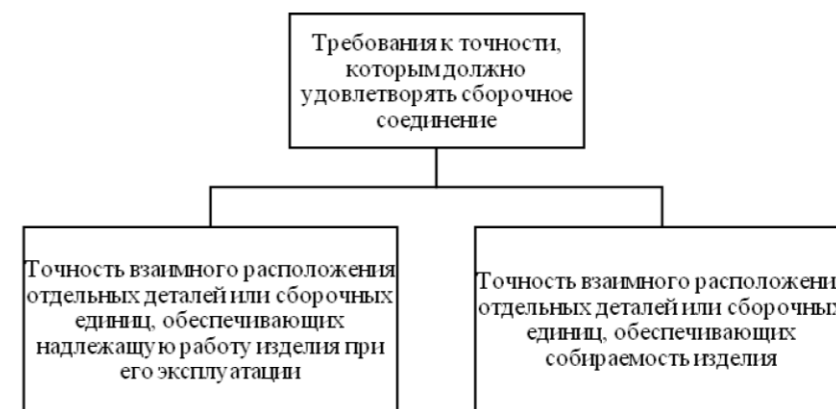


Рисунок 2 – Требования к точности, которым должно удовлетворять сборочное соединение

На втором этапе выполняется разбиение высокоточного изделия на структурные элементы. Структурный элемент – элемент сборочной единицы или сборочная единица в целом с определенным функциональным назначением. По компоновочному решению структурные элементы могут быть условно разделены на три группы (Рисунок 3).

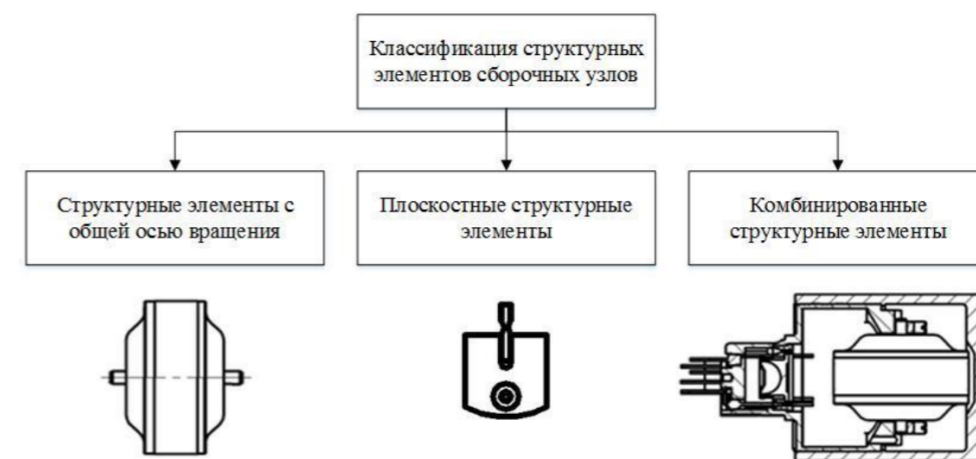


Рисунок 3 – Классификация структурных элементов по компоновочному решению

Структурные элементы с общей осью вращения составлены из звеньев – тел вращения, оси вращения, которых совпадают с осью вращения структурного элемента или параллельны ей.

У плоскостных структурных элементов все звенья подобных элементов имеют общую плоскость в продольном или поперечном направлении.

В комбинированных структурных элементах могут содержаться звенья – тела вращения совместно с плоскостными звеньями или звенья – тела вращения, расположенные под различными углами относительно друг друга.

Для последующего анализа сборочная единица должна разбиваться на структурные элементы. При этом учитываются как стандартные требования к сборке (посадки, выступания элементов и т.д.), так и специфические требования сборки, заложенные при проектировании.

Разбиение высокоточного изделия на структурные элементы, отличающиеся по составу от сборочных единиц целесообразно осуществлять в том случае, если необходимо рассчитать требования к сборке, составляющие звенья, которых принадлежат к разным сборочным единицам или изделиям.

Разбиение сборочной единицы предлагается осуществлять на принципах системного анализа, что позволит унифицировать решения по размерному анализу элементов сборочных изделий и разработать математические модели для формализации проектных процедур структурного анализа.

Далее переходим к этапу определения возможных плоскостей.

Главный вид предмета (главный вид) – основной вид предмета на фронтальной плоскости проекции, который дает наиболее полное представление о форме и размерах предмета, относительно которого располагаются остальные основные виды. При определении главного вида объекта исходят из геометрических и компоновочных характеристик сборочной единицы (структурного элемента), а также исходя из его служебного назначения.

Для структурных элементов с общей осью вращения:

– если структурный элемент с общей осью вращения является симметричным или условно симметричным во всех секущих плоскостях, проходящих через ось вращения, то для построения необходимых графов КРА выбирается любая из этих плоскостей;

– если структурный элемент с общей осью вращения является не симметричным, то для построения необходимых графов КРА выбирается секущая плоскость, проходящая через ось вращения структурного элемента или параллельная плоскости главного вида структурного элемента.

Для плоскостных структурных элементов:

– для построения необходимых графов КРА выбирается плоскость главного вида изделия или параллельной плоскости главного вида (в случае, когда для построения размерной цепи необходим разрез).

Для комбинированных узлов:

– для построения необходимых графов КРА выбираются плоскости для каждого из элементов комбинированной сборочной единицы (элементов с общей осью вращения и плоскостных элементов).

Определение возможных плоскостей для проведения размерного анализа отдельных структурных элементов и сборки в целом обеспечивает генерацию исходной информации для последующего формирования размерных цепей. Кроме

того, определение плоскостей позволяет выделить комплект деталей, который будет участвовать в последующем размерном анализе, и учесть требования к сборке.

Следующим этапом реализации процедуры предполагается формирование размерных цепей для проведения КРА. Выбор размерной цепи по характеру звеньев осуществляется исходя из геометрического расположения составляющих структурного элемента и характеру замыкающих и составляющих звеньев.

Для расчета замыкающих и составляющих звеньев с учетом предложенной индексации в общем виде формулы будут выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} B_{k,l}^{i,j} = \sum_{i=1}^{n_7} \overrightarrow{A_{k_1,m}^{i_1,j}} - \sum_{i=n_7-1}^{n_7-n_8} \overleftarrow{A_{k_1,m}^{i_1,j}} \\ TB_{k,l}^{i,j} = \sum_{i=1}^{n_9} TA_{k_1,m}^{i_1,j} \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} A_{k_1,m}^{i_1,j} = \sum_{i=1}^{n_{10}} \overrightarrow{A_{k_1,m}} - \sum_{i=n_{10}-1}^{n_{10}-n_{11}} \overleftarrow{A_{k_1,m}} \\ TA_{k_1,m}^{i_1,j} = \sum_{i=1}^{n_{12}} TA_{k_1,m} \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $\overrightarrow{\quad}$   $\overleftarrow{\quad}$  знаки обозначены увеличивающие и уменьшающие составляющие звенья размерной цепи соответственно;

$n_7$  и  $n_{10}$  – число увеличивающих звеньев при расчете требований сборки и составляющих звеньев соответственно;

$n_8$  и  $n_{11}$  – число уменьшающих звеньев при расчете требований сборки и составляющих звеньев соответственно;

$T$  – допуск на соответствующий размер.

Требования сборки, которые полностью соответствуют условию:

$$TB_{k,l}^{i,j} = \sum_{i=1}^{n_9} TA_{k_1,m}^{i_1,j} \quad (2)$$

обеспечиваются методом полной взаимозаменяемости и в дальнейшем рассматриваться не будут.

Нас же интересуют требования, которые будут отвечать следующему условию:

$$TB_{k,l}^{i,j} < \sum_{i=1}^{n_9} TA_{k_1,m}^{i_1,j} \quad (3)$$

Так как эти требования не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости.

Таким образом, сформированы и развиты требования к сборке звеньев высокоточных изделий, которые не могут быть обеспечены методом полной взаимозаменяемости. Из них, с помощью предложенной индексации, может быть получена информация о плоскостях, комплекте деталей и необходимых размерах, отклонениях формы и расположения, задействованных при КРА.

**Выводы**

Совершенствование укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточных изделий СТСТПМ позволит эффективнее выполнять КРА высокоточной сборочной единицы в автоматизированном режиме и в дальнейшем выбирать в САПЛТП рациональные технологические процессы изготовления деталей при проведении технологической подготовки производства для многономенклатурных машиностроительных комплексов. Кроме того, модернизация данного этапа позволяет установить связь между конструкторской и технологической подготовкой производства.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 **Грувер, М., Зиммерс, Э.** САПР и автоматизация производства. – М. : Мир, 1987. – 528 с.
- 2 **Mikhalev, O. N., Yanyushkin, A. S.** CAD/CAM-system module for the design of automatic production. In *Industry 4.0.* – 2020. – Vol. 5. – № 2. – P. 59–62.
- 3 **Базров, Б. М.** Основы технологии машиностроения : Учебник. – М. : Машиностроение, 2005. – 736 с.
- 4 **Назарьев, А. В., Бочкарев, П. Ю., Бокова, Л. Г.** Комплексный подход для выполнения технологической подготовки многономенклатурных механообрабатывающих производств на основе учета особенностей сборки высокоточных изделий [Текст] // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2019. – № 3 (264). – С. 35–42.
- 5 **Бочкарев, П. Ю.** Системное представление планирования технологических процессов механообработки [Текст] // *Технология машиностроения.* 2002. – № 1. – С. 10–14.
- 6 **Ямников, А. С., Родионова, Е. Н., Матвеев, И. А.** Управление технологическим наследованием точности сборки высокоточных изделий // Сборник материалов и докладов международной конференции Проблемы прикладной механики. – 2020. – С. 161–165.
- 7 **Непомилуев, В. В., Семенов, А. Н., Шуваев, В. Г., Рыкунов, А. Н.** Повышение качества изготовления высокоточных машин на основе совершенствования процесса их сборки // *СТИН.* – 2018. – № 12. – С. 25–31.
- 8 **Лелюхин, В. Е., Колесникова, О. В.** Анализ и расчет размерных цепей на основе графов размерных связей [Текст] // *Вестник ИШ ДВФУ.* – 2015. – № 4 (25). – С. 29–34.
- 9 **Гречников, Ф. В., Тлустенко, С. Ф.** Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности [Текст] // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва.* 2011. – № 3–4. – С. 38–43.
- 10 **Задорина, Н. А., Непомилуев, В. В.** Обеспечение качества сборки высокоточных изделий на основе метода индивидуального подбора деталей // *Сборка в машиностроении, приборостроении.* – 2020. – № 4. – С. 152–157.

**REFERENCES**

- 1 **Gruver, M., Zimmers, E.** SAPR i avtomatizatsiya proizvodstva [CAD and production automation]. – Moscow : Mir, 1987. – 528 p.
- 2 **Mikhalev, O. N., Yanyushkin, A. S.** CAD / CAM-system module for the design of automatic production. In *Industry 4.0.* – 2020. – Vol. 5. – № 2. – P. 59–62.
- 3 **Bazrov, B. M.** Osnovy tekhnologii mashinostroyeniya [Fundamentals of mechanical engineering technology : Textbook]. – Moscow : Mashinostroyeniye, 2005. – 736 p.
- 4 **Nazariyev, A. V., Bochkarev, P. Yu., Bokova, L. G.** Kompleksnyy podkhod dlya vypolneniya tekhnologicheskoy podgotovki mnogonomenklaturnykh mekhanoobrabatyvayushchikh proizvodstv na osnove ucheta osobennostey sborki vysokotochnykh izdeliy [An integrated approach for performing technological preparation of multi-product machining industries based on taking into account the peculiarities of assembling high-precision products] [Text]. In *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniyem.* – 2019. – № 3 (264). – P. 35–42.
- 5 **Bochkarev, P. Yu.** Sistemnoye predstavleniye planirovaniya tekhnologicheskikh protsessov mekhanoobrabotki [Systemic representation of the planning of technological processes of mechanical processing] [Text]. In *Tekhnologiya mashinostroyeniya.* – 2002. – № 1. – P. 10–14.
- 6 **Yamnikov, A. S., Rodionova, E. N., Matveev, I. A.** Upravleniye tekhnologicheskim nasledovaniyem tochnosti sborki vysokotochnykh izdeliy [Management of technological inheritance of precision in assembly of high-precision products]. In *Sbornik materialov i dokladov mezhdunarodnoy konferentsii «Problemy prikladnoy mekhaniki».* – 2020. – P. 161–165.
- 7 **Nepomiluev, V. V., Semenov, A. N., Shuvaev, V. G., Rykunov, A. N.** Povysheniye kachestva izgotovleniya vysokotochnykh mashin na osnove sovershenstvovaniya protsessa ikh sborki [Improving the quality of manufacturing high-precision machines on the basis of improving the process of their assembly]. In *STIN.* – 2018. – № 12. – P. 25–31.
- 8 **Lelyukhin, V. E., Kolesnikova, O. V.** Analiz i raschet razmernykh tsepey na osnove grafov razmernykh svyazey [Analysis and calculation of dimensional chains based on graphs of dimensional relationships] [Text]. In *Vestnik ISH DVFU.* – 2015. – № 4 (25). – P. 29–34.
- 9 **Grechnikov, F. V., Tlustenko, S. F.** Proyektirovaniye tekhnologicheskikh protsessov sborki po kriteriyam tochnosti [Design of technological processes of assembly according to accuracy criteria] [Text]. In *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S. P. Korolova.* – 2011. – № 3–4. – P. 38–43.
- 10 **Zadorina, N. A., Nepomiluev, V. V.** Obespecheniye kachestva sborki vysokotochnykh izdeliy na osnove metoda individual'nogo podbora detaley [Ensuring the quality of assembly of high-precision products based on the method of individual selection of parts]. In *Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii.* – 2020. – № 4. – P. 152–157.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

*A. V. Nazaryev<sup>1</sup>, P. Yu. Bochkarev<sup>2</sup>, \*G. S. Gumarov<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Ю. А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Ресей Федерациясы, Саратов қ.;

<sup>2</sup>Н. И. Вавилов атындағы Саратов мемлекеттік аграрлық университеті, Ресей Федерациясы, Саратов қ.;

<sup>3</sup>М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан мемлекеттік университеті, Қазақстан Республикасы, Орал қ.  
Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### ДӘЛДІГІ ЖОҒАРЫ БҰЙЫМДАР БУЫНДАРЫН ҚҰРАСТЫРУҒА ҚОЙЫЛАТЫН ТАЛАПТАРДЫ ДАМЫТУ

*Бұл мақалада механикалық өңдеудің технологиялық процестерін жобалау кезінде жоғары дәлдікті бұйымдарды құрастыруға қойылатын талаптарды ірілендірілген талдауды жүзеге асыруды математикалық және әдістемелік қамтамасыз етуді жетілдіру мәселесі қарастырылады. Ұсынылған жақсартулар автоматтандырылған режимде жоғары дәлдікті құрастыру бірліктерінің құрылымдық өлшемдік талдауын тиімді орындауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, технологиялық процестерді автоматтандырылған жоспарлау жүйесінде көпноменклатуралық механикалық өңдеу кешендерінің өндірісін технологиялық дайындау кезінде бөлшектерді дайындаудың ұтымды технологиялық процестерін таңдау негізін құрайды.*

*Кілтті сөздер: жоғары дәлдікті бұйым, құрастыруға қойылатын талаптар, жобалық рәсімдер кешені, құрылымдық өлшемдік талдау, құрылымдық элемент.*

*A. V. Nazaryev<sup>1</sup>, P. Yu. Bochkarev<sup>2</sup>, \*G. S. Gumarov<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Yu. Gagarin State Technical University of Saratov, Russian Federation, Saratov;

<sup>2</sup>Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, Russian Federation, Saratov;

<sup>3</sup>West Kazakhstan state University named after M. Utemisov, Republic of Kazakhstan, Uralsk.  
Material received on 20.09.21.

### DEVELOPING THE REQUIREMENTS FOR ASSEMBLING HIGH-PRECISION PRODUCTS

*This article discusses the issue of improving the mathematical and methodical implementation of the consolidated analysis of the requirements for the assembly of high-precision products in the design of mechanical processing processes. The proposed improvements allow more efficient design size analysis of high-precision assembly units in an automated mode. They also make it possible to choose rational technological processes for manufacturing parts in the automated process planning system during the technological preparation of production of multi-product machining complexes.*

*Keywords: high-precision product; build requirement; complex design procedures; design size analysis; structural element.*

SRSTI 55.19.03; 55.31.29

<https://doi.org/10.48081/XQGO2851>

*\*A. Zh. Kassenov<sup>1</sup>, A. S. Yanyushkin<sup>2</sup>, A. V. Mazdubay<sup>3</sup>,  
D. A. Iskakova<sup>4</sup>, T. L. Yevtushenko<sup>5</sup>*

<sup>1,3,4,5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2</sup>Chuvash State University after I. N. Ulyanov, Chuvash Republic, Cheboksary

### DESIGN OF SHAPED CUTTERS

*The article proposes an algorithm for designing round shaped cutters by graphical and analytical methods. Depending on the shaped profile of the part, this algorithm systematizes the calculation and allows you to apply a unified approach and easily automate it.*

*The purpose of the design is the possibility of automating and reducing the calculation time of shaped cutters and is based on determining the radii of the nodal points of the shaped cutter through projections between the nodal points on the horizontal plane.*

*A feature of the proposed algorithm for calculating shaped cutters is the consistency and the possibility of automating calculations that are simple and visual.*

*Keywords: round shaped cutter, graphics, profiling, analytics, design, calculation algorithm.*

#### Introduction

The existing methods of designing flat form tools [1–5] are not characterized by universality, and for each cutter profile there is needed a separate diagram of designing.

The purpose of developing a new method of design is the possibility to automate and to reduce the time of designing flat form tools with a baseline.

The tasks of the new method of design are: developing a methodology of graphical and analytical design of a flat form tool with a baseline, using it in practice and publishing articles for the methodology dissemination in the practice of tools manufacturing.

In spite of the wide introducing of CNC machine tools machining complicated part shapes, the practical use of form tools is widely spread, therefore the new method of analytical and graphical shaping of form tools with a baseline for more accurate parts machining is expedient and will be used in future.

#### Substantiation of the Study Line

There is no graphical shaping of form tools with a baseline in the literature on cutting tools, namely, on form cutters [2, 4, 6]. In [5, 7] there is presented the design of a flat form tool based on determining the tool junction points radiuses through the projections between the junction points on a horizontal plane.

At this the design diagram is not unified but strictly individual for each part profile. This does not permit to build a unified design algorithm and to automate the design. There

has been developed a method of graphical and correction analytical design of form tools with a baseline. A characteristic feature of the suggested method is its system and possibility to automate designing. Graphical shaping is simple, visual and easy to understand [8–12].

**Methodological Approach**

In the new method of graphical shaping there are considered three projections of a flat form tool in the working position and one view by the arrow *K*, directed at the angle  $\gamma$  (frontal angle) to the horizontal plane perpendicular to the workpiece axis, along the front surface (Figure 1).

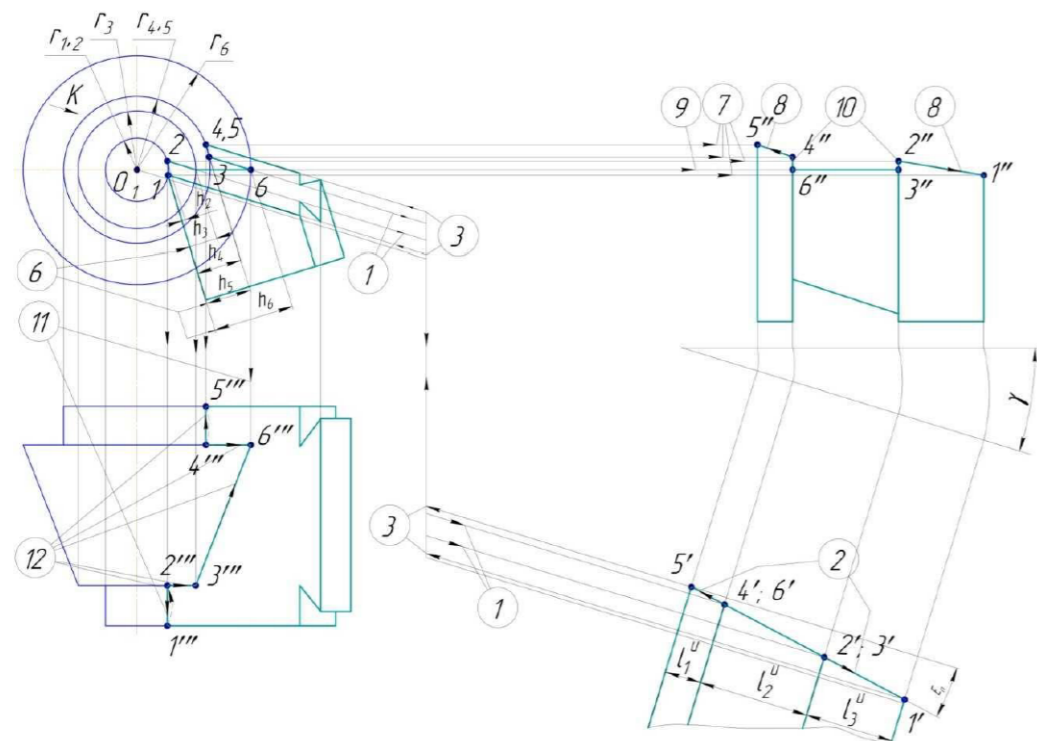


Figure 1 – Graphical shaping of flat form tool

**Results and Discussion**

For graphical shaping it is necessary at the beginning to draw the baseline on the frontal projection of the shaping diagram (Figure 1, line 3–6 lying in the horizontal plane passing through the workpiece axis and coinciding with the generatrix of the workpiece cone). After this there is begun graphical shaping of a form tool.

First step. There are found points 3' and 6' limiting the baseline on the view *K*. To do this from points 3 and 6 on the frontal projection at the angle  $\gamma$  (by arrow *K*) there are drawn lines with arrows marked by figures 1 in a circle for obtaining points 3' and 6' on the view *K* at the crossing of the lines with arrows 1 with the boundaries of the part stepping points.

Second step. Line space 3'-6' stretches to both sides (to the right and to the left on the view *K*) for obtaining the extremities of the form tool blade 1' and 5'. The obtained line space 1'-5' (straight line) is a projection of the complicated blade of the form tool on

the view *K* coinciding with the trace of the tool frontal surface on the perpendicular to the plane frontal surface. Points 1', 2', 3', 4', 5', 6' are the points obtained at the crossing of the frontal surface of the corresponding boundaries of the form tool shape stepping points. They are the junction points on the view *K*. The lines of the graphical shaping second step are marked by arrows with figures 2 in a circle on the view *K*. Points 3' and 6' position is defined by the angle  $\varepsilon_n$ , i.e. the angle of the frontal surface inclination along the form tool with a baseline axis. Angle  $\varepsilon = \varepsilon_n$  is determined graphically and is verified analytically in the correction design of the tool profile.

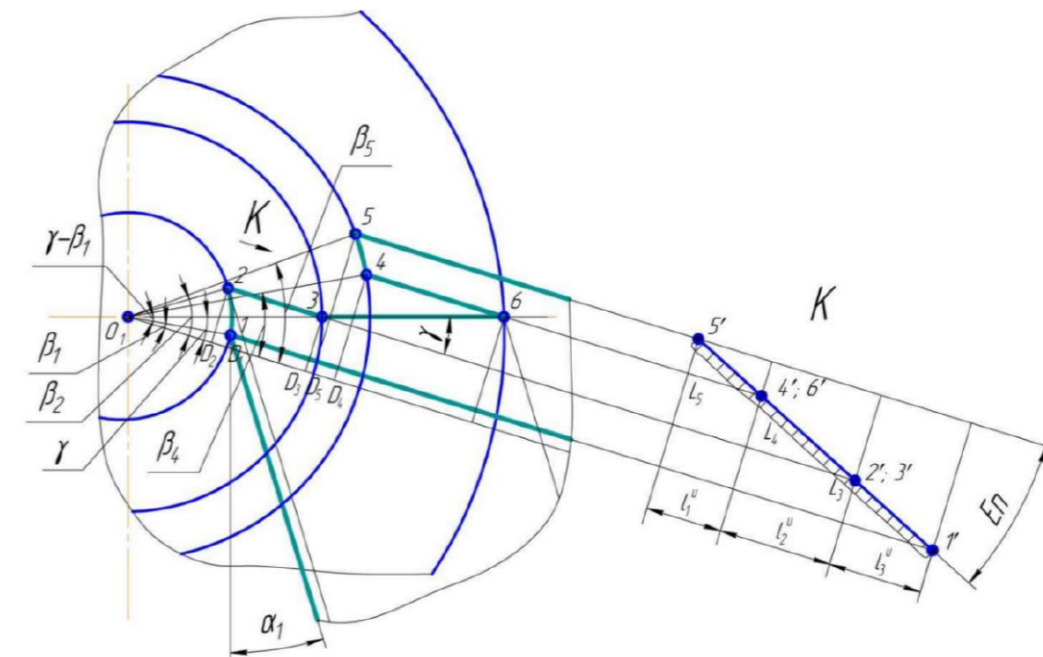


Figure 2 – Analytical shaping of flat form tool

Third step. From points 1' and 5' there are drawn the lines parallel to the lines with arrows 1, in the opposite direction, till crossing with the circles drawn through the corresponding junction points for obtaining points 1 and 5 on the frontal surface of the design diagram. The third step is marked by lines and arrows with number 3 in a circle.

Fourth step. Through points 3 and 6 on the frontal projection there are drawn the lines parallel to the lines marked by numbers 1 and 3 (at the angle  $\gamma$ ) till crossing with circles of  $r_{1,2}$  and  $r_{4,5}$  radiuses for obtaining points 2 and 4. These two lines and arrows are marked by number 4 in a circle.

Fifth step. Points 1 and 2, 4 and 5 are connected by the segments of circles with radiuses  $r_{1,2}$  and  $r_{4,5}$  respectively. Radiuses  $r_{1,2}$  and  $r_{4,5}$  are projections of the cutting edges of a flat form tool inclined relative to the axis and generatrix due to the frontal surface grinding at the angle  $\varepsilon_n$ . To do this the back surfaces finishing when making a form tool, is to be performed using a grinding wheel-disc shaped by radiuses  $r_{1,2}$  and  $r_{4,5}$ . After the fifth step there is obtained a projection of the complicated cutting

edge 1-2-3-6-4-5 – of the form tool on the frontal plane. The fifth step is marked by number 5 in a circle.

Sixth step – defining the profile depth at various stepping points of the form tool. This step is marked by number 6 in a circle. The remaining steps have the purpose of building the other projections of the form tool cutting edges. The profile depth for each point is a distance from a point to the most extruding section of the back surface (at point 1) on the frontal plane. From each point there are drawn the lines parallel to the back surface at the angle  $\alpha_1$ , and between them there are measured distances  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6$  which are the result of graphical determining the profile dimensions of the form tool.

On format A4 the diagram in Figure 1 is small, therefore it is recommended to look at the diagram element (frontal projection, Figure 2) in Figures 2 and 3 where there are clearly seen all the relations between the diagram elements and the needed dimensions.

Seventh step. From points 1, 2, 4, 5 of the frontal projection (figure 1) there are drawn horizontal lines for determining points 1'', 2'', 4'', 5'' on the profile projection by means of crossing the lines with arrows 7 in a circle with the boundaries of corresponding stepping points of the form tool (see also figure 3 with the view K).

Eighth step. Point 1'' is connected with point 2'', point 4'' is connected with point 5'' – there are obtained blades 1''-2'' and 4''-5'' of the edge stepping points of the form tool on the profile projection. The eighth step is marked by arrows with number 8 in a circle.

Ninth step. From points 3 and 6 on the frontal projection there are drawn horizontal lines (they are combined in one line) for obtaining line space 3''-6'' (baseline projection on the profile plane). The line of the ninth step due to combining two lines is marked by a figure with two arrows and marked by number 9 in a circle.

Tenth step. There are connected points 4'' and 6'', 2'' and 3''. There is obtained a projection of the complicated cutting edge of the form tool on the profile projection: 1''-2''-3''-6''-4''-5''. The tenth step (drawing lines 4''-6'' and 2''-3'') is marked by number 10 in a circle.

Eleventh step. From points 1, 2, 3, 4, 5, 6 on the frontal projection there are drawn vertical lines marked by number 11 in a circle till crossing with the junction points of the tool projection on the horizontal plane, there are found points 1''', 2''', 3''', 4''', 5''', 6''' of the complicated cutting edge of the form tool on its horizontal projection.

Twelfth step. There are connected points 1''' and 2''', 2''' and 3''', 3''' and 6''', 4''' and 5''' by the lines with arrows marked by number 12 in a circle. There is obtained the projection of the cutting edge of the form tool on its horizontal projection: 1'''-2'''-3'''-6'''-4'''-5'''.

The form tool cutting edge in the plane of the frontal surface with inclination  $\varepsilon_n$  relative to the workpiece cylinder generatrix (horizontal plane) corresponds to the elliptical line (cylinder section by the inclined plane). The form tool cutting edge is to be elliptical, concave in this section. To ensure these conditions in the cutting zone and obtaining the preset cylinder on the workpiece, the form tool final shaping is to be performed by a finishing wheel-disc with the profile radius equal to the radius of the workpiece cylindrical segment, with placing the finishing disc axis relative to the form tool frontal surface at the angle  $\varepsilon_n$ , or by a wheel – disc specially charged, with another

diagram of shaping. In this case there is easily ensured theoretical of machining and there is not introduced any error.

This stage of the form tool designing can be performed, as a rule, only after graphical shaping and determining the form tool junction points position. Therefore an obligatory requirement is the form tool graphical shaping. Of course, a design diagram can be built, if there is enough experience, without graphical shaping but this is for trained specialists. For the design visualization and simplification of its automation it is divided into five steps (stages) – Figure 2 and 3.

First step. Determining the distances from the form tool profile junction points on the frontal surface to the workpiece axial plane parallel to the frontal surface, and projections of the distances between junction points on the plane parallel to the lateral sides of the form tool and perpendicular to the workpiece axis, parallel to the frontal surface (Figure 2).

$$\text{Projection } 1-2 = 1'-2' = 1'-3' = L_3 - 3' = \ell_3^u \text{tg}\varepsilon_n;$$

$$\text{Projection } 2'-4' = 3'-4' = 2'-6' = 3'-6' = L_4 - 6' = \ell_2^u \text{tg}\varepsilon_n;$$

$$\text{Projection } 4'-5' = 6'-5' = L_5 - 5' = \ell_1^u \text{tg}\varepsilon_n;$$

$$\text{Distance } D_2 - 2 = r_2 \sin\beta_2;$$

$$\text{Distance } D_3 - 3 = D_2 - 2 = O_1' - 3' = O_1' - 2' = r_3 \sin\gamma;$$

$$\text{Distance } D_1 - 1 = O_1' - 1' = (O_1' - 2') - (1' - 2') = (O_1' - 3') - (1' - 3') = r_3 \sin\gamma - \ell_3^u \text{tg}\varepsilon_n;$$

$$\text{Distance } D_5 - 5 = O_1' - 5' = (1' - 5') + (O_1' - 1') = (L_3 - 3') + (L_4 - 4') + (L_5 - 5') + (r_3 \sin\gamma - \ell_3^u \text{tg}\varepsilon_n) = (\ell_1^u + \ell_2^u + \ell_3^u) \text{tg}\varepsilon_n + r_3 \sin\gamma - \ell_3^u \text{tg}\varepsilon_n = (\ell_1^u + \ell_2^u) \text{tg}\varepsilon_n + r_3 \sin\gamma;$$

$$\text{Distance } D_4 - 4 = D_6 - 6 = (O_1' - 1') + (1' - 4') = (O_1' - 1') + (1' - 6') = r_3 \sin\gamma - \ell_3^u \text{tg}\varepsilon_n + (\ell_3^u + \ell_2^u) \text{tg}\varepsilon_n = r_3 \sin\gamma + \ell_2^u \text{tg}\varepsilon_n = r_4 \sin\beta_4 = r_6 \sin\gamma;$$

$\ell_1, \ell_2, \ell_3$  – are axial dimensions of the form tool profile; at the end stepping points there should be taken into account additional cutting edges.

Second step. Determining intermediate angular parameters  $\beta_i$  for designing auxiliary dimensions  $A_i$  (figure 2).

$$\sin\beta_1 = (D_1 - 1)/r_1 = (O_1' - 1')/r_1 = (r_3 \sin\gamma - \ell_3^u \text{tg}\varepsilon_n)/r_1;$$

$$\sin\beta_2 = (D_2 - 2)/r_2 = (O_2' - 2')/r_2 = (r_3 \sin\gamma)/r_2;$$

$$\text{Angular parameters for the baseline points: } \beta_3 = \gamma, \beta_6 = \gamma;$$

$$\sin\beta_4 = [(D_4 - 4) = (D_6 - 6) = (O_1' - 4')]/r_4 = (r_3 \sin\gamma + \ell_2^u \text{tg}\varepsilon_n)/r_4;$$

$$\sin\beta_5 = [(D_5 - 5) = (O_1' - 5')]/r_5 = (r_3 \sin\gamma + (\ell_1^u + \ell_2^u) \text{tg}\varepsilon_n)/r_5;$$

Third step. Determining auxiliary linear parameters  $A_i$  (figure 3).

$$A_1 = r_1 \cos\beta_1; A_2 = r_2 \cos\beta_2; A_3 = r_3 \cos\gamma;$$

$$A_4 = r_4 \cos\beta_4; A_5 = r_5 \cos\beta_5; A_6 = r_6 \cos\gamma.$$

Fourth step. Determining auxiliary linear parameters  $C_i$

$$C_2 = A_2 - A_1 = r_2 \cos\beta_2 - r_1 \cos\beta_1 = r_{1,2} (\cos\beta_2 - \cos\beta_1);$$

$$C_3 = A_3 - A_1 = r_3 \cos(\beta_3 = \gamma) - r_1 \cos\beta_1;$$

$$C_4 = A_4 - A_1 = r_4 \cos\beta_4 - r_1 \cos\beta_1;$$



$$C_5 = A_5 - A_1 = r_5 \cos \beta_5 - r_1 \cos \beta_1;$$

$$C_6 = A_6 - A_1 = r_6 \cos(\beta_6 = \gamma) - r_1 \cos \beta_1.$$

Fifth step. Determining the tall dimensions of the flat form tool in the direction perpendicular to the back surface (Figure 3).

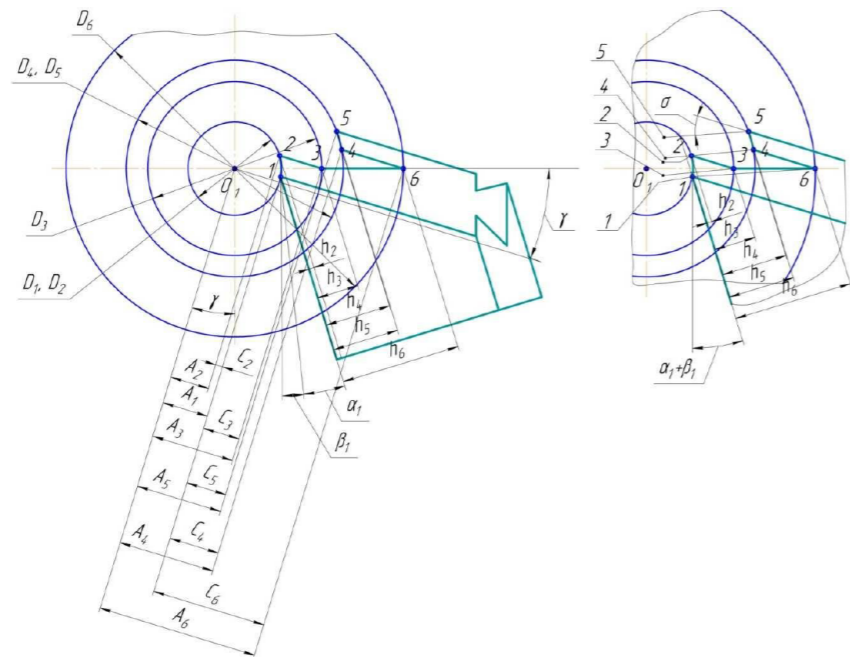


Figure 3 – Analytical shaping of flat form tool

Due to a large drop between points 1 and 2 in figure 2 and scale distortions that always have place with an abstract workpiece profile, dimension  $C_2$ , obtained in Figure 2, turned out to be on the left of point 1. With reducing line space 2–3 to the left there will be point 1, then the location of  $C_i$  and  $h_i$  will correspond to each other and  $C_i$  sign will be positive. However, with negative value of the calculated dimension  $C_i$ , the  $h_i$  dimension will be correct, as in the Figure it takes a corresponding position and there are actual ratios between  $h_2$  and  $C_2$ .

$$h_2 = C_2 \cos \sigma; h_3 = C_3 \cos \sigma; h_4 = C_4 \cos \sigma;$$

$$h_5 = C_5 \cos \sigma; h_6 = C_6 \cos \sigma; \sigma = \alpha_1 + \gamma_1.$$

All the tool parameters have been designed.

Thus, there has been obtained graphical shaping and calculated parameters – twelve steps; correction analytical shaping of a flat form tool – five steps.

#### Conclusions

1 There is suggested a simple and visual method of graphical and correction analytical design of flat form tools with a baseline.

2 Graphical shaping of a flat form tool consists of twelve stages.

3 Correction analytical shaping of a flat form tool includes five steps.

4 The characteristic feature of the suggested method of designing circular form tool with a baseline consists in the system and unified approach.

5 The method permits to reduce labor intensity of designing flat form tools with a baseline.

6 The developed method of graphical and correction analytical design of flat form tools with a baseline permits to automate the design easily.

#### Financing

The research was carried out within the framework of grant funding of young scientists for 2021–2023 under the project IRN AP09058231 «Research and design of resource-energy-saving metal cutting tools», funded by The Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

#### REFERENCES

- 1 **Kishurov, V. M., Chernikov, P. P.** Designing of cutting tools in mechanical engineering. – Moscow : MAI, 2006. – 159 p.
- 2 **Chupina, L. A., Pulbere, A. I., Grexhishnikov, V. A.** Shape-forming tools in mechanical engineering. – Moscow : Novoe znanie, 2006. – 557 p.
- 3 **Feldshtein, Ye.E.** Cutting tools. – Minsk : Novoe znanie, 2007. – 400 p.
- 4 **Shirtladce, A. G., Chupina, L. A., Pul'bere, A. I., Grechishnikov, V. A.** Forming tools in mechanical engineering. – Moscow : Publ. Novoe znanie, 2006. – 557 p.
- 5 **Smirnov, M. Ju., Kireev, G. I., Demidov, V. V.** Calculation and design of shaped cutters. – Ul'janovsk : Publ. UIGTU, 2011. – 77 p.
- 6 **Volkov, A. E., Medvedev, V. I.** Synthesis and Analysis Problems of Profiling the Tool for Grinding Helical Surfaces. In Bulletin of Kalashnikov ISTU. – 2017. – Vol. 20. – № 2. – P. 51–54.
- 7 **Dudak, N. S., Kasenov, A. Zh., Itybaeva, G. T., Musina, Zh. K.** Calculation of the profile of a round shaped cutter. In Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference : Innovations in mechanical engineering. – Novosibirsk : Novosibirskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet, 2017. – P. 212–218.
- 8 **Romashev, A. N., Ovcharenko, A. G., Smirnov, V. V., Firsov, A. M.** Design of shaped cutters in a graphic environment. In Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference : Innovations in mechanical engineering. – Barnaul : Altajskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet im. I. I. Polzunova, 2018. – P. 212–216.
- 9 **Stenin, V. A.** Energy-saving profiling of cutting tools. In Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 2 (63). – P. 36–38.
- 10 **Kovaleva, L. I., Zastavskij, K. O.** Features of profiling of round shaped cutters in Autodesk Inventor. In Veles. – 2017. – № 5–1(47). – P. 54–58.
- 11 **Gusev, V. A., Petrovskij, V. S., Pomerancev, M. A.** Modeling of shaped turning tools in CAD Pro/Engineer. – 2015.
- 12 **Balandin, A. D., Mishkin, S. V.** Calculation of shaped incisors of the mortise type using the graphic package «Compas 3D V8». In STIN. – 2007. – № 1. – P. 13–19.

Material received on 20.09.21.

\*А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, А. С. Янюшкин<sup>2</sup>, А. В. Маздубай<sup>3</sup>,  
Д. А. Искакова<sup>4</sup>, Т. Л. Евтушенко<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>2</sup>И. Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті,  
Чуваш Республикасы, Чебоксары қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### ПІШІНДІ КЕСКІШТЕРДІ ЖОБАЛАУ

*Мақалада графикалық және аналитикалық әдістермен дөңгелек пішінді кескіштерді жобалау алгоритмі ұсынылған. Бөлшектің пішінделген профиліне байланысты бұл алгоритм есептеуді жүйелейді және бірыңғай тәсілді қолдануға және оны оңай автоматтандыруға мүмкіндік береді.*

*Жобалау мақсаты – пішінді кескіштерді есептеу уақытын автоматтандыру және қысқарту мүмкіндігі және көлденең жазықтықтағы түйін нүктелері арасындағы проекциялар арқылы пішінді кескіштің түйіндік нүктелерінің радиустарын анықтауға негізделген.*

*Пішінді кескіштерді есептеудің ұсынылған алгоритмінің ерекшелігі – бұл жүйелілік пен қарапайым және түсінікті есептеулерді автоматтандыру мүмкіндігі.*

*Кілтті сөздер: дөңгелек пішінді кескіш, графика, профильдеу, аналитика, жобалау, есептеу алгоритмі.*

\*А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, А. С. Янюшкин<sup>2</sup>, А. В. Маздубай<sup>3</sup>,  
Д. А. Искакова<sup>4</sup>, Т. Л. Евтушенко<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup>Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>2</sup>Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,

Чувашская Республика, г. Чебоксары.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

*В статье предлагается алгоритм проектирования круглых фасонных резцов графическим и аналитическим способами. В зависимости от фасонного профиля детали, данный алгоритм, систематизирует расчёт, позволяет применить унифицированный подход и легко его автоматизировать.*

*Цель проектирования – это возможность автоматизации и сокращения времени расчёта фасонных резцов и основана на определении радиусов узловых точек фасонного резца через проекции между узловыми точками на горизонтальной плоскости.*

*Особенность предлагаемого алгоритма расчёта фасонных резцов – это системность и возможность автоматизации расчётов, которые являются простыми и наглядными.*

*Ключевые слова: круглый фасонный резец, графика, профилирование, аналитика, проектирование, алгоритм расчёта.*

МРНТИ 55.03.35

<https://doi.org/10.48081/SFSO4175>

\*А. К. Шеров<sup>1</sup>, М. Т. Усербаев<sup>2</sup>, Б. Мырзахмет<sup>3</sup>,  
К. И. Имашева<sup>4</sup>, Б. К. Смайлова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

<sup>4,5</sup>Карагандинский технический университет,

Республика Казахстан, г. Караганда

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УПРУГОГО РАЗДВИЖНОГО ЭЛЕМЕНТА НАСОСА ШЕСТЕРЕННОГО С ДВУХОСНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ

*Известно, что сельскохозяйственные машины работают в самых тяжелых, жестких и неблагоприятных условиях эксплуатации, которые характеризуются: широким диапазоном климатических факторов, большой запыленностью воздуха и большим количеством абразива в почве, большой динамической нагрузкой на агрегаты вследствие больших и нестабильных сопротивления почвы и случайного характера нагружения. Следствием воздействия этих факторов является резкое увеличение износов деталей гидравлических устройств, агрегатов и узлов сельскохозяйственных машин, возрастание потока поломок и отказов, повышение расхода топлива. В этих сложных условиях повышение работоспособности сельскохозяйственных машин и эффективное их использование возможно только с помощью совершенствования конструкции и технологии изготовления гидравлических устройств, агрегатов и узлов. Авторами разработано конструкция насосов шестеренных с двухосным соединением. С целью повышения производительности насосов шестеренных с двухосным соединением разработана новая конструкция опорных втулок и предложена новый упругий раздвижной элемент. В данной статье приводятся результаты исследования деформированного состояния упругого раздвижного элемента насоса шестеренного с двухосным соединением с помощью программы «ПС ЛИРА». Исследование выполнено в рамках грантового проекта АР09562459 «Создание опытного образца насоса шестеренного для сельскохозяйственных машин на основе двухосного соединения».*

*Ключевые слова: деформация, насос шестеренный, двухосное соединение, производительность, упругий раздвижной элемент, продольная сила, поперечная сила.*

### Введение

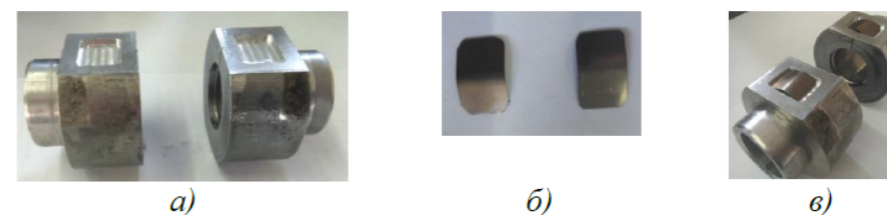
В осуществлении задач, поставленных в программе «Казахстан-2050» в деле дальнейшего развития производительных сил страны, повышения производительности и квалификации труда, выдающаяся роль принадлежит машиностроению. Применение гидравлических машин получило широкое

распространение во всех отраслях машиностроения. Год за годом увеличивается число разновидностей гидравлических машин. По истечении времени, стало совершенно очевидно, что устаревшая отечественная база комплектующих изделий уже не пригодна для создания современных гидрофицированных машин, а выход на мировой рынок невозможен без применения новых технологий. Перед машиностроителями стоит задача повышения степени автоматизации не только рабочих процессов в машинах, но и процессов производства самих машин. Совершенствование и автоматизация машин, технологического оборудования, механизмов и агрегатов сопровождается непрерывным уведомлением степени использования в них гидравлических устройств [1, 2]. Основными узлами каждой объемной гидропередачи являются насос, контрольно-регулирующая аппаратура, аппаратура управления и силовые исполнительные агрегаты. По сравнению с другими узлами в надежности и долговечности работы гидросистемы надежность и долговечность работы насоса имеет решающее значение. В различных отраслях машиностроения наряду с другими типами гидравлических насосов широко применяются шестеренные насосы (НШ). В значительной мере этому способствует эксплуатационная надежность НШ, невысокая требовательность в отношении ухода за ними, простота реверсирования, компактность, малый вес и небольшая стоимость, что выгодно отличает их от других типов объемных гидронасосов [1,2,3]. Однако в ряде случаев дальнейшее расширение области использования НШ встречает серьезные затруднения. Не найдены еще достаточно удовлетворительные конструктивные решения, отвечающие конкретным требованиям и условиям эксплуатации в приводах сельскохозяйственных машин. Сельскохозяйственные машины работают в самых тяжелых, жестких и неблагоприятных условиях эксплуатации, которые характеризуются [4,5,6]: широким диапазоном климатических факторов: температура воздуха от минус 40 до плюс 40 градусов; влажность от 54 до 81 процента; большой запыленностью воздуха (от 0,05 до 1 мг на 1 м<sup>2</sup>) и большим количеством абразива в почве; большой динамической нагрузкой на агрегаты вследствие больших и нестабильных сопротивление почвы и случайного характера нагружения. Следствием воздействия этих факторов является резкое увеличение износов деталей гидравлических устройств, агрегатов и узлов сельскохозяйственных машин, возрастание потока поломок и отказов, повышение расхода топлива. В этих сложных условиях повышение работоспособности сельскохозяйственных машин и эффективное их использование возможно только с помощью совершенствования конструкции и технологии изготовления гидравлических устройств, агрегатов и узлов. В связи с этим исследование, направленное на повышение качества работы и производительности НШ является актуальной задачей.

**Материалы и методы**

Двухосное соединение состоит из двух деталей с посадочными поверхностями, у одной из которых поверхность состоит из двух цилиндров соответственно с двумя осями [7, 8]. Разработана конструкция НШ с двухосным соединением [9, 10]. В рамках выполнения грантового проекта АР09562459 «Создание опытного образца насоса шестеренного для сельскохозяйственных машин на

основе двухосного соединения» разработана новая конструкция опорных втулок. На рисунке 1 показана конструкция опорных втулок.



а – опорные втулки с выполненным пазом; б – упругие раздвижные элементы; в – опорные втулки в сборе.

Рисунок 1 – Конструкция опорных втулок

На рисунке 2 показана конструкция опорных втулок НШ в сборе с упругими раздвижными элементами.

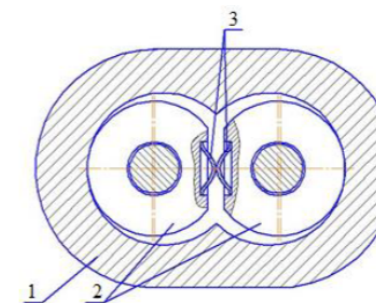


Рисунок 2 – Конструкция опорных втулок НШ в сборе с упругими раздвижными элементами

**Результаты и обсуждение**

Для определения влияния сил действующих на опорные втулки необходимо исследовать деформированное состояние упругих раздвижных элементов и уровень деформации в зависимости от их геометрических параметров. На рисунке 3 показана схема действующих сил на опорные втулки при установке упругих раздвижных элементов.

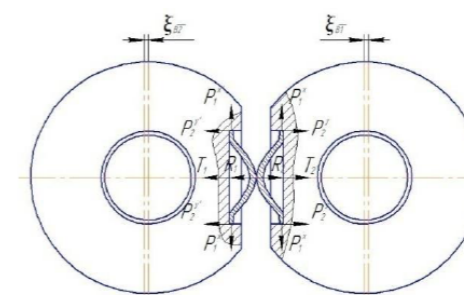


Рисунок 3 – Схема действующих сил на опорные втулки при установке упругих раздвижных элементов

Для выполнения расчета сил необходимо определить уравнение параболы профиля упругого раздвижного элемента

$$y = ax^2 + bx + c$$

1)  $x = 0; y_A = 0.$

2)  $x = \frac{l}{2} = 8,5\text{мм}; y = f = 0,3\text{мм}.$

3)  $c = 0.$

Уравнение будет в виде системы:

$$0,4 = a * (8,5)^2 + b * 8,5$$

$$0 = a * (17)^2 + b * 17$$

Определяем силы реакции действующих на один упругий раздвижной элемент. На рисунке 4 показана схема действующих сил реакции на один упругий раздвижной элемент.

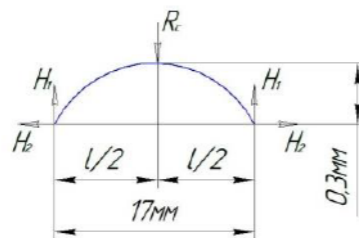


Рисунок 4 – Схема действующих сил реакции на один упругий раздвижной элемент

Согласно полученной системы уравнения с использованием программы «ПС ЛИРА» проводим расчеты и определяем деформацию в зависимости от силы, профиля и свойства упругих раздвижных элементов. На рисунке 5 показана модель профиля упругого раздвижного элемента разработанная в программе «ПС ЛИРА».



Рисунок 5 – Модель профиля упругого раздвижного элемента разработанная в программе «ПС ЛИРА»

На рисунке 6 показана деформация возникающая при подаче усилий.

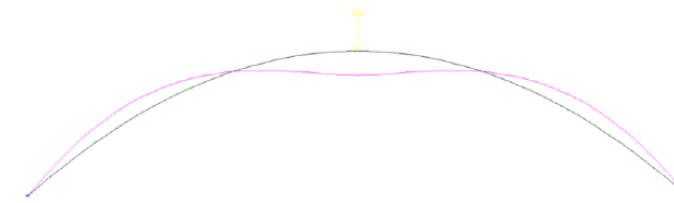


Рисунок 6 – Деформация возникающая при подаче усилий

Рассмотрим влияние силы сдвига возникающей при сборке между упругими раздвижными элементами установленные в пазах опорных втулок непосредственно на упругие раздвижные элементы и на объем деформации. На рисунке 7 показан объем продольной силы N действующая на упругие раздвижные элементы.

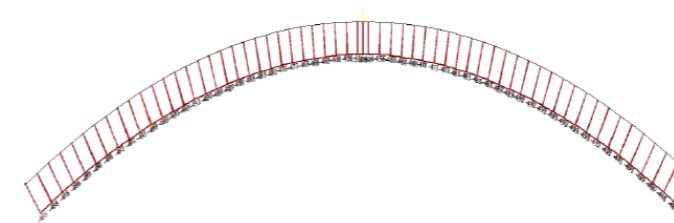


Рисунок 7 – Объем продольной силы N действующая на упругие раздвижные элементы

Выявлено, что продольная сила N действует по всей длине упругого раздвижного элемента при его деформации. Из рисунка 7 видно, что минимальная продольная сила действующая на упругий раздвижной элемент составляет  $N = 493\text{Н}$ . На рисунке 8 показан объем поперечной силы Q действующая на упругие раздвижные элементы.

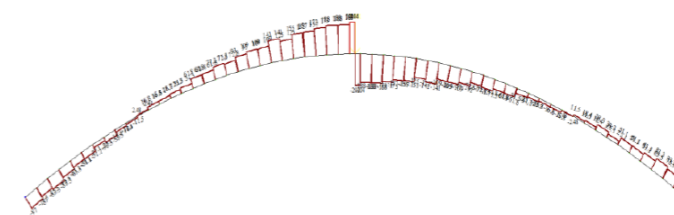


Рисунок 8 – Объем поперечной силы Q действующая на упругие раздвижные элементы

Выявлено, что в процессе деформации упругого раздвижного элемента поперечная сила Q действует по всей её длине. Из рисунка 8 видно, что минимальная поперечная сила действующая на упругий раздвижной элемент составляет  $Q = 204\text{Н}$ . На рисунке 9 показан момент M силы возникающий при деформации упругого раздвижного элемента.

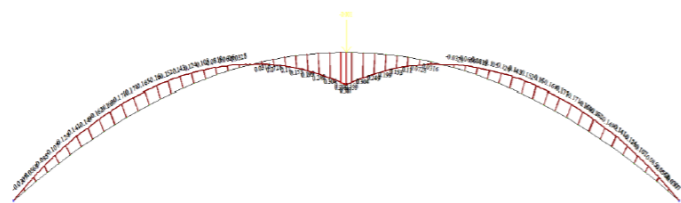


Рисунок 9 – Момент М силы возникающий при деформации упругого раздвижного элемента

Из рисунка 9 видно, что момент силы при деформации упругого раздвижного элемента распределен равномерно и минимальное значение момента составляет  $0,307H \cdot m$ .

На рисунке 10 показано нагруженное состояние упругого раздвижного элемента.

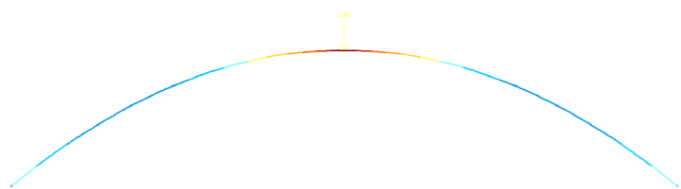


Рисунок 10 – Нагруженное состояние упругого раздвижного элемента

Из рисунка 10 видно, что самым нагруженным участком является место контакта упругих раздвижных элементов. Данный участок на рисунке 10 показан красным цветом.

В результате исследования было установлено, что упругий раздвижной элемент выдерживает свой профиль и механические свойства при деформации. Действие продольных и поперечных сил при работе упругих раздвижных элементов распространяется равномерно по контуру их профиля, что подтверждает правильность выбора их профиля и параметрических размеров. А также можно наблюдать (см. рис. 10) сохранение профиля при деформации на самом напряженном участке, данное подтверждает пригодность конструкции упругих раздвижных элементов.

#### Выводы

1 Результаты исследования показали работаспособность упругих раздвижных элементов в различных напряженных условиях созданных под действиями продольных N и поперечных Q сил при их различных значениях.

2 Установлено, что упругий раздвижной элемент выдерживает свой профиль и механические свойства при деформации.

3 Выявлено, что продольные и поперечные силы распространяются равномерно по контуру профиля упругих раздвижных элементов. Данное подтверждает правильность выбора их профиля и параметрических размеров.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Лепешкин, А. В., Михайлин, А. А., Шейпак, А. А. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник. Ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. / под ред. А. А. Шейпака. – М. : МГИУ, 2003. – 352 с.

2 Башта, Т. М., Руднев, С. С., Некрасов, Б. Б. и др. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы : Учебник для машиностроительных вузов. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.

3 Сырицын, Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмопривода. М. : Машиностроение, 1990. – 315 с.

4 Лезин, П. П. Основы надежности сельскохозяйственной техники – Саранск : Изд-во МУ, 1997. – 223 с.

5 Пархоменко, В. И., Шамгунов, С. М. Основы ремонта и эксплуатации тракторов : Учебное пособие. – Павлодар, 2008. – 130 с.

6 Стесин, С. П. Гидравлика, гидромашин и гидропневмопривод. – М. : Издательство «Академия», 2005. – 336 с.

7 Аликулов, Д. Е. Двухосное соединение «вал-отверстия». – Ташкент : Издательство «Молия», 2007. – 131 с.

8 Шеров, А. К., Аликулов, Д. Е. Новая технология соединения «вал-отверстие» и вывод расчетных уравнений геометрических параметров / Материалы международной научно-практической конференции «Наука и её роль в современном мире». Т. 5. – Караганда : Изд-во Болашақ-баспа, 2011. – С. 19–21.

9 Шеров, А. К., Аликулов, Д. Е., Смирнов, Ю. М., Шеров, К. Т. Насос шестеренный / Инновационный патент № 27941 РК на изобретение. 15.12.2013г. Бюл. № 12.

10 Шеров, К. Т., Аликулов, Д. Е., Шеров, А. К., Смирнов, Ю. М. Насос шестеренный с двухосным соединением / Инновационный патент № 29636 РК на изобретение. 16.03.2015г. Бюл. № 3.

#### REFERENCES

1 Lepeshkin, A. V., Mikhaylin, A. A., Sheypak, A. A. Gidravlika i gidropnevmoпривод : Uchebnik. P.2. Gidravlicheskiye mashiny i gidropnevmoпривод. / ed. by A. A. Sheypak. – Moscow : MGIU, 2003. – 352 p.

2 Bashta, T. M., Rudnev, S. S., Nekrasov, B. B. i dr. Gidravlika, gidromashiny i gidroприводы : Uchebnik dlya mashinostroytel'nykh vuzov. – 2-ye izd., pererab. – Moscow : Mashinostroyeniye, 1982. – 423 p.

3 Syritsyn, T. A. Ekspluatatsiya i nadezhnost' gidro - i pnevmoпривода. – Moscow : Mashinostroyeniye, 1990. – 315 p.

4 Lezin, P. P. Osnovy nadezhnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. – Saransk : Izd-vo MU, 1997. – 223 p.

6 Stesin, S. P. Gidravlika, gidromashiny i gidropnevmoпривод. – Moscow: Izdatel'stvo «Akademiya», 2005. – 336 p.

7 **Alikulov, D. Ye.** Dvukhosnoye soyedineniye «val-otverstiya». – Tashkent : Izdatel'stvo «Moliya». – 2007. – 131 p.

8 **Sherov, A. K., Alikulov, D. Ye.** Novaya tekhnologiya soyedineniya «val-otverstiye» i vyvod raschetnykh uravneniy geometricheskikh parametrov. In Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka i yeyo rol' v sovremennom mire». Vol. 5. – Karaganda : Izd-vo Bolashak-baspa, 2011. – P. 19–21.

9 **Sherov, A.K., Alikulov, D. Ye., Smirnov, Yu. M., Sherov, K. T.** Nasos shesterenny / Innovatsionnyu patent № 27941 RK na izobreteniyе. 15.12.2013 g. Byul. № 12.

10 **Sherov, K. T., Alikulov D. Ye., Sherov, A. K., Smirnov, Yu. M.** Nasos shesterenny s dvukhosnym soyedineniyem / Innovatsionnyu patent № 29636 RK na izobreteniyе. 16.03.2015 g. Byul. № 3.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

\***А. К. Шеров<sup>1</sup>, М. Т. Өсербаев<sup>2</sup>, Б. Мырзахмет<sup>3</sup>,**

**К. И. Имашева<sup>4</sup>, Б. Қ. Смайлова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;

<sup>4,5</sup>Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

#### ЕКІ ОСЬТІ ҚОСЫЛЫСҚА ИЕ ТІСТЕГЕРІШТІ СОРҒЫНЫҢ СЕРПІМДІ СЫРҒЫМАЛЫ ЭЛЕМЕНТІНІҢ ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІН ЗЕРТТЕУ

Белгілі болғандай, ауылиаруашылық машиналары климаттық факторлардың кең ауқымымен, ауадағы шаңның және топырақта абразивті заттардың көп болуымен, жоғары динамикалық жүктемені сипаттайтын агрегаттар үлкен және тұрақсыз топыраққа төзімділік пен кездейсоқ тиеу әсерінен қатал және қолайсыз жұмыс жағдайында жұмыс істейді.

Бұл факторлардың әсерінің салдарынан гидравликалық қондырғылардың бөліктерінің тозуының күрт өсуі, ауылиаруашылық машиналардың агрегаттар мен түйіндерінің, бұзылулар мен ақаулар ағынының, отын шығынын ұлғаюына алып келеді. Осындай қиын жағдайда ауылиаруашылық машиналарының тиімділігін арттыру және оларды тиімді пайдалану тек гидравликалық қондырғылардың, агрегаттар мен тораптардың конструкциясы мен дайындау технологиясын жетілдіру арқылы мүмкін болады.

Авторлармен екі осьті қосылысқа ие тістегерішті сорғылардың құрылымы әзірленді. Екі осьті қосылысқа ие тістегерішті сорғылардың өнімділігін арттыру үшін тірек төлкелердің жаңа конструкциясы жасалды және жаңа серпімді сырғымалы элемент ұсынылды. Бұл мақалада «ПС ЛИРА» бағдарламасының көмегімен екі осьті қосылысқа ие тістегерішті сорғылардың серпімді сырғымалы элементінің деформацияланған күйін зерттеу нәтижелері

берілген. Зерттеу AP09562459 «Ауыл шаруашылығы машиналары үшін екі осьті бірікпе негізінде тістегерішті сорғының тәжірибелік үлгісін даярлау» гранттық жобасы аясында жүргізілді.

Кілтті сөздер. Деформация, тістегерішті сорғы, екі осьті қосылыс, өнімділік, серпімді сырғымалы элемент, бойлық күш, көлденең күш.

\***А. К. Шеров<sup>1</sup>, М. Т. Уссербаев<sup>2</sup>, Б. Мырзахмет<sup>3</sup>,**

**К. И. Имашева<sup>4</sup>, Б. К. Смайлова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3</sup>S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

<sup>4,5</sup>Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Material received on 20.09.21.

#### STUDY OF DEFORMED STATE OF ELASTIC SLIDING ELEMENT OF A GEAR PUMP WITH TWO-SHAFT CONNECTION

It is known that agricultural machines operate in the most severe, harsh and unfavorable operating conditions, which are characterized by: a wide range of climatic factors, high dustiness of the air and a large amount of abrasive in the soil, high dynamic load on the units due to large and unstable soil resistance and random nature of loading. The consequence of the impact of these factors is a sharp increase in wear of parts of hydraulic devices, aggregates and units of agricultural machines, an increase in the flow of breakdowns and failures, an increase in fuel consumption. In these difficult conditions, increasing the efficiency of agricultural machines and their effective use is possible only by improving the design and manufacturing technology of hydraulic devices, units and assemblies. The authors have developed the design of gear pumps with a biaxial connection. In order to increase the productivity of gear pumps with a biaxial connection, a new design of support bushings has been developed and a new elastic sliding element has been proposed. This article presents the results of a study of the deformed state of an elastic sliding element of a gear pump with a biaxial connection using the «PS LIRA» program. The study was carried out within the framework of the grant project AP09562459 «Creation of a prototype gear pump for agricultural machines based on a biaxial connection».

Keywords: deformation, gear pump, biaxial connection, performance, elastic sliding element, longitudinal force, transverse force.

SRSTI 53.49.19

<https://doi.org/10.48081/GDLO8047>\*A. Zhakupov<sup>1</sup>, A. Bogomolov<sup>2</sup>, A. Zhakupova<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup>Toraighyrov University,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar**NON-DESTRUCTIVE METHOD FOR DETERMINING  
THE MECHANICAL PROPERTIES OF ROLLED STEEL**

*This article describes the developed methodology for the prompt and reliable determination the mechanical properties quantitative indicators of the heat-treated steel products by a non-destructive method. For these cases, the non-destructive method of testing steel products is the most optimal option, due to the fact that it does not require destruction of the controlled sample and provides for the possibility of the product further operation. The use of non-destructive testing methods also contributes to significant savings in material and time resources.*

*The essence of the method described in this work lies in the initial study of steel samples, measuring their coercive force, maximum magnetic permeability and residual magnetic induction for subsequent statistical analysis to determine the relationship between mechanical and electromagnetic properties. As a result of finding this correlation and checking its reliability, it becomes possible to determine the ultimate strength, yield strength and relative elongation on finished products, which are normalized indicators of the steel structural products strength properties.*

*The proposed non-destructive method for determining the mechanical properties will allow its use in the production flow, while having the reliability of determining the quality indicators above 96 %.*

*Keywords: non-destructive testing, mechanical properties, rolled steel, coercive force.*

**Introduction**

At metallurgical and machine-building enterprises, serial and mass production of steel products is carried out, the given structure and mechanical properties of which are achieved by certain heat treatment modes. Possible inconsistencies in the chemical composition of the products material and the modes of their heat treatment lead to unacceptable deviations in the properties of the products and require control of each product unit. Direct methods for determining mechanical properties and structure are destructive and cannot be used to determine the quality of products intended for use.

In addition, quality control with destruction, as a rule, requires taking templates and making samples for subsequent testing, which is a laborious and expensive operation [1–8].

The feasibility of introducing a non-destructive magnetic control method into production is justified by numerous advantages, of which these are:

- saving control time, due to the absence of the need to select templates and prepare samples for testing;
- cost savings due to the rejection of low-quality metal, blanks before expensive machining;
- replacement of bulky test equipment used for destructive testing methods with small-sized instruments, which also saves production space;
- the possibility of further use of the controlled product.

**Materials and research methods**

The objects of research were samples of 09Mn2Si steel pipes.

Previously, the samples were heated to 900 °C, quenched in water and tempered at various temperatures from 500 to 700 °C. Then, coercive force  $H_c$ , maximum permeability  $\mu_{max}$  and residual magnetic induction  $B_r$  were measured. After measuring the magnetic indicators, the tensile strength  $\sigma_{TS}$ , yield strength  $\sigma_{YS}$  and elongation  $\varepsilon$  were determined by the tensile method of a steel sample [9].

The laboratory equipment was used for the study: a tensile electromechanical machine for measuring mechanical properties in accordance with GOST 1497-84 – «Metals. Tensile test methods», coercimeter KRM-Ts-K2M for measuring the coercive force in accordance with GOST 30415-96 – «Steel». Teslameter EM4305 for measuring residual magnetic induction in accordance with GOST 12119.1-98 – «Electrical steel. Methods for determining magnetic and electrical properties».

**Results and discussion**

After heat treatment of the samples, using a coercimeter and a teslameter, the maximum values of magnetization and strength were measured, and, accordingly, the coercive force and residual magnetic induction, the values of which are indicated in the diagrams in Figure 1.

Having determined the maximum values of the tension and magnetization of the samples, the maximum magnetic permeability of each sample was calculated according to formula 1, the values of which are summarized in Table 1.

$$\mu_{max} = B_{max} / H_{max}, \quad (1)$$

where  $B_{max}$  – maximum magnetic field strength of the sample, T;

$H_{max}$  – maximum value of sample magnetization, A/m.

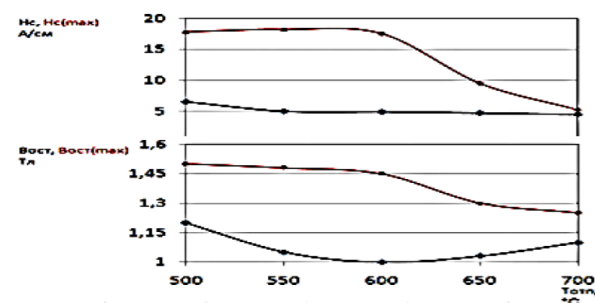


Figure 1 – Magnetic properties of a 09Mn2Si steel specimen

The values of the coercive force corresponded to the values of the magnetization at zero magnetic field strength, and the values of the magnetic induction, on the contrary, to the value of the intensity at zero magnetization.

Table 1 – Values of the maximum magnetic permeability of steel samples

Steel	Tempering temperature, °C				
	500	550	600	650	700
09Mn2Si	73,7	72,2	73,5	81,6	108,0

After the measurements of the magnetic characteristics were carried out measurements of the actual mechanical characteristics, the results of which are summarized in Table 2. In this case, the variable parameter of heat treatment was the tempering temperature in the range from 500 to 700 °C.

Table 2 – Values of mechanical properties of test specimens

Steel	Tempering temperature, °C	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Relative elongation, %
09Mn2Si	500	755	645	9
	550	684	583	10
	600	617	539	11
	650	602	518	13
	700	586	505	14

Applying regression analysis in Excel program, a mathematical model was derived for the control of mechanical properties by a non-destructive method for steel 09Mn2Si.

To determine the tensile strength:

$$\sigma_{TS} = 929,4 + 15,86H_c - 0,76\mu_{max} + 110,1B. \quad (2)$$

To determine the yield strength:

$$\sigma_{YS} = 3634 - 52,4H_c - 3,85\mu_{max} - 28,6B. \quad (3)$$

To determine the relative elongation:

$$\varepsilon = 46,99 - 3,15H_c + 0,0065\mu_{max} - 1,24B. \quad (4)$$

To confirm the reliability of the proposed method for determining the mechanical properties, tests were carried out with measurements according to the proposed method. For this, three items of steel 09Mn2Si were taken and thermally treated according to the selected mode, for example, a tempering temperature of 620 °C was taken [10]. Then, the magnetic parameters were measured on each tempering product. Substituting the average of three values for each of the parameters into the equations of dependencies available for a given steel, determined the calculated values  $\sigma_{TS}$ ,  $\sigma_{YS}$  and  $\varepsilon$ . After that, standard samples for tensile testing were made from each product and the actual values of mechanical properties were obtained. Table 3 shows the calculated values determined by the equations of dependencies and the actual values of the mechanical properties determined by tension the standard samples, which confirm the reliability and accuracy of the proposed method for quality control of steel products heat treatment. The measurement error was less than 4 %.

Table 3 – Convergence of results

Mechanical properties of steel 09Mn2Si products at a tempering temperature of 620 °C			
Calculated (by regression equations)		The actual (by tensile tests)	
$\sigma_{TS}$ , MPa	715	$\sigma_{TS}$ , MPa	731
$\sigma_{YS}$ , MPa	668	$\sigma_{YS}$ , MPa	693
$\varepsilon$ , %	16,2	$\varepsilon$ , %	16,5

### Conclusions

The use of three magnetic parameters in the complex during the inspection of steel products contributes to an increase in the reliability and accuracy of measurements, in comparison with one-parameter control, which is confirmed by an error of no more than 4 %.

In addition, improving the technology for determining the mechanical properties of steel products heat treatment will reduce the time for testing, due to the absence of the need to select templates and prepare samples for testing, eliminate the use of bulky test equipment used for destructive testing methods with small-sized devices, and will also enable further use controlled item.

### REFERENCES

- 1 **Tomas, I., Kadlecova, J., Vertesy, G.** Measurement of flat samples with rough surfaces by magnetic adaptive testing. In IEEE Transactions on Magnetics. – 2012. – Vol. 48. – № 4. – P. 1441–1444.
- 2 **Kikuchi, H., Murakami, H., Ara, K.** Feasibility study for nondestructive evaluation of magnetic properties and hardness of two-layered specimens by magnetic single-yoke probe. In NDT&E International – 2012. – Vol. 46. – P. 1–6.



3 **Bakunov, A. S., Gorkunov, E. S., Scherbinin, V. E.** Magnitnyi control [Magnetic control]. – Moscow : «Spectr», 2011. – 192 p.

4 **Kostin, V. N., Osintsev, A. A., Stashkov, A. N., Nichipuruk, A. P., Kostin, K. V., Sazhina, E. Yu.** Mobil'nye sredstva mnogoparametrovoi magnitnoi strukturos [Mobile multiparameter magnetic structuroscopy]. In Flaw detection. – 2008. – № 4. – P. 66–77.

5 **Fiorillo, F.** Characterization and Measurement of Magnetic Materials. – USA : Academic Press, 2004. – 666 p.

6 **Skoblo, T. S., Sidashenko, A. I., Marchenko, M. V.** Koertsitivnaya sila kak indikator otsenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya profil'nyh izdeliyii [Coercive force as an indicator for assessing the stress-strain state of shaped products]. In Forging-stamping production. Material processing by pressure. – 2009. – № 11. – P. 43–46.

7 **Scherbinin, V. E., Gorkunov, E. S.** Magnitnye metody strukturnogo analiza i nerazrushayushego kontrolya [Magnetic methods of structural analysis and non-destructive testing]. – Ekaterinburg : Publishing house of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1996. – 266 p.

8 **Bogomolov, A. V., Zhakupov, A. N., Sapinov, R. V.** Organizatsiya kontrolya kachestva nasosno-kompressornyh i obsadnyh besshovnyh trub v Kazakhstane [Organization of tubing and casing seamless pipes quality control in Kazakhstan]. In International journal of non-destructive testing «Territory NTD». – 2013. – 76 p.

9 **Usak, E.** Influence of heat treatment on magnetic properties of steel sheet material for cable routing system. In Proceedings of 9th International Conference. – 2012. ELEKTRO. Rajeck Teplice. – 2012, May 21–22. – P. 479–482.

10 **Zhakupov, A. N., Bogomolov, A. V., Zhakupova, A. T.** Method for electromagnetic quality control of product heat treatment / Patent of RK for invention. Bull. № 35. 17.09.2018.

Material received on 20.09.21.

\***А. Жакупов<sup>1</sup>, А. Богомолов<sup>2</sup>, А. Жакупова<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### БОЛАТ ІЛЕМНІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУДЫҢ БҰЗБАЙТЫН ТӘСІЛІ

Бұл мақалада болат өнімдерін бұзбайтын әдістермен термиялық оңдеудің механикалық қасиеттерінің сандық көрсеткіштерін жедел және сенімді анықтау үшін әзірленген әдістеменің сипаттамасы келтірілген. Бұл жағдайларда болат өнімдерін бақылаудың бұзбайтын әдісі бақылаудың ең жақсы нұсқасы болып табылады, өйткені ол бақыланатын үлгіні бұзуды қажет етпейді және өнімді одан әрі пайдалану мүмкіндігін қарастырады. Бұзбайтын тестілеу әдістерін қолдану материалдық және уақытша ресурстарды едәуір үнемдеуге ықпал етеді.

*Осы жұмыста сипатталған әдістің мәні механикалық және электромагниттік қасиеттер арасындағы байланысты анықтау үшін кейінгі статистикалық талдау үшін болаттың әр маркасының үлгілерін бастапқы зерттеу, олардың коэрцитивті күшін, максималды магнит өткізгіштігін және қалдық магниттік индукцияны өлшеу болып табылады. Осы корреляцияны табу және оның сенімділігін тексеру нәтижесінде дайын өнімдерде болат құрылымдық бұйымдардың беріктік қасиеттерінің нормаланған көрсеткіштері болып табылатын уақытша қарсылықты, кірістілік шегін және салыстырмалы ұзаруды анықтауға мүмкіндік бар.*

*Механикалық қасиеттерді анықтаудың ұсынылатын бұзбайтын әдісі сапа көрсеткіштерін 96 %-ға дейін анықтаудың сенімділігіне ие бола отырып, оны өндіріс ағынында пайдалануға мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: бұзбайтын бақылау, механикалық қасиеттер, илем, коэрцитивті күш.*

\***А. Жакупов<sup>1</sup>, А. Богомолов<sup>2</sup>, А. Жакупова<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

*В данной статье приводится описание разработанной методики проведения оперативного и достоверного определения количественных показателей механических свойств термической обработки стальных изделий неразрушающими методами. Для этих случаев неразрушающий метод контроля стальных изделий является наиболее оптимальным вариантом контроля, в связи с тем, что не требует разрушения контролируемого образца и предусматривает возможность дальнейшей эксплуатации изделия. Применение методов неразрушающего контроля так же способствует значительной экономии материальных и временных ресурсов.*

*Сущность описанного в данной работе способа заключается в начальном исследовании образцов каждой марки стали, измерении их коэрцитивной силы, максимальной магнитной проницаемости и остаточной магнитной индукции для последующего статистического анализа с целью определения взаимосвязи между механическими и электромагнитными свойствами. В результате нахождения данной корреляции и проверки ее достоверности появляется возможность на готовых изделиях определять временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение, являющиеся нормируемыми показателями прочностных свойств стальных конструкционных изделий.*

*Предлагаемый неразрушающий метод определения механических свойств позволит использование его в потоке производства, имея при этом достоверность определения показателей качества до 96%.*

*Ключевые слова: неразрушающий контроль, механические свойства, прокат, коэрцитивная сила.*

**\*Yu. I. Shadrin**

Vector LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar,

**FEATURES OF ALUMINUM DISC PRODUCTION TECHNOLOGY**

*The technology features of cast aluminum discs production in the conditions of «Vector» LLP are presented. Aluminum alloy AK-12 smelting process in induction crucible furnaces is described in detail. Results of industrial experiments conducted to reduce the melting time are presented. Initially, the task was set to find the optimal permissible metal residue (swamp) in the furnace after the melting was drained. Based on the results obtained, the optimal mass of the swamp was revealed to be 100 kg.*

*A series of experimental melting was also carried out in order to identify the difference in the melting duration of the heated billet and the billet at room temperature. In the conditions of production of the enterprise «Vector» LLP, a reduction in the duration of melting by 25 minutes was achieved by using the melting method «in the swamp». Also, the preheating of charge materials in the space of the heating furnace contributed to the reduction of the melting time by 10–15 minutes. Before making changes to the technology, a maximum of 12 melts were carried out per day, taking into account the time for cleaning the furnace crucible and the process of draining metal from the furnace space. After the changes were made, the melts number and volume being metal smelted increased almost twice. This allowed the company to simultaneously put into operation four casting machines, which are supplied with metal by only one induction furnace with a capacity of 700 kg.*

*Keywords: aluminum alloys, alloy wheels, melting, induction furnace, productivity.*

**Introduction**

Foundry production has been actively developing recently, new enterprises are emerging. For example, in Krasnoyarsk there are three well-known enterprises engaged in the production of cast car wheels.

K&K is one of the most famous and popular Russian brands engaged in the wheels alloy manufacture based on aluminum alloys. Scad is so popular in Russia that its products are regularly used on many cars. The production is fully equipped with high-tech devices and devices for the manufacture of high-quality products. Japanese and European production lines operate at the plant. Ifri is a fairly young company for creating high-quality discs. The brand has received high reviews from motorists thanks to unique design solutions and high durability of finished models.

Not so long ago, the owners and investors of K&K decided to open a production branch in the territory of the Republic of Kazakhstan to establish a sales market and increase production capacity [1–4].

The enterprise «Vector» LLP was founded in 2017 in the city of Pavlodar. The territory of this production is the rented premises and the adjacent territory of the

enterprise «Gissen Haus». The lessors were also suppliers of liquid aluminum, namely AK-12 alloy. In 2021, two induction furnaces with a volume of 600 kilograms were installed and launched on the territory of Vector LLP. The company has started processing its own waste in the form of chips and defective discs.

The technology of production of cast aluminum alloy wheels is simple and has six main stages [5–7].

Preparation of molds. In the workshop there is a site where molds are stored, processed and repaired. In case of premature receipt of an order for the production of a certain model of alloy wheels, the working staff of this site prepares the mold, its complete cleaning with the help of a sandblasting unit. Next, the mold is transported to the heating furnace by means of a loader. Within 2 hours, the mold is heated. After heating the mold to a certain temperature, it returns to the mold repair site for further painting.

Installation of the mold on the casting machine. After reheating the mold in the furnace, the loader driver pre-installs the so-called «cart» in close proximity to the casting machine. The «cart» is a rack with rail tracks fixed on top and a cart mounted on them with a horizontal plane for the molds to be installed. The casting machine also has grooves for installing rail tracks that are closed with the tracks of the «cart». After fixing the rail tracks, the mold is installed on the cart. Next, the working staff rolls the cart along the rail tracks and begins the installation. First of all, the mold is attached to the upper part of the casting machine equipped with hydraulic drives. After successful fixation, the cart returns to its original place, the rails are dismantled. The mold is lowered hydraulically to the lower part of the casting machine, after which wedges are clogged, eliminating the possibility of the mold displacement. After fixing the mold on the casting machine, the air cooling of the mold is connected by sectors. Then, after the successful installation of the mold on the casting machine, namely, the casting machine is put into operation, and the mold is heated to operating temperatures due to the liquid metal entering it [8].

**Materials and methods**

Metal melting is carried out in induction crucible furnaces. Before the furnace is put into operation, the operability of the main and auxiliary equipment is checked. Then the furnace lining is heated by placing steel/cast iron products in the furnace space and gradually heating them. After the end of holding a certain temperature in the furnace, metal products are removed and the furnace is loaded with charge materials [9–10].

After melting the metal and filling the furnace by 85–90 %, a sample of liquid metal is taken to determine the chemical analysis. The analysis of the sample of the prepared alloy is carried out on a spectrometer. In case of unsatisfactory analysis, the smelter brings the alloy to the desired chemical composition (Table 1) by adding alloying elements or diluting with primary aluminum.

Table 1 – Chemical composition of АК-12 alloy

The norm	Mass fraction of the main components, %						
	Si	Mg	Ti	Sr	Fe		
Melting furnaces	11.0–11.8	≤0.14	0.1–0.15	–	≤0.18		
Foundry machines furnaces	11.0–11.8	0.05–0.14	0.1–0.15	0.025-0.035	≤0.18		
The norm	Other impurities						
	Mn	Cu	Zn	Sn	Ca	Na	Li
Melting furnaces	≤0.02	≤0.07	≤0,02	≤ 0,0015	≤0.001	≤0.001	≤0.02
Foundry machines furnaces	≤0.1	≤0.02	≤0.07	≤0,02	≤ 0,0015	≤0.001	≤0.001

In case of full compliance with the required chemical composition, the metal is heated to the required temperature. Then the smelter uses hydraulic cylinders using the control panel and releases metal from the furnace space into the casting ladle for further processing of the alloy at the metal degassing plant. The filler, driving the loader, transports and installs the filling bucket with metal on the scales to fix the mass of the metal merged from the furnace. A graphite rotor for mixing metal with a built-in Argon inert gas supply route is installed above the scales. During the mixing process, alloying elements such as strontium and titanium are added in the form of cut wire.

After the end of the degassing process, the filler uses a loader with a rotary mechanism to transport the filling bucket with metal to the foundry site. Foundry workers suspend casting machines to carry out metal pouring and filling the furnace capacity of the casting machine. Having alternately filled all the casting machines in operation with metal, the filler re-weighs the filling bucket. After casting the discs, they are cooled and transported to the machining site using a conveyor belt. First of all, each disk passes through an X-ray, which helps to identify visually invisible defects (shells and pores). After passing the X-ray, the disk enters the drilling rig, where the gate is drilled. Next, the disk is sent to the first operation performed on an automated machine. After the first operation, the disk is sent to the workplace to the sawdust, where the burrs and obloy are removed from the front side. After successful completion of all these operations, the disk is sent to the second operation, where the final groove of the disk rim is made to the required parameters. After the grinding is completed, the operator cleans the front side of the disc with a grinding machine and performs measurements with a measuring tool in order to prevent the appearance of inconsistencies with the requirements of the certificate of this disc model.

In case of successful completion of all stages of mechanical processing, the disk is checked by the controller for visual and technological inconsistencies. The control is carried out with the help of measuring instruments. If not one of the types of defects has been identified, then the disc is marked with its own QR code and packed in a cardboard box. Next, documents are drawn up for all packaged car wheels, after which they are sent to the paint shop, where the products are brought to marketable appearance and sent to warehouses and stores.

**Results and discussion**

At the moment, the main problem of production is the lack of mass of the metal being smelted. The reason for the shortage are two main parameters of furnaces used for the

preparation of the melt, namely their volume and duration of melting. The volume of the furnaces is 600–700 kg and in order to safely carry out work on the furnace, it cannot be increased. The duration of melting varies between 80–90 minutes. The beginning is the moment of starting the furnace, and the end is the discharge of metal from the furnace space. The task of reducing the melting time of metal is an urgent and quite feasible task.

The task was set to find the optimal permissible metal residue (swamp) in the furnace after the melting was drained. By conducting experimental melting, the optimal mass of the swamp was determined, presented in Table 2.

Based on the results obtained, the optimal mass of the swamp was identified, which is 100 kg. But this duration of melting still does not allow to significantly increase production volumes. During the period of using primary aluminum in the form of ingots as the main charge material, it was decided to conduct a repeat series of experimental smelting. the purpose is to identify the difference in the duration of melting of heated ingots and ingots at room temperature.

Table 2 – Experimental melting data (Stage 1)

Melting	Furnace volume, kg	Merged metal mass, kg	Swamp mass remaining from the previous melting, kg	Swamp mass left for the next melting, kg	Duration of melting, minutes
1	700	610	0	90	110
2	700	590	90	110	90
3	700	600	110	100	85

A number of measures were carried out to obtain the most accurate values. Measurements were made of the temperature of the pig that had been in the room for more than two days. Measurements of the temperature of the pig imported from the street were made. The temperature in the space of the heating furnace was measured. The staff of the smelting site was tasked with special control of the parameters of experimental melts.

At the moment of the beginning of metal melting in the normal mode, a muld filled with a pig of primary aluminum in the amount of 16 pieces (320 kg) was installed in the heating furnace. Prior to the start of this experiment, the heating furnace was idle due to the lack of the need to use all four heating chambers. As a rule, no more than two or three cameras were used at the same time. The experimental data are presented in Table 3.

Table 3 – Experimental melting data (Stage 2)

Melting	Piece weight, kg	Heating time of the piece, min	Initial temperature, °C		Temperature after heating, °C	Duration of melting, minutes
			workshop	street		
1	320	85	15	-	356	68
2	319	70	-	8	349	70
3	398	72	16	-	335	70

**Conclusions**

According to the experimental melting data, the result was achieved by reducing the duration of melting the alloy in an induction furnace with a volume of 700 kg.

In the production conditions of the enterprise «Vector» LLP, by making changes to the technology of metal smelting in induction furnaces, a reduction in the melting time by 25 minutes was achieved by using the «in the swamp» melting method. Also, the preheating of the charge materials in the space of the heating furnace contributed to the reduction of the melting time by 10–15 minutes. Before making changes to the technology, a maximum of 12 melts were carried out per day, taking into account the time for cleaning the furnace crucible and the process of draining metal from the furnace space. After the changes were made, the number of melts and the volume of the metal being smelted increased almost twice. This allowed the company to simultaneously put into operation four casting machines, which are supplied with metal by one induction furnace with a capacity of 700 kg.

## REFERENCES

- 1 **Galevskij, G. V.** Metallurgiya alyuminiya : mirovye i otechestv. pr-vo : ocenka, tendencii, prognozy` [Aluminum metallurgy : global and domestic production : assessment, trends, forecasts] / G. V. Galevskij, N. M. Kulagin, M. Ya. Mincis [Text]. – Moscow : Flinta, 2004. – 277 p.
- 2 **Denisov, V. M.** Alyuminij i ego splavy` v zhidkom sostoyanii [Aluminum and its alloys in liquid state] / V. M. Denisov [Text]. – Ekaterinburg : UrO RAN, 2005. – 224 p.
- 3 **Abaly`mov, V. R.** Bezotxodnoe proizvodstvo avtomobil`ny`x diskov iz alyuminiyevy`x splavov [Waste-free production of automobile discs made of aluminum alloys] / V. R. Abaly`mov, V. P. Zhereb, Yu. A. Klejmenov [Text]. In Czvetny`e metally` i mineraly`. 2017. Sbornik dokladov Devyatogo mezhdunarodnogo kongressa, – Krasnoyarsk : Nauchno-innovacionny`j centr, 2017. – P. 561–564.
- 4 **Goulart, P. R., Spinelli, J. E., Osorio, W. R. and Garcia, A.** Mechanical properties as a function of microstructure and solidification thermal variables of Al–Si castings [Text]. In Materials Science and Engineering. – A., 2006. Vol. 421. – P. 245–253.
- 5 **Frolov, R. A.** Formirovanie struktury` i svoystv lity`x detalej iz splava AK7ch s ispol`zovaniem kompleksnoj obrabotki [Formation of the structure and properties of cast parts made of AK7ch alloy using complex treatment] / R. A. Frolov, I. P. Volchok, A. A. Mityaev, V. V. Lukinov [Text]. In Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv. – 2019. – № 2 (85). – P. 62–66. – DOI 10.30838/J.PMHTM.2413.230419.61.295.
- 6 **Ferguson, J. B.** Correlation vs. Causation : The Effects of Ultrasonic Melt Treatment on Cast Metal Grain Size / J. B. Ferguson, Benjamin F. Schultz, Kyu Cho, Pradeep K. Rohatgi [Text]. In Metals. – 2014. – № 4. – P. 477–489.
- 7 **Volchok, I. P., Mityaev, A. A., Frolov, R. A.** Kompleksnaya texnologiya pov`sheniya kachestva vtorichny`x alyuminiyevy`x splavov [Comprehensive technology for improving the quality of secondary aluminum alloys] / I. P. Volchok, A. A. Mityaev, R. A. Frolov [Text]. In Lit`yo i metallurgiya. – 2018. – №4 (93). – P. 19–23.
- 8 **Bogdanova, T. A.** Sovremenny`e texnologii izgotovleniya diskov avtomobil`ny`x koles [Modern technologies for the manufacture of automobile wheel discs] / T. A. Bogdanova, N. N. Dovzhenko, T. R. Gil`manshina [Text]. In Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 5. – P. 226.

9 Disks WIGER Germany Sport Power (WSP) [Electronic resource]. – Access mode: <http://wiger.ru/wsp/about/>.

10 **Bykov, P. O.** Prospects for the development of production of aluminum castings / Bykov P. O., Yelyubayev Zh. B., Mukhamdyarov B. T. [Text]. In Scientific Journal «Science and Technology of Kazakhstan». Pavlodar, Kazakstan. – 2014. – № 3–4. – P. 8–13.

Material received on 20.09.21.

\***Ю. И. Шадрин**

«Вектор» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### АЛЮМИНИЙ ДИСКІЛЕРІН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

*«Вектор» ЖШС жағдайында құйылған алюминий дискілерін өндіру технологиясының ерекшеліктері көрсетілген. Құйма дискілерді өндіруге арналған индукциялық тигельді пештерде АК-12 алюминий қорытпасын балқыту процесі толық сипатталған.*

*Балқыту уақытын қысқарту бойынша жүргізілген өнеркәсіптік эксперименттердің нәтижелері келтірілген. Балқытудан кейін пештегі құйылған металдың оңтайлы рұқсат етілген қалдығын (батпақты) табу міндеті қойылды. Алынған нәтижелер негізінде батпақтың оңтайлы массасы анықталды, ол 100 кг құрайды.*

*Сондай-ақ қыздырылған дайындама мен бөлме температурасындағы дайындаманың балқу ұзақтығының айырмашылығын анықтау мақсатында эксперименттік балқытулар сериясы жүргізілді. «Вектор» ЖШС кәсіпорнының өндіріс жағдайында индукциялық пештерде металды балқыту технологиясына өзгерістер енгізу арқылы «батпақта» балқыту тәсілін пайдалану арқылы балқыту ұзақтығын 25 минутқа қысқартуға қол жеткізілді. Сондай-ақ, балқыту ұзақтығын 10–15 минутқа қысқарту қыздыру пешінің кеңістігінде материалдарын алдын-ала қыздыруға ықпал етті. Технологияға өзгерістер енгізбес бұрын, пештің тигелін тазалау уақытын және пештің кеңістігінен металды ағызу процесін ескере отырып, тәулігіне ең көбі 12 балқыту жүргізілді. Өзгерістер енгізілгеннен кейін балқымалардың саны мен балқытылатын металдың көлемі іс жүзінде екі есеге ұлғайды, бұл кәсіпорынға бір мезгілде бір ғана 700 кг сыйымдылығы бар индукциялық пеш металмен қамтамасыз ететін төрт құю машинасын іске қосуға мүмкіндік берді.*

*Кілтті сөздер: алюминий қорытпалары, құйылған дискілер, балқыту, индукциялық пеш, өнімділік.*

\*Ю. И. Шадрин

ТОО «Вектор»,

Республика Казахстан, г. Павлодар

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ ДИСКОВ

*Представлены особенности технологии производства литых алюминиевых дисков в условиях ТОО «Вектор». Подробно описан процесс выплавки алюминиевого сплава АК-12 в индукционных тигельных печах для производства литых дисков.*

*Приведены результаты проведенных промышленных экспериментов по сокращению времени плавки. Была поставлена задача поиска оптимально допустимого остатка металла (болота) в печи после слива плавки. На основе полученных результатов была выявлена оптимальная масса болота, которая составляет 100 кг.*

*Проведена также серия экспериментальных плавок с целью выявления разницы длительности плавления нагретой чушки и чушки комнатной температуры. В условиях производства предприятия ТОО «Вектор» с помощью внесения изменения в технологию выплавки металла в индукционных печах было достигнуто сокращение длительности плавки на 25 минут, при помощи использования способа плавки «на болоте». Также сокращению длительности плавки на 10-15 минут способствовал предварительный нагрев шихтовых материалов в пространстве нагревательной печи. До внесения изменений в технологию, за сутки производилось максимум 12 плавок, с учётом времени на чистку тигеля печи и процесс слива металла из пространства печи. После внесения изменений количество плавок и объём выплавляемого металла увеличились практически в два раза, что позволило предприятию одновременно запустить в работу четыре литейные машины, которые снабжает металлом лишь одна индукционная печь ёмкостью 700 кг.*

*Ключевые слова: алюминиевые сплавы, литые диски, плавка, индукционная печь, производительность.*

FTAMP 53.01.87

<https://doi.org/10.48081/KMWD8656>

\*Д. Е. Жаксымбеков<sup>1</sup>, А. Ж. Таскарина<sup>2</sup>,  
Е. С. Абдрахманов<sup>3</sup>, Р. А. Тюлюбаев<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Торайгыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

### ТАСПАЛЫ КОНВЕЙЕРЛЕРДІҢ ЖҰМЫСТЫҢ СЕНІМДІЛІГІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ АРТТЫРУ

*Бұл мақалада таспалы конвейер мысалында тау-кен жабдықтарының сенімділігін арттырудың теориялық моделі келтірілген. Мақалада таспалы конвейерлерді пайдалану мәселелері, технологиялық жабдықтардың тоқтап қалу себептері және оларды шешу әдістері келтірілген. Таспалы конвейердің істен шығуына талдау жасалды, оның негізінде жабдықтың істен шығуы есептелді. Талдау көрсеткендей, тоқтап қалудың ең көп саны конвейерлік таспалардың үзілуіне байланысты істен шығумен байланысты (таспаны бүлдіру, таспаның үзілуі, таспаның үлкен кесектермен зақымдануы, таспаның түсуі, сондай-ақ таспаны тазалау қажеттілігі), оларды авариялық жөндеу және түйісу қосылыстарын жөндеу. Тоқтап қалудың едәуір үлесі (20 %-ға дейін) механикалық жабдықтың істен шығуынан болады. Конвейерлердің электр жабдықтарының істен шығуы ең аз үлес салмаққа ие. Конвейер түйіндерінің жұмыс қабілеттілігін біртіндеп жоғалту сипаты тау-кен машиналары мен кешендерінің сенімділігі теориясының әдістері мен құралдарын қолдану негізінде белгіленеді. Таспалы конвейерлердің сенімділігін арттырудың негізгі бағыттары тұтастай алғанда конструкцияны және олардың негізгі түйіндерін жетілдіру болып табылады, олар конвейерлердің сенімділік деңгейін анықтайды, атап айтқанда: конвейер таспалары, олардың түйіспелері, конвейерлердің қауіпсіз жұмыс істеу деңгейін қамтамасыз ететін таспалар мен жабдықтарға арналған тірек элементтері. Жүргізілген зерттеулер созылу станциясының ақаусыз жұмыс уақытын, істен шыққаннан кейін конвейер таспасының жұмысын қалпына келтіру уақытын, сондай-ақ жетек барабандарындағы таспаның тайып кетуі арасындағы уақытты бөлудің индикативті Заңымен дәл сипатталатындығын анықтады.*

*Кілтті сөздер: сенімділік, конвейер, таспалы конвейер, тау-кен машинасы, көлік жабдықтары.*

### Кіріспе

Елдің тау-кен өнеркәсібіндегі технологиялық және көлік жабдықтарының сенімділігін арттыру проблемасы маңызды болды және болып қала береді. Шахталар мен кеніштердегі тау-кен-геологиялық және тау-кен-техникалық жағдайлардың күрделенуі, тау-кен жұмыстарының шоғырлануының артуы және осының салдарынан жүк ағындарының ұлғаюы көлік жүйелерінің сенімділігіне

жоғары талаптар қояды. Тау-кен көлік жабдықтарының қуаттылығы мен құрылымдық күрделілігі артып келеді [1].

Қазіргі уақытта таспалы конвейерлері конвейерлік көліктің ең тиімді және жоғары сапалы түрі болып табылады. Тек қара металлургия кәсіпорындарында 25 мыңнан астам таспалы конвейерлер пайдаланылады. Ашық тау-кен жұмыстары үшін таспалы конвейерлер көп жағдайда тау-кен машиналарының техникалық және экономикалық параметрлеріне толық сәйкес келеді және ағынды және циклдік-ағынды технологияны қолдануға мүмкіндік береді. Конвейерлік көлікті пайдаланатын ағынды технология саладағы еңбек өнімділігін едәуір арттыруға және өндіріс құнын төмендетуге мүмкіндік беретіні дәлелденді [2].

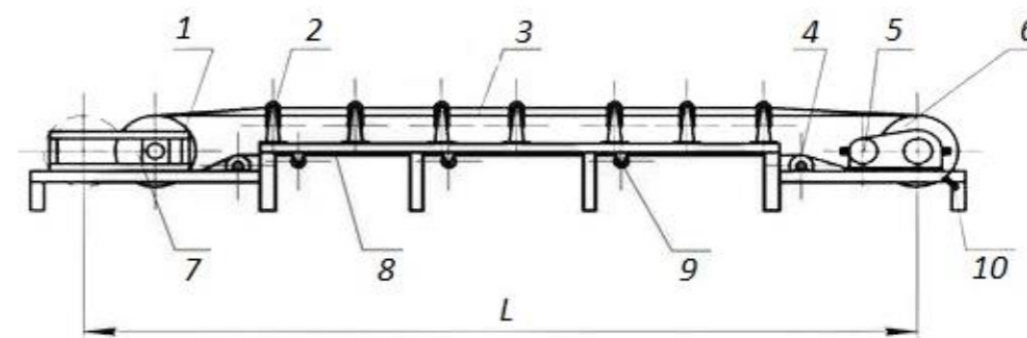
Конвейерлердің техникалық жай-күйін бағалау оларды апатсыз, сенімді және қауіпсіз пайдалану жөніндегі іс-шараларды әзірлеу үшін қажет.

**Материалдар және әдістер:** зерттелетін таспалы конвейерлер сусымалы және кесек материалдарды тасымалдауға арналған.

Барлық таспалы конвейерлердің жұмыс органы-тасымалданатын жүкті тасымалдайтын және сонымен бірге тарту органының функцияларын орындайтын резеңке мата таспасы. Таспа екі шеткі барабанды айналдырады, ал тарту күші барабаннан барабанға үйкеліс күштері арқылы таспаға беріледі. Таспаны жетек барабанына қажетті басу керу құрылғысымен қамтамасыз етіледі. Таспаны жетек барабанына қажетті басу керу құрылғысымен қамтамасыз етіледі. Таспа бүкіл ұзындығы бойынша үш роликті тіректерге сүйенеді, олар оған кенді тасымалдауға қажетті ойық пішінді береді (1-сурет). Таспалы конвейердің жақтауы-бұл конвейер жабдықтары орнатылатын дәнекерленген металл құрылымы [3–5].

Конвейер желілерінің жұмысына шешуші әсер ететін олардың сенімділігі: конвейерлер істен шыққан кезде немесе жүк тиеу пункттері конвейерлердің машина уақытының азаюына байланысты көлік жүйесінің өткізу қабілеттілігін төмендетеді. Конвейер желілерін жобалау кезінде жеке конвейердің дайындық коэффициенті  $k_r = 0,95-0,96$  тең қабылданады, бірақ ол конвейерлердің физикалық тозуына байланысты азаяды. Нәтижесінде, конвейер желісінің орташа тәуліктік машина уақыты 12 сағатқа дейін азаяды, жобалау кезінде салынған 16–18 сағат [6–7].

Конвейерлік желілердің өнімділігі мен сенімділігін бағалауды кешенді талдау кезінде жүйенің тоқтап қалуының барлық ықтимал көздерін және олардың желінің жұмыс қабілеттілігіне және жоспарлы көрсеткіштердің орындалуына тиісті ықтималдық әсерін белгілеу маңызды (1-кесте) [8].



- 1 – тартпалы бұрама құрылғы; 2 – жоғарғы роликті тіректер; 3 – таспа;  
4 – ауытқитын барабан; 5 – жетек; 6 – жетекті барабан; 7 – шеткі барабан;  
8 – таспаны ішкі тазалау; 9 – төменгі роликті тіректер;  
10 – таспаны сыртқы тазалау.

Сурет 1 – Таспалы конвейердің жалпы көрінісі

Кесте 1 – конвейерлік жабдықтың істен шығуының үлес салмағы (%) және істен шығуынан тоқтап қалу (сағ)

Істен шығу түрі	%	сағ
Таспалардың үзілуі	28,3	624
Түйістіру қосылыстары мен таспалы жайманың істен шығуы	39,0	814
Конвейерлердің барлық механикалық жабдықтарының істен шығуы (жетек барабандары, редукторлар және т. б.)	20,9	461
Электр жабдықтарының істен шығуы	11,5	255
Барлығы	99,7	200,4

Сонымен қатар, кейбір көздер негізгі болып табылады және жүйенің тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Басқалары аз әсер етеді және аз маңызды [9].

**Нәтижелер мен талқылау.** 1-кестедегі деректерді талдау конвейерлік таспалардың үзілуіне байланысты істен шығулардың ең көп санын көрсетеді (таспаны бүлдіру, таспаның үзілуі, таспаның үлкен кесектермен зақымдануы, таспаның түсуі, сондай-ақ таспаны тазалау қажеттілігі), оларды авариялық жөндеу және түйіспелі қосылыстарды жөндеу. Тоқтап қалудың едәуір үлесі (20% дейін) механикалық жабдықтың істен шығуынан болады. Конвейерлердің электр жабдықтарының істен шығуы ең аз үлес салмаққа ие.

Конвейер түйіндерінің жұмыс қабілеттілігін біртіндеп жоғалту сипаты 1-кестеде және 2 және 3-суреттерде келтірілген тау-кен машиналары мен кешендерінің сенімділігі теориясының әдістері мен құралдарын қолдану негізінде анықталды [10].



Сурет 2 – Гистограмма және конвейер таспаларының ақаусыз жұмыс уақытының экспоненциалды үлестірілу қисығы



Сурет 3 – Конвейерлік таспалардың ақаусыз жұмыс уақытының  $P(t)$  ықтималдығын бөлудің дифференциалды функциясы

Мұндай зақымдардың алдын алу үшін техникалық жағдайды үнемі бақылау, оларды уақтылы күтіп ұстау және ауыстыру қажет.

Қорытынды. Таспалы конвейерлердің сенімділігін арттырудың негізгі бағыттары тұтас алғанда конструкцияны және олардың негізгі тораптарын жетілдіру болып табылады, олар конвейерлердің сенімділік деңгейін неғұрлым анықтайды, атап айтқанда: конвейерлік таспалар, олардың түйіспелі қосылыстары, конвейерлердің қауіпсіз жұмыс істеу деңгейін қамтамасыз ететін таспалар мен жабдықтарға арналған тірек элементтері. Жүргізілген зерттеулер созылу станциясының ақаусыз жұмыс уақытын, істен шыққаннан кейін конвейер таспасының жұмысын қалпына келтіру уақытын, сондай-ақ жетек барабандарындағы таспаның тайып кетуі арасындағы уақытты бөлудің индикативті Заңымен дәл сипатталатындығын анықтады.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Хачатрян, С. А.** Анализ надежности конвейерных лент в условиях ОАО «Воркутауголь» – в сб. : Тезисы докладов Вторая межд. научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы развития горнодобывающих отраслей промышленности». г. Рудный Республика Казахстан. – ДТП Институт горного дела им. Д. А. Кунаева, 2004. – С. 73.
- 2 **Квагинидзе, В. С.** Эксплуатация карьерного горного и транспортного оборудования в условиях Севера. – М. : Изд-во МГГУ, 2002. – 243 с.
- 3 **Киселев, Б. Р.** Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов : Учеб. пособие / Б. Р. Киселев, М. Ю. Колобов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2019. – 179 с.
- 4 **Махно, Д. Е.** Хладноломкость и хладостойкость металлоконструкций горных машин в условиях Севера : Монография. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2010. – 232 с.
- 5 **Бойко, Г. Х., Груздев, А. В.** Горное оборудование Уралмашзавода. – Екатеринбург : Уральский рабочий, 2003. – 240 с.
- 6 **Волков, Е. С., Плютов, Ю. А.** Расчет критериев эффективности эксплуатации ленточного конвейера для заданных условий карьера / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2012610579. – 2012.
- 7 **Баркова, Н. А., Дорошев, Ю. С.** Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования : Учебное пособие. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2009. – 157 с.
- 8 **Доронин, С. В.** Моделирование прочности и разрушения конструкций технологического оборудования // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2006. – № 8. – С. 38–40.
- 9 **Плютов, Ю.А.** Оценка эффективности эксплуатации транспортных машин в условиях нагорных карьеров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 7. – С. 4–7.
- 10 **Москвичев, В. В., Доронин, С. В.** Новые подходы к проектным решениям в горном машиностроении // Горный информационно-аналитический бюллетень (Отдельный выпуск). – Кузбасс. – 2008. – № 7. – С. 63–70.

REFERENCES

- 1 **Hachatryan, S. A.** Analiz nadezhnosti konvejernyh lent v usloviyah ОАО «Vorkutaugol'». In Tezisy dokladov Vtoraya mezhd. nauchno-prakticheskaya konferenciya «Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya gornodobyvashchih otraslej promyshlennosti». Rudnyj Respublika Kazahstan. – DTP Institut gornogo dela im. D. A. Kunaeva, 2004. – P. 73.
- 2 **Kvaginidze, V. S.** Ekspluatatsiya kar'ernogo gornogo i transportnogo oborudovaniya v usloviyah Severa. – Moscow : Izd-vo MGGU, 2002. – 243 p.
- 3 **Kiselev, B. R.** Lentochnyj konvejer. Raschet i proektirovanie osnovnyh uzlov : Textbook / B. R. Kiselev, M. Yu. Kolobov. – Ivanovo : Ivan. gos. him.-tekhrol. un-t, 2019. – 179 p.

4 **Mahno, D. E.** Hladnolomkost' i hladostojkost' metallokonstrukcij gornyh mashin v usloviyah Severa : Monograph. – Irkutsk : Izd-vo IrGTU, 2010. – 232 p.

5 **Bojko, G. H., Gruzdev, A. V.** Gornoe oborudovanie Uralmashzavoda. – Ekaterinburg : Ural'skij rabochij, 2003. – 240 p.

6 **Volkov, E. S., Plyutov, Yu. A.** Raschet kriteriev effektivnosti ekspluatatsii lentochnogo konvejera dlya zadannyh uslovij kar'era. In Svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM № 2012610579. – 2012.

7 **Barkova, N. A., Doroshev, Yu. S.** Nerazrushayushchij kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya gornyh mashin i oborudovaniya: Textbook. – Vladivostok : Izd-vo DVG TU, 2009. – 157 p.

8 **Doronin, S. V.** Modelirovanie prochnosti i razrusheniya konstrukcij tekhnologicheskogo oborudovaniya. In Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2006. – № 8. – P. 38–40.

9 **Plyutov, Yu. A.** Ocenka effektivnosti ekspluatatsii transportnyh mashin v usloviyah nagornyh kar'erov. In Izv. vuzov. Gornyj zhurnal. – 2012. – № 7. – P. 4–7.

10 **Moskvichev, V. V., Doronin, S. V.** Novye podhody k proektnym resheniyam v gornom mashinostroenii. In Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (Otdel'nyj vypusk). – Kuzbass. – 2008. – № 7. – P. 63–70.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

\***Д. Е. Жаксымбеков<sup>1</sup>, А. Ж. Таскарина<sup>2</sup>,  
Е. С. Абдрахманов<sup>3</sup>, Р. А. Тюлюбаев<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

#### АНАЛИЗ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

В данной статье представлена теоретическая модель повышения надежности горнотранспортного оборудования, на примере ленточного конвейера. В статье приводятся проблемы эксплуатации ленточных конвейеров, причины простоя технологического оборудования и методы их решения. Представлен анализ отказов ленточного конвейера, на основе которых был произведен расчет безотказной работы оборудования. Анализ показывает, что наибольшее количество простоев связано с отказами из-за обрывов конвейерных лент (задиры ленты, обрыв ленты, повреждение ленты большими кусками, сход ленты, а также необходимость очистки ленты), их аварийного ремонта и ремонта стыковых соединений. Значительная доля простоев (до 20 %) случается из-за отказов механического оборудования. Наименьший удельный вес имеют отказы электрооборудования конвейеров. Характер постепенной потери работоспособности узлами конвейера установлен на основе применения методов и средств теории надежности

горных машин и комплексов. Определено что, основными направлениями повышения надежности ленточных конвейеров является совершенствование конструкции в целом и их основных узлов, в наибольшей степени определяющих уровень надежности конвейеров, в частности: конвейерных лент, их стыковых соединений, опорных элементов для лент и оборудования, обеспечивающего уровень безопасной эксплуатации конвейеров. Проведенными исследованиями установлено, что наиболее точно описываются показательным законом распределения время безотказной работы натяжной станции, время восстановления работоспособности конвейерной ленты после отказов, а также время между пробуксовками ленты на приводных барабанах.

Ключевые слова: надежность, конвейер, конвейер ленточный, горная машина, транспортное оборудование.

\***D. E. Zhaksymbekov<sup>1</sup>, A. Zh. Taskarina<sup>2</sup>,  
Ye. S. Abdrakhmanov<sup>3</sup>, R. A. Tyulubayev<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 20.09.21.

#### ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF OPERATIONAL RELIABILITY OF BELT CONVEYORS

This article presents a theoretical model for improving the reliability of mining equipment, using the example of a belt conveyor. The article presents the problems of operation of belt conveyors, the reasons for the downtime of technological equipment and methods of their solution. The analysis of belt conveyor failures is presented, giving the basis for the equipment downtime calculation. The analysis shows that the greatest number of downtimes is associated with failures due to conveyor belt breaks (belt bullying, belt breakage, damage to the belt in large chunks, the descent of the tape, as well as the need to clean the tape), their emergency repair and repair of butt joints. A significant proportion of downtime (up to 20 %) occurs due to mechanical equipment failures. Failures of electrical equipment of conveyors have the least specific weight. The nature of the gradual loss of operability by the conveyor nodes is established on the basis of the application of methods and means of the theory of reliability of mining machines and complexes. It is determined that the main directions of increasing the reliability of belt conveyors are to improve the design as a whole and their main components, which determine the level of reliability of conveyors the most, in particular: conveyor belts, their butt joints, support elements for belts and equipment that ensures the level of safe operation of conveyors. The conducted research has established that the time of trouble-free operation of the tensioning station, the recovery time of the conveyor belt after failures, as well as the time between belt slips on the drive drums are most accurately described by the indicative distribution law.

Keywords: reliability, conveyor, belt conveyor, mining machine, transport equipment.



\*В. В. Ларичкин

Новосибирский государственный технический университет,  
Российская Федерация, г. Новосибирск**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ШЛАКОВ  
ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В работе исследована возможность вовлечения в переработку первичных сталеплавильных шлаков с доизвлечением железа и шлака для производства строительных изделий.

В Павлодарской области Республики Казахстан при производстве стали на электросталеплавильных предприятиях ТОО «Casting» и ТОО «KSP Steel» образующиеся электросталеплавильные шлаки и пыли складываются в шлаковых отвалах и практически не используются, несмотря на высокое содержание в них оксидов железа и королеков металлического железа (до 40 % от массы в отдельных видах шлаков).

Экспериментально определен химический и минералогический состав первичного электросталеплавильного шлака с содержанием общего железа в количестве более 20 %, который включает следующие минералы: вюстит ( $FeO$ ), магнетит ( $Fe_3O_4$ ), геленит ( $Ca_2Al(Al,Si)_2O_7$ ), мервинит ( $Ca_3Mg(SiO_4)_2$ ).

В ходе проведенных экспериментальных исследований по переработке первичных электросталеплавильных шлаков восстановительной индукционной плавкой шлакоизвестковококсовых окатышей установлена возможность извлечения железистых сплавов и шлака для производства бетона.

Ключевые слова: металлургия, сталь, шлак, рециклинг, рентгеноспектральный анализ.

**Введение**

Производство электростали и проката различного сортамента является одним из основных драйверов роста в черной металлургии мира и Республики Казахстан в частности [1, 2].

Современное электросталеплавильное производство характеризуется получением значительного количества побочных продуктов [3]:

- первичного сталеплавильного шлака (10–12 % от массы плавки);
- вторичного шлака из агрегата ковш-печь (до 2,5 % от массы плавки);
- пыли (до 1,5 % от массы плавки).

Побочный продукт сталеплавильных процессов представляет собой расплав оксидов, образующихся при взаимодействии с кислородом примесей, содержащихся в чугунах и металлургическом ломе, компонентов ферросплавов, шлакообразующих, вносимых в сталеплавильную ванну для корректировки состава, миксерного и доменного шлака, поступающих с чугуном, а также от футеровки плавильных агрегатов [4].

По данным Ассоциации «Еврошлак» [5], в 2010, в странах Европы было образовано 21,8 млн. тонн сталеплавильных шлаков. При этом, общий объем использованного шлака составил 22,3 млн. тонн (рисунок 1).

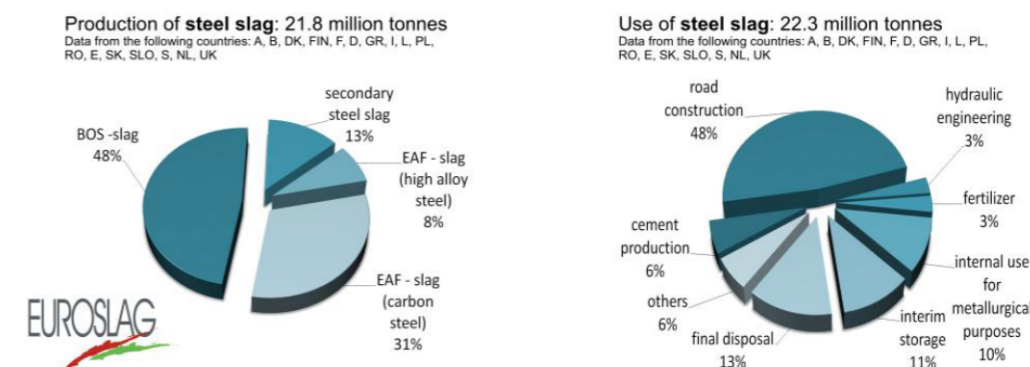


Рисунок 1 – Использование сталеплавильных шлаков в странах Европы [5]

За рубежом сталеплавильные шлаки применяются в трех основных направлениях: в сельском хозяйстве – для известкования почв, в строительстве – в строительстве дорог и в качестве заполнителей в бетонах, а также в качестве железосодержащего материала для вторичной переплавки в доменных печах [5].

В Павлодарской области Республики Казахстан при производстве стали на электросталеплавильных предприятиях ТОО «Casting» и ТОО «KSP Steel» образующиеся электросталеплавильные шлаки и пыли складываются в шлаковых отвалах и практически не используются, несмотря на высокое содержание в них оксидов железа и королеков металлического железа (до 40 % от массы в отдельных видах шлаков) [6].

В Казахстане уже реализуются инновационные проекты по вовлечению в переработку вторичных сталеплавильных шлаков [7–10]. Однако в переработку не вовлечены первичные сталеплавильные шлаки, образующиеся в дуговых печах.

В данной работе исследована возможность вовлечения в переработку первичных сталеплавильных шлаков с доизвлечением железа и шлака для производства строительных изделий.

**Материалы и методы**

Объектом исследования являлся первичный электросталеплавильный шлак, образующийся в дуговых печах.

В качестве материалов для изготовления офлюсованных окатышей использовались: первичный сталеплавильный шлак, металлургический кокс, свежееобожженная известь, бентонит.

Для определения химического состава сталеплавильного шлака, были отобраны образцы фракции диаметром от 10 до 50 мм, далее они дробились до фракции 3–5 мм на щековой дробилке ДЩ 80-150, измельчались до фракции 0,01 мм на виброистирателе Herzog и запресовывались образцы на лабораторном прессе Herzog (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Готовые образцы шлака

Образцы шлака исследовались методом рентгеноспектрального анализа на спектрометре СРМ-35. Химический состав сталеплавильного шлака приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав первичного шлака, %

Fe <sub>общ</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
23,4445	15,4259	3,8932	27,7137	4,9844	5,8785	0,0340	0,3972

Далее на дифрактометре Емргеап определяли минералогический состав шлака. Результаты анализа приведены в таблице 2 и рисунке 3.

Таблица 2 – Минералогический состав сталеплавильного шлака

Название соединения	Химическая формула	%
Вюстит	FeO	29
Магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3
Геленит	Ca <sub>2</sub> Al(Al,Si) <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	29
Мервинит	Ca <sub>3</sub> Mg(SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	19
Оксид магния и марганца в контакте с железом	(MgO)0.43 (MnO)0.57	20

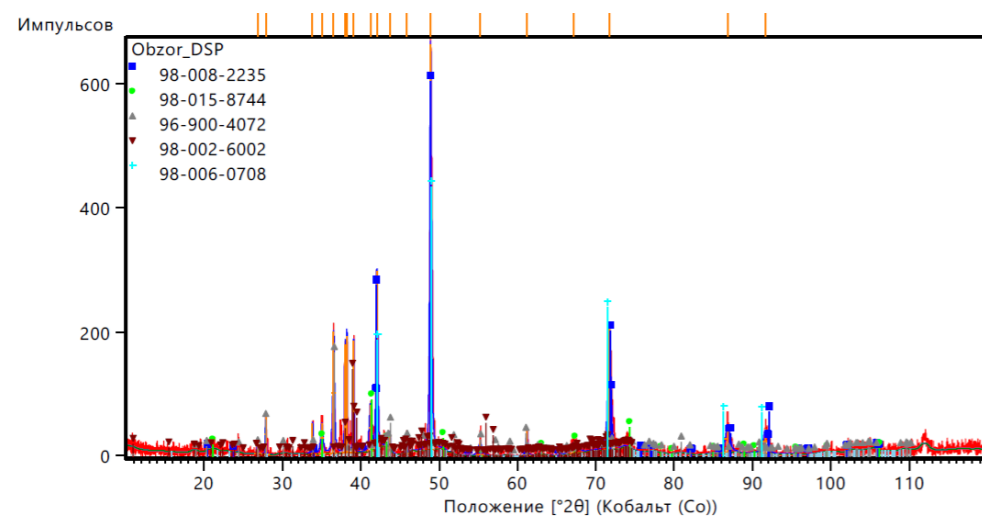


Рисунок 3 – Дифрактограмма сталеплавильного шлака

**Результаты и обсуждение**

Исследования проводились следующим образом. Были приготовлены окатыши из первичного сталеплавильного шлака, металлургического кокса, свежееобожженной извести и бентонита.

Каждая серия экспериментов осуществлялась из окатышей с различным соотношением компонентов. Составы компонентов по различным сериям экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Состав окатышей

Наименование компонента	№ 1	№2	№3
Первичный шлак	60	65	70
Кокс металлургический	20	15	10
Известь	10	10	10
Бентонит	10	10	10
Вода (сверх 100%)	15	15	15

Окатыши каждой серии экспериментов восстанавливались в индукционной печи при температуре 1500 °С. Общая масса завалки составляла 5,5 кг, в процессе плавки для улучшения металлургических процессов в печь дополнительно вводилась стальная стружка (0,25 кг) и плавиковый шпат (0,3 кг).

После проведения плавки, полученный металл и шлак был исследован на рентгенофлуоресцентном спектрометре Niton. Результаты исследований приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Состав полученного материала, %

Металлическая часть		Шлак	
Компонент	%	Компонент	%
Железо	82,08	Железо закись+окись (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	30,1
Марганец	4,07	Оксид кальция (CaO)	27,3
Кремний	2,79	Двуокись кремния (SiO <sub>2</sub> )	26,2
Углерод	2,56	Трехокись алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,31
Хром	0,7	Оксид магния (MgO)	6,2
Фосфор	0,223	Оксид марганца (MnO)	3,9
Медь	0,05	Сера (S)	0,247
Сера	0,034	Пятиокись фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,150
Никель	0,02		

Полученный шлак был исследован на минералогический состав. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Минералогический состав шлака индукционной плавки

Название соединения	Химическая формула	Весовая фракция
Белит	2CaO*SiO <sub>2</sub>	44%
Оксиды кальция и марганца	CaO*MnO <sub>2</sub>	10%
Магнетит	FeO*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14%
Муллит	2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *SiO <sub>2</sub>	32%

**Выводы**

1 Экспериментально определен минералогический состав первичного электросталеплавильного шлака с содержанием общего железа в количестве более 20 %, который включает следующие минералы: вюстит (FeO), магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), геленит (Ca<sub>2</sub>Al(Al,Si)2O<sub>7</sub>), мервинит (Ca<sub>3</sub>Mg(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>).

2 В ходе проведенных экспериментальных исследований по переработке первичных электросталеплавильных шлаков восстановительной индукционной плавкой шлакоизвестковококсовых окатышей установлена возможность извлечения железоуглеродистых сплавов и шлака для производства бетона.

3 Результаты исследований позволяют утверждать о возможности практической реализации технологической схемы переработки первичных электросталеплавильных шлаков с получением дополнительных шихтовых материалов в виде железоуглеродистого сплава, а также шлака индукционной плавки пригодного в качестве наполнителя при производстве бетона.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Указ Президента Республики Казахстан от 6 сентября 2016 года № 315 «О внесении изменений в Указ Президента Республики Казахстан от 1 августа 2014 года» № 874 «Об утверждении Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015–2019 годы и о внесении дополнения в Указ Президента Республики Казахстан от 19 марта 2010 года № 957 «Об утверждении Перечня государственных программ».

2 Crude Steel Production Table : World Steel Association Report. October 2017

3 Гудим, Ю. А., Овчинников, С. Г., Зинуров, И. Ю. Современные способы безотходной утилизации шлаков // Сталь. – 2009. – № 7. – С. 93–95.

4 Панфилов, М. И., Школьник, Я. Ш., Орининский, Н. В., Коломиец, В. А., Сорокин, Ю. В., Грабеклис, А. А. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии. – М. : Металлургия, 1987. – С. 167–168.

5 Информация о результатах анализа состояния и развития отрасли черной металлургии государств – членов Евразийского Экономического Союза. – М. : Евразийская Экономическая Комиссия, Департамент промышленной политики, 2015. – С. 12–15.

6 Зайцев, И. Н., Быков, П. О. Комплексные виды переработки сталеплавильных шлаков // Материалы международной научной конференции «XVIII Сатпаевские чтения». Т. 18. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2018. – С. 225–231.

7 Aryngazin, K. Sh., Bogomolov, A. V., Tleulessov, A. K. Innovational construction materials of llp «Ecostroynii-pv» production. In Defect and Diffusion Forum. – 2021. – 410 DDF. – P. 806–811.

8 Арынгазин, К. Ш., Ларичкин, В. В., Алдунгарова, А. К. Инновационное использование твёрдых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов // Наука и техника Казахстана. – 2016. – № 3–4. – С. 34–39.

9 Патент на изобретение № 34714 «Бетонная смесь» / Арынгазин К. Ш., Тлеулесов А. К., Алдунгарова А. К., Быков П. О., Богомоллов А. В., Акишев К. М., Асаинова Д. К. – Заявл. 01.08.2019; Оpubл. 20.11.2020, Бюл. № 46. – 3 с.

10 Арынгазин, К. Ш., Алдунгарова, А. К., Тлеулесов, А. К., Быков, П. О., Богомоллов, А. В., Ларичкин, В. В., Шаменов, А. А. Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов // Строительство : Новые технологии – Новое оборудование. – 2018. – № 12. – С. 48–53.

**REFERENCES**

1 Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 6 sentyabrya 2016 goda № 315 «O vnesenii izmeneniy v Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 1 avgusta 2014 goda» № 874 «Ob utverzhdenii Gosudarsnvenoi programmy industrialno-innovacionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2015-2019 gody I o vnesenii dopolnenia v Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 19 marta 2010 goda № 957 «Ob utverzhdenii Perechnya gosudarstvennyh program».

2 Crude Steel Production Table : World Steel Association Report. – October 2017.

3 Gudim, U. A., Ovchinnikov, S. G., Zinurov, I. U. Sovremennyye sposoby bezotходnoi utilizatsii shlakov. In Stal. – 2009. – №7. – P. 93–95.

4 Panfilov, M. I., Shkolnik, Ya. Sh., Orininskii, N. V., Kolomic, V. A., Sorokin, U. V., Grabeklis, A. A. Pererabotka shlakov i bezotходnaya tehnologia v metallurgii. – Moscow : Metallurgia, 1987. – P. 167–168.

5 Infirmacia o rezultatah analiza sostoyania I razvitiya otrasli chernoii metallurgii gosudarstv-chlenov Evraziiskogo Economicheskogo Souza. – Moscow : Evraziskaya Economicheskaya Komissia, Departament promyshlennoi politiki, 2015. – P. 12–15.

6 Zaitsev, I. N., Bykov, P. O. Kompleksnye vidy pererabotki staleplavilnyh shlakov. In Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii «XVIII Satpaevskie chtenia». T. 18. – Pavlodar : PSU imeni S. Toraihyrova, 2018. – P. 225–231.

7 Aryngazin, K. Sh., Bogomolov, A. V., Tleulessov A.K. Innovational construction materials of llp «Ecostroynii-pv» production. In Defect and Diffusion Forum. – 2021. – 410 DDF. – P. 806–811.

8 Aryngazin, K. Sh., Larichkin, V. V., Aldungarova, A. K. Innovacionnoe ispolzovanie tverdyyh tehnogennyh othodov predpriyatii teploenergetiki I metallurgii Pavlodarskoi oblasti v proizvodstve stroitelnyh materialov. In Nauka I tehnika Kazakhstana. – 2016. – № 3–4. – P. 34–39.

9 Patent na izobretenie № 34714 «Бетонная смесь» / Вукон Р. О., Bogomolov A. V., Akishev K. M., Asainova D. K. – Zayavl. 01.08.2019. Opubl. 20.11.2020. Bul. № 46. – 3 p.

10 **Aryngazin, K. Sh., Aldungarova, A. K., Tleulesov, A. K., Bykov, P. O., Bogomolov A. V., Larichkin V. V., Shamenov A.A.** Ispolzovanie tehnogennyh othodov v proizvodstve stroitelnyh materialov. In Stroitelstvo : Novye tehnologii – novoe oborudovanie. – 2018. – № 12. – P. 48–53.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

**\*В. В. Ларичкин**

Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті,  
Ресей Федерациясы, Новосибирск қ.  
Материал 20.09.21 баспаға түсті.

**ЭЛЕКТР БОЛАТ БАЛҚЫТУ ӨНДІРІСІНІҢ  
БАСТАПҚЫ ҚОЖДАРЫН ЗЕРТТЕУ**

*Жұмыста құрылыс бұйымдарын өндіру үшін темір мен қожды толық тарта отырып, бастапқы Болат балқытқыш шлактарды қайта өңдеуге тарту мүмкіндігі зерттелген.*

*Қазақстан Республикасының Павлодар облысында «Casting» ЖШС және «KSP Steel» ЖШС электр болат балқыту кәсіпорындарында болат өндіру кезінде түзілетін электр болат қорытатын шлактар мен шаңдар шлак үйінділерінде жинақталады және олардағы темір оксидтері мен металл темір патшаларының жоғары болуына қарамастан іс жүзінде пайдаланылмайды (шлактардың жекелеген түрлеріндегі массаның 40 %-ына дейін).*

*Құрамында 20 %-дан астам жалпы темір бар бастапқы электросталеплавильді қождың химиялық және минералогиялық құрамы эксперименталды түрде анықталған, оған келесі минералдар кіреді: вюстит ( $FeO$ ), магнетит ( $Fe_3O_4$ ), геленит ( $Ca_2Al(Al, Si)_2O_7$ ), мервинит ( $Ca_3Mg(SiO_4)_2$ ).*

*Бастапқы электросталеплавильдік қождарды қайта өңдеу бойынша жүргізілген эксперименттік зерттеулер барысында шлаквестковококсты шекемтасарды индукциялық қалтына келтіру арқылы темірқоміртекті қорытпалар мен бетон өндіру үшін қожды алу мүмкіндігі анықталды.*

*Кілтті сөздер: металлургия, болат, қож, рецилинг, рентгендік спектрлік талдау.*

**\*V. V. Larichkin**

Novosibirsk State Technical University,  
Russian Federation, Novosibirsk.  
Material received on 20.09.21.

**RESEARCH OF PRIMARY SLAGS OF  
ELECTRIC STEELMAKING PRODUCTION**

*The article investigates the possibility of involving in the processing of primary steelmaking slags with additional extraction of iron and slag for the production of construction products.*

*In the Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan, in the production of steel at the electric steelmaking enterprises «Casting» LLP and «KSP Steel» LLP, the resulting electric steelmaking slags and dust are stored in slag heaps and are practically not used, despite the high content of iron oxides and metallic iron kings in them (up to 40 % by weight in certain types of slags).*

*The chemical and mineralogical composition of primary electric steelmaking slag with a total iron content of more than 20 % has been experimentally determined, which includes the following minerals: wustite ( $FeO$ ), magnetite ( $Fe_3O_4$ ), helenite ( $Ca_2Al(Al, Si)_2O_7$ ), mervinite ( $Ca_3Mg(SiO_4)_2$ ).*

*In the course of the conducted experimental studies on the processing of primary electric steelmaking slags by reducing induction melting of slag-lime-coke pellets, the possibility of extracting iron-carbon alloys and slag for the production of concrete has been established.*

*Keywords: metallurgy, steel, slag, recycling, X-ray spectral analysis.*

МРНТИ 30.19.15

<https://doi.org/10.48081/ZPES7020>\*С. Р. Гурнис<sup>1</sup>, В. Н. Украинаец<sup>2</sup>, Е. М. Ибраева<sup>3</sup>, А. В. Украинаец<sup>4</sup><sup>1,2,3</sup>Торайгыров университет,  
Республика Казахстан, г. Павлодар**ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ**

В настоящей работе решена задача о действии неосесимметричной подвижной нагрузки на тонкостенную круговую цилиндрическую оболочку в упругом пространстве (массиве). Данная задача является модельной при исследовании динамики тоннелей глубокого заложения под воздействием транспортной нагрузки. Для описания движения массива используются динамические уравнения теории упругости в потенциалах Ламе. Колебание оболочки описываются приближенными уравнениями классической теории тонких оболочек. Контакт между оболочкой и массивом полагается либо жестким, либо скользящим. Решение, полученное авторами для дозвукового случая (когда скорость движения нагрузки меньше скорости волн сдвига в массиве), построено в подвижной системе координат, связанной с равномерно движущейся по внутренней поверхности оболочки нагрузки.

На основе полученного решения и численных экспериментов исследовано влияние геометрических параметров обделки тоннеля глубокого заложения на напряженно-деформированное состояние породного массива при действии движущейся осесимметричной нормальной нагрузки. В частности, для различных значений толщины обделки и радиуса ее срединной поверхности, представлены и анализируются результаты расчётов напряженно-деформированного состояния контура поперечного сечения тоннеля в проходке при докритической скорости движения нагрузки.

Ключевые слова: упругое пространство, цилиндрическая оболочка, породный массив, тоннель глубокого заложения, обделка тоннеля, подвижная нагрузка, дозвуковая и докритическая скорость движения нагрузки, напряженно-деформированное состояние.

**Введение**

Мировая практика эксплуатации подземных сооружений в виде магистральных нефте- и газопроводов, транспортных тоннелей и т.п. свидетельствует о многочисленных повреждениях и разрушениях, которым подвергаются данные сооружения вследствие динамического воздействия транспортных нагрузок, вызывающих в них вибрации. С увеличением скорости нагрузок уровень вибраций

возрастает и может превысить допустимые нормы, установленные для этих сооружений. При больших скоростях нагрузок в них могут возникнуть резонансные явления. Поэтому, в связи с ростом в последние годы скоростей действующих на подземные сооружения транспортных нагрузок (в частности, действующих на тоннели нагрузок от движущегося внутритоннельного транспорта), исследования их динамики под воздействием данных нагрузок становится актуальным. Важное значение при проведении исследований имеет глубина заложения и конструкция сооружения [1].

При динамическом расчете тоннеля на действие транспортной нагрузки обычно рассматриваются модельные задачи о действии на расположенную в упругой среде (упругом пространстве или полупространстве) цилиндрическую оболочку нагрузки, равномерно движущейся по её внутренней поверхности вдоль образующей. Задача о действии движущейся нагрузки на оболочку в упругом пространстве моделирует динамическое поведение сооружения глубокого заложения. Более сложной является задача о действии движущейся нагрузки на оболочку в упругом полупространстве, которая моделирует динамическое поведение сооружения мелкого заложения. Количество опубликованных научных работ в этом направлении немногочисленно и охватывает, в основном, последние годы, в частности [2–8]. В этих работах, как и в настоящей статье, при построении математической модели обделки тоннеля рассматривалась как однородная упругая круговая цилиндрическая оболочка.

**Материалы и методы**

При решении задачи используется метод математического моделирования с привлечением моделей теории упругости.

**1 Постановка и аналитическое решение задачи.** Рассмотрим в отнесенной к цилиндрической системе координат  $r, \theta, z$  неограниченной упругой среде (упругом пространстве) протяженную цилиндрическую оболочку вращения весьма малой, по сравнению с радиусом кривизны ее срединной поверхности  $r = R$ , толщиной  $h_0$  (рисунок 1) Контакт между оболочкой и окружающим её массивом будем полагать либо жестким, либо скользящим при двухсторонней связи. Так как оболочка имеет малую толщину, принимаем, что она контактирует с массивом по своей срединной поверхности.

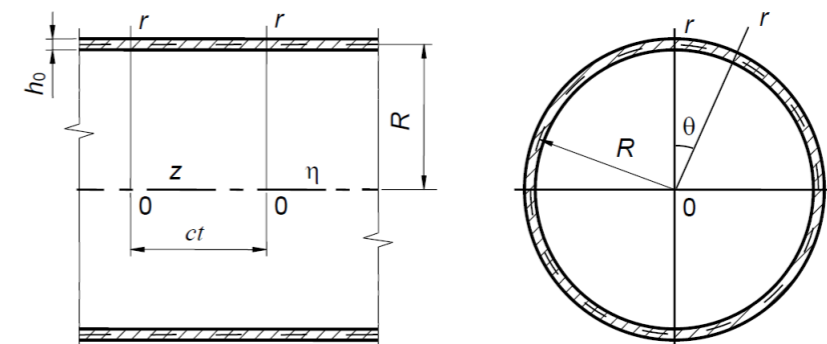


Рисунок 1 – Тонкостенная оболочка в упругом пространстве

Для обозначений физико-механических характеристик материала упругой среды будем использовать общепринятые в теории упругости обозначения:  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $\mu$  – модуль сдвига,  $\rho$  – плотность. Эти же обозначения с индексом 0 будем использовать для характеристик материала оболочки:  $\nu_0, \mu_0, \rho_0$ .

На оболочку действует стационарная нагрузка интенсивностью  $P$ , которая равномерно движется со скоростью  $c$  по ее внутренней поверхности в направлении оси  $z$ , совпадающей с осью оболочки.

Определим установившуюся реакцию массива на данную нагрузку. Для получения стационарного решения задачи перейдем к цилиндрической системе координат, перемещающейся вместе с нагрузкой (подвижной системе координат)  $r, \theta, \eta = z - ct$ .

Для описания движения упругой среды воспользуемся представленными в подвижной системе координат динамическими уравнениями теории упругости в векторной форме [9].

$$(M_p^{-2} - M_s^{-2}) \text{grad div } \mathbf{u} + M_s^{-2} \nabla^2 \mathbf{u} = \partial^2 \mathbf{u} / \partial \eta^2, \quad (1)$$

где  $\mathbf{u}$  – вектор смещения упругой среды,  $\nabla^2$  – оператор Лапласа,  $M_p = c / c_p, M_s = c / c_s$  – числа Маха;  $c_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho}, c_s = \sqrt{\mu / \rho}$  – скорости распространения волн расширения-сжатия и сдвига в среде,  $\lambda = 2\mu\nu / (1 - 2\nu)$ .

Для описания движения оболочки используем классические уравнения теории оболочек в подвижной системе координат [4]

$$\begin{aligned} \left[ 1 - \frac{(1 - \nu_0)\rho_0 c^2}{2\mu_0} \right] \frac{\partial^2 u_{0\eta}}{\partial \eta^2} + \frac{1 - \nu_0}{2R^2} \frac{\partial^2 u_{0\eta}}{\partial \theta^2} + \frac{1 + \nu_0}{2R} \frac{\partial^2 u_{0\theta}}{\partial \eta \partial \theta} + \frac{\nu_0}{R} \frac{\partial u_{0r}}{\partial \eta} &= \frac{1 - \nu_0}{2\mu_0 h_0} (P_\eta - q_\eta), \\ \frac{1 + \nu_0}{2R} \frac{\partial^2 u_{0\eta}}{\partial \eta \partial \theta} + \frac{(1 - \nu_0)}{2} \left( 1 - \frac{\rho_0 c^2}{\mu_0} \right) \frac{\partial^2 u_{0\theta}}{\partial \eta^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 u_{0\theta}}{\partial \theta^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial u_{0r}}{\partial \theta} &= \frac{1 - \nu_0}{2\mu_0 h_0} (P_\theta - q_\theta), \\ \frac{\nu_0}{R} \frac{\partial u_{0\eta}}{\partial \eta} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial u_{0\theta}}{\partial \theta} + \frac{h_0^2}{12} \nabla^2 \nabla^2 u_{0r} + \frac{(1 - \nu_0)\rho_0 c^2}{2\mu_0} \frac{\partial^2 u_{0r}}{\partial \eta^2} + \frac{u_{0r}}{R^2} &= -\frac{1 - \nu_0}{2\mu_0 h_0} (P_r - q_r). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь при  $r = R$   $q_j = \sigma_{rj}$ ;  $P_j, q_j$  – соответственно составляющие  $P$  и реакции массива;  $u_{0j}, \sigma_{rj}$  – соответственно компоненты перемещений точек срединной поверхности оболочки и тензора напряжений в массиве;  $j = r, \theta, \eta$ . При скользящем контакте оболочки с массивом  $q_\eta = q_\theta = 0$ .

Таким образом, решение задачи сводится к совместному интегрированию уравнений движения упругой среды (1) и оболочки (2) при выполнении условий контактов между ними.

В случае жёсткого контакта оболочки с массивом, при  $r = R$

$$u_j = u_{0j}, \quad j = \eta, \theta, r. \quad (3)$$

В случае скользящего контакта оболочки с массивом, при  $r = R$

$$\begin{aligned} \sigma_{rj} &= 0, \quad j = \eta, \theta, \\ u_r &= u_{0r}. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $u_r, u_\theta, u_\eta$  – компоненты вектора  $\mathbf{u}$ .

Выразим  $\mathbf{u}$  через потенциалы Ламе  $\varphi_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) [10, 11]:

$$\mathbf{u} = \text{grad } \varphi_1 + \text{rot}(\varphi_2 \mathbf{e}_\eta) + \text{rot rot}(\varphi_3 \mathbf{e}_\eta), \quad (5)$$

где  $\mathbf{e}_\eta$  – орт оси  $\eta$ .

Из (1) и (5) следует, что  $\varphi_j$  удовлетворяют видоизменённым волновым уравнениям

$$\nabla^2 \varphi_j = M_j^2 \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \eta^2}, \quad j = 1, 2, 3. \quad (6)$$

Здесь  $M_1 = M_p, M_2 = M_3 = M_s$ .

Рассмотрим действие на оболочку синусоидальной по  $\eta$  движущейся нагрузки с произвольной зависимостью от угловой координаты

$$P(\theta, \eta) = p(\theta) e^{i\xi\eta}, \quad p(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{in\theta}, \quad (7)$$

$$P_j(\theta, \eta) = p_j(\theta) e^{i\xi\eta}, \quad p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj} e^{in\theta}, \quad j = r, \theta, \eta,$$

где константа  $\xi$  определяет период  $T = 2\pi / \xi$  действующей нагрузки.

В установившемся состоянии зависимость всех величин от  $\eta$  имеет вид (7), поэтому

$$\varphi_j(r, \theta, \eta) = \Phi_j(r, \theta) e^{i\xi\eta}, \quad j = 1, 2, 3; \quad (8)$$

$$u_{0j}(\theta, \eta) = U_{0j}(\theta) e^{i\xi\eta}, \quad U_{0j}(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} u_{0nj} e^{in\theta}, \quad j = r, \theta, \eta. \quad (9)$$

Подставляя (8) в (6), получим

$$\nabla_2^2 \Phi_j - m_j^2 \xi^2 \Phi_j = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad (10)$$

где  $m_j^2 = 1 - M_j^2, m_1 \equiv m_p, m_2 = m_3 \equiv m_s, \nabla_2^2$  – плоский оператор Лапласа.

Выразив компоненты напряженно-деформированного состояния (НДС) среды через потенциалы Ламе можно получить выражения для перемещений  $u_l^*$  и напряжений  $\sigma_{lm}^*$  ( $l, m = r, \theta, \eta$ ) от синусоидальной нагрузки как функции от  $\Phi_j$ .

Если нагрузка движется со скоростью, меньшей скоростей распространения волн сдвига в упругой среде (дозвуковая скорость движения нагрузки), то  $M_s < 1$  ( $m_s > 0$ ) и решения уравнений (10), с учетом условия при  $r \rightarrow \infty$ , можно представить в следующем виде:

$$\Phi_j = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} K_n(k_j r) e^{in\theta}. \quad (11)$$

Здесь  $K_n(k_j r)$  – функции Макдональда,  $k_j = |m_j \xi|$ ;  $a_{nj}$  – подлежащие определению коэффициенты,  $j = 1, 2, 3$ .

Подставляя (11) в выражения для  $u_i^*$  и  $\sigma_{lm}^*$ , получим новые выражения, где неизвестными будут только коэффициенты  $a_{nj}$ .

Подставляя (7) и (9) в уравнения (2), получим

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^2 u_{0n\eta} + v_{02} n \xi_0 u_{0n\theta} - 2i v_0 \xi_0 u_{0nr} &= G_0 (P_{n\eta} - q_{n\eta}), \\ v_{02} n \xi_0 u_{0n\eta} + \varepsilon_2^2 u_{0n\theta} - 2i n u_{0nr} &= G_0 (P_{n\theta} - q_{n\theta}), \\ 2i v_0 \xi_0 u_{0n\eta} + 2i n u_{0n\theta} + \varepsilon_3^2 u_{0nr} &= G_0 (P_{nr} - q_{nr}), \end{aligned}$$

где  $\varepsilon_1^2 = \alpha_0^2 - \varepsilon_0^2$ ,  $\varepsilon_2^2 = \beta_0^2 - \varepsilon_0^2$ ,  $\varepsilon_3^2 = \gamma_0^2 - \varepsilon_0^2$ ,  $\varepsilon_0^2 = v_{01} \xi_0^2 M_{s0}^2$ ,  $\xi_0 = \xi R$ ,  
 $\alpha_0^2 = 2\xi_0^2 + v_{01} n^2$ ,  $\beta_0^2 = v_{01} \xi_0^2 + 2n^2$ ,  $\gamma_0^2 = \chi^2 (\xi_0^2 + n^2)^2 + 2$ ,  
 $v_{01} = 1 - v_0$ ,  $v_{02} = 1 + v_0$ ,  $M_{s0} = \frac{c}{c_{s0}}$ ,  $c_{s0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\rho_0}}$ ,  $\chi^2 = \frac{h_0^2}{6R^2}$ ,  $G_0 = -\frac{v_{01} R^2}{\mu_0 h_0}$ ;

при  $r = R$ :  $q_{n\eta} = (\sigma_{r\eta}^*)_n$ ,  $q_{n\theta} = (\sigma_{r\theta}^*)_n$ ,  $q_{nr} = (\sigma_{rr}^*)_n$  – в случае жесткого контакта;

$q_{n\eta} = 0$ ,  $q_{n\theta} = 0$ ,  $q_{nr} = (\sigma_{rr}^*)_n$  – в случае скользящего контакта.

Из уравнений (12) находим

$$\begin{aligned} u_{0n\eta} &= G_0 \sum_{j=1}^3 \frac{\delta_{nj}}{\delta_n} (P_{nj} - q_{nj}), \\ u_{0n\theta} &= G_0 \sum_{j=1}^3 \frac{\delta_{\theta j}}{\delta_n} (P_{nj} - q_{nj}), \\ u_{0nr} &= G_0 \sum_{j=1}^3 \frac{\delta_{rj}}{\delta_n} (P_{nj} - q_{nj}), \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\delta_n = (\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3)^2 - (\varepsilon_1 \xi_1)^2 - (\varepsilon_2 \xi_2)^2 + 2\xi_1 \xi_2 \xi_3$ ,

$$\delta_{\eta 1} = (\varepsilon_2 \varepsilon_3)^2 - \xi_1^2, \delta_{\eta 2} = \xi_1 \xi_2 - \xi_3 \varepsilon_3^2, \delta_{\eta 3} = i(\varepsilon_2^2 \xi_2 - \xi_1 \xi_3)$$

$$\delta_{\theta 1} = \delta_{\eta 2}, \delta_{\theta 2} = (\varepsilon_1 \varepsilon_3)^2 - \xi_2^2, \delta_{\theta 3} = i(\varepsilon_1^2 \xi_1 - \xi_2 \xi_3)$$

$$\delta_{r1} = -\delta_{\eta 3}, \delta_{r2} = -\delta_{\theta 3}, \delta_{r3} = (\varepsilon_1 \varepsilon_2)^2 - \xi_3^2, \xi_1 = 2n, \xi_2 = 2v_0 \xi_0, \xi_3 = v_0 \xi_0 n;$$

для  $P_{nj}$  и  $q_{nj}$  индекс  $j = 1$  соответствует индексу  $\eta$ ,  $j = 2 - \theta$ ,  $j = 3 - r$ .

Для определения коэффициентов  $a_{nj}$  ( $j = 1, 2, 3$ ), в зависимости от условия сопряжения оболочки со средой, воспользуемся граничными условиями (3) или (4), переписанными для  $u_l^*$  и  $\sigma_{lm}^*$ .

Подставляя в граничные условия соответствующие выражения и приравнявая коэффициенты рядов при  $e^{in\theta}$ , для каждого значения  $n$  ( $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) получим систему линейных алгебраических уравнений, которая имеет единственное решение, если её определитель  $\Delta_n(\xi, c)$  не равен нулю. Из этих систем уравнений находим искомые коэффициенты  $a_{nj}$  ( $j = 1, 2, 3$ ).

Зная решение задачи для синусоидальной нагрузки, реакцию массива на движущуюся с постоянной скоростью аperiодическую (локальную) нагрузку вида  $P(\theta, \eta) = p(\theta)p(\eta)$  (характерного для транспортных средств) можно найти при помощи суперпозиции, используя представление нагрузки и компонент напряженно-деформированного состояния массива и оболочки в виде интегралов Фурье [4]:

$$\begin{aligned} P(\theta, \eta) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P^*(\theta, \xi) e^{i\xi\eta} d\xi = p(\theta)p(\eta) = p(\theta) \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p^*(\xi) e^{i\xi\eta} d\xi, \\ P_m(\theta, \eta) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P_m^*(\theta, \xi) e^{i\xi\eta} d\xi = p_m(\theta)p(\eta) = p_m(\theta) \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p^*(\xi) e^{i\xi\eta} d\xi, \end{aligned} \quad (14)$$

$m = r, \theta, \eta$ ;

$$\begin{aligned} u_l(r, \theta, \eta) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} u_l^*(r, \theta, \xi) p^*(\xi) d\xi, \\ \sigma_m(r, \theta, \eta) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma_m^*(r, \theta, \xi) p^*(\xi) d\xi, \end{aligned} \quad (15)$$

$l = r, \theta, \eta$ ,  $m = r, \theta, \eta$ .

$$\text{Здесь } p^*(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\eta) e^{-i\xi\eta} d\eta.$$

Для вычисления интегралов (15) можно использовать любой численный метод, если  $c < c_{(n)^*}$ , где  $c_{(n)^*}$  критические скорости нагрузки, при достижении которых в оболочке возникают резонансные явления. Значения  $c_{(n)^*}$  зависят от числа  $n$  и определяются из дисперсионных уравнений  $\Delta_n(\xi, c) = 0$ . Как следует из основанных на численных расчетах исследованиях, наименьшая (низшая) критическая скорость нагрузки соответствует числу  $n = 0$  ( $\min c_{(n)^*} = c_{(0)^*}$ ) и является единственной при действии на оболочку в упругой среде осесимметричной подвижной локальной нагрузки [4].

**2 Численные эксперименты.** Используя полученное решение, исследуем на основе результатов проведенных численных экспериментов влияние толщины  $h_0$  стальной ( $\nu_0 = 0,3$ ,  $\mu_0 = 8,08 \cdot 10^{10}$  Па,  $\rho_0 = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) обделки тоннеля и радиуса  $R$  тоннеля глубокого заложения на НДС породных массивов различной жесткости, при воздействии на него движущейся с докритической скоростью  $c = 200$  м/с осесимметричной нормальной нагрузки интенсивностью  $P^0$ , равномерно распределённой по внутренней поверхности тоннеля в интервале  $|\eta| \leq 0,2$  м. Физико-механические характеристики породных массивов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики породных массивов

Породный массив	$\nu$	$\mu$ , Па	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
известняк	0,25	$2,80 \cdot 10^9$	$2,65 \cdot 10^3$
алевролит	0,28	$4,69 \cdot 10^9$	$2,70 \cdot 10^3$
песчаник	0,28	$7,80 \cdot 10^9$	$2,50 \cdot 10^3$

**Результаты и обсуждение**

В таблицах 2–4 для разных значений толщины  $h_0$  обделки и радиуса  $R$  тоннеля приведены результаты расчётов НДС контура  $r = R$  его поперечного сечения  $\eta = 0$ . Обозначения в таблицах:  $u_r^0 = 10 u_{r,\mu} / P^0$  (м),  $\sigma_{\eta\eta}^0 = 10 \sigma_{\eta\eta} / P^0$ ,  $\sigma_{\theta\theta}^0 = 10 \sigma_{\theta\theta} / P^0$ .

Из анализа данных таблицы 2 следует, что при скользящем контакте обделки с любым породным массивом прогибы  $u_r$  (радиальные перемещения точек контура  $r = R$  поперечного сечения  $\eta = 0$  тоннеля) тоннеля больше, чем при жёстком. Во всех рассматриваемых породах увеличение  $R$  ведёт к возрастанию прогибов  $u_r$  тоннеля при любой толщине  $h_0$  обделки независимо от её контактных условий с массивом.

При уменьшении жесткости массива (как и при уменьшении  $h_0$ ) прогибы тоннеля увеличиваются. Это хорошо видно из построенных на рисунке 2 кривых изменений (в зависимости от изменения радиуса  $R$  (м) тоннеля) радиальных перемещений  $u_r^* = 10 u_{r,\mu_a} / P^0$ , м ( $\mu_a$  – модуль сдвига алевролита) контура  $r = R$  поперечного сечения  $\eta = 0$  тоннеля. Кривые 1, 2, 3 построены соответственно для тоннелей проходящих в известняке, алевролите и песчанике при  $h_0 = 0,01$  м и жестком контакте обделки с массивом.

Из анализа напряжённого состояние рассматриваемого контура сечения тоннеля (см. таблицы 3, 4) следует, что характерные особенности изменений напряжений  $|\sigma_{\eta\eta}|$  и  $|\sigma_{\theta\theta}|$  с изменением  $R$ , подобны особенностям изменения  $u_r$ .

Таблица 2 – Перемещения  $u_r^0$  точек контура  $r = R$  поперечного сечения  $\eta = 0$  тоннеля

Породный массив	Контакт обделки с массивом	$R$ , м						
		1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
		$h_0 = 0,01$ м						
известняк	жёсткий	1,69	2,12	2,42	2,83	3,17	3,61	3,82
	скользящий	1,75	2,20	2,52	2,95	3,31	3,76	3,99
алевролит	жёсткий	1,77	2,17	2,45	2,83	3,15	3,56	3,76
	скользящий	1,82	2,23	2,52	2,91	3,24	3,66	3,86
песчаник	жёсткий	1,85	2,23	2,50	2,86	3,18	3,58	3,76
	скользящий	1,89	2,28	2,55	2,92	3,24	3,65	3,85
		$h_0 = 0,02$ м						
известняк	жёсткий	1,46	1,92	2,25	2,70	3,04	3,50	3,73
	скользящий	1,52	2,01	2,36	2,84	3,21	3,69	3,93
алевролит	жёсткий	1,61	2,03	2,33	2,74	3,06	3,48	3,70
	скользящий	1,66	2,10	2,41	2,84	3,18	3,61	3,83
песчаник	жёсткий	1,73	2,13	2,41	2,80	3,11	3,52	3,73
	скользящий	1,78	2,19	2,48	2,88	3,21	3,62	3,83

Таблица 3 – Напряжения  $\sigma_{\eta\eta}^0$  в точках контура  $r = R$  поперечного сечения  $\eta = 0$  тоннеля

Породный массив	Контакт обделки с массивом	$R$ , м						
		1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
		$h_0 = 0,01$ м						
известняк	жёсткий	-4,13	-4,59	-4,91	-4,90	-5,65	-6,08	-5,68
	скользящий	-6,77	-7,79	-8,54	-8,32	-10,26	-11,32	-10,29
алевролит	жёсткий	-5,02	-5,50	-5,88	-5,80	-6,70	-7,21	-6,72
	скользящий	-7,13	-7,96	-8,68	-8,30	-10,21	-11,22	-10,19
песчаник	жёсткий	-5,61	-6,07	-6,49	-6,38	-7,35	-7,91	-7,36
	скользящий	-7,32	-8,00	-8,72	-8,25	-10,14	-11,14	-10,11
		$h_0 = 0,02$ м						
известняк	жёсткий	-3,37	-3,87	-4,15	-4,32	-4,87	-5,22	-4,88
	скользящий	-6,23	-7,52	-8,26	-8,71	-10,19	-11,16	-10,21
алевролит	жёсткий	-4,22	-4,74	-5,03	-5,15	-5,85	-6,29	-5,86
	скользящий	-6,70	-7,77	-8,40	-8,58	-10,17	-11,13	-10,14
песчаник	жёсткий	-4,79	-5,28	-5,59	-5,64	-6,44	-6,91	-6,44
	скользящий	-6,98	-7,89	-8,47	-8,44	-10,13	-11,08	-10,08



Таблица 4 – Напряжения  $\sigma_{\theta\theta}^{\circ}$  в точках контура  $r = R$  поперечного сечения  $\eta = 0$  тоннеля

Породный массив	Контакт обделки с массивом	$R, \text{ м}$						
		1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
		$h_0 = 0,01 \text{ м}$						
известняк	жесткий	0,96	0,03	-0,66	-1,17	-2,15	-2,93	-2,85
	скользящий	0,48	-0,61	-1,42	-1,91	-3,21	-4,17	-3,95
алевролит	жесткий	0,52	-0,53	-1,31	-1,80	-2,92	-3,77	-3,62
	скользящий	0,07	-1,10	-1,99	-2,42	-3,83	-4,84	-4,55
песчаник	жесткий	0,46	-0,63	-1,45	-1,93	-3,09	-3,96	-3,79
	скользящий	0,09	-1,08	-2,00	-2,40	-3,82	-4,82	-4,54
		$h_0 = 0,02 \text{ м}$						
известняк	жесткий	0,79	-0,02	-0,59	-1,22	-2,01	-2,72	-2,66
	скользящий	0,26	-0,75	-1,45	-2,18	-3,23	-4,11	-3,92
алевролит	жесткий	0,49	-0,48	-1,14	-1,76	-2,72	-3,51	-3,39
	скользящий	-0,05	-1,19	-1,95	-2,63	-3,85	-4,80	-4,54
песчаник	жесткий	0,51	-0,53	-1,24	-1,83	-2,86	-3,69	-3,55
	скользящий	0,04	-1,14	-1,94	-2,54	-3,83	-4,80	-4,53

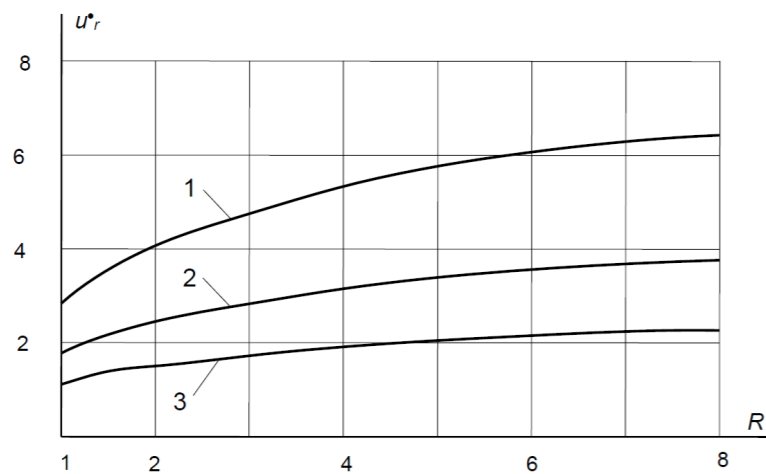


Рисунок 2 – Изменения перемещений  $u_r^*$  точек контура  $r = R$  поперечного сечения  $\eta = 0$  тоннеля

Следует отметить следующие исключения: напряжения  $|\sigma_{\eta\eta}|$  (при  $h_0 = 0,01 \text{ м}$  и в случае скользящего контакта обделки с массивом песчаника при  $h_0 = 0,02 \text{ м}$ ) в интервале  $R$  от 2 м до 3 м и напряжения  $|\sigma_{\eta\eta}|, |\sigma_{\theta\theta}|$  в интервале  $R$  от 6 м до 8 м с увеличением  $R$  уменьшаются; в интервале  $R$  от 1 м до 1,5 м  $\sigma_{\theta\theta}$  убывают, преимущественно меняя знак.

При любом радиусе  $R \sigma_{\eta\eta} < 0$ ; при  $R = 1 \text{ м}$  напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$  имеют, в основном, положительные значения, при  $1,5 \text{ м} \leq R \leq 8 \text{ м}$  – отрицательные.

В случае скользящего контакта обделки с массивом и  $R \geq 3 \text{ м}$  напряжения  $|\sigma_{\eta\eta}|$  увеличиваются с уменьшением жёсткости массива. В остальных случаях происходит обратный эффект. Частично это происходит и с напряжениями  $|\sigma_{\theta\theta}|$ .

При увеличении толщины  $h_0$  обделки напряжения  $|\sigma_{\eta\eta}|$  уменьшаются (это же преимущественно происходит с напряжениями  $|\sigma_{\theta\theta}|$ ), кроме случая скользящего контакта обделки с массивом при  $R = 3 \text{ м}$ .

На рисунке 3 показаны графики изменений компонент НДС массива алевролита вдоль поверхности тоннеля  $r = R = 2 \text{ м}$  при его жёстком контакте с обделкой толщиной  $h_0 = 0,01 \text{ м}$ . Из графиков следует, что динамическое воздействие нагрузки на массив в контактирующих с обделкой точках практически ощутимо лишь в окрестности участка нагружения тоннеля. При удалении от места нагружения (с возрастанием  $|\eta|$ ) перемещения  $u_r$  и напряжения  $|\sigma_{\eta\eta}|, |\sigma_{\theta\theta}|$  быстро затухают.

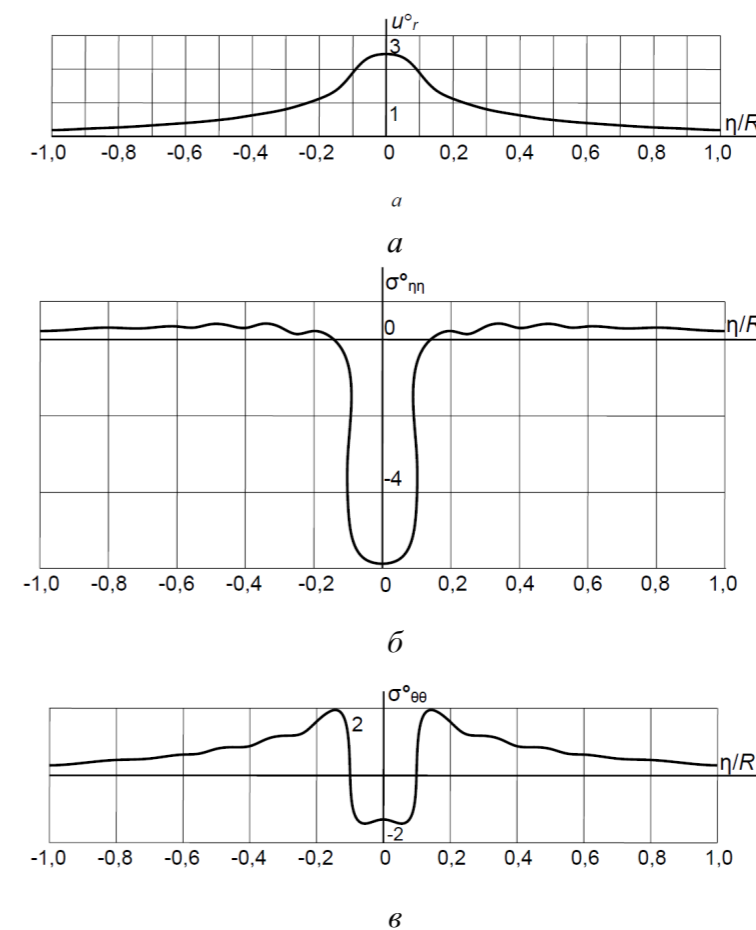


Рисунок 3 – Изменение перемещений  $u_r^*$  (а) и напряжений  $\sigma_{\eta\eta}^{\circ}$  (б)  $\sigma_{\theta\theta}^{\circ}$  (в) в массиве алевролита вдоль поверхности тоннеля

**Выводы**

Уменьшение жесткости окружающего тоннель породного массива, толщины обделки тоннеля, а также увеличение его радиуса ведёт к возрастанию прогибов тоннеля и существенно влияет на напряженное состояние массива. Динамическое воздействие нагрузки на массив в контактирующих с обделкой точках практически ощутимо лишь в окрестности участка нагружения тоннеля.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 **Xiaozhen, Sheng.** A review on modelling ground vibrations generated by underground trains. In International Journal of Rail Transportation. – 2019. – Vol. 7. – № 4. – P. 241–261. – <https://doi.org/10.1080/23248378.2019.1591312>
- 2 **Украинец, В. Н.** Динамика тоннелей и трубопроводов мелкого заложения под воздействием подвижных нагрузок. – Павлодар : Издательство Павлодарского государственного университета, 2006. – 123 с.
- 3 **Украинец, В. Н.** Действие подвижной нагрузки на толстостенную оболочку в упругом полупространстве // Вестник Павлодарского государственного университета. Серия физико-математическая. – Павлодар. – 2010. – № 4. – С. 81–87.
- 4 **Alexeyeva, L. A.** Dynamics of an elastic half-space with a reinforced cylindrical cavity under moving loads. In International Applied Mechanics. – 2009. – Vol. 45. – № 9. – P. 75–85.
- 5 **Coşkun, İ. & Dolmaseven, D.** Dynamic Response of a Circular Tunnel in an Elastic Half Space. In Journal of Engineering. – Hindawi Limited. – 2017. – Vol. 2017. – 12 p. – <https://doi.org/10.1155/2017/6145375>.
- 6 **Yuan, Z., Boström, A., Cai, Y.** Benchmark solution for vibrations from a moving point source in a tunnel embedded in a half-space. In Journal of Sound and Vibration. – Elsevier. – 2017. – Vol. 387. – P. 177–193.
- 7 **Zhou Sh.** Dynamics of Rail Transit Tunnel Systems. – Academic Press, 2019. – 276 p.
- 8 **Coşkun İ., Enginb H., Özmutluc A.** Dynamic stress and displacement in an elastic half-space with a cylindrical cavity. In Journal of Shock and Vibration. – Hindawi Limited. – 2011. – Vol. 18. – P. 827–838. – <https://www.hindawi.com/journals/sv/2011/904936>.
- 9 **Ержанов, Ж. С., Айталиев, Ш. М., Алексеева, Л. А.** Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата : Наука, 1989. – 240 с.
- 10 **Новацкий, В.** Теория упругости. – М. : Мир, 1975. – 872 с.
- 11 **Гузъ, Л. И., Кубенко, В. Д., Черевко, М. А.** Дифракция упругих волн. – Киев : Наукова думка, 1978. – 308 с.

**REFERENCES**

- 1 **Xiaozhen, Sheng.** A review on modelling ground vibrations generated by underground trains. In International Journal of Rail Transportation. – 2019. – Vol. 7. – № 4. – P. 241–261. – <https://doi.org/10.1080/23248378.2019.1591312>.
- 2 **Ukrainets, V. N.** Dinamika tonnelej i truboprovodov melkogo zalozhenija pod vozdejstviem podvizhnyh nagruzok [Ukrainets V.N. Dynamics of shallow tunnels and

pipelines under the influence of moving loads]. – Pavlodar : Izdatel'stvo Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta, 2006. – 123 p.

3 **Ukrainets, V. N.** Dejstvie podvizhnoj nagruzki na tolstostennuju obolochku v uprugom poluprostranstve [Ukrainets V. N. The action of a moving load on a thick-walled shell in an elastic half-space]. In Vestnik Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija fiziko-matematicheskaja. – Pavlodar, 2010. – N4. – P.81–87.

4 **Alexeyeva, L. A.** Dynamics of an elastic half-space with a reinforced cylindrical cavity under moving loads. In International Applied Mechanics. – 2009. – Vol. 45. – № 9. – P. 75–85.

5 **Coşkun, İ. & Dolmaseven, D.** Dynamic Response of a Circular Tunnel in an Elastic Half Space. In Journal of Engineering. – Hindawi Limited. – 2017. – Vol. 2017. – 12 p. – <https://doi.org/10.1155/2017/6145375>.

6 **Yuan, Z., Boström, A., Cai, Y.** Benchmark solution for vibrations from a moving point source in a tunnel embedded in a half-space. In Journal of Sound and Vibration. – Elsevier. – 2017. – Vol. 387. – P. 177–193.

7 **Zhou Sh.** Dynamics of Rail Transit Tunnel Systems. – Academic Press, 2019. – 276 p.

8 **Coşkun İ., Enginb H., Özmutluc A.** Dynamic stress and displacement in an elastic half-space with a cylindrical cavity. In Journal of Shock and Vibration. – Hindawi Limited. – 2011. – Vol. 18. – P. 827–838. – <https://www.hindawi.com/journals/sv/2011/904936>.

9 **Erzhanov, Zh. S., Ajtaliev, Sh. M., Alekseeva, L. A.** Dinamika tonnelej i podzemnyh truboprovodov [Dynamics of tunnels and underground pipelines]. – Alma-Ata : Nauka, 1989. – 240 p.

10 **Novatsky, V.** Teoriya uprugosti [Theory of elasticity]. – Moscow : Mir, 1975. – 872 p.

11 **Guz', L. I., Kubenko, V. D., Cherevko, M. A.** Difrakciya uprugix voln [Diffraction of elastic waves]. – Kiev : Naukova dumka, 1978. – 308 p.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

\***С. Р. Гурнис<sup>1</sup>, В. Н. Украинец<sup>2</sup>, Е. М. Ыбыраева<sup>3</sup>, А. В. Украинец<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### **ТОННЕЛЬ ҚАПТАМАСЫНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ЖЫЛЖЫМАЛЫ ЖҮКТЕМЕ ӘСЕРІНЕН ТҰҚЫМ МАССИВІНІҢ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІНЕ ӘСЕРІ**

*Бұл жұмыста серпімді кеңістіктегі (массивтегі) жұқа қабырғалы дөңгелек цилиндрлік қабыққа асимметриялық емес жылжымалы жүктеменің әрекеті туралы мәселе шешілді. Бұл міндет көлік жүктемесінің әсерінен терең ену туннельдерінің динамикасын зерттеуде модель болып табылады. Массивтің қозғалысын сипаттау үшін Лама потенциалдарындағы серпімділік теориясының динамикалық теңдеулері қолданылады. Қабықтың тербелісі жұқа қабықтардың классикалық теориясының жуық теңдеулерімен сипатталады. Қабық пен массивтің арасындағы байланыс қатты немесе жылжымалы деп*

қабылданады. Субсоникалық жағдай үшін авторлар қабылдаған шешім (жүктеме жылдамдығы массивтегі ығысу толқындарының жылдамдығынан аз болған кезде) жүктеме қабығының ішкі бетінде біркелкі қозғалатын жылжымалы координаттар жүйесіне салынған. Авторлар дыбыстық жағдайға дейін алған шешім бойынша (жүктеме жылдамдығы массивтегі ығысу толқындарының жылдамдығынан аз болған кезде) жүктеме қабығының ішкі бетінде біркелкі қозғалатын жылжымалы координаттар жүйесіне салынған.

Алынған шешім мен сандық тәжірибелер негізінде терең туннельді қаптаманың геометриялық параметрлерінің қозғалмалы осимметриялық қалыпты жүктеме әсерінен тұқым массасының кернеулі-деформациялық күйіне әсері зерттеледі. Атап айтқанда, астар қалыңдығының және оның ортаңғы бетінің радиусының әртүрлі мәндері үшін субкритикалық жүктеме жылдамдығымен батып бара жатқан туннель қимасының контурының кернеулі-деформациялық күйін есептеу нәтижелері ұсынылды және талданды.

Кілтті сөздер: серпімді кеңістік, цилиндрлік қабық, тау массиві, терең туннель, туннель төсемі, қозғалмалы жүктеме, жүктің қозғалысының дыбыстық және субкритикалық жылдамдығы, шиеленіскен-деформацияланған күй.

\*S. R. Girnis<sup>1</sup>, V. N. Ukrainets<sup>2</sup>, Ye. M. Ibrayeva<sup>3</sup>, A. V. Ukrainets<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Toraighyrov University,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.  
Material received on 20.09.21.

#### INFLUENCE OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE TUNNEL LINING ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE ROCK MASS UNDER THE ACTION OF A MOVING LOAD

In this paper, we solve the problem of the action of a non-axisymmetric moving load on a thin-walled circular cylindrical shell in an elastic space (array). This problem is a model for studying the dynamics of deep-laid tunnels under the influence of transport load. The dynamic equations of the theory of elasticity in Lamé potentials are used to describe the motion of the array. The shell oscillation is described by the approximate equations of the classical theory of thin shells. The contact between the shell and the array is assumed to be either rigid or sliding. The solution obtained by the authors for the subsonic case (when the velocity of the load is less than the velocity of the shear waves in the array) is constructed in a mobile coordinate system associated with the load uniformly moving along the inner surface of the shell.

On the basis of the obtained solution and numerical experiments, the influence of the geometric parameters of the lining of a deep-laid tunnel on the stress-strain state of the rock mass under the action of a moving axisymmetric normal load is investigated. In particular, for different values of the thickness of the lining and the radius of its median surface, the calculations' results of the stress-strain state of the contour of the tunnel's cross-section in the passage at the subcritical speed of the load movement are presented and analyzed.

Keywords: elastic space, cylindrical shell, rock mass, deep-laid tunnel, tunnel lining, moving load, subsonic and subcritical load speed, stress-strain state.

SRSTI 67.23.03

<https://doi.org/10.48081/VHWM9115>

\*A. K. Aldungarova<sup>1</sup>, T. Mkilima<sup>2</sup>, Ye. B. Utegov<sup>1,3</sup>,  
A. S. Tulebekova<sup>1,4</sup>, Sh. Zh. Zharassov<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup>CSI Research&Lab LLP, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

<sup>2</sup>Ardhi University, Tanzania, Dar es Salaam;

<sup>3,4,5</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan

#### COMPARATIVE ANALYSIS OF REGULATORY DOCUMENTS IN THE DESIGN AND OPERATION OF DAMS

The design parameters and characteristics of dams were estimated during the design of dams in the 40–60th of the last century, and require updating, as well as changing the existing methodological approach to their determination. In the article the data of the current state, regulatory, technical and literary sources used at designing, construction and operation of hydraulic structures (HS) are collected, the comparative analysis of normative and technical documentation of the Republic of Kazakhstan, European countries, the USA, China, etc. used at designing and operation of dams is carried out. Examples of world practices in the application of legislation and regulating in terms of dam safety have been considered. A number of normative documents of the Republic of Kazakhstan on the main directions of activity of hydraulic structures, applied at all stages of their existence, from design and construction to operation and liquidation, are determined. The state regulations in the field of architecture, town planning and construction are reviewed, the main purpose of which is to ensure the legally protected needs of citizens and society in creating a favorable and environmentally safe living environment and life, in implementation of architectural, town planning and construction activities, protection of consumer rights of design and construction products, ensuring reliability and safety of construction, sustainable operation of the constructed facilities during operation and maintenance of hydraulic structures. Names and brief contents of standards for dam design in a number of developed countries are given.

Keywords: design of dams, safety of hydraulic structures, regulating the operation of hydraulic structures.

#### Introduction

The issue of safety of hydraulic structures, including dam safety, is one of the socially, economically and environmentally significant in terms of both design and operation. According to the Water Code of the RK, a dam is a supporting hydraulic structure on a watercourse for raising the water level and (or) creating a water reservoir; dam safety is a state of protection of a dam against catastrophic failure.

To date, the issue of research on «The Regulatory Framework for Dam Safety» has been a hot topic for many developed countries, since everyone understands that dam failures and their negative consequences will result in great loss of life and financial

resources. For countries with a large number of dams, the issue of dam safety becomes particularly acute.

According to the International Commission on Large Dams [1], there are more than 800,000 dams of various types all over the world, of which about 50,000 are more than 15 meters high. The accumulated information testifies to more than a thousand cases of damage and a hundred cases of destruction of dams of similar size. It is also necessary to take into account that the probability of dam failures starts to increase steadily when the structures are more than 30–40 years old [2]. These circumstances have led to the recent intensive development of regulatory and legal regulation of dam safety issues in many countries of the world with developed hydropower and water sectors.

In June 1977, the World Bank published the Operational Guidelines (OG) [3], which stipulated that not only the operators, but also the designers of hydraulic structures are responsible for the consequences of dam failures as a result of manmade disasters or natural hazards. The OG contains an analysis of the regulatory and legal framework for dam safety in 22 countries, considers similarities and differences in the approaches of different countries to the problem of dam safety, and offers recommendations on the content of normative and legal acts in this area. In October 2001, the OG was updated to include two documents: the Operational Policy (OP 4.37) and the Bank Procedures (BP 4.37). These documents apply not only to reservoir dams, but also to the dams of various spoil complexes.

Below is an example of global practices in the application of dam safety legislation and regulation.

In China, for example, dam safety is regulated by a number of laws and regulations [4]. The Law on the Prevention of Floods (August 29, 1997) obliges all units and all professionals to take measures to prevent floods. The Water Act (January 21, 1997) provides for surveys. The same law also has provisions on administrative rules for water management. On July 2, 1991, the State Council of the People’s Republic of China approved the Regulation on Reservoir Safety and the Regulation on Flood Control. In its turn, the Ministry of Water Resources enacted the Regulation on Declaration of Safety of Hydraulic Structures (March 20, 1995), and the Ministry of Energy Enterprises enacted the Regulation on Ensuring Safety of Hydropower Plants (January 1997). Along with this, in August 1998, the Ministry of Energy published detailed Rules for Inspection of Hydroelectric Power Plants for Safety [5]. There are also a number of other regulatory documents and acts.

**Materials and methods**

In the field of Kazakhstan regulations to date, a number of regulatory documents on the main activities in the implementation of the dam projects, have been identified (Table 1).

Table 1 – List of legal acts and regulatory-technical documentations

Field of activity	Name of the regulatory document
Land Use	ST RK GOST R ISO 14042-2007. Environmental management. Life cycle assessment. Life cycle impact assessment.
	ST RK GOST R ISO 14041-2007. Environmental management. Life cycle assessment. Definition of a research objective and inventory analysis.
	ST RK 2725-2015. Sustainable community development indicators of urban services and quality of life.
	ST RC BSI PD 8101-2016. Smart Cities. Guidelines for assessing the role of planning and development.
	ST RK ISO 37101-2016. Sustainable development of administrative and territorial units. Management systems. General principles and requirements.
Catchment	GOST 25855-83. Level and flow of surface waters. General requirements for measurement.
	GOST 17.1.1.02-77. Nature Protection. Hydrosphere. Classification of water objects.
	ST. RK ISO/TS 14048-2010. Environmental management. Life cycle assessment. Data Documentation Format.
	SN RK 2.03-02-2012. Engineering protection in zones of flooding and waterlogging.
Climate	GOST 25870-83. Microclimatic regions of the globe with cold and temperate climate. Zoning and statistical parameters of climatic factors for technical purposes.
	GOST 24482-80. Macroclimatic regions of the globe with tropical climate. Zoning and statistical parameters of climatic factors for technical purposes.
Soil	ST RK ISO 15800-2014. Soil quality. Determination of soil characteristics in relation to human exposure.
	GOST 17.4.2.03-86. Nature Conservation. Soils. Passport of soils.
	GOST 28168-89. Soils. Sampling.
	GOST 17.4.2.01-81. Nature Conservation. Soils. Nomenclature of sanitary condition indicators.
Dams	SN RK 3.04-01-2013. Hydrotechnical structures.
	SN RK 3.04-02-2014. Design of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic facilities.
	SN RK 3.04-03-2014. Foundations of hydraulic structures.
	SN RK 3.04-04-2014. Concrete and reinforced concrete dams.
	SN RK 3.04-06-2014. Hydrotechnical tunnels.
	SN RK 3.04-08-2014. Design, construction and operation of hydraulic structures in the areas undermined by mining operations.
	SN RK 3.04-09-2012 Hydrotechnical structures of the river.
	SN RK 3.04-10-2014. Hydrotechnical marine and river transport structures.
	SN RK 3.04-11-2013. Land reclamation systems and structures.

In Kazakhstan’s legislation, one of the regulatory documents with current construction standards, developed as part of the reform of the system of technical regulation of the construction industry of the Republic of Kazakhstan in accordance with the parametric method of normalization, is SN RK 3.04-04-2014 «Concrete and reinforced concrete dams». It is one of the normative documents of the evidence base of the technical regulations of the Republic of Kazakhstan «Requirements for the Safety of Buildings and Structures, Building Materials and Products» to ensure the safety of construction and operation facilities. It contains basic provisions on design of newly constructed and reconstructed concrete and reinforced concrete dams, which are part of power, water transport, reclamation systems, water supply and runoff transfer systems, as well as structures for flood control [6]. The norms give general construction requirements to working characteristics of deformation joints of dams, catchment, outlet and discharge structures, interfaces of dams with the foundation; describe all kinds of loads, their impact and combination on concrete and reinforced concrete dams, give basic provisions on dam design, namely: dam strength and stability calculation, filtration calculation of dams, hydraulic calculation of dams. In addition, the construction standards describe the calculation and design of dams on non-rock foundation, gravity and buttress dams on rock foundation, arch dams, and measures for environmental protection during design and operation of structures. Despite all this, SN RK 3.04-04-2014 «Concrete and reinforced concrete dams» does not apply to dams, damage to which can cause dangerous ecological and social consequences during earthquakes, due to excessive deformation of subsidence, swelling or karst foundations, or due to extraordinary natural phenomena.

One can consider the State norms in the field of architecture, urban planning and construction, Construction norms of the Republic of Kazakhstan «Hydro-technical structures». The main focus of the state regulations is to ensure the legally protected needs of citizens and society in creating a favorable and environmentally safe living environment and life in the implementation of architectural, urban planning and construction activities, protection of consumer rights of design and construction products, ensuring the reliability and safety of construction, sustainable operation of the constructed facilities in operation. For this purpose, the construction standards apply to the design of newly constructed and reconstructed river and sea hydraulic structures of all types and classes. The standards take into account: the general requirements for the safety of hydraulic structures, the designation of the class of hydraulic structures, the requirements to ensure safety of hydraulic structures at the design stage, the requirements to ensure safety of hydraulic structures at the construction stage, the requirements to ensure safety of hydraulic structures during operation, the requirements to ensure safety of hydraulic structures during reconstruction and liquidation (Figure 1).

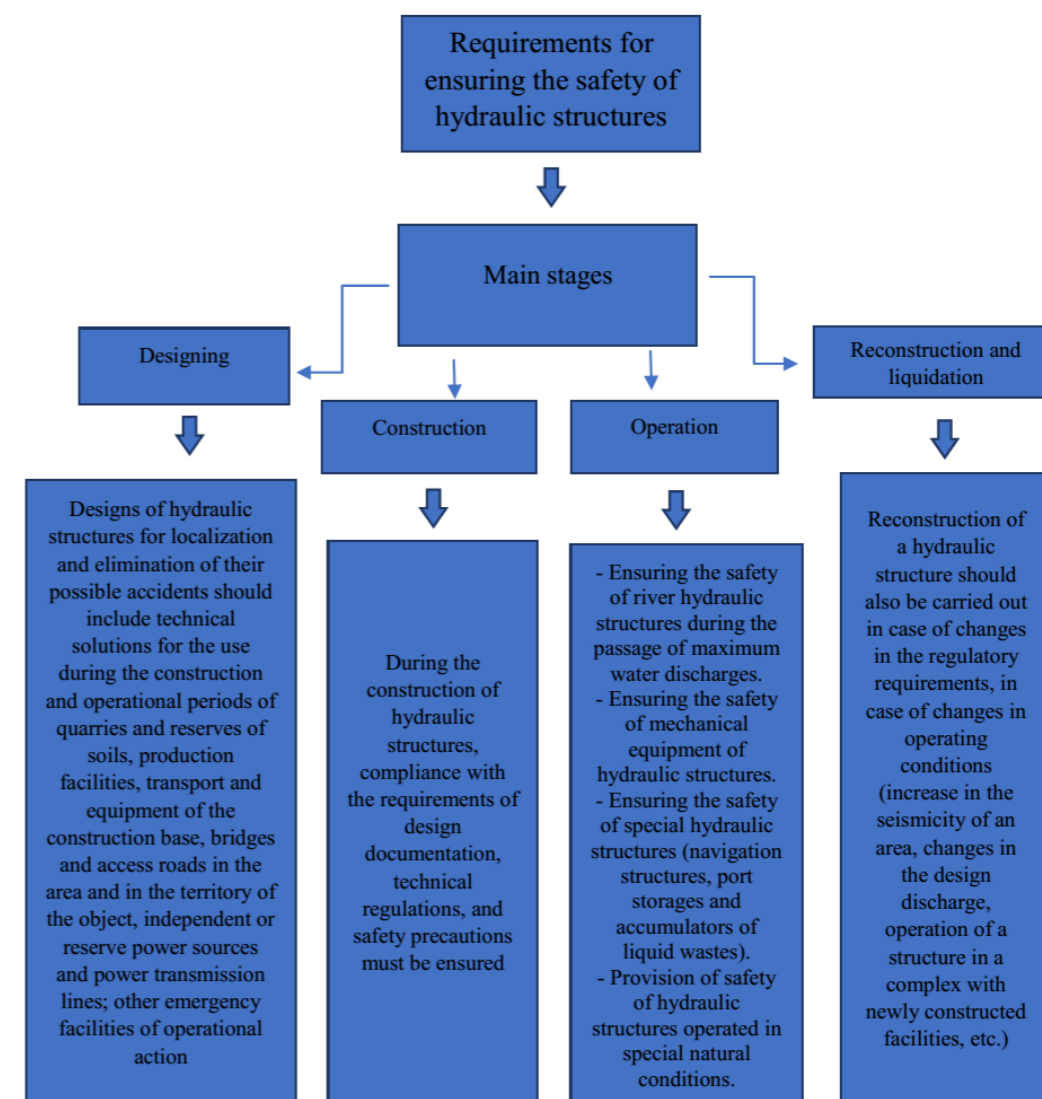


Figure 1 – Requirements for ensuring the safety of of hydraulic structures

Below are the names and summaries of standards for dam design in a number of developed countries:

– In the U.S., requirements for embankment dams are governed by the 21 chapter Design Standard #13 developed by the Bureau of Reclamation, Department of the Interior, specifically in: Chapter 1 – General Design Standards, Chapter 2 – Dam Design, Chapter 4 – Static Stability Analysis, Chapter 5 – Protective Filters, Chapter 10 – Embankment Construction, and Chapter 13 – Seismic Analysis and Design [7]. Also, American standard ASTM D-4767 allows to determine parameters (saturated soil strength, internal friction angle, cohesion) for shear by full and effective stress using triaxial instrument to assess stability at the most critical stages of dam life [8]. In the Kazakhstan normative document, these parameters are described in the construction

standards [9] (paragraph 8. Basic requirements for dam design, paragraph 8.1 Calculation of dams for strength and stability).

– In China, there are two categories of dams: dams regulating the use of water resources, which are administered by the Ministry of Water Resources, and dams for power generation, which are administered by the State Power Corporation. With regard to regulatory documentation, standards are divided into national, professional (specialized), and local standards. The standards are also divided into mandatory and recommendatory standards. China's construction engineering standards system is divided into 24 areas, which in turn are divided into 58 groups of industrial standards in different areas, including water resources (SL) and energy (DL). Water resources and hydropower standards include 40 volumes, national standards include 8 volumes. Certain features of hydropower projects are themselves the subject of standardization. For example, world-class construction projects have been developed on the basis of the standards, including: a 292-meter high double curvature arch dam across the Little Bay, a 233-meter high concrete-clad rock dam, and a 216.5-meter high concrete gravity dam on Dragon Beach [10]. The design of dams in China is regulated by the standard «Design standard of concrete gravity dams» of the Ministry of Water Resources of the People's Republic of China [11]. The standard gives a description of dam structures and configurations, hydraulic design of dewatering works, design of dam cross-section, design of dam foundations, structural arrangement of dams, temperature control and prevention of cracking, and design of operational safety monitoring.

– In Austria, dam safety issues are regulated by the Federal Water Act. According to this law, dams higher than 30 meters or with a reservoir volume of more than 500 thousand cubic meters, dams on the Danube River, as well as dams that regulate water supply of other countries are under the jurisdiction of the Main Water Department of the Federal Ministry of Agriculture and Forestry (FMSF). In order to obtain a building permit for a dam, the design must undergo a public hearing and, if the dam is under the jurisdiction of the FMSF, also the approval procedure of the Austrian Commission on Dams. Because such projects must be based on the most recent developments in this area, there are virtually no regulatory indicators in the current legislation.

#### Results and discussion

Analysis of normative documentation of developed countries on the principles and methods of dam design [3,5,7,8] has shown that the initial stage of design of hydraulic structures plays an important role in further economic development of the proposed site of a hydraulic structure and affects GDP growth [12,13]. Normalization includes taking into account not only standard requirements for structural design features, but also assumes the influence on the construction site of such factors as, for example, changes in the density of the population before 2050 living in the area of the dam construction and being potential consumers of water resources and energy products; suitable terrain conditions for construction of large dams, climatic impact on the operation of structures, etc. [12,13,14,15].

#### Conclusions

Having studied the principles and methods of design of hydraulic structures in Kazakhstan, it can be concluded that they take into account the general design requirements, loads, impacts and their combinations, requirements for the calculation of dams (calculation of dam strength and stability, seepage calculations of dams, hydraulic calculations of dams), safety requirements for works on river hydraulic structures, requirements for quality control and acceptance of works, requirements for environmental protection, requirements for monitoring of hydraulic structures [9,17,18,19,20]. However, at the same time, they do not have data on accounting of many factors of urbanization, such as changes in land use and soil-vegetation layer, climatic impact, etc. in the design, which significantly affects the term of safe operation of hydraulic structures.

#### Acknowledgements

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No.AP09258790).

#### REFERENCES

- 1 <https://www.icold-cigb.org/GB/dams/dams.asp> [Electronic resource]. – [https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition\\_of\\_a\\_large\\_dam.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp).
- 2 Mezhdunarodnaya komissiya po bol'shim plotinam CIGB/ICOLD. «Risk chrezvychaynykh proissheshtviy na plotinakh khvostokhranilishch. Prakticheskiye uroki». Transl. by Mal'tsev S. A. Byulleten' №121/2001.
- 3 Operational Manual Statement (OMS) 3.80. – Safety of Dams, 1977.
- 4 **Gong Zhenghua i drugiye.** «Bezopasnost' plotin v Kitaye : kontsepsiya i praktika». – International Water Power and Dam Construction, dekabr', 1999. – P. 14–17.
- 5 Poryadok vedeniya registra plotin (Ministerstvo vodnykh resursov, dek. 28, 1995 g., peresmotren dek. 26, 1997 g.). Obshchiye pravila ekspluatatsii mnogotselevykh vodokhranilishch (Ministerstvo vodnykh resursov, dek.1, 1993 g.). Rukovodstvo po nadzoru i ekspluatatsii plotin (SL 21098, dek. 23, 1998 g.). Rukovodstvo po provedeniyu monitoringa plotin (SL 16996, yanv. 1,1997 g.). Tekhnicheskiye kriterii monitoringa plotin (SL 6094, avg. 27, 1994 g.). Informatsiya Predstavitel'stva Vsemirnogo banka v Pekine.
- 6 Ob utverzhdenii tekhnicheskogo reglamenta «Trebovaniya k bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy, stroitel'nykh materialov i izdeliy». Postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 17 noyabrya 2010 goda №1202.
- 7 Reclamation Design Standards. Design Standards No.13: Embankment Dams.
- 8 ASTM D4767 – 11(2020). Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils.
- 9 SN RK 3.04-04-2014. Plotiny betonnyye i zhelezobetonnyye.
- 10 **Ovchinnikov, I. I., Chen, Tao, Ovchinnikov, I. G., Valiyev, Sh. N.** The system of normative documents in construction in the People's Republic of China. In Russian journal of transport engineering. – 2018. – No 3. – Vol 5. – ISSN 2413-9807.

11 Design standard of concrete gravity dams» of Ministry of water resources of the People's Republic of China.

12 UNDP. Human Development Report 2006 – Beyond Scarcity : Power, Poverty and the Global Water Crisis; UNDP: New York, NY, USA, 2006.

13 World Resource Simulation Center (WRSC). Global Water Consumption 1900–2025. – 2012.

14 **Chen, J., Shi, H., Sivakumar, B., Peart, M. R.** Population, Water, Food, Energy and Dams. Renew. Sustain. In Energy Rev. – 2016. – № 56. – P. 18–28.

15 **Haiyun Shi, Ji Chen, Suning Liu and Bellie Sivakumar.** The Role of Large Dams in Promoting Economic Development under the Pressure of Population Growth. Advancing Open Science for more than 25 years, 2019.

16 Wasserrechtsgesetz 1959. www.ris.bka.gv.at. Water Act 1959 (Consolidated version of Federal Act No. 215/1959 up to Federal Act No. 44 of 2018).

17 SN RK 3.04-01-2013. Stroitel'nyye normy Respubliki Kazakhstan. Gidrotekhnicheskkiye sooruzheniya.

18 SN RK 3.04-03-2014. Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy.

19 SN RK 3.04-08-2014. Proyektirovaniye, stroitel'stvo i ekspluatatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na podrabatyvayemykh gornymi rabotami territoriyakh.

20 SN RK 3.04-09-2012. Gidrotekhnicheskkiye sooruzheniya rechnyye.

Material received on 20.09.21.

\***А. К. Алдунгарова<sup>1</sup>, Т. Мкилима<sup>2</sup>, Е. Б. Утепов<sup>1,3</sup>,**

**А. С. Тулебекова<sup>1,4</sup>, Ш. Ж. Жарасов<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup>ЖШС CSI Research&Lab,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;

<sup>2</sup>Ардхи университеті,

Танзания, Дар-эс-Салам;

<sup>3,4,5</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### БӨГЕТТЕРДІ ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУ КЕЗІНДЕГІ НОРМАТИВТІК ҚҰЖАТТАМАНЫ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

*Бөгеттердің есептік параметрлері мен сипаттамалары өткен ғасырдың 40–60 жылдары бөгеттерді жобалау кезінде есептелген және жаңартуды, сондай-ақ оларды анықтауға қолданыстағы әдіснамалық тәсілді өзгертуді талап етеді. Мақалада Гидротехникалық құрылыстарды (ГС) жобалау, салу және пайдалану кезінде пайдаланылатын ағымдағы жай-күй деректерін, реттеуші, техникалық және әдеби көздерді жинау орындалды, бөгеттерді жобалау және пайдалану кезінде пайдаланылатын Қазақстан Республикасының және Еуропа, АҚШ, Қытай және т.б. елдердің нормативтік-*

*техникалық құжаттамасына салыстырмалы талдау жүргізілді. Бөгеттердің қауіпсіздігі бөлігінде заңнаманы қолдану және нормалау бойынша әлемдік практикалардың мысалдары қаралды. Гидротехникалық құрылыстар қызметінің негізгі бағыттары бойынша жобалау мен құрылыстан бастап пайдалану мен жоюға дейінгі олардың жұмыс істеуінің барлық кезеңдерінде қолданылатын Қазақстан Республикасының бірқатар нормативтік құжаттары анықталды. Сәулет, қала құрылысы және құрылыс саласындағы мемлекеттік нормативтер қаралды, олардың басты бағыты азаматтар мен қоғамның заңмен қорғалатын қажеттіліктерін қамтамасыз ету, сәулет, қала құрылысы және құрылыс қызметін жүзеге асыру кезінде қолайлы және экологиялық қауіпсіз өмір сүру және өмір сүру ортасын құру, жобалау және құрылыс өнімдерін тұтынушылардың құқықтарын қорғау, құрылыстың сенімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету, Пайдалану кезінде салынған объектілердің тұрақты жұмыс істеуі болып табылады. Бірқатар дамыған елдердегі бөгеттерді жобалау стандарттарының атаулары мен қысқаша мазмұны келтірілген.*

*Кілтті сөздер: бөгеттерді жобалау, гидротехникалық құрылыстардың қауіпсіздігі, Гидротехникалық құрылыстарды пайдалануды нормалау.*

\***А. К. Алдунгарова<sup>1</sup>, Т. Мкилима<sup>2</sup>, Е. Б. Утепов<sup>1,3</sup>,**

**А. С. Тулебекова<sup>1,4</sup>, Ш. Ж. Жарасов<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup>ТОО CSI Research&Lab,

Республика Казахстан, г. Нур-Сұлтан;

<sup>2</sup>Университет Ардхи,

Танзания, Дар-эс-Салам;

<sup>3,4,5</sup>Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Нур-Сұлтан.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛОТИН

*Расчетные параметры и характеристики плотин рассчитаны при проектировании плотин в 40–60 годы прошлого столетия, и требуют обновления, а также изменения существующего методологического подхода к их определению. В статье выполнен сбор данных текущего состояния, регуляторных, технических и литературных источников, используемых при проектировании, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений (ГС), проведен сравнительный анализ нормативно-технической документации Республики Казахстан и стран Европы, США, Китай и др., используемой при проектировании и эксплуатации плотин. Рассмотрены примеры мировых практик по применению законодательства и нормирования в части безопасности плотин. Определен ряд нормативных документов Республики Казахстан по основным направлениям деятельности гидротехнических сооружений, применяемых на все этапах их существования, начиная с проектирования и строительства, заканчивая*

эксплуатацией и ликвидацией. Рассмотрены Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства, главной направленностью которых является обеспечение охраняемых законом потребностей граждан и общества, в создании благоприятной и экологически безопасной среды обитания и жизнедеятельности, при осуществлении архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, защите прав потребителей проектной и строительной продукции, обеспечении надежности и безопасности строительства, устойчивого функционирования построенных объектов при эксплуатации. Приведены наименования и краткое содержание стандартов по проектированию плотин в ряде развитых стран.

Ключевые слова: проектирование плотин, безопасность гидротехнических сооружений, нормирование эксплуатации гидротехнических сооружений.

FTAMP 67.17.03

<https://doi.org/10.48081/INCA5538>

**Л. М. Утепбергенова<sup>1</sup>, Т. А. Толкынбаев<sup>2</sup>, Г. М. Абдукаликова<sup>3</sup>,  
А. Е. Елеусинова<sup>4</sup>, \*А. К. Абишева<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

### **БИИК ҒИМАРАТТАРДЫҢ ЕКІ ҚҰБЫРЛЫ ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕСІ**

Бұл мақалада көп қабатты үйлерді жылыту туралы айтылады. Бір құбырлы жылу жүйесі мен екі құбырлы жылу жүйесін талдау жүргізілді. Екі құбырлы жүйенің бір құбырлы жүйеге қарағанда бірқатар артықшылықтары көрсетілген. Көп қабатты тұрғын үйлердегі құрылғылардың жылу берілуін анықтау нәтижелері көрсетілген.

Сондай-ақ, жылыту маусымы кезінде жылыту жүйелерінің әсерінен бірыңғай екі құбырлы көтергіштердің тік жылу тұрақтылығы зерттелді. Әр түрлі сыртқы температурада және көтергіштерге келетін судың өзгеретін гидро жылу режимі қарастырылды.

Сонымен қатар, бірыңғай екі құбырлы жүйенің жылу сенімділігін арттыру үшін (бөлмедегі жылу берілістерінің олардың жылу шығындарына сәйкес келу ықтималдығын ескере отырып) сапалы реттеудің қабылданған жылу кестесіне түзетулер енгізу керек екендігі анықталды.

Мақалада зерттеулер нәтижесінде екі құбырлы жүйенің бірыңғай жүйесімен құрылғылардың жылу беруі мен үй-жайлардың жылу жоғалуы арасындағы сәйкестік биіктігі бірдей үй-жайлардағы салыстырмалы түрде жақын құрылғылардың жылу жүктемелері бар ғимараттарда қол жетімді болатындығы анықталып, сондай-ақ, бұл әрдайым тұрақты бола бермейтінідігі нақтыланған.

Мұндай жағдайларда ғимараттың үй-жайларын қажетті мөлшерде жылумен қамтамасыз ету үшін жылу маусымының әртүрлі кезеңдеріндегі сорғының қысымын да өзгерту керек екендігі, бұл сапалы реттеуді сандық реттеумен толықтыратындығы айтылған.

Кілтті сөздер: жылу жүйесі, жылу беру коэффициенті, жылу шығыны.

### **Кіріспе**

Қазіргі уақытта көп қабатты ғимараттарды жылыту үшін негізінен бір құбырлы көтергіштері бар су жылыту сорғы жүйелері қолданылады. Бұл олардың бірқұбырлы көтергіштері бар жүйелермен салыстырғанда белгілі артықшылықтарына байланысты: сатып алу – көтергіштердің бөліктері мен түйіндерін біріктіру және иесіздендіру, құбырлар шығынын азайту; монтаждау – құрастырудың күрделілігінің төмендеуі; пайдалану – жүйелердің жылу тұрақтылығының жоғарылауы. Сонымен қатар, жылу ыңғайлылығын одан әрі арттыру үшін құрылғылардың жылу берілуін тәуелсіз реттейтін жылу жүйелеріне назар аудару керек. Болашақта мұндай су жылыту жүйелерін жазда бөлмелерді салқындату үшін қолдануға болады.



**Материалдар мен тәсілдер**

Құрылғылар арқылы судың дәйекті қозғалысы бар бір құбырлы жүйелерді пайдалану кезінде жеке реттеуді жүзеге асыру мүмкін емес.

Құрылғылардың жылу берілуін тәуелсіз реттеуге, әсіресе, құрылғыны және суық суды пайдалану арқылы бөлмені салқындатуға екі құбырлы жылу жүйесін пайдалану арқылы қол жеткізуге болады.

Егер олардың техникалық-экономикалық және пайдалану көрсеткіштері бір құбырлы жүйелердің көрсеткіштерінен кем болмаса, екі құбырлы жүйелерді кеңінен қолдану мүмкін болады.

Сондықтан екі құбыр көтергіштің дәстүрлі дизайнын осылай өзгерту керек, осылайша құбырларға металл шығыны азаяды, көтергіштердің жеке элементтерін біріктіруге болады, жүйелерді іске қосу алынып тасталады және сонымен бірге жылыту маусымы кезінде көп қабатты ғимараттардың үй-жайларының сенімді жылу берілуі қамтамасыз зетіледі. Бұл мәселені шешкен кезде, оны құрылғылар жылыту маусымының жекелеген кезеңдерінде бөлменің жылу берілуін есептік шаманың плюс 10 % және минус 5 % өзгерткен кезде жүйені жеткілікті тұрақты деп санауға болады.

Екі жолдың төменгі орналасуы бар екі құбырлы жүйе зерттелді, өйткені оның жоғарғы сымдары бар екі құбырлы жүйемен салыстырғанда үлкен жылу тұрақтылығы белгілі. Бұл бірінші жүйеде құрылғылар мен құбырлардағы судың салқындауына байланысты табиғи айналым қысымының жоғарылауы айналым сақиналарының ұзындығының ұлғаюына сәйкес келеді. Көтергіштердегі су қозғалысының жылдамдығын 1–1,5 м/с дейін, яғни азаматтық ғимараттарда рұқсат етілген мәнгедейін арттыруға жол берілді [1,6].

Екі құбырлы су жылыту жүйелерінің гидравликалық және жылу режимдерін есептеу және талдау 5,10 және 20 қабатты тұрғын үйлер үшін жүргізілді.

Ең алдымен, жүйені біріктіру дәрежесі анықталды.

Көтергіштерді төменнен жоғарыға дейін бір минималды диаметрмен жасауға болады.

Бұл ретте бір көтергішке қосылған барлық аспаптарға келтірілген көздердің қосымша гидравликалық кедергілері бірдей болуым мүмкін (сур. 1) 10 қабатты ғимаратта құрылғылардың жылу берілуін анықтау нәтижелері келтірілген. Гидравликалық кедергі мөлшері кең ауқымда өзгерді. Құрылғыларға көздердің төмен гидравликалық кедергісі кезінде олардың жылу берілуінің биіктігі бойынша айтарлықтай бір келкі еместігін атап өтуге болады. Қарсылық өскен сайын бұл бір келкі емес тегістеледі.

Ғимараттың биіктігі бойынша төменнен жоғары санай отырып, аспаптардың үй-жайларға жылу берілуін біркелкі азайтуды қамтамасыз ету үшін (ұқсас үлгі тұрғын үй және басқа да ғимараттар үй-жайларының жылуы қажеттілігіне сәйкес келеді) көздердің гидравликалық кедергісі жоғарғы қабат аспаптарында судың салқындауы салдарынан туындайтын ең жоғары табиғи циркуляциялық қысым шамасынан кем болмауы тиісті (1):

$$\Delta P_{\text{подв}} \geq \Delta P_{\text{е, макс.}} \quad (1)$$

Биіктігі бойынша бір типті үй-жайларда орнатылған және бір көтергішке қосылған аспаптардың қыздыру бетінің ауданы бірдей болуы мүмкін.

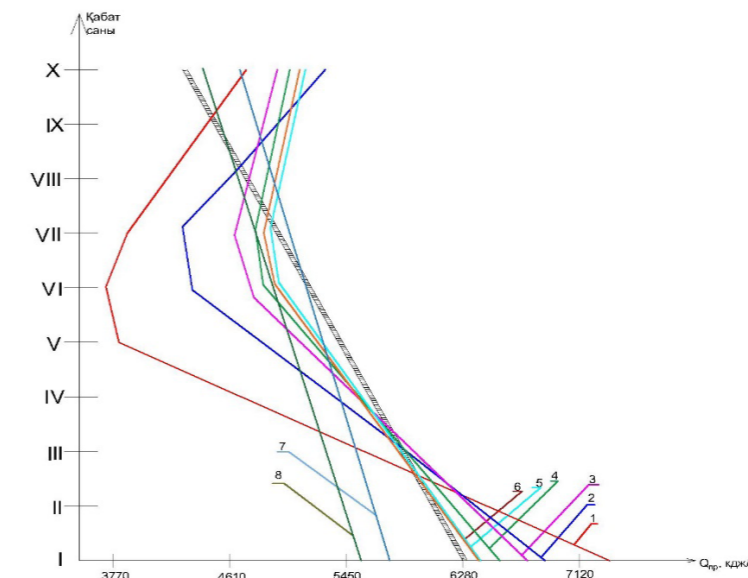
Айта кету керек, құбырлардың диаметрі бойынша біріктірілген екі құбырлы жүйе, қажетті қосымша қарсылықтың мөлшері және құрылғылардың жылыту бетінің ауданы бойынша, оның көрсеткіштері бойынша бір құбырлы жүйеге сәйкес келеді.

Әрі қарай, бірыңғай екі құбырлы көтергіштердің негізіндегі сорғы қысымының жылу берілуіне әсері зерттелді.

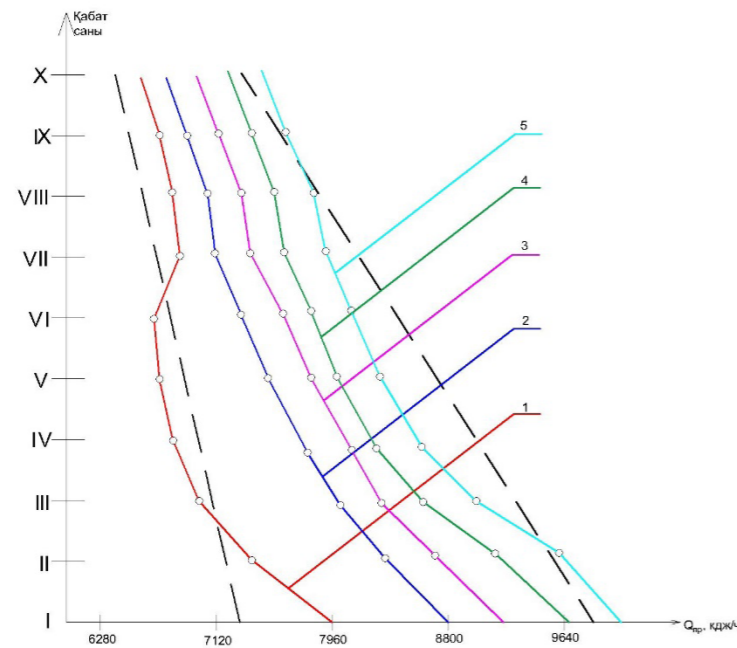
Зерттеу барсысында 5, 10 және 20 қабатты ғимараттардағы көтергіштер сорғы қысымының әртүрлі мәндерінде және құрылғылардың жылыту бетінің бірдей аймағында қарастырылды (көтергіштің биіктігі бойынша «Комфорт» конвекторлары).

Аспаптар бойынша судың таралуының өзгеруіне негізделген көтергіштердің биіктігі бойынша сол аудандағы аспаптардың жылу беруінің өзгеру заңдылығы анықталды (сур. 2).

Көтергіштің түбіндегі қысымды өзгерту арқылы көтергіштің жалпы жылу берілуін ғана емес, сонымен қатар іргелес қабаттарда орналасқан бірдей аймақтағы құрылғылардың жылу берілісі арасындағы қатынасты өзгерту мүмкін болды. Бұл дегеніміз, бірыңғай екі құбырлы жүйелерді пайдалану кезінде сорғы қысымының мәні көтергіштердің биіктігі бойынша құрылғылардың жылу жүктемелерінің есептелген бөлінуіне сәйкес таңдалуы керек. Сонымен қатар, мұндай жүйелерді пайдалану кезінде сорғы қысымын реттей отырып, сіз барлық құрылғылардың жылу берілуін және әртүрлі қабаттардағы құрылғылардың жылу беру қатынасын басқара аласыз.



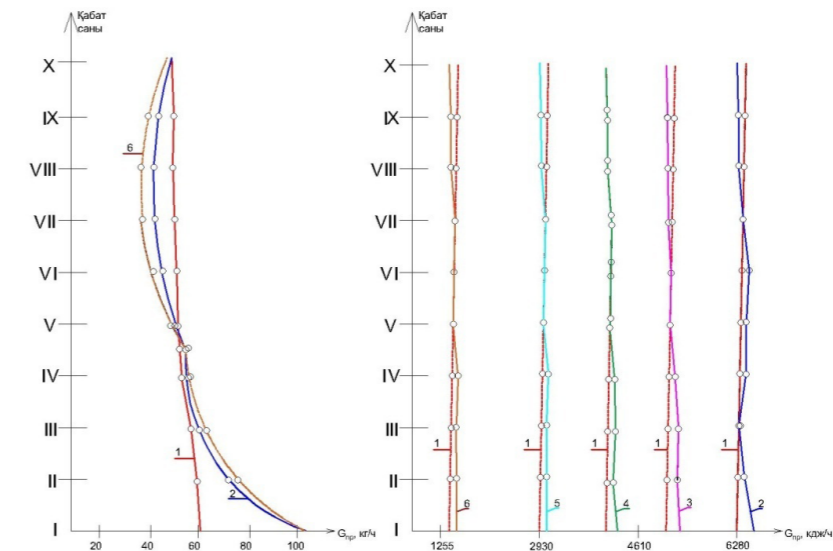
Сурет 1 – Конвекторлардың жылу берілісі. 10 қабатты ғимараттың «Жайлылық» («Комфорт») екі құбырлы көтергішіне қосылған жылу жүйесінің  $t_{\text{в}}=95^{\circ}$ ,  $t_0=70^{\circ}$  C,  $\Delta p_0=18,7$  кПа және гидравликалық кедергісі бар: 1 – қосымша кедергісі жоқ; 2 – 1 кПа; 3 – 2 кПа; 4 – 3 кПа; 5 – 4 кПа; 6 – 5 кПа; 7 – 7,5 кПа; 8 – 10 кПа



Сурет 2 – Конвекторлардың жылу берілісі.»Жайлылық» («Комфорт»)  $F_{пр} = 5$  экм, кезінде 10 қабатты ғимараттың жылу жүйесінің екі құбырлы көтергішіне қосылған  $t_{ы} = 95^{\circ}$ ,  $t_0 = 70^{\circ}$  C, және көтергіш негізіндегі сорғы қысымына қосылған 1-5; 2-11; 3-15; 4-23; 5-29 кПа

Сондай-ақ, жылыту маусымы кезінде жылыту жүйелерінің әсерінен бірыңғай екі құбырлы көтергіштердің тік жылу тұрақтылығы зерттелді. Әр түрлі сыртқы температурада және көтергіштерге келетін судың өзгеретін (жалпы қабылданған сапалық реттеу кестесіне сәйкес) бес гидро жылу режимі қарастырылды.

Бірыңғайланған екі құбырлы жүйелер бүкіл жылыту маусымы ішінде көп қабатты ғимараттар үй-жайларында тұрақты жылу беруді қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, құрылғылардың гидравликалық режимінің жүйенің жылу тұрақтылығына шектеулі әсері байқалды. – Сур. 3 жоғарыда айтылғандарды суреттеу үшін 10 қабатты ғимаратта диаметрі 15 мм екі құбырлы көтергіштің құрылғылары бойынша су мен жылудың есептік және нақты таралуының диаграммалары келтірілген [2, 4, 8].



Сурет 3 – Жылыту маусымы ішінде сыртқы ауа температурасының өзгеруі кезінде 10-қабатты ғимараттың жылыту жүйесінің екі құбырлы тірегіне қосылған  $F_{пр} = 5$  экм, «Комфорт» конвекторларының су (А) және жылу беру (В) шығыны: 1-судың және аспаптардың жылу беруінің есептік шығыстары; 2 –  $t_c = -25^{\circ}$  C; кезінде судың және жылу берудің шын мәніндегі шығысы; 3,4,5- $t_c = -18; -9; -3,2^{\circ}$  C; кезінде тиісінше нақты жылу беру; 6- $t_c = +5^{\circ}$  C кезінде судың және жылу берудің нақты шығысы

#### Нәтижелер мен пікірталас

Сонымен қатар, Бірыңғай екі құбырлы жүйенің жылу сенімділігін арттыру үшін (бөлмедегі жылу берілістерінің олардың жылу шығындарына сәйкес келу ықтималдығын ескере отырып) сапалы реттеудің қабылданған жылу кестесіне түзетулер енгізу керек екендігі анықталды.

Жылыту маусымының жылы кезеңінде жүйеге берілетін судың температурасы біршама көтерілуі тиіс, ал 5-, 10- және 20-қабатты ғимараттардың жылыту жүйелерінде ыстық су температурасының өзгеруінің әртүрлі кестелерін сақтау қажет.

Зерттеулер нәтижесінде екі құбырлы жүйенің бірыңғай жүйесімен құрылғылардың жылу беруі мен үй-жайлардың жылу жоғалуы арасындағы сәйкестік биіктігі бірдей үй-жайлардағы салыстырмалы түрде жақын құрылғылардың жылу жүктемелері бар ғимараттарда қол жетімді болатындығы анықталды. Алайда, бұл әрдайым бола бермейді. Ия, 4-суретте жылыту маусымы кезінде екі құбырлы көтергіштердің құрылғыларының нақты жылу берілуінің өзгеруі үй-жайлардың жылу жоғалуының өзгеруіне сәйкес келмеуі мүмкін, ал ғимараттың биіктігі бойынша үй-жайлардың жылу шығыны айтарлықтай өзгеше болған кезде, жылу жүйесін термиялық реттеу ретінде қабылданатын құрылғылардың жылу берілісі мен жылу жоғалуы арасында сәйкессіздік болуы мүмкін. Мұндай жағдайларда ғимараттың үй-жайларын қажетті мөлшерде

жылумен қамтамасыз ету үшін жергілікті сапаны реттеу кестесін ғана емес, сонымен қатар жылу маусымының әртүрлі кезеңдеріндегі сорғының қысымын да өзгерту керек, бұл сапалы реттеуді сандық реттеумен толықтырады [3,5,9].

#### Қорытынды

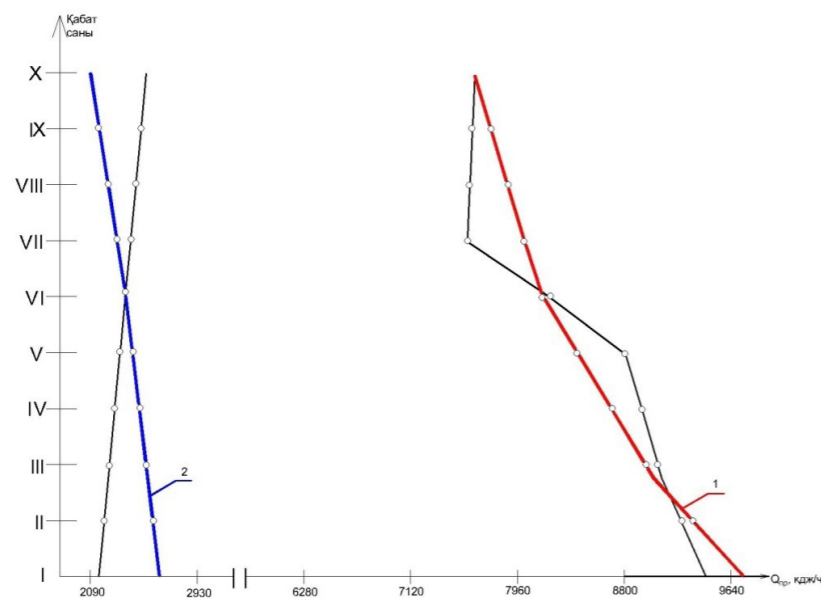
Жоғарыда айтылғандардан келесі қорытынды жасауға болады:

– екі жолдың төменгі орналасуымен сорғы су жылыту жүйелерінің екі құбырлы көтергіштері 1–1,5 м/с максималды жылдамдығына негізделген бір диаметрді таңдау арқылы біріктірілуі мүмкін;

– көп қабатты ғимараттардағы біріңғайландырылған жүйелердің жылу тұрақтылығы жоғарғы қабаттың құрылғыларында судың салқындауы нәтижесінде пайда болатын максималды табиғи айналым қысымымен өлшенетін аспаптарға техникалық қызмет көрсетудің бірдей гидравликалық кедергісін енгізу арқылы қамтамасыз етіледі;

– екі құбырлы көтергіштердің құрылғылары ғимараттардың биіктігі бойынша бір типті бөлмелерді жылыту үшін бірдей жылыту бетін таңдау арқылы біріктірілуі мүмкін;

– біріктірілген екі құбырлы су жылыту жүйесіндегі сорғы қысымын көтергіштердің биіктігі бойынша құрылғылардың жылу жүктемелерінің қатынасына байланысты таңдау керек;



Сурет 4 – 10 қабатты ғимараттың жылыту жүйесінің «Комфорт»  $F_{пр} = 5$  экм, екі құбырлық көтергішіне қосылған  $du = 15$  мм конвекторларының жылу беруі (қалың сызықтар),  $\Delta p_n = 29$  кПа,  $\Delta p_{пр} = 5$  кПа, сыртқы ауа температурасы 1 – (-25 °C), 2 – +5 °C (жіңішке сызықтар – үй-жайлардың жылу жоғалуы мүмкін)

– бірыңғай екі құбырлы көтергіштердің жылу режимі көп қабатты ғимараттардың биіктігі бойынша бірдей типтегі үй-жайлардың жылу жоғалуының өзгеру сипатына сәйкес келтірілуі мүмкін [3,7,10].

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Сканави, А. Н., Стрельчук, М. Н.** Тепловая надежность двухтрубных систем отопления многоэтажных зданий // Сборник трудов. – № 144. – Москва.

2 **Каменев, П. Н. и др.** Отопление и вентиляция. Ч.1. Отопление. – М. : Стройиздат.

3 **Шкаликов, Г. Ф., Савинков, Ю. И.** О повышении скорости теплоносителя в системе центрального водяного отопления. – В кн., Вопросы проектирования и монтажа санитарно-технических систем. Вып. 38 л., Стройиздат.

4 **Каменев, П. Н., Сканави, А. Н., Богословский, В. Н., Егизаров, А. Г., Щеглов, В. П.** Отопление и вентиляция : Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. I. Отопление. Изд 3-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1975. – 483 с.

5 **Кириллин, В. А.** Техническая термодинамика: Учебник для вузов по направлению 140100 «Теплоэнергетика» / В. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – М. : Издательский для МЭИ, 2008.

6 **Михеев, М. А.** Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : БАСТЕТ, 2010.

7 **Сидельковский, Л. Н., Юренев, В. Н.** Котельные установки промышленных предприятий : Учебник для вузов. – Издательство Бастет, 2009.

8 **Соколов, Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети : Учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – М. : Энергоиздат, 2009.

9 **Соколов, Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети. – М. : Энергоиздат, 1982.

10 **Козин, В. Е.** Теплоснабжение: уч. пособие. – М. : Высшая школа, 1980.

#### REFERENCES

1 **Skanavi, A. N., Strel'chuk, M. N.** Teplovaya nadezhnost' dvukhtрубnykh sistem otopeniya mnogoetazhnykh zdaniy. In Sbornik trudov. – № 144. – Moscow.

2 **Kamenev, P. N. i dr.** Otopleniye i ventilyatsiya. P.1. Otopleniye. – Moscow : Sroyizdat.

3 **Shkalikov, G. F., Savinkov, Yu. I.** O povyshenii skorosti teponositelya v sisteme tsentral'nogo vodyanogo otopeniya. In Voprosy proyektirovaniya i montazha sanitarno-tekhnicheskikh sistem. Issue 38 l. – Moscow : Sroyizdat.

4 **Kamenev, P. N., Skanavi, A. N., Bogoslovskiy, V. N., Yegizarov, A. G., Shcheglov, V. P.** Otopleniye i ventilyatsiya: Uchebnik dlya vuzov. In 2 parts. P. I. Otopleniye. 3rd edition, revised and exp. – Moscow : Sroyizdat, 1975. – 483 p.

5 **Kirillin, V. A.** Tekhnicheskaya termodinamika : Uchebnik dlya vuzov po napravleniyu 140100 «Teploenergetika» / V. Kirillin, V. V. Sychev, A. Ye. Sheyndlin. – Moscow : Izdatel'skiy dlya MEI, 2008.

6 **Mikheyev, M. A.** Osnovy teploperedachi / M. A. Mikheyev, I. M. Mikheyeva. – Moscow : BASTET, 2010.

7 Sidel'kovskiy, L. N., Yurenev, V. N. Kotel'nyye ustanovki promyshlennykh predpriyatiy : Uchebnik dlya vuzov. – Izdatel'stvo Bastet, 2009.

8 Sokolov, Ye. Ya. Teplofikatsiya i teplovyye seti : Uchebnik dlya vuzov / Ye. Ya. Sokolov. – Moscow : Energoizdat, 2009.

9 Sokolov, Ye. Ya. Teplofikatsiya i teplovyye seti. – Moscow : Energoizdat, 1982.

10 Kozin, V. Ye. Teplosnabzheniye: uch. posobiye. – Moscow : Vysshaya shkola, 1980.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

**Л. М. Утепбергенова<sup>1</sup>, Т. А. Толкынбаев<sup>2</sup>, Г. М. Абдукаликова<sup>3</sup>,**

**А. Е. Елеусинова<sup>4</sup>, \*А. К. Абишева<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Нур-Султан.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

### ДВУХТРУБНАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

*В настоящей статье рассматривается отопление многоэтажных зданий. Произведен анализ однотрубной системы отопления и двухтрубной системы отопления. Обозначены ряд преимуществ двухтрубной системы перед однотрубной. Показаны результаты определения теплопередачи приборов в высотных жилых домах.*

*Исследована также вертикальная тепловая устойчивость унифицированных двухтрубных стояков при действии систем отопления в течение отопительного сезона. Рассматривались пять гидротепловых режимов при различной температуре наружного воздуха и изменяющийся (по общепринятому графику качественного регулирования) температуре воды, поступающей в стояки.*

*Вместе с тем установлено, что для повышения тепловой надёжности унифицированной двухтрубной системы (понимая под этим вероятность соответствие теплопередач в помещении их теплопотерям) следует внести коррективы в принятые отопительный график качественного регулирования.*

*В результате проведенных исследований установлено, что при унифицированной двухтрубной системе соответствие между теплоподачей приборов и теплопотерями помещений скорее достижимо в зданиях со сравнительно более близкими тепловыми нагрузками приборов в однотипных по высоте помещениях. Однако это имеет место не всегда.*

*В таких условиях для обеспечения помещений здания нужным количеством тепла необходимо изменять не только график местного качественного регулирования, но и давление насоса в различные периоды отопительного сезона, дополняя качественное регулирование количественным.*

*Ключевые слова: система отопления, коэффициент теплопередачи, теплопотери.*

**L. M. Utepbergenova<sup>1</sup>, T. A. Tolkunbaev<sup>2</sup>, G. M. Abdukalikova<sup>3</sup>,**

**A. E. Eleusinova<sup>4</sup>, \*A. K. Abisheva<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Nur Sultan.

Material received on 20.09.21.

### TWO-PIPE HEATING SYSTEM FOR TALL BUILDINGS

*This article is about heating multi-storey buildings. The analysis of one-pipe heating system and two-pipe heating system was carried out. There are a number of advantages of a two-pipe system over a single-pipe system. The results of determining the heat transfer of devices in multi-storey residential buildings are presented.*

*The vertical thermal stability of unified two-pipe risers under the action of heating systems during the heating season is also studied. Five hydrothermal modes were considered at different outdoor temperatures and changing (according to the generally accepted schedule of qualitative regulation) the temperature of water entering the risers.*

*At the same time, it is established that in order to increase the thermal reliability of a unified two-pipe system (meaning by this the probability that the heat transfer in the room corresponds to their heat losses), adjustments should be made to the adopted heating schedule of qualitative regulation.*

*As a result of the conducted studies, it was found that with a unified two-pipe system, the correspondence between the heat supply of devices and the heat loss of premises is more likely to be achievable in buildings with relatively closer thermal loads of devices in rooms of the same type in height. However, this is not always the case.*

*In such conditions, in order to provide the premises of the building with the necessary amount of heat, it is necessary to change not only the schedule of local qualitative regulation, but also the pump pressure during various periods of the heating season, supplementing qualitative regulation with quantitative one.*

*Keywords: heating system, heat transfer coefficient, heat loss.*

**\*А. Ш. Рахметова**

С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

**ТЕЗ ТҰРҒЫЗЫЛАТЫН ҒИМАРАТТАР МЕН ҚҰРЫЛЫСТАРДЫ САЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

*Мақалада тез салынатын құрылыстар мен ғимараттардың негізгі түрлері қарастырылған. Оларды салу технологиясы, сондай-ақ негізгі кемшіліктер мен артықшылықтар талданады.*

*Құрастырмалы – модульдік үй құрылысына тікелей құрылыс алаңдарында үй салудың «архаикалық» әдістері. Аз қабатты құрылысқа инновациялық тәсілдер тиімді материалдарды қолдануды ұсынады, оларды қолдану «құрғақ» құрылыс технологияларын енгізуге мүмкіндік беретін іс жүзінде пішінді бұйымдар жасауға мүмкіндік береді.*

*Тұрғын үй секторында да, өндірістік ғимараттар құрылысында да аз қабатты тез тұрғызылатын құрылыстар мен жаппай сериялы ғимараттар құрылысын кең ауқымды кеңейтудің Қазақстанның көптеген өңірлерін қарқынды дамыту және игеру мүмкін емес. Тез салынатын ғимараттар қазіргі заманғы құрылыстың негізі болып саналады. Олардың көмегімен сіз кез-келген масштабтағы сәулеттік нысандарды жасай аласыз.*

*Құрылыс жылдамдығы құрылыс технологиясының осы түріне сұранысты арттыруға мүмкіндік беретін негізгі фактор болып саналады, әсіресе тезірек жүзеге асырылуы қажет шұғыл жобаларға қатысты.*

*Кілтті сөздер: қаңқалы-қалқанды әдіс, қаңқалы-теңтті әдіс, блокты-модульді тез тұрғызылатын ғимараттар алынбайтын қалыптың әдісі.*

**Кіріспе**

Қазіргі жағдайда индустриалды құрылыстың дамуы Ресейдің кіші және үлкен қалаларының қала маңындағы аймақтарында қол жетімді баспана қажеттілігіне, қысқа мерзімде әртүрлі мақсаттағы ғимараттар мен ғимараттар салу қажеттілігіне байланысты. Бұл өте өзекті мәселе құрылыс компанияларын жұмыста қайта бағдарлануға ынталандырады, демек, олар жаңа құрылыс материалдары мен технологияларын өндіру кезінде пайдалана отырып, арзан және тез салынатын объектілердің құрылысын жүзеге асырады [1, 151 б.]

**Материалдар мен әдістер**

Шетелдік және отандық құрылыс тәжірибесін талдау бүгінгі күні тез тұрғызылатын ғимараттардың құрылысы үшін мыналар қолданылатындығын анықтауға мүмкіндік берді: жақтау-қалқан әдісі; ЛСТК-дан жасалған жақтау жүйесі; алынбайтын қалыптау әдісі; жақтау-шатыр әдісі; тез салынатын блок-модульдік ғимараттар.

ЛСТК: көп қабатты құрылыста қоршау конструкциялары ретінде; шатырлы, бөлмеаралық және қабатаралық жабындарды салу процесінде; мансардаларды реконструкциялау және салу процесінде; аз қабатты тұрғын үй құрылысында (таунхаустар, коттедждер, 3 қабатқа дейінгі аз қабатты ғимараттар); коммерциялық құрылыс процесінде (өндірістік қоймаларды, гараждарды, базаларды, ауыл шаруашылығы автотұрақтарын, ғимараттарды, дүкендерді, сауда орталықтарын, көлік тұрақтарын, т. б. салу кезінде) пайдаланылады.; азаматтық мақсаттағы құрылыстарды салу процесінде (мектептер, ауруханалар, балабақшалар, шіркеулер және т.б.) [5, 182 б.].

ЛСТК-ның айрықша ерекшеліктері бар: экологиялылығы (ЛСТК-дан ғимарат салу кезінде қоршаған ландшафтқа (басқа ғимараттар, бұталар, ағаштар) ең аз әсер етеді; құрылыстың жылдамдығы (2–3 ай – ЛСТК-дан ғимарат салу мерзімі); монтаждаудың қарапайымдылығы және жеңілдігі (3–4 жұмысшы ғимарат тұрғызумен айналысады); пайдалану және құрылыс кезеңінде іргетастың шөгудің болмауы; құрылыс кезінде ауыр техниканың болмауы; барлық маусымды монтаждау; сейсмотұрақтылығы (ЛСТК технологиясы бойынша үйлердің үштігі жоғары сейсмикалық белсенділігі бар елдерде кең танымалдылыққа ие болды); 1 шаршы метрдің жоғары өзіндік құны; ұзақ қызмет ету мерзімі; жылу үнемдеудің өте жоғары сипаттамалары.

Жоғарыда аталған артықшылықтар ЛСТК-ға ғана емес, сонымен қатар рамалық құрылымдарға да қатысты.

Қазіргі заманғы құрылыста рамалық панель әдісімен ғимараттардың құрылысы өте танымал. Ғимараттарды салудың бұл әдісі өзін үнемді, жылдам, практикалық және ең бастысы сапалы деп көрсетті. Рамалық панель әдісімен салынған үй-бұл ағаш талшықтарына негізделген сандвич панельдерін қолдана отырып, металл немесе ағаш жақтауының негізінде салынған құрама құрылым.

Бұл құрылымды салу кезінде жылытқыш минералды және базальт жүні, «Эковата», полиуретанды көбік немесе полистирол көбік, сондай-ақ ескі, экологиялық таза жылытқыштар, мысалы, үгінділер, қамыс. Ішкі немесе сыртқы жағынан жылытқыш цемент-чипті тақталармен, фанерамен қапталған, олар қасбеттік сылақпен немесе сырдингпен қапталған.

Бұл әдісті тез құрастырылатын құрылыс жүйелерінің (ТСКЖ) технологиясы деп атаған жөн. ТСКЖ салынатын объектілердің өмірлік циклінің кезеңдерін, объектілердің жүйелік-конструктивтік, құрылыс-ұйымдастырушылық техникалық процестерін қамтиды. Құрылыс нарығын талдағаннан кейін, бұл құрылыстың модульдік құрылымдардың жіктеу негіздері жоқ деген пікір қалыптасады [10].

Каркасты-монолитті, каркасты-панельді (қалқанды), модульдік, модульдік-блоктық, каркасты-көлеңкелік (мембраналық) [2, 160 б.] сияқты тез тұрғызылатын жүйелердің әдістері бар.

**Нәтижелер және талқылау**

Блокты-модульді ғимараттар белгілі бір конфигурациялы модульдерден тұратын әртүрлі көлемдегі құрастырмалы – жиналмалы металл құрылыстар болып табылады. Модульдік ғимараттың негізі болат қаңқасы болып саналады,

оның элементтері дәнекерлеу жұмыстарымен байланысты. Уақытша ғимараттарға іргетассыз (үш қабатқа дейін) орнатуға болатын модульдік ғимараттар кіреді, оларды кез-келген басқа жерге бөлшектеу арқылы оңай тасымалдауға болады.

Блок-модульдік ғимараттардың артықшылықтары: конструкцияның тұрғызылу жылдамдығы (ғимаратты екі қабатқа жинау үшін – 2–3 күн); монтаждаудың қарапайымдылығы мен ыңғайлылығы (блоктар бір-бірімен қосылу үшін бекіту түйіндерімен жабдықталған, монтаждау тез және жұмыс күшінің ерекше шығындарынсыз); жабдықты, кәрізді және жылыту жүйелерін қосымша орнату мүмкіндігі, ішкі әрлеудің өзгермелілігі; блоктарда өте ыңғайлы жағдайларда тұру мүмкіндігі; ұтқырлық [3, 125 б.].

Тез құрылатын кешендерді дамытудың ғылыми-техникалық негіздері, олардың құрамына түрлері, құрылымдық ерекшеліктері және құрылыс технологиялары бойынша әр түрлі, жұмыста зерттелген тез құрылатын құрылыс жүйелері олардың өмірлік циклінің әртүрлі кезеңдерінде жүйелендірілуі керек екенін көрсетеді:

- ғылыми-зерттеу, тәжірибелік-конструкторлық, жобалау-зерттеу және эксперименттік жұмыстар;
- сынау, шығару және сериялық игеру;
- тасымалдау, монтаждау және пайдалану;
- бөлшектеу, консервациялау;
- жаңғырту немесе жою.

Тасымалдау блоктарды монтаждау күрделі логистикалық шешімдерді талап етпейді. Модульдік ғимараттардың кемшіліктеріне мыналар жатады: монотондылық; орнатудың күрделілігі.

Тәжірибе көрсеткендей, құрылыс жүйесін өндіруде және құрылымдарда өзіндік ерекшеліктері бар тез салынатын құрылымдардың өмірлік циклінің даму кезеңдері бар, мысалы:

- зерттеу, жобалау-зерттеу, конструктивті және эксперименттік жұмыс;
- тексеру, шығару, сериялық өндіріс;
- тасымалдау, монтаждау және пайдалану;
- бөлшектеу, жаңғырту және жою [9].

Тез салынатын құрылыс технологиясының отандық және шетелдік аналогтарын талдау модульдік құрылыстың сұранысқа ие болатындығын көрсетеді. Құрылыс процесінде алаңдарда құрылыс техникасы мен жабдығын пайдалануды азайту арқылы қоршаған ортаның экологиясына әсері азаяды [4, 41 б.].

Тез салынатын құрылыс жүйелері құрылыс мерзімдері мен пайдалануға берілуіне, зауыттың жоғары және толық дайындығына және экологиялық тазалығына байланысты танымал.

Іс жүзінде аз қабатты модульдік құрылымдар бар, бірақ соңғы уақытта модульдік технологияның биік, ерекше ғимараттары да дамып келеді.

Басты артықшылығы-сенімділікке, тиімділікке, энергия тиімділігіне, жайлылыққа, экологиялық таза және үнемді талаптарға жауап беретін талаптар.

Талдау негізінде біз қорытынды жасаймыз: бүгінгі таңда құрылымдар мен ғимараттарды салудың көптеген технологиялары жасалды, олардың

әрқайсысының өзіндік кемшіліктері мен артықшылықтары бар [6]. Тез салынатын ғимараттар қазіргі заманғы құрылыстың негізі болып саналады. Олардың арқасында сіз кез-келген масштабтағы сәулеттік нысандарды жасай аласыз. Қолда бар артықшылықтардың арқасында тез салынатын ғимараттар үшін нарықтың үлкен үлесін алуға мүмкіндік туды.

Құрылыс жылдамдығы осы құрылыс технологияларына, әсіресе шұғыл жобаларға қатысты сұранысты арттыруға мүмкіндік беретін негізгі фактор болып табылады.

#### Қорытынды

Талдау негізінде біз қорытынды жасаймыз: бүгінгі таңда құрылымдар мен ғимараттарды салудың көптеген технологиялары жасалды, олардың әрқайсысының өзіндік кемшіліктері мен артықшылықтары бар [7, 217 б.]. Тез салынатын ғимараттар қазіргі заманғы құрылыстың негізі болып саналады. Олардың арқасында сіз кез-келген масштабтағы сәулеттік нысандарды жасай аласыз. Қолда бар артықшылықтардың арқасында тез салынатын ғимараттар үшін нарықтың үлкен үлесін алуға мүмкіндік туды.

Құрылыс жылдамдығы осы құрылыс технологияларына, әсіресе шұғыл жобаларға қатысты сұранысты арттыруға мүмкіндік беретін негізгі фактор болып табылады.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Баринов, А. М., Попов, В. И.** Азаматтық қорғау стратегиясы : мәселелер мен зерттеулер. – 2014. – № 3. – 151 б.
- 2 **Вержбовский, Г. Б.** Композиттік материалдардан жасалған аз қабатты тез салынатын ғимараттар мен құрылыстар. – 2015. – 160 б.
- 3 **Мушинский, А. Н., Зимин, С. С.** Тез салынатын ғимараттар мен құрылыстар салу. Бірегей ғимараттар мен құрылыстар салу. – 2015. – № 2. – 125 б.
- 4 **Болтанова, Е. С.** Экологиялық инновацияларды құқықтық қамтамасыз ету (Құрылыс саласының мысалында) // Экологиялық құқық. – 2018. – № 4. – 41 б.
- 5 **Мушинский, А. Н., Зимин, С. С.** Тез салынатын ғимараттар мен құрылыстардың құрылысы. – 2015. – № 4. – 182 б.
- 6 **Ивакин, Е. К., Белевцов, С. П.** Аз қабатты құрылыс : девелопмент және логистика // Донның инженерлік Жаршысы. – 2011. – № 4. [Электронды ресурс]. – URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/708/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/708/).
- 7 **Абрамян, С. Г., Бурлаченко, О. В.** Аз қабатты құрылыс: ерекшеліктері мен даму мәселелері // Волгоград мемлекеттік сәулет-құрылыс университетінің хабаршысы. Серия : Құрылыс және сәулет. – 2014. – Вып. 38(57). – 217 б.
- 8 **Першина, И. Л.** Сәулет формасы философиясының тұжырымдамаларын жүйелеу // БМТУ хабаршысы. В. Г. Шухов. – 2012. – № 4. – 76 б.
- 9 Сәулет және құрылыс физикасы / Шихов А. Н., Шихов Д. А., 2013.
- 10 Көп пәтерлі тұрғын үйлер. СП РК 3.02-101-2012.

## REFERENCES

- 1 **Barinov, A. M., Popov, V. I.** Strategy of civil protection : problems and research. – 2014. – No. 3. – 151 p.
- 2 **Verzhbovsky, G. B.** Low-rise fast-building buildings and structures made of composite materials. – 2015. – 160 p.
- 3 **Mushinsky, A. N., Zimin, S. S.** Construction of fast-moving buildings and structures. Construction of unique buildings and structures. – 2015. – No. 2. – 125 p.
- 4 **Boltanova, E. S.** Legal support of environmental innovations (on the example of the construction industry) // Environmental law. – 2018. – No. 4. – 41 p.
- 5 **Mushinsky, A. N., Zimin, S. S.** Construction of fast-moving buildings and structures. – 2015. – No. 4. – 182 p.
- 6 **Ivakin, E. K., Belevtsov, S. P.** low-rise construction: development and logistics. In Engineering Bulletin of the Don. – 2011. – № 4. [Electronic resource]. – URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/708/.
- 7 **Abramyan S. G., Burlachenko O. V.** Low-rise construction : features and problems of development. In Vestnik Volgograd State architectural and Construction University. Series : construction and architecture. – 2014. – VIP. 38(57). – P. 217–227.
- 8 **Pershina, I. L.** systematization of concepts of the philosophy of architectural form. In Bulletin of BSTU. V. G. Shukhov. – 2012. – No. 4. – 76 p.
- 9 Physics of Architecture and construction / Shikhov A. N., Shikhov D. A., 2013.
- 10 Apartment buildings. SP RK 3.02-101-2012.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

## \*А. Ш. Рахметова

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.  
Материал поступил в редакцию 20.09.21.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА  
БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

*В статье рассмотрены основные виды быстровозводимых строений и сооружений. Анализируется технология их возведения, а также основные недостатки и преимущества.*

*«Архаичные» способы возведения домов на строительных площадках непосредственно под строительство сборно-модульного дома. Инновационные подходы к малоэтажному строительству предполагают использование эффективных материалов, применение которых позволяет создавать практически фасонные изделия, что позволяет внедрять «сухие» строительные технологии.*

*Интенсивное развитие и освоение многих регионов Казахстана невозможно без масштабного расширения малоэтажного быстровозводимого*

*строительства и массового серийного строительства как в жилом секторе, так и в строительстве производственных зданий. Быстровозводимые здания считаются основой современного строительства.*

*Ключевые слова: каркасно-щитовой метод, каркасно-тентовый метод, блочно-модульные быстровозводимые здания метод несъемной опалубки.*

## \*А. Ш. Рахметова

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,  
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.  
Material received on 20.09.21.

FEATURES OF THE TECHNOLOGY OF PREFABRICATED  
BUILDINGS AND STRUCTURES CONSTRUCTION

*The article discusses the main types of prefabricated buildings and structures. The technology of their construction is analyzed, as well as the main disadvantages and advantages.*

*«Archaic» ways of erecting houses on construction sites directly for the construction of a prefabricated modular house. Innovative approaches to low-rise construction involve the use of effective materials, the use of which allows you to create practically shaped products, which allows you to introduce «dry» construction technologies.*

*Intensive development and development of many regions of Kazakhstan is impossible without a large-scale expansion of low-rise prefabricated construction and mass serial construction both in the residential sector and in the construction of industrial buildings.*

*Keywords: frame-panel method, frame-tent method, block-modular prefabricated buildings, fixed formwork method.*

МРНТИ 73.49.23

<https://doi.org/10.48081/NQFW2081>

\*Р. Ю. Зарипов<sup>1</sup>, Н. С. Сембаев<sup>2</sup>, П. Гаврилов<sup>3</sup>,  
А. Б. Жекенов<sup>4</sup>, Д. Б. Имангазинова<sup>5</sup>

<sup>1,2,5</sup>Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>3</sup>Рижский технический университет,

Латвия, г. Рига;

<sup>4</sup>Высший колледж электроники и коммуникаций,

Республика Казахстан, г. Павлодар

### К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ВЕЛОТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ГОРОДА ПАВЛОДАР

*Проведен анализ состояния развития велотранспорта как части транспортной системы в Республике Казахстан. Определены перспективы использования электровелосипедов.*

*Работа основана на анализе статистических данных по использованию велосипедов в странах Европы, в России и Казахстане, данных по проекту развития и популяризации велотранспорта Presto, на трудах отечественных и зарубежных ученых, правилах дорожного движения, собственных исследованиях. В качестве объекта исследования выбран город Павлодар. Даны основные компоненты для реализации проекта по велошерингу с использованием грузовых и пассажирских электровелосипедов.*

*Обзор исследований показал целесообразность повышения уровня применения велосипедов как части транспортной системы, альтернативного автомобилю. Целесообразность связана, в первую очередь, с экологической безопасностью велосипедов. Авторами разработана концепция использования электровелосипедов в системе велошеринга в городе Павлодар. На основе анализа пассажиропотока определены точки для размещения велостанций, определено количество велосипедов на каждой. Описана модель грузового электровелосипеда с возможностью подзарядки аккумулятора от солнечных панелей, которая разработана и испытана авторами.*

*Авторы пришли к выводу, что при расширении области применения велосипедов возможно повысить их привлекательность как транспортного средства. При возможности перевозки грузов, наличия электропривода, возможности использования инвалидами, наличии льгот на использование можно повысить роль велотранспорта на 20 %.*

*Ключевые слова: велосипед, велошеринг, инфраструктура, электропривод, велостанция, велотранспортная сеть, грузовой электровелосипед, экологическая безопасность.*

### Введение

В последние годы велосипедный транспорт в городах переживает бурный, инновационный этап своего развития. Успех кроется в положительных синергетических эффектах для среды обитания: от борьбы с транспортными и экологическими проблемами до улучшения здоровья людей, экономического развития и оздоровления социально-культурного состояния общества.

Увеличение числа велолюбителей в городах Казахстана постепенно возрастает, вводятся программы по совершенствованию транспортной инфраструктуры, в числе которой и велоинфраструктура; особенно мегаполисов как Алматы и Нур-Султан у производственных и культурных центров, учебных заведений, где организуют велопрокат, строят велодорожки [1].

**Целью данного исследования** является анализ состояния развития значения велосипедов в транспортной системе городов, а также практические рекомендации по организации велошеринга в городе Павлодар.

### Задачи исследования:

– Провести анализ использования велосипеда в крупных городах стран Европы; России и Казахстана

– Обозначить ряд проблем, связанных с низким темпом велосипедизации городов;

– Предложить ряд нововведений по повышению доли велосипедов в городском транспортном потоке на примере города Павлодар.

Вполне очевидно, что в крупных городах и мегаполисах велосипед может стать комфортной, безопасной и экономически оправданной альтернативой личному автомобилю при регулярных перемещениях как самостоятельное транспортное средство, но, прежде всего, за счёт комбинации общественного транспорта и велосипедного движения (рисунок 1), которые требуют меньшего землеотвода, чем автомобильные дороги, и пропускную способность которых сложно и дорого обеспечивать в давно сложившейся застройке.

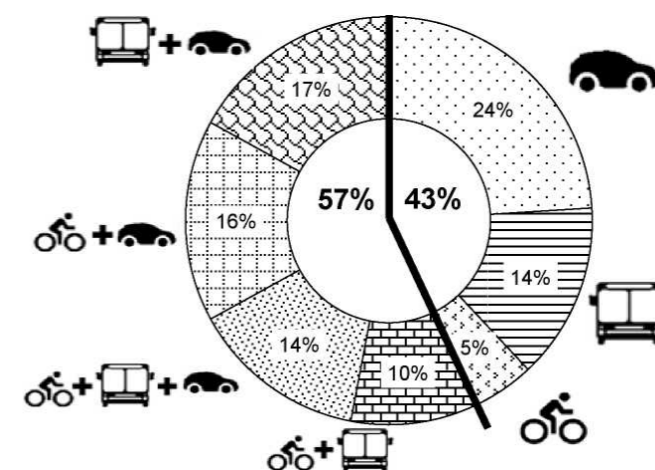


Рисунок 1 – Комбинирование видов транспорта для ежедневных поездок не реже одного раза в неделю



Большая часть поездок на велосипеде совершаются на расстояния, не превышающие 5 км [2]. Около 30 % автомобильных поездок в Германии совершается на расстояние не более 15 км, что вполне по силам среднему велосипедисту на электровелосипеде, а при интермодальной комбинации с другими видами транспорта и более длинные дистанции можно будет преодолевать с использованием велосипеда.

В связи с тем, что популярность велосипедного движения среди молодых европейцев (15–24 года) почти в 2 раза выше, чем среди представителей старших возрастов (55+) – 64 % против 37 % соответственно, вполне объясним рост популярности электровелосипедов, особенно среди старших возрастных категорий населения. При относительной стабильности объёмов продаж велосипедов в ЕС доля реализации электровелосипедов растёт на 15 % ежегодно. В 2018 г. в мире было продано 52 млн электровелосипедов; из них в Европе – 30 миллионов, на Востоке – 4 миллиона, в Северной Америке – 7 миллионов, в Латинской Америке – 6 миллионов, в Африке – 2 миллиона, в Азиатско-тихоокеанском регионе – 44 миллиона. Но этот рост сопровождается и ростом дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с фатальным исходом [3, с. 15–16].

Желаемые изменения (на рисунке 2 показаны стрелками) в модальном распределении поездок различной протяжённости возможны, в частности, при стимулировании развития средств индивидуальной мобильности и ВТС соответствующих «нишевых» групп.

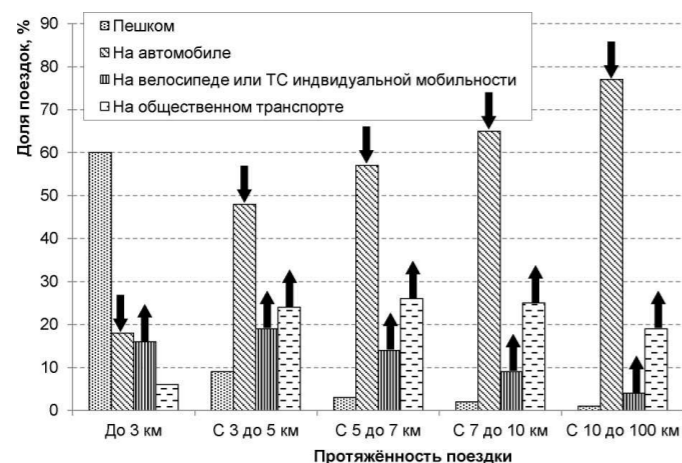


Рисунок 2 – Модальное разделение поездок в зависимости от их протяжённости в Германии

Так, для желаемых изменений в нише поездок протяжённостью до 3 км следует развивать использование малых средств индивидуальной мобильности (самокатов, гироскутеров, сегвеев и т.п.). Для желаемых изменений в нише поездок протяжённостью от 3 до 7 км следует развивать использование велосипедов и электровелосипедов. Для ниши более протяжённых поездок предпочтительными следует признать электромобили, электровеломобили и т.п.

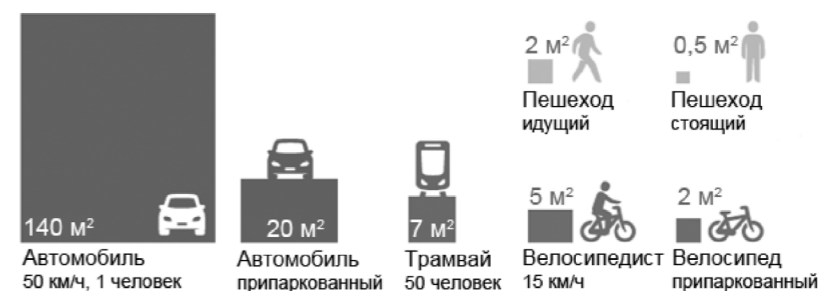


Рисунок 3 – Ориентировочные значения использования городской территории различными видами транспорта

Исследования Нидерландского института анализа транспортной политики показывают, что использование велосипеда для ежедневных поездок снижает риск различных заболеваний физического и психологического характера [4]. Установлена довольно тесная отрицательная корреляция велосипедного движения и уровня заболеваемости диабетом ( $R^2 = 0,7$ ), ожирением ( $R^2 = 0,55$ ), гипертонией ( $R^2 = 0,54$ ). Регулярные велопоездки снижают возможность преждевременной кончины на 41 %, риск смерти от сердечно-сосудистых заболеваний – на 52 %, риск смерти от онкологических заболеваний – на 40 % и продлевают жизнь примерно на 3–14 месяцев.

Наиболее полны концепция по развитию велоинфраструктуры описано в общем руководстве PRESTO. В своде руководств и рекомендаций PRESTO [5] приведены наиболее значимые проекты в области развития использования велосипедов и инфраструктуры к ним. Эти нормативно-технические документы создавались не только на мегаполисы, участвующие в данном проекте, но предназначены для общего пользования как общеевропейские рекомендации.

Эксперты из пяти городов объединились для создания стратегии развития потенциала велосипедного движения в условиях городов.

Города были выбраны по расположению, развитию культуры и туризма, численности населения. Во всех городах были запланированы несколько акций в трёх направлениях: развитие велоинфраструктуры, реклама и пропаганда езды на велосипеде, включение в городскую жизнь электровелосипедов. Также были определены учебные мероприятия и анализ со стороны экспертов.

Отношение пользы велопешеходного движения для укрепления здоровья к ущербу, связанному с риском ДТП и нахождением в зонах с повышенным уровнем шума и загрязнения воздуха, составляет 77:1.

В статье [3] показан потенциал технической замены от 19 % до 48 % пробега, выполняемого автомобилями с двигателями внутреннего сгорания, в зависимости от объёмов грузов и расстояний доставки. Общее ожидание пользователей относительно этой реализации кажется благоприятным. Электрические грузовые велосипеды кажутся совместимыми с организацией работы курьера.

Исследование воздействия гибридных электрических велосипедов на окружающую среду и других видов транспорта, отраженное в работе [4], показало,

что электронные велосипеды – это примерно в 18 раз более энергоэффективный, чем внедорожник, в 13 раз более энергоэффективный, чем седан, в 6 раз более энергоэффективный, чем железнодорожный транзит и примерно такое же воздействие на окружающую среду, как и обычный велосипед.

Существует несколько трудностей, задерживающих развитие велоинфраструктуры в Казахстане. Одна из проблем это отсутствие в законодательстве по строительству понятия велоинфраструктуры в улично-дорожной сети и на автодорогах. Также нет порядка в размещении и хранении велотранспортных средств в местах их скопления. Кроме этого, требуются изменения норм проектирования, в которых определится возможность, требования и необходимость к велоинфраструктуре. Необходимо также отметить пробелы в правилах дорожного движения, касающиеся велосипедистов, такие как новые разметка и знаки [6].

### Материалы и методы

При проведении исследований по оценке эффективности мероприятий по развитию велосипедного движения следует чётко определить субъекты таких исследований, то есть кто несёт затраты, а кто получает полезный результат. В дальнейшем будет рассматриваться общественная эффективность как наиболее общий случай (рисунок 4).

Количественный анализ экологической и экономической эффективности развития велодвижения в большом городе может действовать двумя способами: оценка эффективности каждого велосипедного маршрута в частности либо сети в целом.

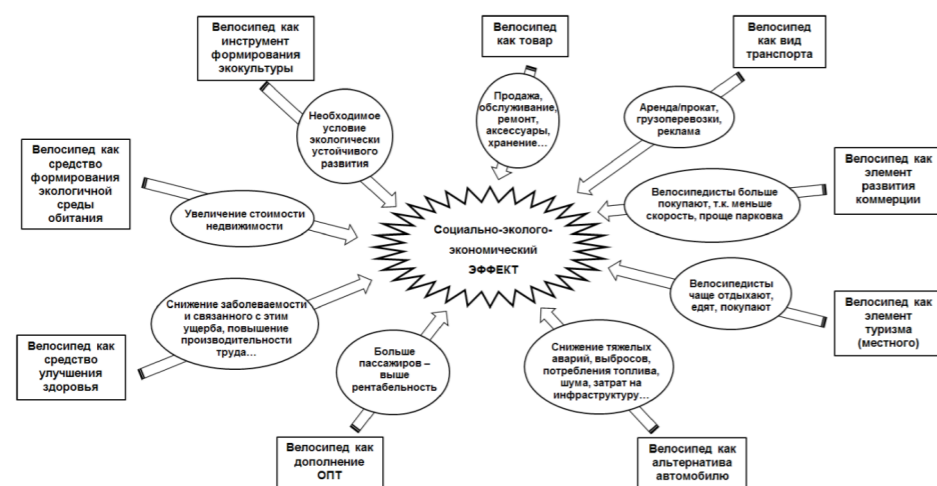


Рисунок 4 – Эффекты от развития велодвижения

Расчёт экологической и экономической эффективности от каждого веломаршрута легче и позволяет провести оценку такого критерия эффективности, как временные затраты. Однако из-за большой разветвлённости транспортных систем мегаполисов оценить эффективность отдельных маршрутов становится затруднительным.

Поэтому более рационально оценивать эффект от велотранспортной сети в целом. Поскольку речь идёт о транспортной инфраструктуре, необходимо сначала оценить величину велотранспортной работы - ключевого показателя, определяющего общественно полезный результат от создания велотранспортной инфраструктуры. Перспективным направлением развития велотранспорта является велошеринг.

Велошеринг – это транспортная система, позволяющая арендовать велосипеды на любой станции самообслуживания велосипедов и вернуть его на любую из имеющихся велостанцию, расположенную в диапазоне обслуживания системы.

Система велошеринга в качестве систем управления использует GPS трекеры, мобильные приложения и системы безналичной оплаты.

Авторами разрабатывается проект по организации велошеринговой инфраструктуры с применением электровелосипедов в городе Павлодар.

Цель проекта – предоставить жителям и туристам города Павлодар бесплатный, либо очень дешёвый доступ к электровелосипеду для поездок по городу, как альтернативу моторизованному общественному транспорту и автомобилю, тем самым улучшить транспортную и экологическую обстановку

В Казахстане всего три крупных велошеринговых проекта, и все они реализованы общественным фондом Velocity.kz в Нур-Султане (Astana bike), Алматы (Almaty bike) и Шымкенте (Shymkent bike).

По данным общественного фонда «Молодежная информационная служба Казахстана» примерно 40 % жителей крупных городов Казахстана имеет личный велосипед, 10 % пользуются велопрокатом, 10 % собираются покупать велосипед, и 40 % в них не нуждаются. Среди опрошенных 31 % жителей ездит на велосипедах каждый день, раз в два дня ездят 14 %, два раза в неделю – 17 %, один раз в неделю – 11 %, несколько раз в месяц – 17 % и один раз в месяц – 10 % [7].

Для расширения сферы использования электровелосипедов необходимо расширить модельный ряд и разработать серию грузопассажирских электровелосипедов, способных перевозить грузы до 50 кг либо одного пассажира. Не исключено, что таким пассажиром может быть человек с ограниченными возможностями. Авторами модернизирован серийный скоростной велосипед Viva Garick 1.0, что позволило перевозить на нем грузы или пассажира. Электропривод облегчает управление и повышает эффективность перевозки. Опытный образец представлен на рисунке 5. Электронабор имеет мощность 350 Вт, аккумулятор ёмкостью 15 Ач. Электровелосипед развивает скорость 25 км/ч при полной загрузке. Солнечная панель мощностью 30 Вт обеспечивает постоянную зарядку аккумулятора.

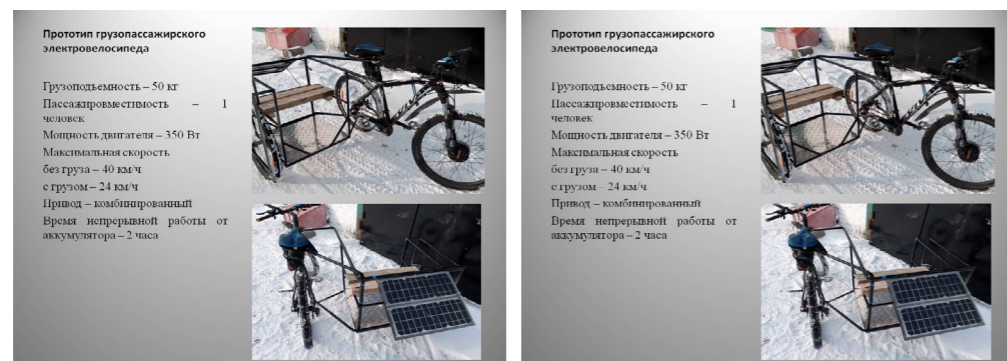


Рисунок 5 – Прототип грузового электровелосипеда

### Результаты

При проектировании велоинфраструктуры в городе происходит столкновение двух противопоставленных друг другу фактора.

Во-первых, рассматривая велосипедистов как отдельных участников городского потока необходимо выделять для них отдельные полосы, территории и коммуникации;

Во-вторых, выделение пространства для велосипедистов отрицательно скажется на остальных участниках движения, которые также имеют потребности в расширении, но городские условия не всегда это позволяют.

Если использовать электровелосипеды как транспортное средство для постоянных поездок, необходимо сконцентрироваться на разработке утилитарной велотранспортной сети. Цель утилитарной сети – соединять пункты назначения, совершаемых с определенными целями. Маршруты для данных поездок должны быть короткими и прямыми. Создание утилитарной велотранспортной сети в условиях города должно происходить в три этапа.

Первый этап – определение точек пересечения маршрутов велотранспорта.

Город Павлодар представляет собой быстро развивающийся промышленный центр экономической и культурной жизни Казахстана. В связи с этим городские власти придают развитию системы городского пассажирского транспорта большое значение.

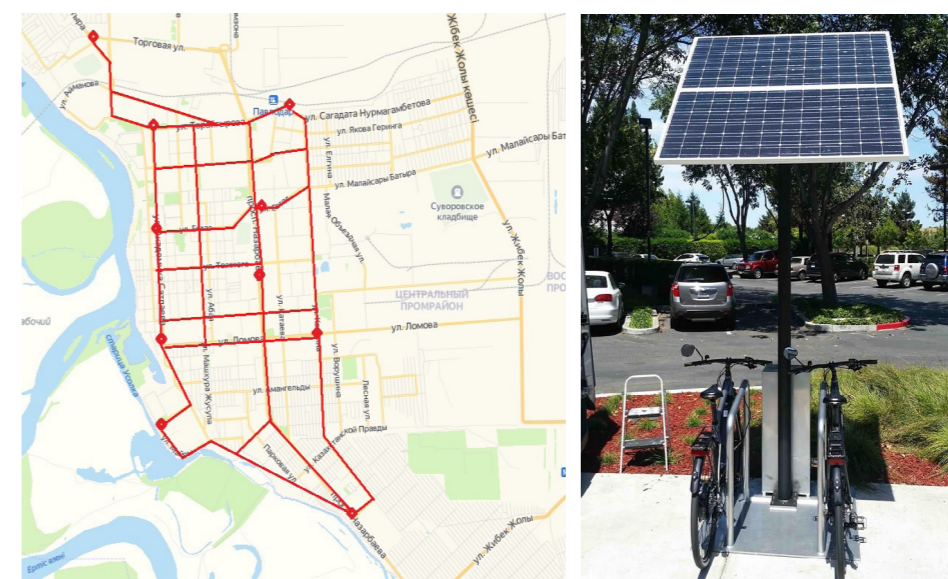
В 2015 году проведена работа по оптимизации пассажиропотоков общественного транспорта города. В соответствии с календарным планом работ была разработана, согласована и представлена методика обследования пассажиропотоков в системе городского транспорта общего пользования. Для проведения обследования пассажиропотоков ТОО «НИИ ТК» привлек субподрядную организацию в лице Павлодарского государственного университета, факультета металлургии, машиностроения и транспорта, преподаватели, магистранты и студенты.

На основании полученных данных авторами определены места наибольшей концентрации пассажиропотоков, что позволило определить пункты размещения велостанций.

Второй этап – объединение полученных точек и линий в маршруты. Здесь рассчитывают интенсивность движения, скопления транспорта, графики движения, наиболее и наименее напряженные участки.

Третий этап – построение иерархии сети. Велотранспортная сеть должна быть обособлена, замкнута, логична, доступна и безопасна.

На рисунке 9 а показаны основные точки расположения велостанций и наиболее выгодные маршруты поездок.



а – план велотранспортной сети города Павлодар,  
б – солнечная зарядная станция.

Рисунок 9 – Параметры велосети

На начальном этапе параметры велотранспортной сети представлены следующим образом:

- В городе Павлодар устанавливаем 10 станций;
- Вместимость одной станции 12 велосипедов;
- Общее число электровелосипедов – 120;
- Максимальное расстояние между соседними станциями – 3 км;
- Время работы проката: 15 апреля – 15 октября

Станции будут снабжены солнечными панелями питания, что позволит заряжать электровелосипеды на стоянках (Рисунок 9,б).

### Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- В настоящее время высокими темпами идет повышение доли использования велосипедов как транспортного средства по всему миру;
- В странах СНГ, в том числе и Казахстане велосипед является альтернативным доступным транспортным средством только в мегаполисах. Но и там есть проблемы с велоинфраструктурой.

– Электровелосипеды в качестве транспортных средств для велошеринга пока обширно не используются. Также необходимо распространение модификаций электровелосипедов для перевозки грузов и пассажиров;

– Предложенные схемы маршрутов велошеринга в городе Павлодар и запуск велошеринга позволят снизить нагрузку на дорожную сеть, частично сократить выбросы отработавших газов ДВС автомобилей за счет снижения их участия в транспортном потоке, а также предоставить горожанам дешевый или бесплатный способ передвижения по городу. Выбранные улицы являются наиболее оптимальными для прокладки велодорожек. Ширина дорожного полотна позволяет отделить велодорожки.

Расположение станций будет отражено в приложении на картах, а также на информационных табло.

Внедрение велодвижения как транспортной системы должно происходить поэтапно.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Зарипов, Р. Ю., Фисенко, А., Серикпаев, Т., Габдолла, Ж.** Велогибриды как элемент транспортной системы городов будущего // Журнал «Наука и техника Казахстана». – № 3–4. – 2017.

2 **Сова, А. Н., Трофименко, Ю. В., Буренин, В. В.** Велотранспорт для городов России // Журнал «Транспорт Российской Федерации». – № 4(47). – 2013.

3 Technical Potential and User Requirements for the Implementation of Electric Cargo Bikes in Courier Logistics Services / Gruber J.; Ehrler V.; Lenz B. 13th WCTR, July 15-18, 2013. – Rio de Janeiro, Brasil.

4 **Samadhan S. Avhad, Tushar P. Tidke, Nayan S. Sathe.** Hybrid Electric Bicycle a New Transportation for Future Smart Grid. In SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering (SSRG-IJEEE). – Volume 4 Issue 5. – May 2017.

5 **Harms L.** Cycling Facts / L. Harms, M. Kansen. Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (KiM). – 2018. – 16 p.

6 RU-PRESTO\_Cycling\_Policy\_Guide\_Infrastructure. Развитие велодвижения. Велосипедная инфраструктура – Общее руководство / Dirk Dufour, «Ligtermoet & Partners». – Нидерланды, Февраль 2010 г.

7 **Боровских, О. Н.** Развитие велоинфраструктуры как решение транспортных и экологических проблем современного города // Российское предпринимательство. – 2017. – Том 18. – № 15. – С. 2263–2276. – doi: 10.18334/rp.18.15.38172.

8 Годовой отчет общественного фонда «Молодежная информационная служба Казахстана». – Алматы, 2019. – 23 с.

9 **Бойко, А. Д., Шубенкова, К. А.** Смарт велосипед как средство профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и кардиореабилитации // Материалы XIX международного конгресса «Здоровье и образование в XXI веке». 18-20 декабря 2017, г. Москва.

10 **Zaripov, R., Gavrillov, P.** Study of dynamic characteristics of electric bicycles. In Journal Procedia Computer Science. – 149. – 2019. – P. 307–313.

11 **Коростелева, Н. В., Нестеренко, Е. В.** Развитие велоинфраструктуры в городах как способ снижения негативного влияния транспортной системы на городскую среду // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. – 2016. – № 45(64). – С. 146–157.

12 **Дюфур, Д.** Велосипедная инфраструктура. Общее руководство / Dirk Dufour; пер. с англ. А. Панкова. – PRESTO, 2010. – 61 с.

13 EuroVelo. Guidance on the route development process. / Ádám Bodor et al. – Brussels : European Cyclists' Federation, 2011.

14 **Солманидина, Н. В., Хохлушина, Е. Д.** Формирование системы велоинфраструктуры в городе. In International Journal of Humanities and Natural Sciences. – Vol. 1-1. – DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10443.

15 **Trofimenko, Y.** Methodology and Results of Assessing Safety of Bicycle Infrastructure in Russian Cities / Y. Trofimenko, E. Shashina. In Transportation Research Procedia. – 20. – 2017. – P. 653–658.

16 **Рётинг, М., Ефименко, Д.** Роль велосипеда в изменении системы городского транспорта. Российский и зарубежный опыт. – М. : Фонд им. Фридриха Эберта, 2014.

17 **Borgman, F.** The cycle balance : benchmarking local cycling conditions / F. Borgman. In Sustainable transport : planning for walking and cycling in urban environments. – 2003. – P. 511–524.

18 **Wilson, D. G.** Bicycling science, 3rd edition. / D. G. Wilson, J. Papadopoulos. – Cambridge, MA : The MIT Press, 2004. – 476 p.

19 **Parkin, J.** Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal / J. Parkin, J. Rotheram. In Transport Policy. – 2010. – 17(5). – P. 335–341.

20 Cycle infrastructure design / Local transport note. – Scottish Department for Transport. – Norwich : TSO, 2008.

#### REFERENCES

1 **Zaripov, R., Fisenko, A., Serikpaev, T., Gabdolla, Zh.** Velogibridy kak element transportnoy sistemy gorodov budushego [Bicycle hybrids as an element of the transport system of cities of the future]. In Journal «Science and Technology of Kazakhstan». – № 3–4. – 2017 (in Russian).

2 **Sova, A. N., Trofimenko, Yu. V., Burenin, V. V.** Velotransport dlya gorodov Rossii [Cycling for Russian cities Magazine]. In Journal «Transport of the Russian Federation». – № 4 (47). – 2013 (in Russian).

3 Technical Potential and User Requirements for the Implementation of Electric Cargo Bikes in Courier Logistics Services / Gruber J; Ehrler V; Lenz B. 13th WCTR, July 15–18, 2013. – Rio de Janeiro, Brasil.

4 **Samadhan S. Avhad, Tushar P. Tidke, Nayan S. Sathe.** Hybrid Electric Bicycle a New Transportation for Future Smart Grid. In SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering (SSRG-IJEEE). – Volume 4. – Issue 5. – May 2017.

5 **Harms, L.** Cycling Facts / L. Harms, M. Kansen. – Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (KiM), 2018. – 16 p.

6 RU-PRESTO\_Cycling\_Policy\_Guide\_Infrastructure. Cycling development. Cycling Infrastructure – General Management / Dirk Dufour, Ligtermoet & Partners. – The Netherlands, February 2010.

7 **Borovskikh, O. N.** Razvitie veloinfrastruktury kak reshenie transportnyh i ekologicheskikh problem v gorodakh [Cycling Infrastructure Development as a Solution to Transport and Environmental Problems of a Modern City]. In Russian Journal of Entrepreneurship. – 2017. – Volume 18. – No. 15. – P. 2263–2276. – DOI: 10.18334 / rp.18.15.38172 (in Russian).

8 Annual report of the public fund «Youth Information Service of Kazakhstan». – Almaty, 2019. – 23 p.

9 **Boyko, A. B., Shubenkova, K. A.** Smart velosiped kak sredstvo profilaktiki serdechno-sosudistih zabolevaniy [Smart bike as a means of preventing cardiovascular diseases and cardiac rehabilitation]. In Materials of the XIX International Congress «Health and Education in the XXI century». – Moscow, 2017, December 18–20 (in Russian).

10 **Zaripov, R., Gavrilov, P.** Study of dynamic characteristics of electric bicycles. In Journal Procedia Computer Science. – 149. – 2019. – P. 307–313.

11 **Korosteleva, N. V., Nesterenko, E. V.** Razvitie veloinfrastruktury v gorodakh kak sposob snizheniya negativnogo vliyaniya transportnoy sistemy na gorodskuyu sredu [The development of bicycle infrastructure in the cities as a way to reduce the negative impact of the transport system]. In Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya : Stroitel'stvo i arkhitektura. – (45(64)). 146–157 (in Russian).

12 **Dufour, D.** Cycling infrastructure. General Management / Dirk Dufour; transl. from English A. Pankova. – PRESTO, 2010. – 61 p.

13 EuroVelo. Guidance on the route development process. / Ádám Bodor et al. – Brussels : European Cyclists' Federation, 2011.

14 **Solmanidina, N. V., Khokhlushina, E. D.** Formirovanie sistemy velotransportnoy infrastruktury v gorode [Formation of a system of bicycle infrastructure in the city]. In International Journal of Humanities and Natural Sciences. – Vol. 1-1. – DOI: 10.24411 / 2500-1000-2018-10443 (in Russian).

15 **Trofimenko, Y.** Methodology and Results of Assessing Safety of Bicycle Infrastructure in Russian Cities / Y. Trofimenko, E. Shashina. In Transportation Research Procedia. – 20. – 2017. – P. 653–658.

16 **Rötting, M., Efimenko, D.** Rol velosipeda v izmenenii sistemy gorodskogo transporta [The role of the bicycle in changing the urban transport system]. Russian and foreign experience. – Moscow : Foundation. Friedrich Ebert, 2014.

17 **Borgman, F.** The cycle balance : benchmarking local cycling conditions / F. Borgman. In Sustainable transport : planning for walking and cycling in urban environments. – 2003. – P. 511–524.

18 **Wilson, D. G.** Bicycling science. 3rd edition. / D. G. Wilson, J. Papadopoulos. – Cambridge, MA : The MIT Press, 2004. – 476 p.

19 **Parkin, J.** Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal / J. Parkin, J. Rotheram. In Transport Policy. – 2010. – 17(5). – P. 335–341.

20 Cycle infrastructure design / Local transport note. – Scottish Department for Transport. – Norwich : TSO, 2008.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

\***Р. Ю. Зарипов<sup>1</sup>, Н. С. Сембаев<sup>2</sup>, П. Гаврилов<sup>3</sup>,**

**А. Б. Жекенов<sup>4</sup>, Д. Б. Имангазинова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,5</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>3</sup>Рига техникалық университеті,

Латвия, Рига қ.;

<sup>4</sup>Электроника және коммуникациялар жоғары колледжі,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### ПАВЛОДАР ҚАЛАСЫ ЖАҒДАЙЫНДА ВЕЛОКӨЛІКТІҢ ТАРТЫМДЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ МӘСЕЛЕСІНЕ

*Қазақстан Республикасындағы көлік жүйесінің бір бөлігі ретінде велокөліктің даму жағдайына талдау жүргізілді. Электровелосипедтерді пайдалану перспективалары анықталды.*

*Жұмыс Еуропа елдерінде, Ресей мен Қазақстанда велосипедтерді пайдалану бойынша статистикалық деректерді, Presto велокөлігін дамыту және поляризациялау жобасы бойынша деректерді, отандық және шетелдік ғалымдардың еңбектерін, жол қозғалысы ережелерін, жеке зерттеулерді талдауға негізделген. Зерттеу нысаны ретінде Павлодар қаласы таңдалды. Жүк және жолаушылар электровелосипедтерін пайдалану арқылы велошеринг бойынша жобаны іске асыру үшін негізгі компоненттер берілген.*

*Зерттеулерге шолу велосипедтерді автомобильге балама көлік жүйесінің бөлігі ретінде пайдалану деңгейін арттырудың орындылығын көрсетті. Орындылық, ең алдымен, велосипедтердің экологиялық қауіпсіздігімен байланысты. Авторлар Павлодар қаласында велошеринг жүйесінде электровелосипедтерді пайдалану тұжырымдамасын әзірледі. Жолаушылар ағынын талдау негізінде велостанцияларды орналастыру нүктелері анықталды, әрқайсысында велосипедтер саны анықталды. Авторлар әзірлеген және сынақтан өткізген күн панельдерінен батареяны зарядтау мүмкіндігі бар жүк электрлік велосипедінің моделі сипатталған.*

*Авторлар велосипедтерді қолдану аясын кеңейту кезінде олардың көлік құралы ретіндегі тартымдылығын арттыруға болады деген қорытындыға келді. Жүктерді тасымалдау мүмкіндігі, электржетектің болуы, мүгедектердің пайдалану мүмкіндігі, пайдалануға жеңілдіктердің болуы кезінде велокөліктің рөлін 20 %-ға арттыруға болады.*

*Кілтті сөздер: велосипед, велошеринг, инфрақұрылым, электр жетегі, велостанция, велокөлік желісі, жүк электровелосипед, экологиялық қауіпсіздік.*

\*R. Zaripov<sup>1</sup>, N. S. Sembaev<sup>2</sup>, P. Gavrilov<sup>3</sup>,  
A. B. Zhekenov<sup>4</sup>, D. B. Imangazino<sup>5</sup>

<sup>1,2,5</sup>Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>3</sup>Riga Technical University, Institute of Railway Transport,  
Latvia, Riga;

<sup>4</sup>Higher College of Electronics and Communications,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 20.09.21.

## TO THE ISSUE OF INCREASING THE ATTRACTIVENESS OF BIKE TRANSPORT IN THE CONDITIONS OF THE CITY OF PAVLODAR

*The analysis of the development of cycling as a part of the transport system in the Republic of Kazakhstan. The prospects for the use of electric bicycles are determined.*

*Materials and methods: The work is based on the analysis of statistical data on the use of bicycles in European countries, in Russia and Kazakhstan, data on the project for the development and popularization of bicycle transport Presto, the works of domestic and foreign scientists, traffic rules, and own research. The city of Pavlodar was chosen as the object of research. The main components for the implementation of a bicycle sharing project using freight and passenger electric bicycles are given.*

*A review of studies has shown the feasibility of increasing the use of bicycles as an alternative vehicle. The expediency is associated, first of all, with the environmental safety of bicycles. The authors have developed the concept of using electric bicycles in the bicycle sharing system in the city of Pavlodar. Based on the analysis of passenger traffic, points for placing bicycle stations have been determined, the number of bicycles on each has been determined. The article describes a model of an electric cargo bike with the possibility of recharging the battery from solar panels, which was developed and tested by the authors.*

*The authors concluded that by expanding the scope of use of bicycles, it is possible to increase their attractiveness as a vehicle. If it is possible to transport goods, the availability of an electric drive, the possibility of using by the disabled, the availability of benefits for use, the role of cycling can be increased by 20 %. Infrastructure in cities such as Pavlodar is not yet fully prepared for the increased use of bicycles as a means of transportation. An integrated approach to this issue, attracting investments, promoting a healthy lifestyle and protecting the environment will make it possible to intensify cycling in the country.*

*Keywords: bicycle, bicycle sharing, infrastructure, electric drive, bicycle station, bicycle transport network, electric cargo bicycle, environmental safety.*

МРНТИ 73.31.41

<https://doi.org/10.48081/BABN8221>

\*Н. В. Костюченков<sup>1</sup>, А. Б. Абдрахманов<sup>2</sup>, Б. Т. Оразалиев<sup>3</sup>,  
А. Н. Қоңқыбаева<sup>4</sup>, А. Р. Мукашева<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан

## К ПРОБЛЕМАМ ПОТЕРИ И СОХРАНЕНИЯ ТЕПЛА В ДВС

*Рассмотрены проблемные вопросы эксплуатации автотранспорта, в частности, утилизация, уменьшение потери и сохранения тепловой энергии в двигателях внутреннего сгорания (ДВС). В итоге все эти мероприятия приведут к повышению КПД двигателя в целом. Теплопередача передается тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Найдены самые практически доступные способы утилизации тепловой энергии и пути ее сохранения. Выполнен анализ научных работ. Даны теоретические расчетные формулы потери тепловой энергии. Даны диаграммы для практического использования при проектировании таких аккумуляторов тепла для транспортных средств. Показаны пути повышения ресурсов эксплуатации ДВС автотранспорта. Указаны основные используемые теплоизоляционные материалы как, асбест, пробка, слюда, шлаковая, минеральная или стеклянная вата, шерсть и др. Указаны основные эксплуатационные режимы работы двигателей внутреннего сгорания, определяющие в значительной степени его долговечность, основной износ двигателей происходит во время их запусков и прогреве из-за температурного фактора. Предлагаемый вакуумный способ сохранения тепла открывает самые новые направления основания для повышения эффективности теплоизоляции конструкции корпусов аккумуляторов тепла. Найдены экспериментальные зависимости сохранения тепла в ТА от их объема.*

*Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания (ДВС), аккумуляторы тепла (АТ), коэффициент полезного действия (КПД), транспортная техника, процесс теплопередачи, толщина изоляционного слоя, эффективность теплоизоляции.*

### Введение

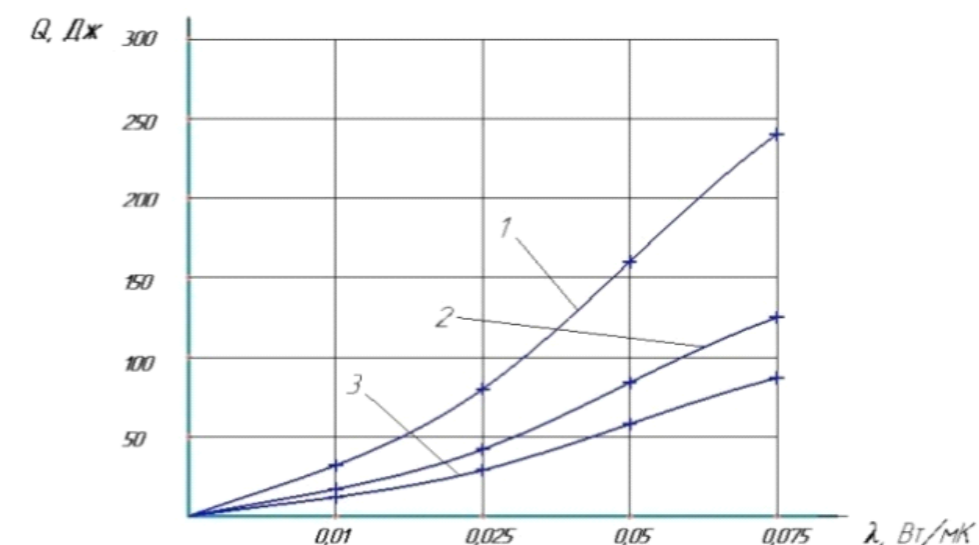
В настоящее время существует ряд исследований, посвященных вопросам потери и сохранения тепловой энергии в ДВС и применение аккумуляторов тепла (АТ) в транспортной технике как источник сохранения тепловой энергии. Преобразование вырабатываемой тепловой энергии из двигателей внутреннего сгорания на полезную работу используется только часть энергии, определяемую его КПД. Большая же часть этой энергии, получаемой при сгорании топлива, расходуется на нагрев окружающей среды, как вместе с отработавшими газами, так и через радиатор системы охлаждения двигателя. Тепло это, выбрасываемое во время работы двигателя в прямом смысле выбрасывается на «ветер» в пустую,

которое целесообразно было бы при пуске самого этого же мотора, особенно при низких температурах окружающей среды в зимний период [1].

При этом технически возможные различные методы сохранения тепловой энергии, и использования в качестве источника тепла обычной системы охлаждения представляется наиболее рациональным. Осуществление легкого запуска т.е. запуск при вращении коленчатого вала до 1/2 оборота двигателя, при низких температурах окружающей среды, является проблемой наиболее актуальной, особенно в тех странах, где температурный режим имеет высокую амплитуду колебания, из-за резкой континентальности климата. В названных условиях запуск двигателя осуществлять практически не возможно без прогрева из других внешних источников. Даже при удачном запуске двигателя в указанных условиях, значительная разница перепада температур в двигателях может вызвать повышенное внутреннее напряжение в его деталях, что повлечет за собой преждевременного выхода из строя из за износа их деталей. Для того чтобы предотвратить появление таких нежелательных явлений рекомендуется применять устройства, которые наряду с облегчением запуска двигателей, также имеющие возможности прогреть их изнутри [2].

#### Материалы и методы

Обеспечение достаточным количеством теплоты в аккумуляторах тепла для запуска двигателя зависит от разных факторов, и одним из которых является сохранения тепловой энергии в самом аккумуляторе. Поэтому выбор высокоэффективную изоляцию, чтобы уменьшить потери тепла является важным решением. В рассматриваемом аккумуляторе тепла (АТ) предлагаем использовать на наш взгляд наиболее эффективную вакуумную изоляцию корпуса. Чтобы определить высокую эффективность данного устройства следует изучить и исследовать процесс теплопередачи и возможности уменьшения его в процессе эксплуатации автотранспорта. Теплопередача представляет собой весьма сложный процесс, где тепло передается одновременно всеми тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением [3]. Вначале исследуем один фактор, который принимает непосредственное участие в процессе теплопередачи в областях с пониженным давлением (вакуума), которым является давление – длина пробега молекул. Точнее, средняя длина свободного пробега, которая определяется длиной между столкновениями двух частиц (то есть, атомы, молекулы воздуха). Снижение давления уменьшает количество частиц, но при этом увеличивается длина пробега частиц. Сокращение соответствующих размеров системы не влияет на этот масштаб длины, за исключением случаев, когда они становятся меньше длины свободного пробега. Однако изменение давление воздуха между стеночным пространстве оказывает существенное влияние на теплопроводность. Чтобы рассчитать теплотери в аккумуляторе тепла (АТ), необходимо определить толщину изоляционного слоя. Построив диаграмму, достаточно с большой точностью можно будет определить необходимую толщину изоляционного слоя. На рисунке 1. предоставлена диаграмма зависимости потерь тепла от коэффициента теплопроводности относительно толщины изоляционного слоя (вакуума) [3, 4].



1 – толщина изоляционного слоя – 10 мм; 2 – толщина изоляционного слоя – 15 мм; 3 – толщина изоляционного слоя – 20 мм.  
Рисунок 1 – Потери количества тепла в зависимости от коэффициента теплопроводности относительно толщины изоляционного слоя

На основе диаграммы можно прийти к выводу, что после преодоления определенного критического значения параметра давления, средняя длина свободного пробега частиц увеличивается, а коэффициент теплопроводности резко понижается, открывая тем самым новые направления основания для повышения эффективности теплоизоляции конструкции корпусов аккумуляторов тепла (АТ) [5]. При проектировании аккумуляторов тепла ставится задача, как было сказано ранее необходимо не только обеспечение сохранения тепла, а также обеспечение при этом допускаемых разности температур внутри деталей конструкции ДВС. В установившемся режиме плотность потока тепловой энергии, передающейся посредством теплопроводности, пропорциональна градиенту температуры (закон Фурье):

$$\vec{q} = -\kappa \text{grad}(T), \quad (1)$$

где  $\vec{q}$  – вектор плотности теплового потока – количество энергии, проходящей в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной каждой оси;

$\kappa$  – коэффициент теплопроводности;

$T$  – температура. Знак – минус в правой части показывает, что тепловой поток направлен противоположно вектору  $\text{grad } T$  (то есть в сторону скорейшего убывания температуры) [6, 7].

#### Результаты и обсуждение

Существование градиента температуры и является необходимым условием для возникновения теплопроводности, как наличие градиента концентрации,

необходимо, чтобы происходил процесс диффузии. Из диаграммы можно заметить, что коэффициент теплопроводности изменяется с изменением давления воздуха и приближается к нулю. Названное свойство связано с низкой концентрацией материальных частиц в вакууме, способные переносить тепло. Тепло в вакууме может передаваться еще с помощью излучения. Поэтому, для уменьшения потери тепла через стенки аккумулятора делают двойными и серебрят внутри стенки, т.е.покрывают серебром (такая поверхность лучше отражает излучение), а воздух между ними откачивают. За счёт сказанного и достигаются минимальные потери тепла. Так как теплообмен между стенками, например, термоса с окружающим воздухом минимален, поэтому в нём хорошо сохраняются тепло жидкости. Таким образом, теплообменник может обеспечивать нужное количество теплоты для использования в нужды транспорта независимо от смены погоды [8]. Количество теплоты, передаваемой горячей средой к внутренней стенке цилиндра путем конвективного теплообмена, можно определить по уравнению Ньютона – Рихмана:

$$Q = \alpha_1 \pi d_{вн} e (t_1 - t'_{см}), \quad (2)$$

где,  $\alpha_1$  – коэффициент тепло отдачи от горячей среды с постоянной температурой  $t_1$  к внутренней поверхности стенки, учитывающий все виды теплообмена;

$\pi d_{вн} e$  – расчетная внутренняя поверхность.

Тепловой поток, передаваемой теплопроводностью через цилиндрическую стенку, определяется по уравнению:

$$Q = \alpha_1 \pi d_{вн} e (t_1 - t'_{см}), \quad (3)$$

Тепловой поток, передаваемой от наружной стенки к холодной среде, определяется по той же формуле конвективного теплообмена Ньютона – Рихмана:

$$Q = \alpha_2 \pi d_{нар} \ell (t''_{см} - t_2), \quad (4)$$

где  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от второй наружной поверхности стенки к холодной среде с постоянной температурой  $t_2$ ;

$\pi d_{нар} \ell$  – расчетная наружная поверхность стенки, м<sup>2</sup>.

Величины Q в уравнениях (2), (3) и (4) одинаковы. Сколько теплоты воспринимает стенка при стационарном режиме, столько же она и отдает.

Решая эти три уравнения совместно относительно разности температур, а затем, складывая их почленно, получим:

$$Q = \frac{\pi e (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_{нар}}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{нар}}} \text{ вт}, \quad (5)$$

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_{нар}}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{нар}}} = K_{ц}, \text{ вт/м} \cdot \text{град}, \quad (6)$$

где  $K_{ц}$  – линейный коэффициент теплопередачи.

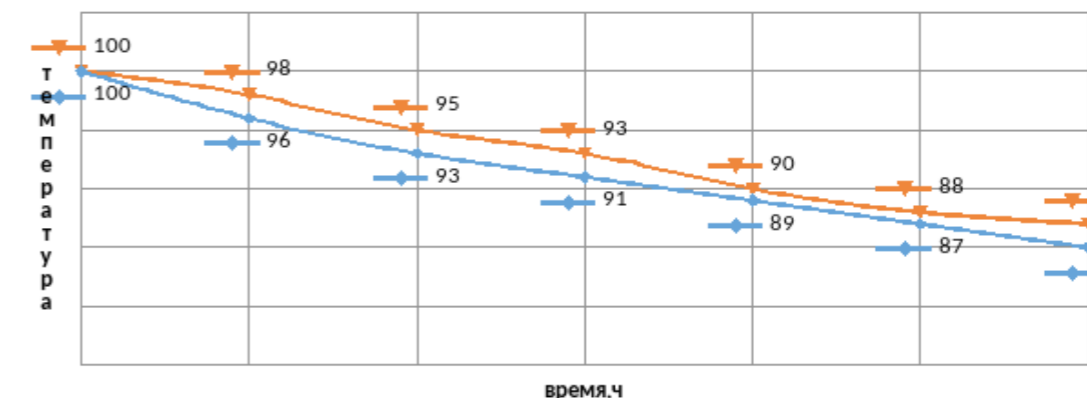
Также в качестве тепловой изоляции внешней поверхности могут быть использованы любые материалы сравнительно с низким коэффициентом теплопроводности – асбест, пробка, слюда, шлаковая, минеральная или стеклянная вата, шерсть и др. [8, 9].

Для изучения и сравнения характеристик заводских термосов проводились испытания при комнатной температуре 20 °С. На протяжении 6 часов с интервалом в 1 час произведено измерения температуры воды в термосах.

Таблица 1 – Результаты потерь тепла в зависимости от объёма и времени

№ п/п	Материал и объём ёмкости	Время, час						
		0	1	2	3	4	5	6
1	Метал. V = 1л	100 °С	96 °С	93 °С	91 °С	89 °С	87 °С	85 °С
2	Метал. V = 2л	100 °С	98 °С	95 °С	93 °С	90 °С	88 °С	87 °С

На основании исследований приведенных в таблице 1 строится график изменения температуры воды в термосе металлическом разного объёма с истечением времени.



V = 1л – нижний график; V = 2л – верхний график.

Рисунок 2 – График изменения температуры воды в термосе металлическом разного объёма с течением времени

Результаты исследования термоса показывают, что в течение 6 часов термосы сохраняют температуру воды более 85 °С, к этим качествам можно добавить, чем больше объём термоса, тем лучше он сохраняет тепло [10].



**Выводы**

1 Эффективность работы аккумуляторов тепла зависит от самого коэффициента теплопроводности, т.е. от его толщины вакуумного изоляционного слоя корпуса. Коэффициент теплопроводности равен нулю при абсолютном вакууме.

2 Основными эксплуатационными режимами работы двигателя являются пусковые режимы, определяющие в значительной степени его долговечность, так как основной износ двигателей происходит во время запуска и прогреве из-за температурного фактора.

3 Достаточно, не прогревом ДВС, до рабочей эксплуатационной температуры (до 85 °С охлаждающей жидкости в системе), присадки масла не успевают нейтрализовать кислоты, образующиеся из продуктов неполного сгорания топлива, что вызывают также усиленный коррозионный износ поршней, колец и цилиндров.

4 Чем больше объема жидкости в аккумуляторах тепла (АТ), тем лучше он сохраняет температуру.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Левенберг, В. Д., Ткач, М. Р., Гольстрем, В. А.** Аккумуляирование тепла [Текст] // Техника. – 2012. – № 2. – С. 112.

2 **Оразалиев, Б. Т., Абдрахманов, А. Б., Сайдалиев Е. Н.** Облегчение запуска двигателя в отрицательной температуре при помощи теплового аккумулятора [Текст] // Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения-12 : Молодежь в науке – инновационный потенциал будущего». – 2016. – № 1. – С. 132.

3 **Костюченков, Н. В., Абдрахманов, А. Б., Оразалиев, Б. Т.** К методике теплового расчета устройства теплообменника и пути интенсификации теплоотдачи [Текст]. – 2017. – С. 414.

4 **Костюченков, Н. В., Абдрахманов, А. Б., Оразалиев, Б. Т.** Особенности расчета теплообмена трубчатых теплообменников // Сборник статей по материалам III Международной научно-практической конференции [Текст]. – 2019. – С. 183.

5 Представлен на ИГЕУ 10 [Текст] // Ковентри, Великобритания. – 2013.

6 **Эндрю, Р. Н., Ричард, Б. Н., Филипп, Ш. П.** ДВС двигателя внутреннего сгорания при холодном запуске : Обзор проблем, причин и потенциальных решений, преобразование энергии и управление [Текст]. – 2016. – № 82. – С. 35.

7 **Клеменс, Ж. М.** Теплопроводность воздуха при пониженных давлениях и масштабах длины [Текст]. – 2013. – № 1. – С. 45.

8 **Резер, С. М.** Взаимодействие транспортных систем [Текст]. – М. : Наука, 2013. – № 2. – С. 246.

9 **Бекмагамбетов, М. М., Смирнова, С. Н.** Транспортная система Республики Казахстан : Современное состояние и проблемы развития [Текст]. – Алматы, 2014. – С. 446.

10 **Козлов, И. Т.** Пропускная способность транспортных систем [Текст]. – М. : Транспорт, 2014. – С. 216.

**REFERENCES**

1 **Levenberg, V. D., Tkach, M. R., Golstrem, V. A.** Akkumulirovanie tepla [Heat storage] [Text]. – K. : «Tehnika», 2012. – P. 112.

2 **Orazaliyev, B. T., Abdrakhmanov, A. B., Saidalin, E. N.** Oblegchenie zapuska dvigatelya v otricatelnoitemperature pri pomoshi teplovogo akkumulyatora [Facilitation of starting the engine in negative temperatures using a heat accumulator] [Text]. In Materialy Respublikanskoi nauchno-teoreticheskoi konferencii «Seifullinskie chteniya-12 : Molodezh v nauke – innovacionnyi potencial budushego» [Materials of the Republican Scientific and Theoretical Conference «Seifullin Readings-12 : Youth in Science – Innovative Potential of the Future»]. – 2016. – V. 1, 2. – P. 132.

3 **Kostyuchenkov, N. V., Abdrakhmanov, A. B., Orazaliyev, B. T.** K metodike teplovogo rascheta ustroystva teploobmennika i puti intensivatsii teplootdachi [To the method of thermal calculation of a heat exchanger device and ways to intensify heat transfer] [Text]. – 2017. – P. 414.

4 **Kostyuchenkov, N. V., Abdrakhmanov, A. B., Orazaliyev, B. T.** Osobennosti rascheta teploobmena trubchatykh teploobmennikov. Sbornik statei po materialam III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii [Features of the calculation of heat transfer of tubular heat exchangers. Collection of articles on materials OR International scientific and practical conference] [Text]. – 2019. – P. 183.

5 Predstavlen na IGEU 10 [Presented at VTMS 10] [Text]. – Coventry, Velikobritaniya. – 2013.

6 **Andrew, R. N., Richard, B. N., Philip, Sh. P.** DVS dvigatelya vnutrennego sgoraniya pri holodnom zapuske : Obzor problem, prichin i potencialnykh reshenii, preobrazovanie energii i upravlenie [Internal combustion engine cold-start efficiency : A review of the problem, causes and potential solutions Energy Conversion and Management] [Text]. – 2016. – P. 35.

7 **Clemens, J. M.** Teplovodnost vozduha pri ponizhennykh davleniyah I masshtabah dliny [The Thermal Conductivity of Air at Reduced Pressures and Length Scales. Test and measurement] [Text]. – 2013. – P. 45.

8 **Rezer, S. M.** Vzaimodeistvie transportnykh system [Interaction of transport systems] [Text]. – 2013. – P. 246.

9 **Bekmagambetov, M. M., Smirnova, S. N.** Transportnaya sistema Respubliki Kazakhstan : sovremennoe sostoyanie i problem razvitiya [Transport system of the Republic of Kazakhstan : current state and development problems] [Text]. – Almaty, 2014. – P. 446.

10 **Kozlov, I. T.** Propusknaya sposobnost transportnykh system [The capacity of transport systems] [Text]. – M. : Transport, 2014. – P. 216.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

*\*Н. В. Костюченко<sup>1</sup>, А. Б. Абдрахманов<sup>2</sup>, Б. Т. Оразалиев<sup>3</sup>,  
А. Н. Қоңқыбаева<sup>4</sup>, А. Р. Мукашева<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.  
Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### ІШТЕН ЖАНУ ҚОЗГАЛТҚЫШЫНЫҢ ЖЫЛУЫН ЖОҒАЛТУ ЖӘНЕ САҚТАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

*Автокөлікті пайдаланудың проблемалық мәселелері, атап айтқанда, іштен жану қозғалтқыштарында (ІЖҚ) жылу энергиясын утилизациялау, жоғалтуды азайту және сақтау мәселелері қаралды. Нәтижесінде, барлық осы іс-шаралар тұтастай алғанда қозғалтқыштың тиімділігін арттыруға әкеледі. Жылу беру үш жолмен беріледі: жылу өткізгіштік, конвекция және сәулелену. Жылу энергиясын жоюдың ең қол жетімді әдістері және оны сақтау жолдары табылды. Ғылыми жұмыстарға талдау жасалды. Жылу энергиясын жоғалтудың теориялық есептеу формулалары келтірілген. Көлік құралдарына арналған осындай жылу аккумуляторларын жобалау кезінде практикалық қолдануға арналған диаграммалар келтірілген. Автокөлік ІЖҚ пайдалану ресурстарын арттыру жолдары көрсетілген. Асбест, тығын, слюда, шлак, минералды немесе шыны жүн, жүн және т.б. сияқты негізгі жылу оқшаулағыш материалдар көрсетілген, ішкі жану қозғалтқыштарының жұмысының негізгі жұмыс режимдері көрсетілген, оның беріктігін айтарлықтай анықтайды, қозғалтқыштардың негізгі тозуы оларды іске қосу және қыздыру кезінде пайда болады. температуралық факторға байланысты. Жылуды сақтаудың ұсынылған вакуумдық әдісі жылу батареялары корпусының жылу оқшаулау тиімділігін арттыру үшін базаның жаңа бағыттарын ашады. Жылу сақтаудың олардың көлеміне эксперименттік тәуелділігі табылды.*

*Кілтті сөздер: іштен жану қозғалтқышы (ІЖҚ), жылу аккумуляторы (ЖА), пайдалы әсеркоэффициенті (ПӘК), көліктік техника, жылу беру үрдісі, изоляциялық қабаттың қалыңдығы, жылу изоляциясының тиімділігі.*

*\*N. V. Kostyuchenkov<sup>1</sup>, A. B. Abdrakhmanov<sup>2</sup>, B. T. Orazaliev<sup>3</sup>,  
A. N. Kongkybayeva<sup>4</sup>, A. R. Mukasheva<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,  
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.  
Material received on 20.09.21.

### PROBLEMS OF HEAT LOSS AND PRESERVATION IN ICE

*The problematic issues of motor transport operation are considered the loss and conservation of thermal energy in internal combustion engines (ICE). As a result, all these measures will lead to an increase in the efficiency of the engine generally. Heat transfer is transmitted in three ways: conduction, convection and radiation. The most practically available ways of heat energy utilization and ways of its preservation are found. The analysis of scientific papers. Theoretical formulas for the loss of thermal*

*energy are given. Diagrams for practical use in designing such heat accumulators for vehicles are given. The ways of increasing the exploitation resources of motor transport internal combustion engines are shown. The main heat insulation materials used as asbestos, cork, mica, slag, mineral or glass wool, wool, etc. are indicated. The main operating modes of internal combustion engines, which determine to a large extent its durability, are indicated. The main wear and tear occur during starting and warming up of the engines due to the temperature factor. The proposed vacuum method of heat preservation opens the newest directions of the basis for increasing the efficiency of thermal insulation of the design of heat accumulator shells. Experimental dependences of heat preservation in TA on their volume were found.*

*Keywords: internal combustion engines (ICE), heat accumulators (HA), coefficient of efficiency, transport equipment, heat transfer process, insulation layer thickness, thermal insulation efficiency.*

\*A. W. Dahham

Iraq, Baghdad

**VIBRATION AND CAVITATION EFFECTS ON THE COOLING SYSTEM IN ICE DUE TO PISTON-CYLINDER DESIGN**

*The problem of possible pitting and cavitation in internal combustion engines is receiving considerable attention. Both theoretical and simulation studies are carried out in order to understand the noise and vibration sources, using a force equation. A foundation is also laid to study cavitation and find possible ways of increasing the life of the engine components. Some important results have been shown with negative pressures leading to the fact that the developed models predict the presence of cavitation in the cylinder liner surface, stressing the importance of improving the piston and cylinder liner design.*

*Keywords: cavitations, vibrations, cooling system, cooling fluid, internal combustion engine.*

**Introduction**

Periodic loads on structures may result in severe vibratory motion. Letting the structure interact with a fluid affects the characteristics of the system behaviour. This coupled problem is of interest when designing for example cylinder liners in combustion engines. Neglecting this effect may result in unexpected occurrence of severe pitting and failure due to cavitation. This presentation explores modeling and simulation of the occurrence of cavitation on a liquid cooled cylinder liner surface.

In the world today, there are more vehicles as compared to other machines. Of the two internal combustion engines, IC Diesel Engines are now replacing the more expensive petrol engines. They are mostly being used as commercial vehicles due to its fuel economy. Diesel Engines do not always have the good news, for beneath its fuel economy, comes the noise factor. They are known to generate a lot of noise as a result of piston slap. They operate at high peak pressure giving rise to greater noise and vibration.

The noise generates a lot of vibration in the cylinder chamber which causes cylinder liners to vibrate, there is also the effect of the piston slap which is the result of the piston side thrust on the cylinder liner as it moves to and fro from TDC to BDC, the net effect of which makes the cooling fluid in the cooling chamber to undergo vibration and then the production of the unwanted cavitation in the cooling chamber. The forces causing the cavities to form and collapse are due to a continuous series of high frequency pressure pulsation in the liquid.

It has been a fact that the effects of cavitation are very worrying. Some of these effects are so damaging that they can even destroy the whole cylinder liner and thus a new one needs to be purchased. Theoretical aspect of this work deals with various types

of cavitation, how they affect the cylinder liner, the dynamics of the piston-crankshaft assembly, the piston slap and the vibration forces that comes with it [1–4].

The purpose of this work is to model a coupled fluid-structure interaction featuring cavitation at the interfacing domain boundary, applied on the cylinder liner and cooling liquid in an internal combustion diesel engine. Focus is put on representing the varying pressure distribution along the cylinder liner, assuming negative pressure values imply presence of cavitation.

**Materials and methods**

An overview of the cavitation phenomenon and its physics based on a literature survey is given here as a support to the modelling approach in the present work.

It is difficult to give a precise definition of cavitation. Cavitation is the formation and activity of bubbles or cavities in a liquid. Formation of bubbles refers to creation and change in existing cavities. These bubbles may be suspended in a liquid or may be trapped in tiny cracks either in the liquid's boundary surface or in solid particles suspended in the liquid.

The expansion of the minute bubbles may be affected by reducing the ambient pressure by static or dynamic means. The bubbles then become large enough to be visible to naked eye. These bubbles may contain a gas or vapour or a mixture of both. If these bubbles contain gas, then the expansion may be due to diffusion of dissolved gases from the liquid to the bubble, or by pressure reduction, or by temperature rise. However the bubbles chiefly contain vapour, reducing the ambient pressure sufficiently at essentially at constant temperature causes an explosive vapourization into the cavities which is the phenomenon that is called cavitation, where as rising the temperature sufficiently causes mainly the vapour bubbles to grow continuously producing boiling. This gives an interesting observation that explosive vapourization or boiling does not occur until a threshold is reached. F. Ronald Young [1].

The start of cavitation is observed with the formation of a bubble. The growth and collapse of a bubble play an important role in the determining the type of cavitation to follow. Following are the ways in which a bubble may grow.

1 For a gas filled bubble, it could be by pressure reduction or increase in temperature. This is called gaseous cavitation.

2 For vapour filled bubble, by pressure reduction. This is called vaporous cavitation.

3 For a gas filled bubble, by diffusion. This is called degassing as gas comes out the liquid.

4 For a vapour filled bubble, by sufficient temperature rise. This is called boiling.

A critical examination of cavitation reveals the following facts.

1 Cavitation is a liquid phenomenon and does not occur in solid and gases.

2 Cavitation is the result of pressure reduction in the liquid and thus presumably, controlling the amount of the minimum absolute pressure can control it. If the pressure is reduced and maintained for sufficiently long duration of time, it will produce cavitation.

3 Cavitation is a dynamic phenomenon and it is concerned with the growth and collapse of cavities.

Some significant observations from previous experiments show some interesting characteristics of cavitation, which are listed below.

1 Cavitation occurs in a liquid, which is moving, or at rest.

2 There is no indication that the occurrence of cavitation is either restricted to or excluded from solid boundaries. This goes to show that cavitation may occur either in the body of the liquid or on a solid boundary.

3 The description is concerned with dynamics of cavity behaviour. A distinction is implied between the hydrodynamic phenomenon of cavity behaviour and its effects such a cavitation erosion.

Cavitation can be classified in to two types based on its occurrence.

Due to tension in the liquid. The engine, in generating mechanical power also generates waste heat energy because they are not perfectly efficient. Cooling is therefore prevalent in order to prevent the engine from cooking in its own heat.

Even though some waste heat goes out with the exhaust in most IC engines, further cooling is required to prevent the engine from material and lubricant failure. For this work we concentrate on liquid coolants.

Most liquid coolants contain a greater amount of water and approximately 30 percent of ethylene glycol. The cooling process starts at the radiator where there is a store of the liquid. The liquid is pumped into the cooling chamber going round the wet side of the cylinder liners. The heat transfer is such that the liner gets cooled and the liquid gets hot. The hot liquid is then returned to the radiator where a fan blows around it to cool it for the process to begin again. For an effective running of the engine the cooling liquid is kept at a temperature between 70° and 75° Centigrade. A low temperature cooling liquid also slows down the efficiency of the engine.

The above diagram shows the cold liquid in the lower hose the hot liquid in the upper hose. The rest of the parts are labeled in the diagram in figure.1 above.

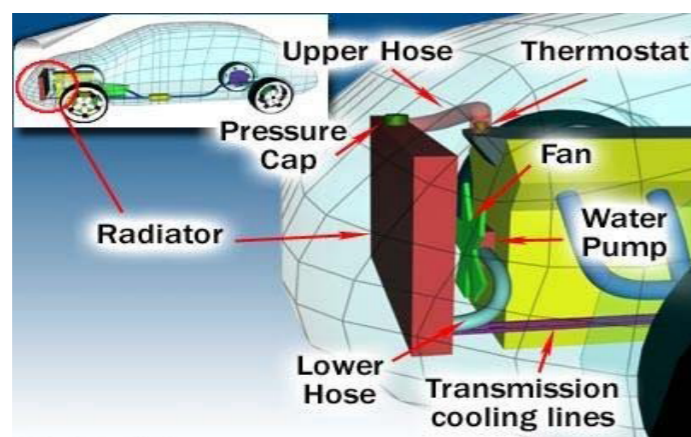


Figure 1 – Layout of a typical cooling system of IC Diesel Engine

The geometry of the parts in the studied system was created using the Autodesk Inventor CAD software. The figures 2 and 3 below show the piston cylinder liner geometry and assembly. Shigley and Uicker [5, 6].

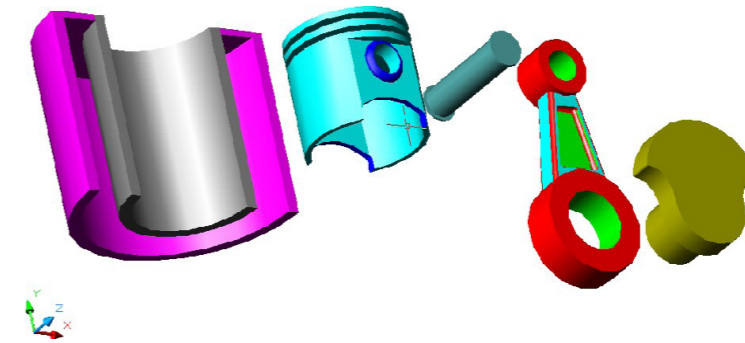


Figure 2 – The parts in the studied system

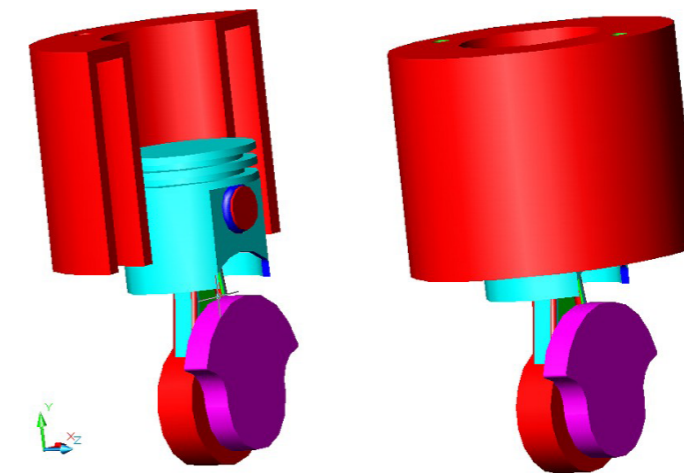


Figure 3 – Total Assembly

### Results and discussion

The presence of cavitation in IC Diesel engines is real and cannot be overlooked. Its damaging effect leads to economic and material constrain on its owners.

In this study much was done on the literature review of cavitation, force equations on the piston cylinder/assembly of an IC diesel engine and geometrical model of the piston and the cylinder.

The data gathered were used as boundary conditions to generate a model using the software ANSYS.

A steady state analysis and a harmonic analysis were considered for both a 2D and a 3D model. Use was also made of a thermal and acoustic properties pertaining to grey cast iron and fluid, the materials in question. The effect of thermal properties led to results of higher values of pressure variations in magnitude.

From the results gathered it was shown that there were areas along the fluid/solid boundary that experienced negative pressures, the purpose of the work, negative pressure predicts that cavitation can occur.

This work was done using ANSYS. In furtherance to this work can be done using other software like IDEAS to get the mode shapes and other quantise that were not done here.

An effort has been made to analyse the sources and types of cavitation. Piston slap is a source of Vibratory cavitation and Acoustic cavitation as well.

So to reduce the cavitation the piston motion has to be studied and the following are some of the ways of reducing the vibrations and noise coming from the piston-slap [7–11].

1 Reducing the clearance between piston and cylinder liner, this is based on the assumption that the impacting energy increases with increasing the lateral travel distance of the piston. Although this technique is simple and easy to understand, there are a few drawbacks, it is difficult to achieve such a small clearance on the production line and maintain it during the whole operating life of the engine. If the clearance is too small then it's a source of a wear and tear in the engine.

2 Wrapping the piston skirt with leather, this is an attempt to add a cushioning or a compliant material on the piston side. This method is not directly applicable due to its durability. But a similar technique has been developed with Teflon pad on the thrust side.

#### Conclusions

Following are some of the modern developments in the piston design in reducing the vibrations and noise:

- 1 Thermal strut piston.
- 2 Articulated piston.
- 3 Piston pin offset.

*Thermal strut piston* contains a steel strut inside the piston skirt. This strut controls the clearance between the piston and the cylinder wall during all operating conditions by controlling thermal expansion.

*Articulated piston* is a combination of two pistons which perform the two main functions of a piston separately, that of a slider and vertical load carrier. The piston is divided into two parts connected to each other by a piston pin. The upper part (mainly ring land) carries the combustion force and can rock back and forth. The lower part (skirt) slides up and down in the cylinder. With this design it is easier to control the oil film thickness than when using a solid piston.

*Piston pin offset* is commonly used and the idea is to shift the impact timing by setting the piston off the centre line of the piston and thus centre in the cylinder. The amount of offset might differ from cylinder to cylinder.

Studies of the performance of the above mentioned and other designs are left as suggestions for future work.

#### REFERENCES

- 1 **Ronald, F. Young** Wartford college. Hertfordshire. Cavitation. – McGraw-Hill Publishing company, 1989.
- 2 **Knapp, R. T., Daily, J. W., Hammitt, F. G.** Cavitation. – McGraw Hill Publishing company, 1970.
- 3 **Cho, S.-H., Ahn, S.-T., Kim, Y.-H.** A Simple Model to Estimate the Impact Force Induced by Piston Slap. In Journal of Sound and Vibration. – 2001. – Vol. 255. – P. 229–242.

4 **Ungar, E. E., Ross, D.** Vibration and Noise Due to Piston-Slap in reciprocating Machinery. In Journal of Sound and Vibration 2, Bolt Beranek and Newman Incorporated. – 1965. – P. 132–146.

5 **Shigley, J. E., Uicker, J. J.** Theory of Machines and Mechanisms. – McGraw-Hill Publishing company, 1980.

6 ANSYS Release 9 Documentation [Electronic resource]. – www.answers.com.

7 **Hadad Sam D.** Theoretical Treatment of Piston Motion. – 1992.

8 **Piston, I. C.** Engine for the prediction of piston slap excitation. In Mechanism and Machine Theory. – Vol. 30. – P. 253–269.

9 **Griffiths, W. J., Skorecki, J.** Some Aspects of Vibration of a Single Cylinder Diesel Engine. In Journal of Sound and Vibration. 1964. – Vol. 1. – P. 345-364.

10 **Hadad, S. D., Fortscue, P. W.** Simulating Piston Slap by Analogue Computer. In Journal of Sound and Vibration. – 1976. – Vol. 52. – P. 79–80.

11 **Dellis, P.** Tribology in Industry. – 2017. – No 2. – P. 260–269.

Material received on 20.09.21.

*\*В. А. Дахам*

Ирак, Багдад к.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

#### ПОРШЕНЬ-ЦИЛИНДР ҚҰРЫЛЫСЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ІЖМ-ДАҒЫ САЛҚЫНДАТУ ЖҮЙЕСІНЕ ДІРІЛ МЕН КАВИТАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІ

*Ішкі жану моторларында коррозия мен кавитацияның пайда болу проблемасына көп көңіл бөлінеді. Теориялық және имитациялық зерттеулер күш теңдеуін қолдана отырып, шу мен діріл көздерін түсіну үшін жүргізіледі. Сондай-ақ, кавитацияны зерттеу және қозғалтқыш компоненттерінің қызмет ету мерзімін ұзартудың мүмкін жолдарын іздеу үшін негіз қаланды. Кейбір маңызды нәтижелер теріс қысым кезінде көрсетілді, нәтижесінде жасалған модельдер цилиндр гильзасының бетінде кавитацияның болуын болжайды, бұл поршень мен цилиндр гильзасының қрылысын жақсартудың маңыздылығын көрсетеді.*

*Кілтті сөздер: кавитация, діріл, салқындату жүйесі, салқындатқыш, ІЖМ.*

*\*В. А. Дахам*

Ирак, г. Багдад.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

**ВИБРАЦИОННОЕ И КАВИТАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ  
НА СИСТЕМУ ОХЛАЖДЕНИЯ В ДВС ИЗ-ЗА КОНСТРУКЦИИ  
ПОРШЕНЬ-ЦИЛИНДР**

*Проблеме возможного образования точечных коррозии и кавитации в двигателях внутреннего сгорания уделяется значительное внимание. Как теоретические, так и имитационные исследования проводятся для того, чтобы понять источники шума и вибрации, используя уравнение силы. Также заложен фундамент для изучения кавитации и поиска возможных путей увеличения срока службы компонентов двигателя. Некоторые важные результаты были показаны при отрицательных давлениях, что привело к тому, что разработанные модели предсказывают наличие кавитации на поверхности гильзы цилиндра, подчеркивая важность улучшения конструкции поршня и гильзы цилиндра.*

*Ключевые слова: кавитация, вибрация, система охлаждения, охлаждающая жидкость, ДВС.*

МРНТИ 73.29.21

<https://doi.org/10.48081/BLLW1015>

**\*О. Т. Балабаев<sup>1</sup>, Б. Ш. Аскароев<sup>2</sup>, Қ. Б. Қоңыртаева<sup>3</sup>,  
М. Т. Шәкетаева<sup>4</sup>, Ә. М. Сайлау<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Карагандинский технический университет,  
Республика Казахстан, г. Караганда

**АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ АО «ШУБАРКОЛЬ КОМИР»**

*В статье представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных в области промышленного железнодорожного транспорта. Исследована работа промышленного железнодорожного транспорта в условиях АО «Шубарколь комир». Проведенный анализ основных показателей (вскрыша, добыча угля, вагонооборот, простой вагона под грузовыми операциями) работы АО «Шубарколь комир». Анализ проведен с использованием научной методики по прогнозированию изменений основных показателей промышленных предприятий на перспективу. Прогноз осуществлен путем аппроксимации основных показателей в функции времени. По результатам расчета получены аппроксимирующие функции и графики изменений основных показателей работы АО «Шубарколь комир» на перспективу. Рассмотрены основные мероприятия по совершенствованию работы промышленного железнодорожного транспорта АО «Шубарколь комир».*

*Ключевые слова: промышленный транспорт, карьерный транспорт, промышленный железнодорожный транспорт, вагонооборот, простой вагонов, аппроксимация, прогнозирование.*

**Введение**

АО «Шубарколь комир» – высокомеханизированное предприятие, выпускающее угольную продукцию, начиная от рядового угля для электростанций и крупных котельных и до сортовых углей различных классов, также является производителем полукокса. Предприятие охватывает переработку угля, эксплуатацию подъездных путей, железнодорожные перевозки, маневровые работы, а также добычу и продажу угля. АО «Шубарколь комир» развивает собственную железнодорожную сеть: за последние время было построено 12 887 метров путей; с юга к предприятию подходит железная дорога протяженностью 121 километр от станции «Кызылжар» – ранее приходилось грузить уголь окружным путём; в 2014 году на севере продолжена железная дорога «Шубарколь–Аркалык» протяженностью 214 километров. Общее руководство поездной и маневровой работой на подъездном пути АО «Шубарколь комир» осуществляется начальником района ЖДЦ через начальника станции «Породная» и ДСП. На подъездных путях предприятия допустимая скорость подачи порожних и груженых вагонов на данный момент составляет: железнодорожный перегон –

станция «Породная» - станция «Кызылжар» – 40 км/час; по стрелочным переводам по главному пути – 15 км/час; по стрелочным переводам по боковому пути – 15 км/час; погрузочные тупики – не более 15 км/час; на вскрышных путях – не более 15 км/час; на весах – 3 км/час [1, 2].

На путях станций АО «Шубарколь комир» осуществляются погрузо-разгрузочные работы, подача и уборка вагонов, ежегодно растет количество сформированных поездов к отправлению, в связи с чем разработка мероприятий по совершенствованию работы промышленного железнодорожного транспорта в условиях АО «Шубарколь комир» является актуальной задачей.

**Материалы и методы**

Для разработки направлений совершенствования основных показателей работы промышленного железнодорожного транспорта необходимо произвести прогнозирование основных показателей работы АО «Шубарколь комир».

Прогнозирование показателей работы АО «Шубарколь комир» проводилось для следующих основных показателей: вскрыша, добыча угля, вагонооборот; простой вагона под грузовыми операциями. Аппроксимируя зависимости основных показателей работы предприятия от времени, предполагает, что имеется экспоненциальная зависимость вида

$$y = ae^{bx} \tag{1}$$

Для определения аппроксимирующих функций, рассчитывающих показатели работы (вскрыша, добыча угля, вагонооборот, простой вагона под грузовыми операциями) АО «Шубарколь комир» предварительно собраны исходные данные [2], которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для прогноза

Показателей работы	Вскрыша // Добыча угля // Вагонооборот // Простой вагона под грузовыми операциями			
	2017	2018	2019	2020
Года	2017	2018	2019	2020
Условные года, x	0	1	2	3
Значение показателей, y	12//10,5//	13,9//11//	15,1//14,6//	16,7//14,9//
	72177//18,3	73729//19,5	77791//19,8	78120//21,5
Значение натурального логарифма показателя Y	2,485//2,351//	2,632//2,398//	2,715//2,681//	2,815//2,701//
	11,187//2,907	11,208//2,970	11,262//2,986	11,266//3,068

Значения коэффициентов системы уравнений для расчета параметров аппроксимирующей функции определены по следующим формулам [3–5]:

$$\begin{aligned} \sum x_i &= 6; \sum x_i^2 = 14; \\ \sum x_i^{Bc} y_i^2 &= 16,508 // \sum x_i^{Dy} y_i^2 = 15,864 // \sum x_i^B y_i^2 = 67,530 // \sum x_i^П y_i^2 = 18,146; \\ \sum y_i^{Bc} &= 10,647 // \sum y_i^{Dy} = 10,132 // \sum y_i^B = 44,923 // \sum y_i^П = 11,931. \end{aligned}$$

Для решения системы линейных уравнений используем метод Крамера [3–6]:  
– при количестве двух неизвестных {1: b; 2: a}, система линейных уравнений примет вид

$$\begin{cases} 14 \cdot b + 6 \cdot a_1 = 16,508 \\ 6 \cdot b + 4 \cdot a_1 = 10,647 \end{cases} // \begin{cases} 14 \cdot b + 6 \cdot a_1 = 15,864 \\ 6 \cdot b + 4 \cdot a_1 = 10,132 \end{cases} // \begin{cases} 14 \cdot b + 6 \cdot a_1 = 67,530 \\ 6 \cdot b + 4 \cdot a_1 = 44,923 \end{cases} // \begin{cases} 14 \cdot b + 6 \cdot a_1 = 18,146 \\ 6 \cdot b + 4 \cdot a_1 = 11,931 \end{cases},$$

– главный определитель матрицы

$$\Delta = \begin{vmatrix} 14 & 6 \\ 6 & 4 \end{vmatrix} = 20;$$

– вспомогательные определители матрицы

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} 16,508 & 6 \\ 10,647 & 4 \end{vmatrix} = 2,149 // \Delta_1 = \begin{vmatrix} 15,864 & 6 \\ 10,132 & 4 \end{vmatrix} = 2,666 // \\ \Delta_1 &= \begin{vmatrix} 67,530 & 6 \\ 44,923 & 4 \end{vmatrix} = 0,582 // \Delta_1 = \begin{vmatrix} 18,146 & 6 \\ 11,931 & 4 \end{vmatrix} = 0,997; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \begin{vmatrix} 14 & 16,508 \\ 6 & 10,647 \end{vmatrix} = 50,012 // \Delta_2 = \begin{vmatrix} 14 & 15,864 \\ 6 & 10,132 \end{vmatrix} = 46,659 // \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} 14 & 67,530 \\ 6 & 44,923 \end{vmatrix} = 223,741 // \Delta_2 = \begin{vmatrix} 14 & 18,146 \\ 6 & 11,931 \end{vmatrix} = 58,159; \end{aligned}$$

– коэффициенты аппроксимирующей функции

$$\begin{aligned} b &= \frac{\Delta_1}{\Delta} = 0,107 // b = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 0,133 // \\ b &= \frac{\Delta_1}{\Delta} = 0,029 // b = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 0,050; \\ a_1 &= \frac{\Delta_2}{\Delta} = 2,501 // a_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 2,333 // \\ a_1 &= \frac{\Delta_2}{\Delta} = 11,187 // a_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 2,908; \\ a &= e^{a_1} = 12 // a = e^{a_1} = 10 // \\ a &= e^{a_1} = 72190 // a = e^{a_1} = 18. \end{aligned}$$

Подставляя расчетные данные в формулу (1) получим аппроксимирующие функции для определения прогнозируемых значений:

– «Вскрыша»

$$V_B = 12 \cdot e^{0,107 \cdot (T-2017)}; \tag{2}$$

– «Добыча угля»

$$Q_{уг.} = 10 \cdot e^{0,133 \cdot (T-2017)}; \tag{3}$$

– «Вагонооборот»

$$U_{\text{ваг.}} = 72190 \cdot e^{0,029 \cdot (T-2017)}; \quad (4)$$

– «Простой вагона под грузовыми операциями»

$$t_{\text{гр.опер.}}^{\text{ваг.}} = 18 \cdot e^{0,050 \cdot (T-2017)}. \quad (5)$$

### Результаты и обсуждение

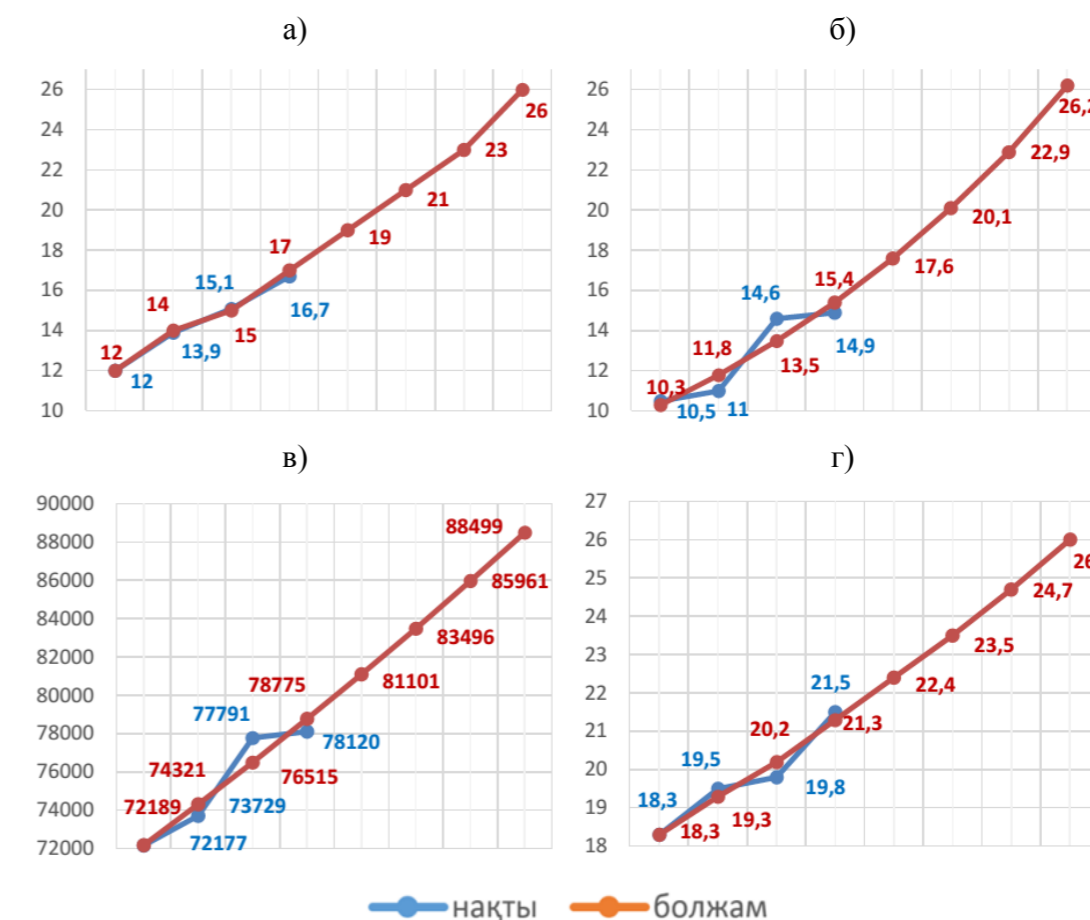
Используя формулы (2)–(5) построим графики фактических значений показателей (вскрыша, добыча угля, вагонооборот, простой вагона под грузовыми операциями) работы АО «Шубарколь комир» и прогнозируемые значения аппроксимирующих функций, которые показаны на рисунке 1.

Проведенный анализ основных показателей (вскрыша, добыча угля, вагонооборот, простой вагона под грузовыми операциями) работы АО «Шубарколь комир». Анализ проведен с использованием научной методики по прогнозированию изменений основных показателей работы предприятия на перспективу, прогноз осуществлен путем аппроксимации основных показателей в функции времени. Для каждого прогнозируемого показателя определены формулы аппроксимирующей функции. По результатам расчета получены аппроксимирующие функции и графики изменений основных показателей работы АО «Шубарколь комир» на перспективу: аппроксимация вскрыши (формула 2, рисунок 1, а); аппроксимация добычи угля (формула 3, рисунок 1, б); аппроксимация вагонооборота (формула 4, рисунок 1, в); аппроксимация времени простоя вагона под грузовыми операциями (формула 5, рисунок 1, г).

Сегодня на промышленном железнодорожном транспорте все больше внимания уделяется эффективности управления движением поездов. Для достижения оптимальных параметров работы грузовых фронтов и станций необходимо одновременное проведение согласованных мероприятий по всем сторонам, входящим в рассматриваемый транспортный комплекс [7–10].

На сегодняшний день совершенствование работы промышленного железнодорожного транспорта в условиях АО «Шубарколь комир» можно осуществлять следующими путями [11]:

- сокращение времени – при перестановке составов из парка в парк на станции «Породная»;
- контроль режима работы и движения железнодорожного транспорта;
- обеспечение выполнения сменных заданий по погрузке угля и обороту вагонов;
- максимальное использование технических средств на станциях и погрузочно-выгрузочных участках;
- контролирование хода работ по погрузке и выгрузке вагонов.



а) аппроксимация вскрыши; б) аппроксимация добычи угля; в) аппроксимация вагонооборота; г) аппроксимация простоя вагона под грузовыми операциями.

Рисунок 1 – Прогнозируемые значения аппроксимирующих функций

### Выводы

Таким образом, внедрение вышеуказанных мероприятий в АО «Шубарколь комир» позволит значительно повысить технико-экономические показатели работы промышленного железнодорожного транспорта. Представленные результаты теоретических исследований, имеют прикладное значение, и будут интересны для научных и инженерно-технических работников, занимающихся исследованиями в области промышленного железнодорожного транспорта.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 АО «Шубарколь комир» – Казахстанская фондовая биржа (KASE) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.kase.kz/ru/emitters/show/SHUK](http://www.kase.kz/ru/emitters/show/SHUK) (Өтініш берген күні 22.02.2021).

2 Отчет по исследовательской практике. – Караганда : КарТУ, 2020. – 25 с.



3 Балабаев, О. Т., Аскар, Б. Ш., Шәкетаева, М. Т. «Шұбаркөл көмір» жағдайында карьерлік көліктің жұмысын оңтайландыру. Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге, құқықтардың мемлекеттік тізіліміне мәліметтерді енгізу туралы КУӘЛІК № 17668 18.05.2021.

4 Балабаев, О. Т., Аскар, Б. Ш., Қоңыртаева, Қ. Б. «Шұбаркөл көмір» кірме жолы поездарының аралық қозғалысы жүйесін зерттеу, негіздеу және әзірлеу. Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге, құқықтардың мемлекеттік тізіліміне мәліметтерді енгізу туралы КУӘЛІК № 17676 18.05.2021.

5 Варашев, В. Н., Осипов, Ю. В., Сафина, Г. Л., Рогачева, Н. Н. Вычислительные методы математического анализа. – М. : Учебное электронное издание, 2017. – 512 с.

6 Решение систем линейных уравнений методом Крамера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.onlinschool.com/math/assistance/equation/kramer/> (Өтініш берген күні 05.05.2021).

7 Дудкин, Е. П., Рыбачок, В. М., Свинцов, Е. С. Проблемы и перспективы развития промышленного железнодорожного транспорта // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – № 7. – С. 46–49.

8 Рахмангулов, А. Н., Мишкuroв, П. Н. Повышение энергоэффективности промышленного железнодорожного транспорта на основе динамической оптимизации параметров вагонопотоков // Сборник научных трудов SWORLD. – 2012. – № 3. – С. 86–90.

9 Бурдяк, П. С. Совершенствование технологического взаимодействия магистрального и промышленного видов транспорта // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2018. – № 1. – С. 172–174.

10 Ручкин, И. В. Актуальные вопросы взаимодействия железнодорожных станций общей сети с предприятиями промышленного железнодорожного транспорта // Международная научно-практическая конференция «Транспорт : наука, образование, производство». – Ростов-на-Дону : РостовГУПС, 2019. – С. 67–71.

11 Балабаев, О. Т., Байжанов, М. А., Қоңыртаева, Қ. Б. «Шұбаркөл көмір» АҚ жағдайындағы поездар қозғалысын жетілдіру жөніндегі іс-шаралар // «Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы – Ұлттық жоспарды жүзеге асырудың негізі» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясына (№12 Сағынов оқулары). – Қарағанды : ҚарMTU, 2020. – С. 104.

## REFERENCES

1 АО «SHubarkol' komir» – Kazahstanskaya fondovaya birzha (KASE) [Electronic resource]. – Access mode: [www.kase.kz/ru/emitters/show/SHUK](http://www.kase.kz/ru/emitters/show/SHUK) (Access date 22.02.2021).

2 Otchet po issledovatel'skoj praktike. – Karaganda : KarTU, 2020. – 25 p.

3 Balabaev, O. T., Askarov, B. S., Säketaeva, M. T. «Şubarköl kömir» jaǵdaiynda karelik köliktiñ jumysyn oñtailandyru. Avtorlyq qūyqpen qorǵalatyn obektlerge, qūyqtardyñ memlekettik tızılımine mälmetterdi engizu turaly KUÄLIK № 17668 18.05.2021.

4 Balabaev, O. T., Askarov, B. S., Qoñyrtaeva, Q. B. «Şubarköl kömir» kirme joly poezdarynyñ aralyq qozǵalysy jüiesin zertteu, negizdeu jáne äzirleu. Avtorlyq qūyqpen qorǵalatyn obektlerge, qūyqtardyñ memlekettik tızılımine mälmetterdi engizu turaly KUÄLIK №17676 18.05.2021.

5 Varashev, V. N., Osipov, Yu. V., Safina, G. L., Rogacheva, N. N. Vychislitel'nye metody matematicheskogo analiza. – Moscow : Uchebnoe elektronnoe izdanie, 2017. – 512 p.

6 Reshenie sistem linejnyh uravnenij metodom Kramera [Electronic resource]. – Access mode: <https://ru.onlinschool.com/math/assistance/equation/kramer/> (Access date 05.05.2021).

7 Dudkin, E. P., Rybachok, V. M., Svincov, E. S. Problemy i perspektivy razvitiya promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta. In Transport Rossijskoj Federacii. – 2006. – № 7. – P. 46–49.

8 Rahmangulov, A. N., Mishkurov, P. N. Povyszenie energoeffektivnosti promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta na osnove dinamicheskoy optimizacii parametrov vagonopotokov. In Sbornik nauchnyh trudov SWORLD. – 2012. – № 3. – P. 86–90.

9 Burdyak, P. S. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo vzaimodejstviya magistral'nogo i promyshlennogo vidov transporta. In Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona. – 2018. – № 1. – P. 172–174.

10 Ruchkin, I. V. Aktual'nye voprosy vzaimodejstviya zheleznodorozhnyh stancij obshchej seti s predpriyatijami promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta. In Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Transport : nauka, obrazovanie, proizvodstvo». – Rostov-na-Donu : RostovGUPS, 2019. – P. 67–71.

11 Balabaev, O. T., Baijanov, M. A., Qoñyrtaeva, Q. B. «Şubarköl kömir» AҚ jaǵdaiyndaǵy poezdar qozǵalysyn jetildiru jönindegi is-şaralar. In «Ǵylym, bilim jáne öndiris integrasiyası – Ülttyq jospardy júzege asyruydyñ negizi» atty Halyqaralyq ǵylymi-praktikalıyq konferenciasyna (№ 12 Saǵynov oqulary). – Qaraǵandy : QarMTU, 2020. – P. 104.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

\*О. Т. Балабаев<sup>1</sup>, Б. Ш. Аскар<sup>2</sup>, Қ. Б. Қоңыртаева<sup>3</sup>,

М. Т. Шәкетаева<sup>4</sup>, Ә. М. Сайлау<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### «ШҰБАРКӨЛ КӨМІР» АҚ ЖАҒДАЙЫНДА ӨНЕРКӘСІПТІК ТЕМІР ЖОЛ КӨЛІГІНІҢ ЖҰМЫСЫН ТАЛДАУ

Мақалада өнеркәсіптік теміржол көлігі саласында орындалған ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген. «Шұбаркөл Көмір» АҚ жағдайында өнеркәсіптік темір жол көлігінің жұмысы зерттелді. «Шұбаркөл Көмір» АҚ жұмысының негізгі көрсеткіштеріне (аршу, көмір өндіру, вагон

айналымы, жүк операциялары бойынша қарапайым вагон) жүргізілген талдау. Талдау болашақта өнеркәсіптік кәсіпорындардың негізгі көрсеткіштерінің өзгерістерін болжау жөніндегі ғылыми әдістемені пайдалана отырып жүргізілді. Болжам уақыт функциясындағы негізгі көрсеткіштерді жуықтау арқылы жүзеге асырылды. Есептеу нәтижелері бойынша «Шұбаркөл Көмір» АҚ-ның болашақтағы жұмысының негізгі көрсеткіштерінің болжамды функциялары мен өзгерістер кестелері алынды. «Шұбаркөл Көмір» АҚ өнеркәсіптік темір жол көлігінің жұмысын жетілдіру жөніндегі негізгі іс-шаралар қаралды.

Кілтті сөздер: Өнеркәсіптік көлік, карьер көлігі, өнеркәсіптік теміржол көлігі, вагон айналымы, қарапайым вагондар, жуықтау, болжау.

\***O. T. Balabaev<sup>1</sup>, B. Ş. Askarov<sup>2</sup>, Q. B. Qoñyrtayeva<sup>3</sup>, M. T. Şäketaeva<sup>4</sup>, Ä. M. Sailau<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Material received on 20.09.21.

#### ANALYSIS OF THE WORK OF INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT IN THE CONDITIONS OF JSC «SHUBARKOL KOMIR»

The article presents the results of research carried out in the field of industrial railway transport. The work of industrial railway transport in the conditions of JSC «Shubarkol Komir» is studied. The analysis of the main indicators (stripping, coal mining, car turnover, idle time of the car under cargo operations) of the work of JSC «Shubarkol Komir». The analysis was carried out using a scientific methodology for predicting changes in the main indicators of industrial enterprises for the future. The forecast is made by approximating the main indicators in a function of time. According to the calculation results, approximating functions and graphs of changes in the main performance indicators of JSC «Shubarkol Komir» for the future are obtained. The main measures to improve the work of industrial railway transport of JSC «Shubarkol Komir» are considered.

Keywords: industrial transport, quarry transport, industrial railway transport, car turnover, idle cars, approximation, forecasting.

#### ХИМИЧЕСКАЯ, НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

МРНТИ 73.01.77, 73.39.31; 50.05.09

<https://doi.org/10.48081/PSVU1308>

\***В. В. Рындин<sup>1</sup>, А. Н. Шахаев<sup>2</sup>, Р. М. Шокан<sup>3</sup>,  
А. Яновский<sup>4</sup>, Ю. П. Макушев<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>2,3,4</sup>Сибирский государственный

автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),

Российская Федерация, г. Омск

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА В СИСТЕМЕ MATHCAD

В статье приведена программа расчёта магистрального нефтепровода в системе Mathcad, позволяющая исследовать влияние числа насосов на работоспособность системы, а также выбрать рациональные режимы при циклической перекачке для получения плановой пропускной способности трубопровода. Программа позволяет автоматически строить QH-характеристики трубопроводов и перекачивающих станций, определять положение станций в точках пересечения линий напоров от каждой насосной станции с линией сжатого профиля. Дается компактная запись (одна строка) расчёта рабочей точки для произвольного числа работающих насосов путём использования программного блока Given-Find. Всё это, наряду с наглядностью записи математических выражений и простотой построения графиков, даёт основание рекомендовать данную программу для использования как в учебном процессе при написании дипломов и магистерских диссертаций, так и в проектных организациях при проектировании и исследовании режимов работы нефтепроводов. Данная программа может быть также использована для отладки более сложных программ, выполняемых с использованием менее наглядных языков программирования.

Ключевые слова: расчёт нефтепроводов, система Mathcad, исследование рациональных режимов, экономичность перекачки.

#### Введение

Расчёт режимов работы магистральных нефтепроводов (МН) представляет сложную математическую задачу с большим объёмом вычислений (в данной работе было рассчитано 62 режима). Поэтому для таких вычислений используются специальные программы, написанные путём программирования в средах Fortran, Excel, Turbo Pascal, Delphi и другие. Хотя студентам читается курс «Программирование», составить такие программы способны лишь специально обученные люди программисты. Кроме того, такие программы лишены наглядности.

В НАО «Торайгыров университет» на кафедре механики и нефтегазового дела широко применяется расчёт курсовых и дипломных работ, выполняемых в системе Mathcad [1–4]. В данной работе приведена программа исследования работоспособности магистрального нефтепровода при отключении насосов и выборе рациональных режимов при циклической перекачке в системе Mathcad. Программа разработана в рамках выполнения магистерской диссертации по специальности 7M07203–Нефтегазовое дело.

В отличие от других языков программирования алгоритм программы и сама программа Mathcad записываются в одних и тех же символах, что сокращает как объём записи программы, так и делает её наглядной и готовой к непосредственному редактированию.

Литература по использованию системы MathCAD обширна (сотни изданий). В качестве примера можно отметить работы [5–7].

Расчёт магистрального нефтепровода выполняется по методике, изложенной в [8] с использованием дополнительных сведений, необходимых для расчёта [9, 10].

#### Материалы и методы

Программа расчёта МН в системе Mathcad. В качестве метода исследования режимов работы МН выбрана программа, разработанная в системе (пакете) Mathcad. Всё ниже написанное, включая и комментарии, может составлять содержание программы расчёта – система сама определяет, где текст, а где математические выражения (для наглядности в текстовой части символы величин будем писать курсивом, а в формулах Mathcad – вертикальным шрифтом).

Исходные данные для расчёта магистрального нефтепровода. Ввод символа присваивания двоеточия с равно «:=» осуществляется нажатием клавиши с символом двоеточия «:».

Годовая массовая пропускная способность МН  $G_r := 21$  млн т/год.

Плановая объёмная пропускная способность нефтепровода  $Q_0 := 3042.601$  м<sup>3</sup>/ч или секундный расход  $Q_c := 0.845$  м<sup>3</sup>/с.

Протяжённость нефтепровода (перевальные точки отсутствуют)  $L_{тр} := 475$  км или  $L := L_{тр} \cdot 10^3 = 475000$  м. Наружный диаметр трубопровода  $D := 0.820$  м; толщина стенки  $\delta := 0.011$  м; внутренний диаметр  $d := D - 2\delta = 0.798$  м. Перепад высот в начале и в конце трубопровода  $\Delta Z := 123$  м. Ускорение свободного падения  $g := 9.81$  м/с<sup>2</sup>.

Плотность нефти  $\rho := 853$  кг/м<sup>3</sup>; кинематическая вязкость нефти при температуре грунта  $\nu := 68.10-6$  м<sup>2</sup>/с.

Выбор марки магистрального (рабочего) и подпорного насосов.

Для  $Q_0 = 3042.601$  м<sup>3</sup>/ч по таблицам 3.4 и 3.8 [8] выбираем магистральный насос НМ 3600–230 и подпорный насос НПВ 3600–90 с соответствующими коэффициентами:

$$H_0 := 246.3 \text{ м}; b := 6.92 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^3; H_{он} := 127 \text{ м}; b_{п} := 2.9 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^3.$$

Значения напоров насосов для  $Q := Q_0$  определяются из уравнений напорных характеристик для МН и ПН:

$$H_{мн} := H_0 - b \cdot Q^2 = 182.239 \text{ м}; H_{пн} := H_{он} - b_{п} \cdot Q^2 = 100.153 \text{ м}.$$

Гидравлический расчёт трубопровода. Для определения зоны гидравлического трения предварительно находим число Рейнольдса

$$Re := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d \cdot \nu} = 19830.8 \quad (Q_c = 0.845; d = 0.798; \nu := 68.10^{-6}).$$

Значение эквивалентной шероховатости для стальных сварных труб с незначительной коррозией после очистки  $k_э := 0.0002$  м.

Первое и второе переходные числа Рейнольдса:

$$Re_1 := \frac{10 \cdot d}{k_э} = 39900; \quad Re_{п} := \frac{500 \cdot d}{k_э} = 1995000.$$

Поскольку  $Re_{кр} := 2300 < Re_1 = 39900$ , то турбулентное течение происходит в зоне гладкого трения. В этом случае коэффициенты, входящие в формулу Лейбензона (5.18) [8], имеют следующие значения:  $m := 0.25$ ;  $\beta := 0.0246$ , а также  $\omega := 0.297$ .

Расчёт гидравлического уклона (потери напора на трение на единицу длины) по формуле Лейбензона ( $Q_c = 0.845$ ;  $\nu := 68.10-6$ ) даёт

$$i := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot \nu^m}{d^{5-m}} = 0.00486 \text{ – для одинарного трубопровода и}$$

$i_{луп} := \omega \cdot i = 0.00145$  – гидравлический уклон для сдвоенного участка трубопровода с лупингом.

Расчёт числа станций из баланса напоров. Потребный напор на перекачку нефти при остаточном напоре на конечном пункте (КП)  $h_{ост} := 35$  м и числе эксплуатационных участков  $N_э := 1$

$$H_{потреб} := 1.02 \cdot i \cdot L + \Delta Z + N_э \cdot h_{ост} = 2513.0 \text{ м}.$$

Напор одной станции при числе магистральных насосов  $m_{мн} := 3$  и внутростанционных потерях  $h_{вн} := 15$  м ( $H_{мн} = 182.239$ )

$$H_{ст} := m_{мн} \cdot H_{мн} - h_{вн} = 531.716 \text{ м}$$

В трубопроводе устанавливается такой расход  $Q$ , при котором суммарный развиваемый основными и подпорными насосами напор равен полным потерям напора в трубопроводе  $n_0 \cdot H_{ст} + N_э \cdot H_{пн} = H$ . Из этого баланса напоров определяется расчётное число  $n_0$  станций

$$n_0 := \frac{H_{потреб} - N_э H_{пн}}{H_{ст}} = 4.538.$$

Если округлить число станций в меньшую сторону,  $n_л := 4$ , то гидравлическое сопротивление трубопровода можно снизить прокладкой дополнительного участка трубопровода (лупинга), включённого параллельно основному.

Длина лупинга находится по формуле ( $H_{ст} = 531.716$ ;  $i = 0.00486$ )

$$L_{\text{луп}} := \frac{H_{\text{ст}} \cdot (n_0 - n_{\text{л}})}{1.02 \cdot i \cdot (1 - \omega)} = 82088.221 \text{ м.}$$

Лупинг не должен превышать 1/5 (20 %) длины всей магистрали:  
 $\left(\frac{L_{\text{луп}}}{L}\right) \cdot 100 = 17.3 \% < 20 \%$ . Следовательно, уменьшение числа станций до четырёх допустимо.

Суммарные потери напора в сложном трубопроводе будут складываться из потерь на участках без лупинга и с лупингом

$$H_{\text{луп}} := 1.02 \cdot i \cdot [L - L_{\text{луп}}(1 - \omega)] + \Delta Z + N_3 \cdot h_{\text{ост}} = 2227.017.$$

Располагаемый напор при работе четырёх станций

$$H_{\text{расп.л}} := n_{\text{л}} \cdot H_{\text{ст}} + H_{\text{пн}} = 2227.017 \text{ м.}$$

Как видим, напор на трение и располагаемый напор совпадают, что указывает на правильность расчёта длины лупинга.

Задание величин в функции от расхода (подачи насосов):

$$H_{\text{мн}}(Q) := H_0 - b \cdot Q^2; \quad H_{\text{пн}}(Q) := H_{0\text{пн}} - b_{\text{пн}} \cdot Q.$$

Гидравлический уклон в функции от расхода  $Q$ :  $i(Q) := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot v^m}{d^{5-m}}$ .

Потребный напор в функции от расхода  $Q$  ( $QH$ -характеристики нефтепроводов с лупингом и без лупинга)

$$H_{\text{луп}}(Q) := 1.02 \cdot i(Q) \cdot [L - L_{\text{луп}}(1 - \omega)] + \Delta Z + N_3 \cdot h_{\text{ост}} \cdot$$

$$H(Q) := 1.02 \cdot i \cdot L + \Delta Z + N_3 \cdot h_{\text{ост}}.$$

Суммарные характеристики перекачивающих станций с различным числом насосов пн ( $n = 5$ ;  $n_{\text{л}} = 4$ ;  $h_{\text{ост}} = 35$ ;  $h_{\text{вн}} = 15$ ):

$$n_{\text{н}} = 15; \quad H_{15}(Q) := H_{\text{пн}}(Q) + n_{\text{н}} \cdot H_{\text{мн}}(Q) - n_{\text{н}} \cdot h_{\text{вн}};$$

$$n_{\text{н}} = 14; \quad H_{14}(Q) := H_{\text{пн}}(Q) + n_{\text{н}} \cdot H_{\text{мн}}(Q) - n_{\text{н}} \cdot h_{\text{вн}};$$

$$n_{\text{н}} = 13; \quad H_{13}(Q) := H_{\text{пн}}(Q) + n_{\text{н}} \cdot H_{\text{мн}}(Q) - n_{\text{н}} \cdot h_{\text{вн}};$$

$$n_{\text{н}} = 12; \quad H_{12}(Q) := H_{\text{пн}}(Q) + n_{\text{н}} \cdot H_{\text{мн}}(Q) - n_{\text{н}} \cdot h_{\text{вн}};$$

$$n_{\text{н}} = 12; \quad H_{\text{л}}(Q) := H_{\text{пн}}(Q) + n_{\text{н}} \cdot H_{\text{мн}}(Q) - n_{\text{л}} \cdot h_{\text{вн}}.$$

Аналогично для числа насосов 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.

Совмещённые характеристики нефтепроводов с лупингом и без лупинга и нефтеперекачивающих станций приведены на рисунке 1.

Рабочие точки определяются путём решения уравнений для располагаемого и потребного напоров с помощью блока Given-Find по начальному приближению  $Q := 2000$  (знак «жирное равно» = вводится при одновременном нажатии клавиш Ctrl и =):

$$\text{Given } H_{\text{луп}}(Q) = H_{\text{л}}(Q) \quad Q_{\text{л}} := \text{Find}(Q) = 3042.601;$$

$$\text{Given } H(Q) = H_{15}(Q) \quad Q_{15} := \text{Find}(Q) = 3163.248;$$

$$\text{Given } H(Q) = H_{14}(Q) \quad Q_{14} := \text{Find}(Q) = 3074.825;$$

$$\text{Given } H(Q) = H_{13}(Q) \quad Q_{13} := \text{Find}(Q) = 2980.212;$$

$$\text{Given } H(Q) = H_{12}(Q) \quad Q_{12} := \text{Find}(Q) = 2878.655;$$

Аналогичным образом определяются расходы в рабочих точках при числе насосов 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. Такие компактные решения для расчёта рабочих точек приводятся впервые.

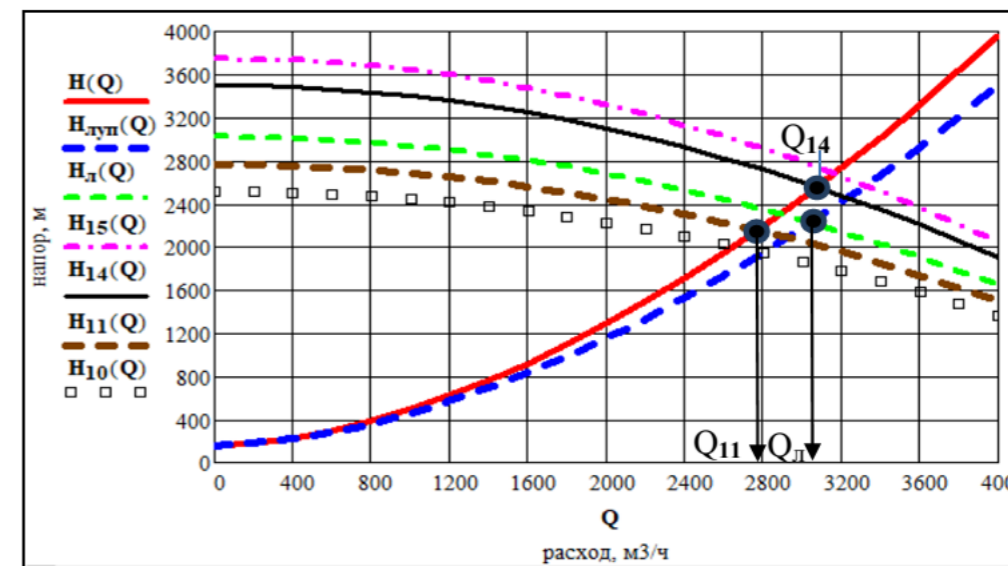


Рисунок 1 – К расчёту рабочих точек системы для различных режимов с различным числом насосов

Как и следовало ожидать, расход в рабочей точке трубопровода с лупингом (четыре станции)  $Q_{\text{л}} = 3042.601 \text{ м}^3/\text{ч}$  соответствует плановой пропускной способности  $Q_0 = 3042.601 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Расход в трубопроводе без лупинга при 5-ти станциях, соответствующий рабочей точке, имеет максимальное значение  $Q_{15} = 3163.248 \text{ м}^3/\text{ч}$  и для него будут рассчитываться координаты положения станций на трассе.

Расчёт положения 5 станций при максимальной пропускной способности (при числе насосов 15). Для автоматического определения положения станций заносим значения координат  $x$  (км) точек трассы и соответствующие им значения  $z$  (м) геодезических высот в матрицу (таблицу)  $M$  (рисунок 2). Задание шаблона матрицы производится одновременным нажатием клавиш [Ctrl+M]. Начало нумерации в матрице с единицы (по умолчанию – с нуля) задаём путём записи **ORIGIN := 1**. Выделяем 1-й и 2-й столбцы матрицы (шаблон для степени {1}) вводится нажатием клавиш [Ctrl+6]).

Линейная интерпретация профиля трассы в системе Mathcad:  $z(x) := \text{linterp}(X, Y, x)$ . Проверка начальных и конечных высот:  $z_{\text{н}} = 106.62 \text{ м}$ ;  $z(0) = 106.62 \text{ м}$ ;  $z_{\text{кп}} = 229.62 \text{ м}$ ;  $z(475) = 229.62 \text{ м}$ .

Напоры насосов при  $Q = Q_{15} = 3163.248 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$H_{\text{мн}} := H_0 - b \cdot Q^2 = 177.058 \text{ м}; \quad H_{\text{пн}} := H_{0\text{п}} - b_{\text{п}} \cdot Q^2 = 97.982 \text{ м}.$$

Напор одной станции ( $m_{\text{н}} := 3$ ;  $h_{\text{вп}} = 15$ ;  $h_{\text{ост}} = 35$ )

$$H_{\text{ст}} := m_{\text{н}} \cdot H_{\text{мн}} - h_{\text{вп}} = 516.173 \text{ м}.$$

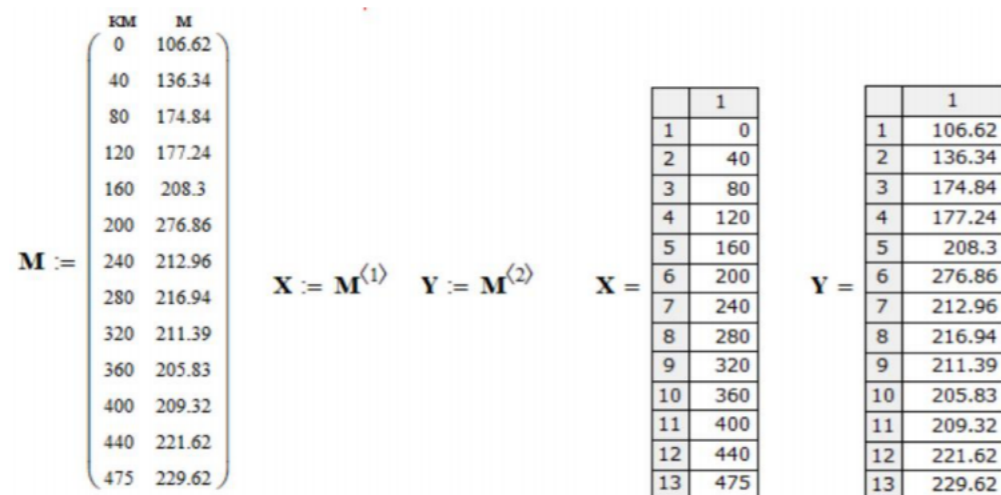


Рисунок 2 – К расчёту координат профиля трассы

Линии падения напора от 1-й станции (гидравлического уклона):  
– без учёта напора от подпорного насоса

$$H_1(x) := z_{\text{н}} + H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000;$$

– с учётом напора от подпорного насоса

$$H_{1\text{п}}(x) := H_{\text{п}} + z_{\text{н}} + H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000.$$

$$H_2(x) := z_{\text{н}} + 2 \cdot H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000, \quad H_{2\text{п}}(x) := H_{\text{п}} + H_2(x).$$

Аналогичным образом записываются линии падения напоров от 3-х, 4-х и 5-ти станций.

Координата 1-й станции по заданию  $x_{\text{ст}1} := 0 \text{ км}$ ; геодезическая высота  $z_{\text{ст}1} := z_{\text{н}} := 106.62 \text{ м}$ . Координаты положения остальных станций определяются в точках пересечения линий падения напоров  $H_i(x)$  с кривой профиля трассы  $z(x)$  с помощью блока Given-Find (Дано-Найти) по начальному приближению  $x := 100 \text{ км}$ :

$$\text{Given } H_1(x) := z(x); \quad x_{\text{ст}2} := \text{Find}(x) = 84.36 \text{ км}; \quad z_{\text{ст}2} := z(x_{\text{ст}2}) = 175.10 \text{ м}.$$

$$\text{Given } H_2(x) := z(x); \quad x_{\text{ст}3} := \text{Find}(x) = 171.61 \text{ км}; \quad z_{\text{ст}3} := z(x_{\text{ст}3}) = 228.21 \text{ м}.$$

$$\text{Given } H_3(x) := z(x); \quad x_{\text{ст}4} := \text{Find}(x) = 271.16 \text{ км}; \quad z_{\text{ст}4} := z(x_{\text{ст}4}) = 216.06 \text{ м}.$$

$$\text{Given } H_4(x) := z(x); \quad x_{\text{ст}5} := \text{Find}(x) = 370.19 \text{ км}; \quad z_{\text{ст}5} := z(x_{\text{ст}5}) = 206.72 \text{ м}.$$

Задание ломаной линии полных напоров (с учётом подпорных насосов)  $H_{\text{пол}}(x)$  осуществляется с помощью программного модуля.  
Для создания программного модуля используется встроенная функция Add line, которая создаёт вертикальную линию слева.

Предварительно задаём массив чисел  $x := 0..500 \text{ км}$  (символ последовательности чисел «..» задаётся нажатием клавиши, содержащей «;» точку с запятой).

На рисунке 3 приведены прямые линии гидравлических уклонов  $H_1(x)$ ,  $H_2(x)$ ,  $H_3(x)$ ,  $H_4(x)$ , дающие точки пересечения (положение НПС) с линией профиля трассы  $z(x)$ , и зигзагообразная линия изменения полных напоров  $H_{\text{пол}}(x)$  вдоль трассы, линия снизу – профиль трассы.

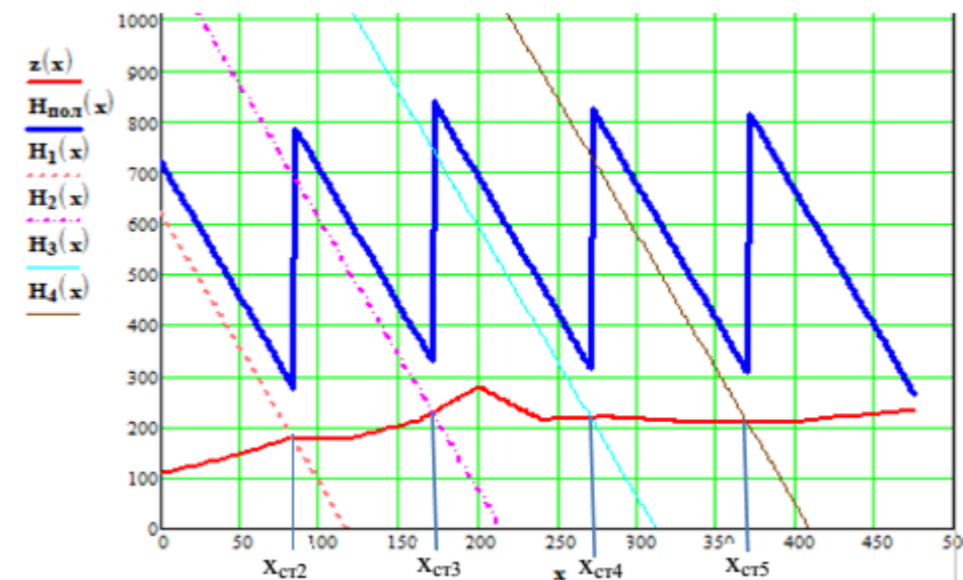


Рисунок 3 – Графическая иллюстрация расчёта положения НПС

Проверка правильности расчёта. В конечном пункте разность напора и геодезической высоты должна равняться остаточному напору  $h_{\text{ост}} = 35 \text{ м}$  ( $L_{\text{тр}} = 475 \text{ км}$ ;  $H_{\text{пол}}(L_{\text{тр}}) = 264.62 \text{ м}$ ;  $z_{\text{кп}} = 229.62 \text{ м}$ )  
 $H_{\text{пол}}(L_{\text{тр}}) - z_{\text{кп}} = 35 \text{ м}$ . Расчёт сходится.

Выбор работоспособных режимов работы станций. Расстояния и разность геодезических отметок между смежными станциями:

$$L_1 := x_{ст2} \cdot 1000 = 84357.93 \text{ м}; \quad L_2 := (x_{ст3} - x_{ст2}) \cdot 1000 = 87255.50 \text{ м};$$

$$L_3 := (x_{ст4} - x_{ст3}) \cdot 10^3 = 99550.22 \text{ м}; \quad L_4 := (x_{ст5} - x_{ст4}) \cdot 10^3 = 99022.13 \text{ м};$$

$$L_5 := (x_{км} - x_{ст5}) \cdot 1000 = 104814.22 \text{ м}; \quad \Delta Z_1 := z_{ст2} - z_{ст1} = 68.48 \text{ м};$$

$$\Delta Z_2 := z_{ст3} - z_{ст2} = 53.104 \text{ м}; \quad \Delta Z_3 := z_{ст4} - z_{ст3} = -12.145 \text{ м};$$

$$\Delta Z_4 := z_{ст5} - z_{ст4} = -9.342 \text{ м}; \quad \Delta Z_5 := z_{км} - z_5 = 22.901 \text{ м}.$$

Проверка:  $L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = 475000 \text{ м}$  ( $L = 475000 \text{ м}$ );

$\Delta Z_1 + \Delta Z_2 + \Delta Z_3 + \Delta Z_4 + \Delta Z_5 = 123 \text{ м}$  ( $\Delta Z = 123 \text{ м}$ ).

Допустимое давление в трубопроводе  $p_{доп} = 6.8 \text{ МПа}$ .

Максимальный допустимый напор станции ( $\rho = 853$ ;  $g = 9.81$ )

$$H_{ст.макс} := \frac{p_{доп} \cdot 10^6}{\rho \cdot g} = 812.6 \text{ м}.$$

Минимальный подпор принимаем  $\Delta H_{мин} := 35 \text{ м}$ .

**Расчёт режимов** работы пяти станций с различным числом включённых насосов.

Комбинация включения насосов 2-3-3-3-3.

Общее число насосов  $n_n = 14$ . Число насосов на станциях:  $n_{м1} := 2$ ;  $n_{м2} := 3$ ;  $n_{м3} := 3$ ;  $n_{м4} := 3$ ;  $n_{м5} := 3$ .  $Q := Q_{14} = 3074.825 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$Q_c := \frac{Q}{3600} = 0.854 \text{ м}^3/\text{с}; \quad i := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot v^m}{d^{5-m}} = 0.004951.$$

Напоры насосов

$$H_M := H_0 - b \cdot Q^2 = 180.875 \text{ м}; \quad H_{п1} := H_{0п1} - b_{п1} \cdot Q^2 = 99.582 \text{ м}.$$

$$\Delta H_1 := H_{п1} = 99.582 \text{ м}; \quad H_1 := \Delta H_1 + n_{м1} \cdot H_M - h_{вн} = 446.331 \text{ м}.$$

$$\Delta H_2 := H_1 - \Delta Z_1 - 1.02 \cdot i \cdot L_1 = -48.168 \text{ м}.$$

Данный режим не работоспособен, так как подпор меньше 35 м.

Комбинация включения насосов 3-3-3-2-3.

Общее число насосов  $n_n = 14$ . Число магистральных насосов на станциях:  $n_{м1} := 3$ ;  $n_{м2} := 3$ ;  $n_{м3} := 3$ ;  $n_{м4} := 2$ ;  $n_{м5} := 3$ .

$$\Delta H_1 := H_{п1} = 99.582 \text{ м}; \quad H_1 := \Delta H_1 + n_{м1} \cdot H_M - h_{вн} = 627.205 \text{ м}; \quad \Delta H_2 :=$$

$$= H_1 - \Delta Z_1 - 1.02 \cdot i \cdot L_1 = 132.706 \text{ м}; \quad H_2 := \Delta H_2 + n_{м2} \cdot H_M - h_{вн} = 660.33 \text{ м}.$$

$$\Delta H_3 := H_2 - \Delta Z_2 - 1.02 \cdot i \cdot L_2 = 166.575 \text{ м}; \quad H_3 := \Delta H_3 + n_{м3} \cdot H_M - h_{вн} =$$

$$= 694.198 \text{ м}; \quad \Delta H_4 := H_3 - \Delta Z_3 - 1.02 \cdot i \cdot L_3 = 203.602 \text{ м}.$$

$$H_4 := \Delta H_4 + n_{м4} \cdot H_M - h_{вн} = 550.351 \text{ м}; \quad \Delta H_5 := H_4 - \Delta Z_4 - 1.02 \cdot i \cdot L_4 =$$

$$= 59.62 \text{ м}; \quad H_5 := \Delta H_5 + n_{м5} \cdot H_M - h_{вн} = 587.243 \text{ м}.$$

$\Delta H_{кп} := H_5 - \Delta Z_5 - 1.02 \cdot i \cdot L_5 = 35 \text{ м}$ . Схема работоспособна.

В таблице 1 из-за малого объёма статьи приведены результаты расчёта ограниченного числа режимов из 62-х просчитанных.

Таблица 1 – Подпоры и напоры нефтеперекачивающих станций при различных числах работающих насосов и комбинаций их включения

Число насосов	Комбинация включения	Расход, м <sup>3</sup> /ч	$\Delta H_1$ , м	$H_1$ , м	$\Delta H_2$ , м	$H_2$ , м	$\Delta H_3$ , м	$H_3$ , м	$\Delta H_4$ , м	$H_4$ , м	$\Delta H_5$ , м	$H_5$ , м	$\Delta H_{кп}$ , м
1	15	3163.3	98.0	614.2	98.0	614.2	98.0	614.2	98.0	614.2	98.0	614.2	35
2	2-3-3-3-3		99.6	446.3	-48.2								
3	3-2-3-3-3		99.6	627.2	132.7	479.5	-14.3						
4	14	3074.8	99.6	627.2	132.7	660.3	166.6	513.3	22.7				
5	3-3-2-3-3		99.6	627.2	132.7	660.3	166.6	694.2	203.6	550.4	59.6	587.2	35
6	3-3-3-3-2		99.6	627.2	132.7	660.3	166.6	694.2	203.6	731.2	240.5	587.2	35

Определение рациональных режимов перекачки. Необходимо использовать те режимы, при которых удельные затраты электроэнергии на перекачку одной тонны нефти будут наименьшими.

В качестве привода магистральных насосов используются электродвигатели типа СТДП 2500-2 УХЛ 4  $N_{номМН} := 2500 \text{ кВт}$  и подпорных насосов ВАОВ710L-4У1 мощностью  $N_{номПН} := 1250 \text{ кВт}$  [8].

Режим 3-3-3-3-3  $\eta_n := 15$ ;  $Q := Q_{15} := 3163.248 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_c := 0.879 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$H_{мн} := H_0 - b \cdot Q^2 = 177.058 \text{ м}; \quad H_{пн} := H_{0п} - b_{п} \cdot Q^2 = 97.982 \text{ м}.$$

КПД насосов определяется по формуле (3.3) [8], где

$$c_0 := 34.3 \cdot 10^{-2}; \quad c_1 := 3.32 \cdot 10^{-4} \text{ ч}/\text{м}^3; \quad c_2 := -5.16 \cdot 10^{-8} \text{ ч}^2 \cdot \text{м}^6 \text{ для МН и}$$

$$c_{0п} := 3.64 \cdot 10^{-2}; \quad c_{1п} := 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}/\text{м}^3; \quad c_{2п} := -6.4 \cdot 10^{-8} \text{ ч}^2 \cdot \text{м}^6 \text{ для ПН},$$

$$\eta_{мн} := c_0 + c_1 \cdot Q + c_2 \cdot Q^2 = 0.877; \quad \eta_{пн} := c_{0п} + c_{1п} \cdot Q + c_{2п} \cdot Q^2 = 0.819.$$

Мощность на валу насосов определяется по формуле (5.53) [8] без учёта КПД электродвигателя ( $\eta_{эл} := 1$ ); КПД механической передачи в случае механической муфты принимаем  $\eta_{мех} := 0,99$ :

$$N_{мн} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{мн} \cdot Q_c \cdot 10^{-3}}{\eta_{мн} \cdot \eta_{эл} \cdot \eta_{мех}} = 1499.6 \text{ кВт}; \quad N_{пн} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{пн} \cdot Q_c \cdot 10^{-3}}{\eta_{пн} \cdot \eta_{эл} \cdot \eta_{мех}} = 888.0 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки электродвигателей насосов:

$$k_{эм} = \frac{N_{мн}}{N_{номМН}} = 0.60; \quad k_{эп} = \frac{N_{пн}}{N_{номПН}} = 0.71.$$

КПД электродвигателей при  $\eta_{ном} := 0.97$  находим по формулам:

$$\eta_{эм} = \left[ 1 + \frac{1 - \eta_{ном}}{2 \cdot \eta_{ном} \cdot k_{эм}} \cdot (1 + k_{эм}^2) \right]^{-1} = 0.966$$

$$\eta_{эп} = \left[ 1 + \frac{1 - \eta_{ном}}{2 \cdot \eta_{ном} \cdot k_{эп}} \cdot (1 + k_{эп}^2) \right]^{-1} = 0.968$$

Мощность электродвигателей

$$N_{\text{потр.м}} = \frac{N_{\text{мн}}}{\eta_{\text{эм}}} = 1552.21 \text{ кВт}; \quad N_{\text{потр.п}} = \frac{N_{\text{пн}}}{\eta_{\text{эп}}} = 917.12 \text{ кВт}.$$

Удельные энергозатраты на перекачку при пн = 15

$$E_{\text{уд15}} = \frac{1}{\rho \cdot Q} \cdot (N_{\text{потр.п}} + n_{\text{н}} \cdot N_{\text{потр.м}}) = 8.969 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}.$$

Для остальных режимов расчёты аналогичны (таблица 2). Из-за нехватки места в таблице не вошли расчёты для 9, 8, 7, 6 – 1) станций.

Таблица 2 – Результаты расчёта механических характеристик магистральных и подпорных насосов и их электродвигателей

Число насосов	Комбинация включения	Расход, м³/ч	$\eta_{\text{мн}}$	$\eta_{\text{пн}}$	$k_{\text{эм}}$	$k_{\text{пн}}$	$\eta_{\text{эм}}$	$\eta_{\text{эп}}$	$N_{\text{потр.м}}$ , кВт	$N_{\text{потр.п}}$ , кВт	$E_{\text{уд}}$ , кВт·ч/т
15	3-3-3-3-3	3163.2	0.877	0.819	0.60	0.71	0.966	0.968	1551.7	916.8	8.969
14	3-3-3-2-3	3074.8	0.876	0.815	0.583	0.694	0.966	0.968	1510.5	896.3	8.407
11	3-2-2-2-2	2769.3	0.867	0.792	0.531	0.643	0.964	0.967	1377.4	831.7	6.769
10	2-2-2-2-2	2650.9	0.860	0.780	0.512	0.626	0.963	0.967	1329.0	808.9	6.237

### Результаты и обсуждение

Ближайшими к плановому расходу являются режимы 14-й и 11-й (13 и 12 неработоспособны) с расходами:  $Q_{14} := 3074.8 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_{11} := 2769.25 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $E_{\text{уд11}} = 6.769 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ ;  $E_{\text{уд14}} = 8.407 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ .  $Q_0 = 3042.601 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Плановое время работы  $N_p := 356$  дней или  $N_{\text{пл}} = N_p \cdot 24 = 8544 \text{ ч}$ .

Находим продолжительность работы на этих режимах:

$$\tau_1 = N_{\text{пл}} \cdot \left( \frac{Q_{14} - Q_0}{Q_{14} - Q_{11}} \right) = 901 \text{ ч}; \quad \tau_2 = N_{\text{пл}} \cdot \left( \frac{Q_0 - Q_{11}}{Q_{14} - Q_{11}} \right) = 7643 \text{ ч}.$$

Проверка:  $\tau_1 + \tau_2 = 8544 \text{ ч}$ .

Удельные затраты электроэнергии в этом случае на циклическую перекачку составят

$$E_{\text{уд14-11}} = \frac{E_{\text{уд11}} \cdot \tau_1 \cdot Q_{11} + E_{\text{уд14}} \cdot \tau_2 \cdot Q_{14}}{Q_0 \cdot N_{\text{пл}}} = 8.25 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}.$$

Для сравнения  $E_{\text{уд14-10}} = 8.26 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$  и  $E_{\text{уд15-11}} = 8.36 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ .

Таким образом, ближайший к плановому расходу режим 14-11 является и самым оптимальным по затрате электроэнергии.

### Выводы

1 Разработана программа расчёта и проведено исследование влияния числа насосов на работоспособность нефтепровода в системе Mathcad, а также дан анализ экономичности работы всех режимов.

2 Программа позволяет автоматически строить QH-характеристики трубопроводов и перекачивающих станций, а также рассчитывать положение станций на трассе.

3 Преимущество данной программы перед другими программами заключается в её доступности и возможности любому пользователю изменять её отдельные блоки без изучения логики традиционного программирования.

4 Данная программа может быть использована при написании дипломов и магистерских диссертаций, а также в проектных организациях при проектировании и отладке сложных программ, использующих менее наглядные языки программирования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Рындин, В. В., Шалай, В. В., Макушев, Ю. П.** Расчёт цикла бензинового двигателя в системе Mathcad [Текст] // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 6(34). – С. 91–98.

2 **Косынтаева, А. К., Рындин, В. В.** Модернизация ГНПС «Атасу» на нефтепроводе «Атасу» [Текст] // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. – 2015. – № 2. – С. 140–148.

3 **Мажимова, Д. Ж., Рындин, В. В.** Применение математической системы Mathcad для расчёта трубопровода Ескене-Курык [Текст] // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. – 2015. – № 1. – С. 114–119.

4 **Рындин, В. В., Абитова, Д. М.** Расчёт магистрального нефтепровода по четырём вариантам в системе Mathcad [Текст] // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. – 2016. – № 2. – С. 153–162.

5 **Кирьянов, Д. В.** Mathcad 13. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.

6 **Макаров, Е. Г.** Инженерные расчёты в Mathcad 15 [Текст]. – СПб. : Питер, 2011. – 400 с.

7 **Шушкевич, Г. Ч., Шушкевич, С. В.** Компьютерные технологии в математике. Система Mathcad 14. В 2-х частях [Текст]. – М. : Издательство Гревцова, 2010. – 288 с.

8 **Тугунов, П. И.** Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов : учеб. пособие / П. И. Тугунов, В. Ф. Новосёлов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. – Уфа : Дизайн ПолиграфСервис, 2002. – 658 с.

9 **Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах : учеб. пособие / Под редакцией Ю. Д. Земенкова.** – СПб. : Недра, 2004. – 544 с.

10 **Нечваль А. М.** Транспорт и хранение нефти и газа. – Уфа : УГТУ, 2003. – 435 с.

### REFERENCES

1 **Ryndin, V. V., Shalay, V. V., Makushev, Yu. P.** Raschet tsikla benzinovogo dvigatelya v sisteme Mathcad [Calculation of the cycle of a gasoline engine in the Mathcad system] [Text]. In SibADI Bulletin. – 2013. – No. 6 (34). – P. 91–98.

2 **Kosyntaeva, A. K., Ryndin, V. V.** Modernizaciya GNPS «Atasu» na nefteprovode «Atasu» [Modernization of the Atasu GNPS on the Atasu oil pipeline] [Text]. In Bulletin of PSU. Energy series. – 2015. – No. 2. – P. 140–148.

3 **Mazhimova, D. Zh., Ryndin, V. V.** Primeneniye matematicheskoy sistemy Mathcad dlya raschota truboprovoda Yeskene-Kuryk [Application of the Mathcad mathematical system for calculating the Eskene-Kuryk pipeline] [Text]. In Bulletin of PSU. Energy series]. – 2015. – No. 1. – P. 114–119.

4 **Ryndin V.V., Abitova D. M.** Raschet magistral'nogo nefteprovoda po chetyrem variantam v sisteme Mathcad [Calculation of the main oil pipeline according to four variants in the Mathcad system]. In Bulletin of PSU. Energy series. – 2016. – No. 2. – P. 153–162.

5 **Kir'yanov, D. V.** Mathcad 13 [Mathcad 13] [Text]. – St. Petersburg : BHV–Petersburg, 2006. – 608 p.

6 **Makarov, Ye. G.** Inzhenernyye raschoty v Mathcad 15 [Engineering Calculations in Mathcad 15].– St. Petersburg : Peter, 2011. – 400 p.

7 **Shushkevich, G. Ch.** Komp'yuternye tekhnologii v matematike. Sistema Mathcad 14. V 2-x chastyax [Computer technologies in mathematics. Mathcad system 14. In 2 parts] [Text]. – Moscow : Grevtsov Publishing House, 2010. – 288 p.

8 **Tugunov, P. I.** Tipovy'e raschyoty` pri proektirovanii i e`kspluatatsii neftebaz i nefteprovodove [Typical calculations in the design and operation of oil depots and pipelines]. – Ufa : Designpoligrafservice, 2002. – 658 p.

9 Transport i xranenie nefti i gaza v primerax i zadachax : Textbook / Pod obshhej redakciej Yu. D. Zemenkova [Transportation and storage of oil and gas in examples and tasks]. – St. Petersburg : Nedra, 2004 – 544 p.

10 **Nechval' A. M.** Transport i xranenie nefti i gaza [Transport and storage of oil and gas]. – Ufa : USTU, 2003 – 435.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

**\*В. В. Рындин<sup>1</sup>, А. Н. Шахаев<sup>2</sup>, Р. М. Шокан<sup>3</sup>, А. Яновский<sup>4</sup>, Ю. П. Макушев<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>2,3,4</sup>Сібір мемлекеттік автомобиль-жол университеті (СибАДИ),

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

### МАТНСАД ЖҮЙЕСІНДЕГІ МАГИСТРАЛЬДЫҚ МҰНАЙ ҚҰБЫРЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада Mathcad жүйесіндегі магистральдық мұнай құбырын есептеу бағдарламасы келтірілген, бұл сорғылар санының жүйенің жұмысына әсерін зерттеуге, сонымен қатар құбырдың жоспарланған өткізу қабілетін алу үшін циклдік айдау кезінде ұтымды режимдерді таңдауға мүмкіндік береді. Бағдарлама құбырлар мен айдау станцияларының QH сипаттамаларын автоматты түрде құруға, әр сорғы станциясынан қысым сызықтарының Сығылған профиль сызығымен қиылысу нүктелеріндегі станциялардың орнын анықтауға мүмкіндік береді. Given-Find бағдарламалық блогын пайдалану арқылы жұмыс істейтін сорғылардың ерікті саны үшін жұмыс нүктесін есептеудің ықшам жазбасы (бір жол) беріледі. Мұның бәрі математикалық өрнектерді жазудың көрнекілігімен және графиктерді құрудың қарапайымдылығымен қатар, бұл бағдарламаны курстық жұмыстар мен дипломдық жобаларды орындау кезінде оқу процесінде де, мұнай құбырларының жұмыс режимдерін жобалау және зерттеу кезінде жобалау ұйымдарында да қолдануға кеңес береді. Бұл бағдарламаны аз визуалды бағдарламалау тілдерін қолдана отырып жасалған күрделі бағдарламаларды жөндеу үшін де қолдануға болады.

*Кілтті сөздер: мұнай құбырларын есептеу, Mathcad жүйесі, ұтымды режимдерді зерттеу, айдау тиімділігі.*

**\*V. V. Ryndin<sup>1</sup>, A. N. Shahaev<sup>2</sup>, R. M. Shokan<sup>3</sup>, A. Yanovskiy<sup>4</sup>, Yu. P. Makushev<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2,3,4</sup>Siberian State Automobile and Road University (SibADI),

Russian Federation, Omsk.

Material received on 20.09.21.

### INVESTIGATION OF THE OPERATION MODES OF THE OIL TRUNK PIPELINE IN THE MATHCAD SYSTEM

*The article presents a program for calculating the trunk oil pipeline in the Mathcad system, which allows us to study the influence of the number of pumps on the system performance, as well as to choose rational modes during cyclic pumping to obtain the planned pipeline capacity. The program allows you to automatically build QH characteristics of pipelines and pumping stations, determine the position of stations at the points of intersection of pressure lines from each pumping station with a compressed profile line. A compact record (one line) of the calculation of the operating point for an arbitrary number of operating pumps is given by using the Given-Find program block. All this, along with the clarity of recording mathematical expressions and the simplicity of plotting, gives reason to recommend this program for use both in the educational process when performing term papers and diploma projects, and in design organizations when designing and researching the operating modes of oil pipelines. This program can also be used to debug more complex programs executed using less visual programming languages.*

*Keywords: calculation of oil pipelines, Mathcad system, study of rational modes, efficiency of pumping.*



## СВЕДЕНИЯ О АВТОРАХ

**Абдрахманов Андеш Бақытжанұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: andesh@list.ru

**Абдрахманов Ермаганбет Сейсенбекович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: erai1512@mail.ru

**Абдукаликova Гулнара Момынқызы**, аға оқытушы, «Ғимараттар және имараттарды жобалау» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: abdukalikova\_gm@mail.ru

**Абишева Асем Қайратқызы**, докторант, «Ғимараттар және имараттарды жобалау» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: abish\_assem@mail.ru

**Алдунгарова Алия Кайратовна**, PhD, ЖШС «CSI Research&Lab», ғылыми жобалардың жетекшісі, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: liya\_1479@mail.ru

**Абдрахманов Андеш Бақытжанович**, кандидат технических наук, доцент, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: andesh@list.ru

**Абдрахманов Ермаганбет Сейсенбекович**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: erai1512@mail.ru

**Абдукаликova Гулнара Момыновна**, ст. преподаватель, кафедра «Проектирование зданий и сооружений», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: abdukalikova\_gm@mail.ru

**Абишева Асем Кайратовна**, докторант, кафедра «Проектирование зданий и сооружений», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: abish\_assem@mail.ru

**Алдунгарова Алия Кайратовна**, PhD, ТОО «CSI Research&Lab», руководитель научных проектов, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: liya\_1479@mail.ru

**Abdrakhmanov Andesh Bakitzhanovich**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: andesh@list.ru

**Abdrakhmanov Yermaganbet Seisenbekovich**, Candidate of Technical Sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: erai1512@mail.ru

**Abdukalikova Gulnara**, senior lecturer, Department of Design of Buildings and Structures, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abdukalikova\_gm@mail.ru

**Abisheva Assem**, doctoral student, Department of Design of Buildings and Structures, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abish\_assem@mail.ru

**Aldungarova Aliya Kairatovna**, PhD, «CSI Research&Lab» LLP, Scientific Project Manager, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: liya\_1479@mail.ru

**Аскарлов Бахтияр Шарапиденович**, PhD, Жол-көлік факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағандық, 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bahtiyar\_askarov@mail.ru

**Балабаев Оюм Темирғалиевич**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Жол-көлік факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: balabaev.ot@mail.ru

**Богомолов Алексей Витальевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: bogomolov71@mail.ru

**Бочкарев Петр Юрьевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Н. И. Вавилов атындағы Саратов мемлекеттік аграрлық университеті, Саратов қ., 410012, Ресей Федерациясы, e-mail: bpy@mail.ru

**Гаврилов Павел**, PhD, профессор, Теміржол көлігі институты, Рига техникалық университеті, Рига қ., LV-1048, Латвия, e-mail: pavels.gavrilovs@rtu.lv

**Гирнис Светлана Римонтасовна**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Сәулет және дизайн» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: gimis@mail.ru

**Аскарлов Бахтияр Шарапиденович**, PhD, Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: bahtiyar\_askarov@mail.ru

**Балабаев Оюм Темирғалиевич**, кандидат технических наук, доцент, Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: balabaev.ot@mail.ru

**Богомолов Алексей Витальевич**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Металлургия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bogomolov71@mail.ru

**Бочкарев Петр Юрьевич**, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, 410012, Российская Федерация, e-mail: bpy@mail.ru

**Гаврилов Павел**, PhD, профессор, Институт железнодорожного транспорта, Рижский технический университет, г. Рига, LV-1048, Латвия, e-mail: pavels.gavrilovs@rtu.lv

**Гирнис Светлана Римонтасовна**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Архитектура и дизайн», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: gimis@mail.ru

**Askarov Bakhtiyar Sharapidenovich**, PhD, Transport and Road Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bahtiyar\_askarov@mail.ru

**Balabayev Oyum Temirgalievich**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Transport and Road Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: balabaev.ot@mail.ru

**Bogomolov Alexey**, Candidate of Technical Sciences, professor, Department of Metallurgy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bogomolov71@mail.ru

**Bochkarev Peter Yurievich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, 410012, Russian Federation, e-mail: bpy@mail.ru

**Gavrilovs Pavels**, PhD, professor, Institute of Railway Transport, Riga Technical University, Riga, LV-1048, Latvia, e-mail: pavels.gavrilovs@rtu.lv

**Girnis Svetlana Rimontasovna**, Cand.Sci.(Eng.), associate professor, Department of «Architecture and Design», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: gimis@mail.ru

**Ғұмаров Ғали Сағынғалиұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Махамбет Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал қ., 090000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ggs65@yandex.ru

**Дахам Аббас Вахид Дахам**, магистр, Бағдат қ., 10001, Ирак, e-mail: abbas.dahham2015@gmail.com

**Евтушенко Татьяна Леонидовна**, Техника ғылымдарының магистры, докторант, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: evtushenko\_95@mail.ru

**Елеусинова Ақмарал Едыгеевна**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Фимараттар және имараттарды жобалау» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: yelessinova70@mail.ru

**Жакупов Алибек Нығматуллович**, PhD, қауымд. профессор, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alibek\_j85@mail.ru

**Жакупова Арай Толепбергеновна**, магистр, аға оқытушы, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aray\_zhakupova86@mail.ru

**Гумаров Ғали Сағынғалиевич**, доктор технических наук, профессор, Западно-Казахстанский университет имени Махамбета Утемисова, г. Уральск, 090000, Республика Казахстан, e-mail: ggs65@yandex.ru

**Дахам Аббас Вахид Дахам**, магистр, г. Багдад, 10001, Ирак, e-mail: abbas.dahham2015@gmail.com

**Евтушенко Татьяна Леонидовна**, магистр технических наук, докторант, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: evtushenko\_95@mail.ru

**Елеусинова Ақмарал Едыгеевна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Проектирование зданий и сооружений», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: yelessinova70@mail.ru

**Жакупов Алибек Нығматуллович**, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Металлургия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: alibek\_j85@mail.ru

**Жакупова Арай Толепбергеновна**, магистр, ст. преподаватель, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aray\_zhakupova86@mail.ru

**Gumarov Gali Sagingalievich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Makhambet Utemisov West Kazakhstan State University, Uralsk, 090000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ggs65@yandex.ru

**Dahham Abbas Waheed Dahham**, Master, Baghdad, 10001, Iraq, e-mail: abbas.dahham2015@gmail.com

**Yevtushenko Tatiana Leonidovna**, Master of Technical Science, doctoral student, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: evtushenko\_95@mail.ru

**Eleusinova Akmaral**, Candidate of Technical Sciences, acting associate professor, Department of Design of Buildings and Structures, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: yelessinova70@mail.ru

**Zhakupov Alibek**, PhD, associate professor, Department of Metallurgy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alibek\_j85@mail.ru

**Zhakupova Aray**, Master, senior lecturer, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aray\_zhakupova86@mail.ru

**Жаксымбеков Дархан Ержанович**, магистрант, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» мамандығы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: darhan\_1998\_07@mail.ru

**Жарасов Шынгыс Жарасович**, докторант, Л. Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhshzh95@gmail.com

**Жекенов Айтуған Бақтиярұлы**, Жол және вагон шаруашылығы бөлімшесінің меңгерушісі, Жоғары электроника және коммуникациялар колледжі, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhekenov1993@mail.ru

**Зарипов Рамис Юрисович**, оқытушы, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ramis.zaripov@mail.ru

**Имангазинова Динара Балгабекқызы**, магистр, оқытушы, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dimangazinova@mail.ru

**Имашева Кульжан Имашқызы**, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Технологиялық жабдықтар, машина жасау

**Жаксымбеков Дархан Ержанович**, магистрант, специальность «Технологические машины и оборудование», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: darhan\_1998\_07@mail.ru

**Жарасов Шынгыс Жарасович**, докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zhshzh95@gmail.com

**Жекенов Айтуған Бақтиярович**, заведующий отделением путевого и вагонного хозяйства, Высший колледж электроники и коммуникаций, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: zhekenov1993@mail.ru

**Зарипов Рамис Юрисович**, преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ramis.zaripov@mail.ru

**Имангазинова Динара Балгабековна**, магистр, преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dimangazinova@mail.ru

**Имашева Кульжан Имашевна**, магистр технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение

**Zhaksymbekov Darkhan Yerzhanovich**, undergraduate student in Technological machines and equipment, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: darhan\_1998\_07@mail.ru

**Zharassov Shyngys Zharassovich**, doctoral student, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhshzh95@gmail.com

**Zhekenov Aytugan Baktiyarovich**, Head of the Track and Carriage Department, Higher College of Electronics and Communications, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhekenov1993@mail.ru

**Zaripov Ramis Yurisovich**, teacher, Department of Transport Engineering and Logistics, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ramis.zaripov@mail.ru

**Imangazinova Dinara Balgabekovna**, teacher, Department of Transport Engineering and Logistics, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dimangazinova@mail.ru

**Imasheva Kulzhan Imashevna**, Master of Technical Sciences, senior lecturer, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and

және стандарттау» кафедрасы, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100017, Қазақстан Республикасы, e-mail: imasheva-gulzhan@mail.ru

**Искакова Динара Алтынбековна**, техника ғылымдарының магистры, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: iskakovada@mail.ru

**Ыбыраева Елена Муратқызы**, педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Сәулет және дизайн» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: yel\_ana@mail.ru

**Карсакова Нұрғұл Жолаевна**, докторант, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: karsakova-87@mail.ru

**Касенов Асылбек Жумабекович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asylbek\_kasenov@mail.ru

**Костюченков Николай Васильевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: oxy\_uno@mail.ru

и стандартизация», Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100017, Республика Казахстан, e-mail: imasheva-gulzhan@mail.ru

**Искакова Динара Алтынбековна**, магистр технических наук, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: iskakovada@mail.ru

**Ибраева Елена Муратовна**, кандидат педагогических наук, ассоц. профессор, кафедра «Архитектура и дизайн», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: yel\_ana@mail.ru

**Карсакова Нургуль Жолаевна**, докторант, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: karsakova-87@mail.ru

**Касенов Асылбек Жумабекович**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asylbek\_kasenov@mail.ru

**Костюченков Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: oxy\_uno@mail.ru

Standardization, Karaganda Technical University, Karaganda, 100017, Republic of Kazakhstan, e-mail: imasheva-gulzhan@mail.ru

**Iskakova Dinara Altynbekovna**, Master of Technical Science, senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: iskakovada@mail.ru

**Ibrayeva Yelena Muratovna**, Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, Department of «Architecture and Design», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: yel\_ana@mail.ru

**Karsakova Nurgul**, doctoral student, Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: karsakova-87@mail.ru

**Kassenov Assylbek Zhumabekovich**, Candidate of Technical Sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, 140008, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: asylbek\_kasenov@mail.ru

**Kostyuchenkov Nikolai Vasilyevich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: oxy\_uno@mail.ru

**Куанышев Хангелді Амангельдиевич**, магистрант, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: khan11@mail.ru

**Қоңқыбаева Арайлым Ниязбекқызы**, техника ғылымдарының магистрі, ассистент, Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: arai\_janaarka@mail.ru

**Қоңыртаева Қолқанат Байтөреқызы**, магистрант, Жол-көлік факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: beka.kolkanat@mail.ru

**Ларичкин Владимир Викторович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Экологияның инженерлік мәселелері» кафедрасы, Новосібір мемлекеттік техникалық университеті, Новосібір қ., 630073, Ресей Федерациясы, e-mail: larichkin@craft.nstu.ru

**Маздубай Асылхан Владимирович**, PhD, қауымд. профессор (доцент), Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asylkhan\_m@mail.ru

**Макушев Юрий Петрович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Сібір мемлекеттік автомобиль және жол университеті

**Куанышев Хангелді Амангельдиевич**, магистрант, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: khan11@mail.ru

**Қоңқыбаева Арайлым Ниязбекқызы**, магистр технических наук, ассистент, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: arai\_janaarka@mail.ru

**Қоңыртаева Қолқанат Байтөреқызы**, магистрант, Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: beka.kolkanat@mail.ru

**Ларичкин Владимир Викторович**, доктор технических наук, профессор, кафедра «Инженерные проблемы экологии», Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, 630073, Российская Федерация, e-mail: larichkin@craft.nstu.ru

**Маздубай Асылхан Владимирович**, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asylkhan\_m@mail.ru

**Макушев Юрий Петрович**, кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный автомобильно-дорожный

**Kuanyshev Khangeldi**, undergraduate student, Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: khan11@mail.ru

**Kongkybayeva Arailym Niyazbekqyzy**, Master of Technical Sciences, assistant, Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: arai\_janaarka@mail.ru

**Konurytaeva Kolkanaat Baytorekyzy**, undergraduate student, Transport and Road Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: beka.kolkanat@mail.ru

**Larichkin Vladimir Viktorovich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Engineering problems of Ecology, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, e-mail: larichkin@craft.nstu.ru

**Mazdubay Assylkhan Vladimirovich**, PhD, associate professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asylkhan\_m@mail.ru

**Makushev Yuri Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Siberian State Automobile and Road, University (SibADI), Omsk,

(SibADI), Омбы қ., 644050, Ресей Федерациясы, e-mail: makushev321@mail.ru

университет(СибАДИ),г.Омск, 644050, Российская Федерация, e-mail: makushev321@mail.ru

644050, Russian Federation, e-mail: makushev321@mail.ru

**Мкилима Тимот**, ғылыми қызметкер, Ардхи университеті, Дар-эс-Салам, Танзания, e-mail: tmkilima@gmail.com

**Мкилима Тимот**, научный сотрудник, Университет Ардхи, Дар-эс-Салам, Танзания, e-mail: tmkilima@gmail.com

**Mkilima Timoth**, doctoral student, Ardhi University, Dar es Salaam, Tanzania, e-mail: tmkilima@gmail.com

**Мукашева Аяулым Рустемовна**, студент, «Тасымалдауды, қозғалысты ұйымдастыру және көлікті пайдалану» мамандығы, Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aishona\_07\_92@mail.ru

**Мукашева Аяулым Рустемовна**, студент, специальность «Организация перевозок, движение и эксплуатация транспорта», Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: aishona\_07\_92@mail.ru,

**Mukasheva Ayaulym Rustemovna**, student in «Organization of transportation, movement and operation of transport», Technical Faculty, S.Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aishona\_07\_92@mail.ru

**Мусаев Медгат Муратович**, PhD, доцент м.а., Машинажасау факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: kstu\_mmm@mail.ru

**Мусаев Медгат Муратович**, PhD, и.о. доцента, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: kstu\_mmm@mail.ru

**Mussayev Medgat**, PhD, act. associate professor, Karaganda Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: kstu\_mmm@mail.ru

**Мырзахмет Балғали**, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: balgali\_96@mail.ru

**Мырзахмет Балғали**, докторант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: balgali\_96@mail.ru

**Myrzakhmet Balgali**, doctoral student, S. Seifullin Kazakh Agro-Technical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: balgali\_96@mail.ru

**Назарьев Александр Викторович**, техника ғылымдарының кандидаты, «Академик Н. А. Пилюгин атындағы Автоматика және аспап жасау ғылыми-өндірістік орталығы» ФМУК филиалы – «Корпус» өндірістік бірлестігі (ФМУК «ААЖҒӨО» филиалы – ӨБ «Корпус»), Саратов қ., 410019, Ресей Федерациясы, e-mail: alex121989@mail.ru

**Назарьев Александр Викторович**, кандидат технических наук, филиал ФГУП «Научно-производственный центр автоматизации и приборостроения имени академика Н. А. Пилюгина» – «Производственное объединение «Корпус» (филиал ФГУП «НПЦАП» – ПО «Корпус»), г. Саратов, 410019, Российская Федерация, e-mail: alex121989@mail.ru

**Nazaryev Aleksandr Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences, branch of the FSUE «Academician Pilyugin Scientific-Production Center of Automatics and Instrument-Making» – «Industrial Association «Korpus», Saratov, 410019, Russian Federation, e-mail: alex121989@mail.ru

**Оразалиев Берікбай Тлеуқабылұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: berik.orazali@mail.ru

**Оразалиев Берікбай Тлеуқабылович**, кандидат технических наук, доцент, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: berik.orazali@mail.ru

**Orazaliyev Berikbai Tleukabylovich**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: berik.orazali@mail.ru

**Өсербаев Мұратбек Тұрарбекұлы**, техника ғылымдары кандидаты, аға оқытушы, кафедра меңгерушісі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: usermur@mail.ru

**Усербаев Муратбек Тұрарбекович**, кандидат технических наук, ст. преподаватель, заведующий кафедрой, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: usermur@mail.ru

**Userbaev Muratbek Turarbekovich**, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, head of department, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: usermur@mail.ru

**Ракишев Асет Қаризулович**, PhD, аға оқытушы, Машинажасау факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: r\_asset@mail.ru

**Ракишев Асет Қаризулович**, PhD, ст. преподаватель, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: r\_asset@mail.ru

**Rakishev Asset**, PhD, senior teacher, Faculty of Mechanical engineering, Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: r\_asset@mail.ru

**Рахметова Асель Шабденовна**, магистрант, «Сәулет» мамандығы, Жер ресурстарын басқару факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: asselrakhmetova@mail.ru

**Рахметова Асель Шабденовна**, магистрант, специальность «Архитектура», Факультет управление земельных ресурсов, архитектура и дизайн, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: asselrakhmetova@mail.ru

**Rakhmetova Assel Shabdenovna**, undergraduate student in Architecture, Faculty of Land Resource Management, Architecture and Design, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: asselrakhmetova@mail.ru

**Рындин Владимир Витальевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Рындин Владимир Витальевич**, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: rvladvit@yandex.kz

**Ryndin Vladimir Vitalievich**, Candidate of Technical Sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: rvladvit@yandex.kz

**Сайлау Әйкерім Маратқызы**, магистрант, Жол-көлік факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aikerim\_ms@mail.ru

**Сайлау Әйкерім Маратқызы**, магистрант, Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: aikerim\_ms@mail.ru

**Sailau Aikerim Marathkyzy**, undergraduate student, Transport and Road Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aikerim\_ms@mail.ru

**Сембаев Нурболат Сәкенұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.sembaev@mail.ru

**Сембаев Нурболат Сакенович**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: n.sembaev@mail.ru

**Sembaev Nurbolat Sakenovich**, Candidate of Technical Sciences, professor, Department of Transport Technology and Logistics, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.sembaev@mail.ru

**Смаилова Бағлан Қабдуллаевна**, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушысы, «Технологиялық жабдыктар, машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100017, Қазақстан Республикасы, e-mail: imasheva-gulzhan@mail.ru

**Смаилова Бағлан Кабдуллаевна**, магистр технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100017, Республика Казахстан, e-mail: imasheva-gulzhan@mail.ru

**Smailova Baglan Kabdullayevna**, Master of Technical Sciences, senior lecturer, Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, Karaganda Technical University, Karaganda, 100017, Republic of Kazakhstan, e-mail: imasheva-gulzhan@mail.ru

**Таскарина Айжан Жумажановна**, PhD, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aya\_taskarina@mail.ru

**Таскарина Айжан Жумажановна**, PhD, профессор, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aya\_taskarina@mail.ru

**Taskarina Aizhan Zhumazhanovna**, PhD, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aya\_taskarina@mail.ru

**Толқынбаев Темірхан Анипияұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, декан, Сәулет-құрылыс факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: temtol1961@mail.ru

**Толқынбаев Темирхан Анипияевич**, доктор технических наук, профессор, декан, Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: temtol1961@mail.ru

**Tolkynbayev Temirkhan**, Doctor of Technical Sciences, professor, Dean of the Faculty of Architecture and Construction, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: temtol1961@mail.ru

**Тулбекова Асель Сериковна**, PhD, доцент, Л. Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: krasavka5@mail.ru

**Тулбекова Асель Сериковна**, PhD, доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: krasavka5@mail.ru

**Tulebekova Assel Serikovna**, PhD, associate professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: krasavka5@mail.ru

**Тюлюбаев Ренат Асылбекович**, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: tyulyubaev\_92@mail.ru

**Тюлюбаев Ренат Асылбекович**, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: tyulyubaev\_92@mail.ru

**Tyulubayev Renat Asylbekovich**, senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: tyulyubaev\_92@mail.ru

**Украинец Анна Витальевна**, магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: annaannapick@mail.ru

**Украинец Анна Витальевна**, магистрант, кафедра «Промышленное, гражданское и транспортное строительство», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: annaannapick@mail.ru

**Ukrainets Anna**, undergraduate student, Department of «Industrial, Civil and Transport Construction», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: annaannapick@mail.ru

**Украинец Виталий Николаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Сәулет және дизайн» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: vitnikukr@mail.ru

**Украинец Виталий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, кафедра «Архитектура и дизайн», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: vitnikukr@mail.ru

**Ukrainets Vitaliy Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of «Architecture and Design», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: vitnikukr@mail.ru

**Утепбергенова Лаура Мұхтарқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Ғимараттар және ғимараттарды жобалау» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: utepber78@mail.ru

**Утепбергенова Лаура Мухтаровна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Проектирование зданий и сооружений», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: utepber78@mail.ru

**Utepbergenova Laura**, Candidate of Technical Sciences, acting associate professor, Department of Design of Buildings and Structures, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: utepber78@mail.ru

**Утепов Елбек Бахитович**, PhD, доцент, Л. Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: utepov\_yelbek@mail.ru

**Утепов Елбек Бахитович**, PhD, доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: utepov\_yelbek@mail.ru

**Uteпов Yelbek Bakhitovich**, PhD, associate professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: utepov\_yelbek@mail.ru

Республикасы, e-mail: uterov-elbek@mail.ru

Казахстан, e-mail: uterov-elbek@mail.ru

010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: uterov-elbek@mail.ru

**Шадрин Юрий Иванович,** металлургия бакалавры, түсті металдарды балқытушы, «Вектор» ЖШС, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: shadrin\_yura3434@bk.ru

**Шадрин Юрий Иванович,** бакалавр металлургии, плавильщик цветных металлов, ТОО «Вектор», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: shadrin\_yura3434@bk.ru

**Shadrin Yuri Ivanovich,** Bachelor of Metallurgy, non-ferrous metals smelter, Vector LLP, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: shadrin\_yura3434@bk.ru

**Шәкетаева Мәдина Талғатқызы,** магистрант, Жол-көлік факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: i.sweet\_cherry@mail.ru

**Шәкетаева Мәдина Талғатқызы,** магистрант, Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: i.sweet\_cherry@mail.ru

**Shaketayeva Madina Talgatovna,** undergraduate student, Transport and Road Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: i.sweet\_cherry@mail.ru

**Шеров Айбек Кәрібекұлы,** PhD, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sherov\_ak@mail.ru

**Шеров Айбек Карибекович,** PhD, ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sherov\_ak@mail.ru

**Sherov Aibek Karibekovich,** PhD, senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sherov\_ak@mail.ru

**Шеров Карибек Тагаевич,** техника ғылымдарының докторы, профессор, Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: shkt1965@mail.ru

**Шеров Карибек Тагаевич,** доктор технических наук, профессор, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан, e-mail: shkt1965@mail.ru

**Sherov Karibek,** Doctor of Technical Sciences, professor, Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: shkt1965@mail.ru

**Шокан Рашид Маратұлы,** магистрант, «Механика және мұнай-газ ісі» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: r.shokan@gmail.com

**Шокан Рашид Маратович,** магистрант, кафедра «Механики и нефтегазового дела», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: r.shokan@gmail.com

**Shokan Rashid Maratovich,** undergraduate student, Department of Mechanics and Oil and Gas Business, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: r.shokan@gmail.com

**Яновский Адам,** магистрант, «Механика және мұнай-газ ісі» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан

**Яновский Адам,** магистрант, кафедра «Механики и нефтегазового дела», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008,

**Yanovsky Adam L.** undergraduate student, Department of Mechanics and Oil and Gas Business, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008,

Республикасы, e-mail: A.L.Janowski@gmail.com

Республика Казахстан, e-mail: A.L.Janowski@gmail.com

Republic of Kazakhstan, e-mail: A.L.Janowski@gmail.com

**Янюшкин Александр Сергеевич,** техника ғылымдарының докторы, профессор, бас ғылыми қызметкер, «Машина жасау технологиясы» кафедрасы, И. Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті, Чебоксары қ., 428015, Чуваш Республикасы, Ресей Федерациясы, e-mail: yanyushkinas@mail.ru

**Янюшкин Александр Сергеевич,** доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, кафедра «Технология машиностроения», Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428015, Российская Федерация, e-mail: yanyushkinas@mail.ru

**Yanyushkin Alexander Sergeevich,** Doctor of Technical Sciences, professor, Chief Researcher, Department of Mechanical Engineering Technology, Chuvash State University after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian Federation, e-mail: yanyushkinas@mail.ru

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА  
«НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

**\*В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

**\*Количество соавторов одной статьи не более 5.**

**\*Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

**\*Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

**\*Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

**\*Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

**\*Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

**\* Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

**Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:**

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц печатного текста**. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение,

заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество** (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*);

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (*см. образец*);

10 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Кіріспе / Introduction** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) *Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом*.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

**На отдельной странице (после статьи)**

**В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются):**

**Сведения об авторах**

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		



**Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.**

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

**Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.**

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

**Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)**

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

**Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате.** Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

**Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на почту: nitk.tou.edu.kz. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.**

**140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,**

НАО «Торайгыров университет»,

**Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.**

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: [nitk.tou.edu.kz](mailto:nitk.tou.edu.kz).

**Наши реквизиты:**

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.kz Платежи – Образование –Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jysan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ**

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxxx

**С. К. Антикеева**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ  
СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ**

*В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.*

*Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.*

**Введение**

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Материалы и методы**

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Результаты и обсуждение**

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Выводы**

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Список использованных источников**

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 2 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.
- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

**References**

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniju (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.
- 8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.
- 9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300-Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.
- 10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraiyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

**С. К. Антикеева**

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

**БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ**

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзыреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нәтижелерін, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

*Кілтті сөздер:* теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

**S. K. Antikeeva**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

**THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES**

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented

*pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.*

*Keywords:* theoretical model, competencies, professional development, social workers.

**Сведения об авторах**

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**Публикационная этика научных журналов  
«Вестник Торайгыров университета»,  
«Краеведение», «Наука и техника Казахстана»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегий статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

**Ответственность экспертов (рецензентов)**

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

**Ответственность авторов**

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета

номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегия Журнала.

Теруге 20.09.21 ж. жіберілді. Басуға 27.09.21 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,56 Mb RAM

Шартты баспа табағы 10,58. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген З. С. Искакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3845

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz