

## МАЗМҰНЫ

<b>Абашин М. И., Барзов А. А., Денчик А. И., Мусина Ж. К.</b> Сұйықфазалы құрылымдарды ультраағыспен еңдеу конструкторлық-технологиялық шешімдер .....	6
<b>Абдрахманов Е. С.</b> Жаңа компоненттер мен байластырғыштарды қолдану арқылы көмір ұнтақтарының құрамындағы балласты төмендету арқылы байыту мен брикеттеу .....	16
<b>Абишев К. К., Есенжол Д. Қ., Жайлаубай Д. С.</b> Қардажүргіш аспасының қатаңдығын зерттеу және есептеу .....	23
<b>Быков П. О., Касимгазинов А. Д.</b> «Кастинг» ЖШС ПФ жағдайында 5 топ қаттылықты оралып созылған ұнтақтағыш шарлардын жасау технологиясын зерттеу мен апробациясы .....	31
<b>Вайнорюте В. В., Дычко И. Н., Богомолов А. В.</b> «Проммашкомплект» ЖШС-нің базасында теміржол доңғалақтарына арналған дайындама алу технологиясын әзірлеу .....	41
<b>Жандарбекова А. М., Байгужина Г. Н.</b> Бір шөмішті фронтальді тиегіштердің сенімділігіне жасалған пайдалану сынақтарының нәтижелері .....	53

Абишев К. К., к.т.н., ассоц. профессор (главный редактор)  
Мусина Ж. К., к.т.н., ассоц. профессор (ответственный секретарь)

### Члены редакционной коллегии:

Abel Chaves, PhD, assistant professor (USA);  
Igor M. Tkachenko, Dr.Sc., professor (Spain);  
Mareks Mezitis, Dr.sc.ing., professor (Latvia);  
Petr Bouchner, PhD, professor (Czech Republic);  
Ronny Bernadtsso, professor (Sweden);  
Аликулов Д. Е., д.т.н., профессор (Узбекистан);  
Барзов А. А., д.т.н., профессор (Россия);  
Бекенов Т. Н., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Бочкарёв П. Ю., д.т.н., профессор (Россия);  
Витвицкий Е. Е., д.т.н., профессор (Россия);  
Гумаров Г. С., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Иванчина Э. Д., д.т.н., профессор (Россия);  
Калиакпаров А. Г., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Каракаев А. К., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Коновалов В. В., д.т.н., профессор (Россия);  
Кудерин М. К., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Мендебаев Т. М., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Муслимов А. П., д.т.н., профессор (Кыргызстан);  
Никитин Г. М., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Нуржауов А. Н., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Танкович В. С., к.т.н., профессор, (Белорусь)  
Украинец В. Н., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Чайкин В. Н., д.т.н., профессор (Россия);  
Шапко В. Ф., к.т.н., профессор (Украина);  
Шеров К. Н., д.т.н., профессор (Казахстан);  
Янюшкин А. С., д.т.н., профессор (Россия);  
Шокубаева З. Ж. (технический редактор).

**Касенов А. Ж., Тлеулесов А. К., Ахметбек А. Н.**  
«Қазақстан Алюминий» АҚ-ның қалдықтарынан бетон өндіру ..... 61

**Курманов А. К., Камышева Н. А.**  
Ортадан тепкіш соққы ұсатқыш күрекшенің  
оңтайлы конфигурациясы мәселесі жөнінде ..... 76

**Рындин В. В.**  
Магистральдық газ құбырын Mathcad жүйесінде  
технологиялық есептеу ..... 83

**Сапинов Р. В., Жакупов А. Н., Саду А.**  
Тұрмыстық пластикалық және энергетика мен металлургия  
өндірістердің техногендік қалдықтарын өңдеуіне қатысты жаңа  
композитті материалдарды қабылдау ..... 96

**Ықсан Ж. М., Кенжебекова А. Е.**  
Сандық бағдарламамен басқарылатын білдектерін  
қолдану тиімділігі ..... 103

**Ықсан Ж. М., Усенова Г. А.**  
Сорғы компрессорлық құбырлардың бұрандалы  
қосылыстарды бытыраағынымен өңдеуінің зерттеу процесі ..... 111

Авторларға арналған ережелер ..... 122

№1 2018

# НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПАВЛОДАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА

## СОДЕРЖАНИЕ

**Абашин М. И., Барзов А. А., Денчик А. И., Мусина Ж. К.**  
Конструкторско-технологические решения по  
ультраструйной обработке жидкофазных структур ..... 6

**Абдрахманов Е. С.**  
Снижение балласта в составе угольной мелочи  
за счет ее обогащения и брикетирования  
с применением новых компонентов и связующих ..... 16

**Абишев К. К., Есенжол Д. К., Жайлаубай Д. С.**  
Исследование и расчет жесткости  
подвески снегохода ..... 23

**Быков П. О., Касимгазинов А. Д.**  
Исследование и апробация технологии получения  
катаных помольных шаров 5 группы твердости  
в условиях ПФ ТОО «Кастинг» ..... 31

**Вайнорюте В. В., Дычко И. Н., Богомолов А. В.**  
Разработка технологии получения заготовки  
для железнодорожных колес на базе  
ТОО «Проммашкомплект» ..... 41

**Жандарбекова А. М., Байгужина Г. Н.**  
Результаты эксплуатационных испытаний  
одноковшовых фронтальных погрузчиков  
на надежность ..... 53

**Касенов А. Ж., Тлеулесов А. К., Ахметбек А. Н.**  
Производство бетона из отходов  
АО «Алюминий Казахстана» ..... 61

**Курманов А. К., Камышева Н. А.**  
К вопросу об оптимальной конфигурации  
лопатки ударно-центробежной дробилки ..... 76

**Рындин В. В.**  
Технологический расчёт магистрального  
газопровода в системе Mathcad ..... 83

**Сапинов Р. В., Жакупов А. Н., Саду А.**  
Получение новых композитных материалов  
путем переработки бытовых пластиковых  
и техногенных отходов энергетических  
и металлургических производств ..... 96

**Ықсан Ж. М., Кенжебекова А. Е.**  
Эффективность применения станков  
с числовым программным управлением ..... 103

**Ықсан Ж. М., Усенова Г. А.**  
Исследование процесса дробеструйной  
обработки резьбовых соединений  
насосно-компрессорных труб ..... 111

Правила для авторов ..... 122

КОРРЕКТОР:  
А. Р. Омарова,  
К. Б. Жетписбай

ВЕРСТКА:  
А. А. Шукурбаева

© ПГУ им. С. Торайгырова

CONTENTS

**Abashin M. I., Barzov A. A., Denchik A. I., Mussina Z. K.**  
Design and technology decisions on ultrajet processing of liquid-phase structures ..... 6

**Abdrakhmanov E. S.**  
Reduction of ballast in coal fines due to its enrichment and briquetting with the use of new components and binders ..... 16

**Abishev K. K., Esenzhol D. K., Zhailaubay D. S.**  
Research and calculation of the snowmobile suspension stiffness..... 23

**Bykov P. O., Kasimgazinov A. D.**  
Research and approbation of production technology for rolled grinding balls 5-th group of hardness in the PB LLP «Casting» ..... 31

**Vainoryute V. V., Dychko I. N., Bogomolov A. V.**  
Development of production technology for railway wheels billets based on LLP «Prommashkomplekt» ..... 41

**Zhandarbekova A. M., Baiguzhina G. N.**  
Results of exploitation tests of single-booster front loaders on reliability..... 53

**Kasenov A. Z., Tleulesov A. K., Akhmetbek A. N.**  
Production of concrete from waste of JSC «Aluminum of Kazakhstan» ..... 61

**Kurmanov A. K., Kamysheva N. A.**  
To the question of the optimal configuration of the impact-centrifugal crusher 's vane..... 76

**Ryndin V. V.**  
Technological calculation of the main gas pipeline in the Mathcad system..... 83

**Sapinov R. V., Zhakupov A. N., Sadu A.**  
Receipt of new composite materials by processing of household and technogenic wastes of power and metallurgical productions ..... 96

**Yksan Zh. M., Kenzhebekova A. Y.**  
Effectiveness of application of machine tools with CNC..... 103

**Yksan Zh. M., Usenova G. A.**  
Investigation of the blasting process of threaded connections of pump-compressor pipes ..... 111

Rules for authors ..... 122

ҚҰРМЕТТІ ОҚЫРМАНДАР!

Сіздердің алдарыңызда «Қазақстан ғылымы мен техникасы» ғылыми журналының жаңа саны. Журналдың жаңа болуы, осы жылдың бірінші саны болуы ғана емес, оның рәсімделуінде көп өзгерістер енгізілуіне де байланысты. Соның ішінде редакция алқасының құрамы өзгерді, Қазақстан Республикасының, жақын және алыс шетелдердің алдыңғы қатарлы ғалымдары енгізілді. Журналдың дизайны басқа түрге ие болды, редактор бағанасы, мерей той күндері және аймақ, мемлекет өндірістік кәсіпорындары туралы ақпарат беру рубрикалары қосылды.

Журнал Ресейлік ғылыми сілтеме жасау индексінің (РИНЦ) жүйесіне енгізілген. Журналдағы жариялымдар туралы ақпарат белгіленген нысан бойынша үнемі РИНЦ жүйесіне жіберіліп отырады.

Біз журналымызды, ең алдыменен, қазіргі таңда көптеген және әртүрлі теориялар, тұжырымдамалар мен көзқарастардан тұратын әлемдік ғылым, білім және техниканың көрінісін айқындап беретін заманауи жасауға тырысамыз.

Сіздерді тек өздеріңіздің мақалаларыңызды жіберіп қана қоймай, сонымен қатар біздің жариялымдар туралы пікірлер беруілеріңізді, журнал арқылы ғылым, білім және техниканың жағдайы мен даму болашағы туралы ойларыңызбен, идеяларыңызбен бөлісуге шақырамыз. Ең қызықты және мазмұнды пікірлер журналда жарияланады.

Біз журналымыздың оқырмандары мен авторларына алғыс айта отырып, ынтымақтастығымызды әрі қарай жемісті жалғастыруға үміттенеміз.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед Вами – новый номер научного журнала «Наука и техника Казахстана». Он новый не потому, что первый в этом году, но и потому, что многое изменилось в его оформлении. В частности изменился состав редакционной коллегии, включены ведущие ученые Республики Казахстан, стран ближнего и дальнего зарубежья. Дизайн журнала приобрёл другой вид, включены рубрики: колонка редактора, юбилейные даты и информация о промышленных предприятиях региона и страны.

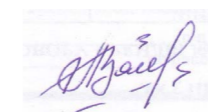
Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Информация о публикациях в журнале регулярно по установленной форме поставляется в систему РИНЦ.

Мы стремимся сделать наш журнал, прежде всего, современным, отражающим картину мировой науки, образования и техники, многообразие которой в настоящее время состоит из многочисленных и разнообразных теорий, концепций и взглядов.

Приглашаем Вас не только присылать свои статьи, но и высказывать мнения о наших публикациях, через журнал обмениваться мыслями, идеями о состоянии и перспективах развития науки, образования и техники. Наиболее интересные и содержательные отклики будут опубликованы в журнале.

Мы благодарим наших читателей и авторов, надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

Главный редактор



К. Абишев

**М. И. Абашин<sup>2</sup>, А. А. Барзов<sup>2</sup>, А. И. Денчик<sup>3</sup>, Ж. К. Мусина<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Технологии ракетно-космического машиностроения», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва, 1050058, Российская Федерация;

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, в.н.с., Московский государственный имени М. В. Ломоносова, г. Москва, 119991, Российская Федерация;

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., ассоц. профессор (доцент), кафедра «Машиностроение и стандартизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>kafsm12@bmstu.ru; <sup>2</sup>a.a.barzov@gmail.com; <sup>3</sup>pavlodarec99@mail.ru; <sup>4</sup>mussina\_zhanara@mail.ru

### КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УЛЬТРАСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКЕ ЖИДКОФАЗНЫХ СТРУКТУР

*Рассмотрены и изложены конструкторско-технологические решения (КТР), раскрывающие высокий инновационно-физический потенциал ультразвуковой обработки (УСО).*

*Ключевые слова: ультразвуковая обработка, роторно-струйная обработка жидкостей, гидродавление, ультразвуковая гидротехнология, ультразвуковое микродиспергирование, поток жидкости, способ обработки жидкости.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Экспертно-аналитический анализ показал, что традиционные КТР по УСО материалов (резание, очистка поверхностей) с технико-экономической точки зрения практически не адаптируемы для ультразвуковой обработки различных жидкофазных структур: воды, молока, высокомолекулярных соединений типа нефти и других гидрофизических сред. Поэтому стоит задача по разработке инновационных КТР для реализации физико-технологических операций по УСО различных жидкостей и гидрофазных продуктов типа суспензий, гельструктур и др. В работах [1, 2] предложен и достаточно подробно рассмотрен запатентованный способ роторно-струйной обработки жидкостей (Патент №2270771 RU). Этот способ является по существу первой конструкторско-технологической альтернативой традиционного подхода к УСО жидкостей путем использования существующих установок по созданию высоких гидродавлений для ультразвукового резания материалов и очистки поверхностей от загрязнений. В связи с этим возникло физически обоснованное предположение о возможности создания требуемой степени ударно-динамического воздействия на обрабатываемую жидкость за счет встречного движения УС и твердотельной мишени.

#### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим подробнее возможные основные модификации КТР УСО жидкостей путем использования встречно-кругового движения твердотельных мишеней. За базовый вариант примем схему УСО, представленную на рисунке 1.

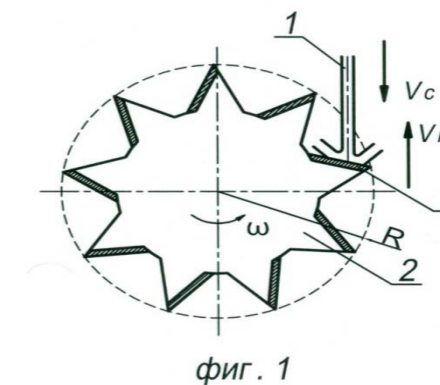


Рисунок 1 – Базовый вариант УСО жидкостей со встречно-круговым движением твердотельной диско-зубчатой мишени

Согласно этому КТР высокоскоростная струя обрабатываемой жидкости 1 (рисунок 1), имеющая скорость  $V_c$  ударяется о рабочую поверхность 3 мишени 2, движущуюся во встречном направлении со скоростью  $V_m$ . Причем:  $V_c + V_m = V_p$ , где:  $V_p$  – рабочая скорость струи обрабатываемой жидкости, ударяющейся о неподвижную мишень, при которой обеспечивается заданное изменение потребительских свойств обрабатываемая жидкости, например полное обеззараживание.

Исходя из закона сохранения энергии теоретическое значение рабочего гидродавления жидкости  $P_p$ , обеспечивающего ей при истечении из сопла скорость  $V_p$  в первом приближении определяется соотношением:  $V_p = \sqrt{2P_p/\rho}$ , где  $\rho$  – плотность жидкости. Тогда, выполняя очевидные преобразования, величину возможного снижения гидродавления при сохранении неизменного значения  $V_p$ , как скорости ударнодинамического взаимодействия струи с движущейся мишенью, определим из соотношения:

$$P_{\text{дм}} = \frac{1}{(1+k)^2} P_p \quad (1)$$

где  $P_{\text{дм}}$  – давление обрабатываемой жидкости в гидросистеме в случае удара струи в движущуюся во встречном направлении мишень, имеющую скорость  $V_m = kV_c$ ;

где  $k \geq 0$  – коэффициент, характеризующий отношение скорости мишени  $V_m$  к скорости струи  $V_c$  при выполнении требования эффективной струйной обработки  $V_p = V_c + V_m$ . Заметим, что при  $k = 0$  мишень неподвижна относительно струи, как было предложено в традиционных КТР по УСО различных жидкостей.

Таким образом, параметр  $1/(1+k)^2$  характеризует величину возможного, технически очень важного снижения гидродавления обрабатываемой жидкости по предлагаемой ультразвуковой гидротехнологии.

Недостатком КТР в виде схемы гидроструйной обработки, представленной на рисунке 1, является наличие зон, расположенных между рабочими поверхностями



мишени, в которых на струю обрабатываемой жидкости оказывается недостаточное ударно-динамическое воздействие.

Существенным повышением ударно-динамического воздействия на гидрострую при использовании движущихся во встречном направлении рабочих поверхностей мишеней является КТР, в котором последовательно используются две мишени типа фрез или зубчатых колес, рабочие поверхности 3 которых движутся по круговым траекториям в противоположные стороны относительно своих осей вращения (рисунок 2).

В данном случае струя обрабатываемой жидкости 1 подается в зону «зубчатого зацепления» двух вращающихся многозубых мишеней 2 (рисунок – 2), при этом зона «безударной» обработки жидкости рабочими поверхностями 3 вращающихся мишеней 2 практически отсутствует

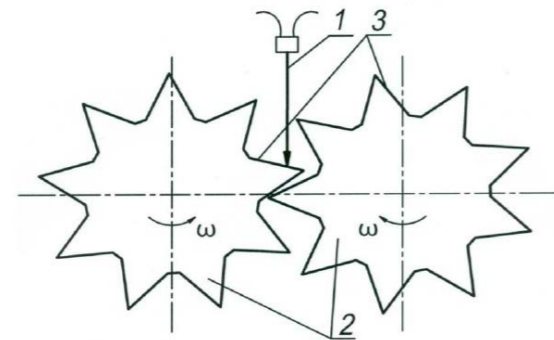


Рисунок 2 – КТР с двумя совмещенными вращающимися многогранными мишенями

Для увеличения суммарной площади контактных поверхностей мишеней можно предложить КТР по их «цепному» расположению, изображенную на рисунке 3. Согласно схеме этого КТР, гидроструя 1 направляется в зону «зацепления» мишеней 2, рабочие поверхности которых закреплены на гибком основании, и движутся по эллиптическим траекториям, длина которых позволяет расположить значительное количество единичных (элементарных) мишеней, что повышает их суммарную гидроэрозионную стойкость и увеличивает производительность обработки.

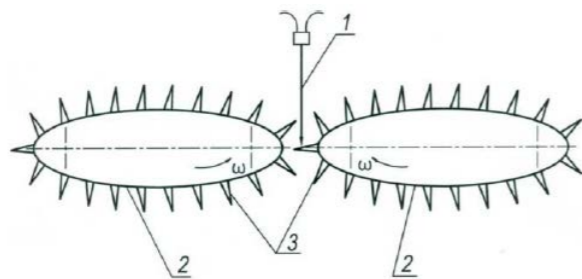


Рисунок 3 – КТР с твердотельными мишенями на гибком замкнутом основании для УСО жидкостей

Энергетическая неоднородность ультраструи в радиальном направлении обусловленная наличием центрального практически равномерного высокоскоростного ядра и периферийной зоны с существенно меньшими скоростями имеющей дисперсно-капельную структуру, предопределяет необходимость использования функционально избыточного рабочего гидродавления при УСО жидкостей. Именно такое, избыточное давление должно обеспечить гарантированные технологические условия воздействия на весь объем обрабатываемой гидросреды. Техничко-экономические недостатки данного положения очевидны и весьма негативно сказываются на результативности всей группы УСТ, связанных с УСО гидрофизических сред.

Поэтому возникает проблема использования в качестве обрабатываемого гидроэлемента технологической системы УСО жидкостей только центрально-осевого высокоскоростного ядра УС. При этом периферийная часть струи, имеющая более низкие энерго-скоростные параметры и неоднородную дискретно-капельную структуру подвергается сепарации (отсечению) от ядра УС и поступает на вторичную обработку. Конструкторско-технологическим решением задачи по сепарации (отделению) ядра УС от её периферийной зоны является наличие на пути движения гидроструи соосного с ней отверстия диаметром, равным диаметру центральной высокоскоростной части УС. Это отверстие специально формируется в мембране – промежуточной преграде, расположенной между срезом сопла и твердотельной мишенью. При реализации данного КТР по мембранно-«механической» сепарации ядра УС должны выполняться следующие основные условия:

1 Максимально-достижимая соосность гидроструи и отверстия в мембране, в случае их круговой формы. Это обеспечивает требуемую энерго-скоростную сепарацию исходной УС, снижает гидроэрозионный износ стенок сепарационного отверстия.

2 Максимально-возможная эквидистантность контуров высокоскоростного ядра УС и контура энергоскоростного сепарирующего отверстия в мембранообразной промежуточной преграде между соплом и основной твердотельной мишенью, т.е. практическое совпадение их диаметров.

3 При недопустимом увеличении размера сепарирующего отверстия в промежуточной мишени (мембране) из-за гидроэрозионного разрушения его контура в процессе УСО жидкостей должна быть осуществлена операция по восстановлению физико-технологических условий гидрообработки в соответствии с требованиями по п. 1 и п.2.

Схема типового варианта конструктивно-технического исполнения условия сепарации (разделения) потока жидкости в гидроструе по энерго-скоростному признаку показана на рисунке 4.

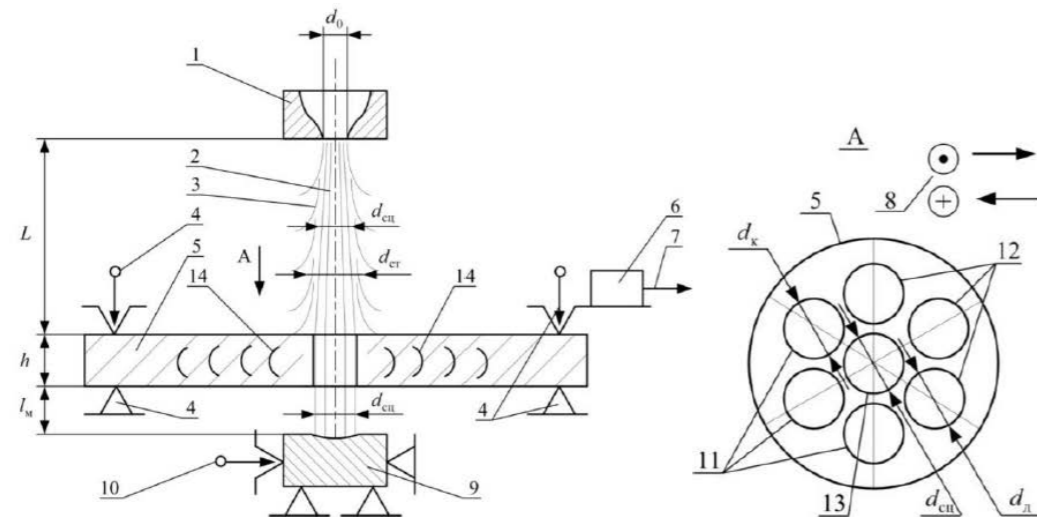


Рисунок 4 – Вариант типового КТР по выделению энерго-скоростного ядра ультрагидроструи жидкости

На рисунке 4 принято: 1 – струеформирующее гидросопло, с диаметром  $d_0$  в критическом (минимальном) сечении; 2 – центральная часть гидроструи, её ядро с равномерной скоростью движения  $V_c = V_{cy}$  и диаметром  $d_{cy} \sim d_0$  (без учета сжимаемости жидкости); 3 – турбулизированный микрокапельный слой периферийной части гидроструи диаметром  $d_{cm} > d_{cy}$ ; 4 – узлы крепления сепарирующей промежуточной мишени (мембраны); 5 – сепарирующая промежуточная мишень (мембрана); 6 – приемный пьезопреобразователь (пьезодатчик) для приема волн акустической эмиссии (АЭ) из зоны взаимодействия гидроструи 2 с мембранно-сепарационной мишенью 5; 7 – блок обработки сигнала АЭ и выработки управляющей команды на юстировку путем выверки положения и координирования мембраны 5 относительно гидроструи 2; 8 – устройство юстировки и координирования положения мембраны 5 относительно гидроструи 2; 9 – основная твердотельная мишень, обеспечивающая ударно-динамическое воздействие на гидрострую обрабатываемой жидкости 2; 10 – узел крепления и перемещения мишени 9; 11 – заранее выполненные сепарационные отверстия диаметром  $\sim d_{cy}$  в мембране 5; 12 – изношенные сепарационные отверстия диаметром  $d_k > d_{cy}$  из-за их гидроэрозионного разрушения; 13 – действующее сепарационное отверстие диаметром  $d_{cl} : d_{cy} < d_{cl} < d_k$ ; 14 – волны АЭ, генерируемые в зоне ударно-динамического взаимодействия УС 2 с мембраной 5.

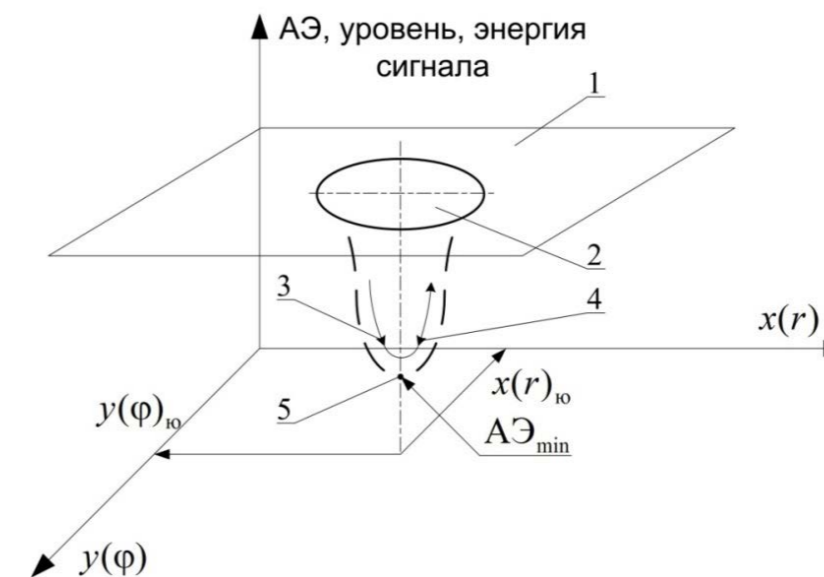
Начало проникновения гидроструи (2) в сепарационное отверстие сопровождается уменьшением, снижением уровня большой энергии сигнала АЭ (3) (рисунок 5). Осуществляется дальнейшее юстировочное координирование оси гидроструи 2 (рисунок 4) и оси сепарационного (сепарирующего) отверстия

$d_{cy}$  (рисунок 5). В случае увеличения сигнала АЭ осуществляется траекторный возврат (4) к прежним координатам СМ.

Именно эти значения координат обеспечивают соосность отсечного отверстия 11 диаметром  $d_{cy}$  (рисунок 4) и оси гидроструи 2, так как при этом реализуется минимальный гидроконтат струи со стенками отверстия 11. При этом имеет место минимальный уровень, энергия сигнала АЭ (рисунок 5).

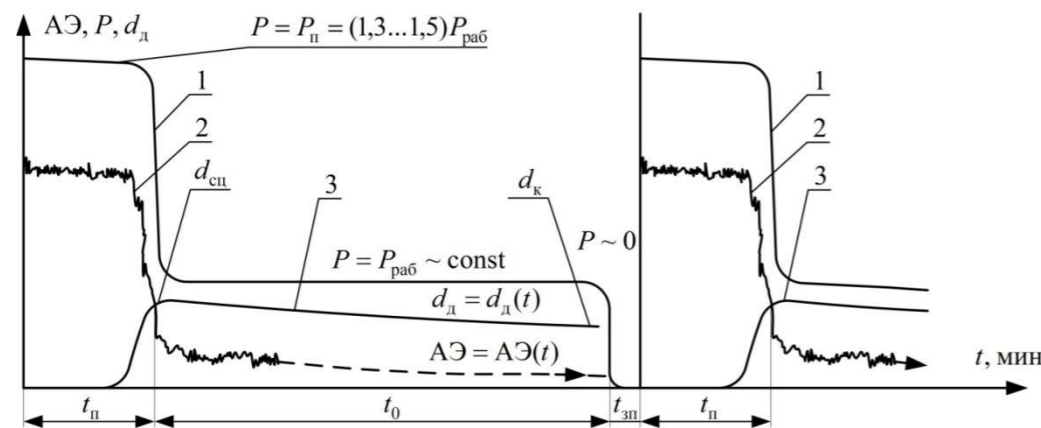
Для контроля и диагностики процесса формирования перфорационного отверстия (ПО) в сепарационной мембране (СМ) гидроструей повышенного «перфорационного» давления  $P_n$  и последующего штатного режима её течения до окончания цикла ударно-динамической обработки жидкости, т.е. при диаметре ПО величиной  $d_k$ , не обеспечивающем требуемую равномерность скорости гидроструи величины  $V_{cy}$  по сечению её ядра, центральной части  $d_{cy}$  эффективно также использовать метод АЭ.

На рисунке 6 изображена схема изменения гидродавления  $P$  (1), сигнала АЭ (2) и диаметра ПО (3) в течение времени  $t$  одного цикла ультраструйно-ударной обработки жидкости: от момента формирования ПО до окончания процесса обработки, т.е. при достижении диаметра ПО критического, функционально-конечного значения  $d_k > d_{cy}$ .



1 – уровень сигнала АЭ при ударе УС в СМ; 2 – уровень сигнала АЭ в начале процесса попадания УС в отверстие в СМ; 3 – снижение сигнала АЭ при попадании ультраструи в СМ; 4 – возврат к исходным юстировочным координатам; 5 – искомые координаты юстировки при минимуме сигнала АЭ.

Рисунок 5 – Схема юстировки гидроструи относительно перфорационного отверстия в сепарирующей мембране



1 – изменение гидродавления в процессе цикла УСО какой либо жидкости;  
 2 – изменение сигнала АЭ из зоны взаимодействия ГУС с СМ; 3 – изменение действительного (текущего) диаметра ПО в процессе УСО:  $d_{сц} \leq d_{\delta} \leq d_{к}$ .  
 Рисунок 6 – Изменение функционально-информативных параметров УСО при формировании перфорационного отверстия в сепарационной мембране

Условно весь цикл обработки, продолжительностью  $t_{ц}$  можно представить в виде трех характерных периодов:

$t_n$  – времени, затрачиваемого на формирование ПО, т.е. технологически подготовительного времени;

$t_o$  – основного времени УС-обработки жидкости в штатном технологическом режиме при  $P_{раб}$ ;

$t_{зн}$  – заключительно-подготовительного технологического времени, затрачиваемого на изменение местоположения мембраны относительно оси гидроультраструи (ГУС) обрабатываемой жидкости или замену использованной мембраны новой.

Если в течение времени УСО имеет место снижение уровня сигнала АЭ на 5 %, то осуществляется выработка управляющей команды на прекращение цикла обработки, так как при этом имеет место выполнение соотношения:  $d_{\delta}(t_c) = d_{к}$ . В противном случае качество жидкости после УСО, например её стерильность, не будет гарантировано со 100 % – вероятностью.

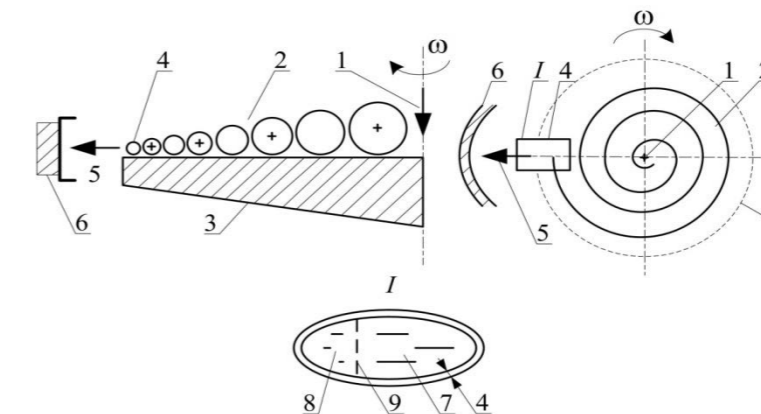
Таким образом, использование для УСО различных жидкостей только высокоскоростного ядра УС путем применения соответствующих КТР в частности калиброванных отверстий в сепарирующей мембране позволит существенным образом повысить эффективность многих операционных УСТ.

Перспективным конструкторско-технологическим развитием роторно-струйной обработки (РСО) жидкостей, принципиальные схемы реализации которой подробно рассмотрена в работе [2] и в патенте на изобретение «Способ обработки жидкостей» № 2270717 RU является совмещение центробежного метода создания сверхвысокого гидродавления для формирования УС с процессом масс-инерционной сепарации исходной жидкофазной среды.

Особое значение может иметь сепарационная РСО при УСО нефтеводных и других эмульсий, жидкофазных радиоактивных отходов и различных специфических многокомпонентных трудноразделяемых гидрофизических сред, в том числе имеющих изотопно-химическую неоднородность. Основой КТР по сепарационной РСО является постепенное разделение исходно поликомпонентной жидкофазной структуры на отдельные составляющие в поле масс-инерционных (центробежных) сил, создаваемых быстровращающимся ротором.

Ключевое отличие от известных способов центробежной сепарации состоит в том, что гидроэлементное разделение происходит в весьма протяженном вращающемся сложнопрофильном канале. Конструктивные параметры этого канала обеспечивают заданный, обычно во избежание перемешивания сепарируемых компонент жидкости, однородно-монотонный градиент масс-инерционных сил действующих на элементы сепарируемой гидрофизической среды: мелкодисперсной суспензии, эмульсии, молекулярного раствора и т.п. Далее, разделенные фракции или одна фракция поступает в струеформирующее сопло или сопла, обеспечивающие получение УС и последующую УСО данной гидроструктуры.

На рисунке 7 представлен вариант КТР плоскоспиральной сепарационной РСО. Как вариант КТР следует отметить возможность УСО жидкости не в периферийной (8), а в центральной (7) части канала 4, а также их одновременную УС-активацию.



1 – подача обрабатываемой гидрофизической среды; 2 – улиткообразная спираль с обрабатываемой жидкостью; 3 – силовой равнопрочный диск для крепления 2; 4 – выход спиралевидного канала 2 со струеформирующим соплом; 5 – УС обрабатываемой жидкости; 6 – кольцевая неподвижная твердотельная мишень; 7 – не подлежащая УСО фракция исходной жидкости; 8 – жидкофазная отсепарированная компонента, подлежащая УСО; 9 – слабопроницаемая перегородка на выходе канала 4.

Рисунок 7 – Плоскоспиральный вариант КТР сепарационной роторно-струйной обработки гидрофизических сред



## ВЫВОДЫ

В целом необходимо подчеркнуть весьма вариативный характер КТР сепарационной РСО жидкостей. В частности, в зависимости от функционально-эксплуатационных требований, например по более полному предотвращению смешивания компонент жидкостей перед УСО в схемном решении можно предусмотреть градиентное захлаживание спиралевидного канала 2 с помощью термомодулей на эффекте Пельтье, совершенствование конструкции разделительной перегородки 9, формы поперечного сечения оконечной части 4 канала 2 и др. Кроме этого возможно создание схемы РСО с многовитковой спиралью, развернутой на угол  $\frac{\pi}{2}$  по отношению к оси её вращения  $\omega$ , а также другие КТР. Эти КТР требуют подробного экспертно-аналитического анализа, проектно-расчетного обоснования функциональной результативности и технико-экономической эффективности.

Таким образом, вышерассмотренная совокупность КТР по реализации спектра функциональных возможностей УСО жидкостей и различных гидрофизических сред показывает высокий инновационно-технический потенциал их эффективного, в том числе рационально-комбинированного использования в производственных условиях для решения важных гидротехнологических задач в различных отраслях промышленной экономики.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Барзов, А. А., Галиновский, А. Л., Пузаков, В. С. Ультраструйная технология обработки жидкостей – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 258 с.
- 2 Ультраструйная технология получения микросуспензий / Балашов О. Е., Барзов А. А. и др. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 352 с.
- 3 Барзов, А. А. и др. Анализ инновационного потенциала ультразвуковых гидротехнологий // Наука и техника Казахстана. – 2016. – № 3–4. – С. 7–16.
- 4 Бочкарев, С. В., Барзов, А. А. и др. Ультраструйная диагностика микроструктуры материала при термической обработке // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2017. – № 6 (744). – С. 58–63.
- 5 Барзов, А. А., Галиновский, А. Л., Пузаков, В. С. Инверсия технологических полнятий «инструмент» – «заготовка» при ультразвуковой обработке материалов и жидкостей // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Машиностроение. – 2009. – № 2. – С. 72–83.
- 6 Барзов, А. А., Галиновский, А. Л. и др. Анализ влияния кинетического фактора ультразвука на эффективность гидрообработки материалов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2010. – № 100–2. – С. 115–123
- 7 Ультраструйная технология получения микросуспензий / О. Е. Балашов, А. А. Барзов, А. Л. Галиновский и др. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 352 с.
- 8 Барзов, А. А., Галиновский, А. Л., Хафизов, М. В. и др. Повышение производительности гидроабразивной резки материалов путем выбора

рациональных режимов обработки методом акустической эмиссии // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 1 (670). – С. 71–77.

9 Тищенко, Л. А., Афанасьев, Д. В., Нотин, И. А. К вопросу о повышении производительности оборудования гидроабразивной обработки // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – № 5. – С. 64–74.

10 Ганина, В. И., Мурашов, И. Д., Морозова, В. В. Влияние ультразвуковой обработки и лазерного облучения на показатели качества молочного сырья // Молочная промышленность. – 2016. – № 9. – С. 22–23.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*М. И. Абашин<sup>1</sup>, А. А. Барзов<sup>2</sup>, А. И. Денчик<sup>3</sup>, Ж. К. Мусина<sup>4</sup>*

**Сұйықфазалы құрылымдарды ультраағыспен өңдеу конструкторлық-технологиялық шешімдер**

<sup>1</sup>Н. Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу қ., 1050058, Ресей Федерациясы.

<sup>2</sup>М. В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Мәскеу қ., 119991, Ресей Федерациясы.

<sup>3,4</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*M. I. Abashin<sup>1</sup>, A. A. Barzov<sup>2</sup>, A. I. Denchik<sup>3</sup>, Z. K. Mussina<sup>4</sup>*

**Design and technology decisions on ultrajet processing of liquid-phase structures**

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 1050058, Russian.

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian.

<sup>3,4</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 14.02.18.

*Жоғары инновациялық-физикалық әлеует ашатын, ультраағыспен өңдеудің (УАӨ) конструкторлық-технологиялық шешімдері (КТШ) қарастырылған және баяндалған.*

*The design and technology decisions (DTD) realizing the high innovative and physical potential of ultrajet processing (USO) are considered and stated.*



**Е. С. Абдрахманов**

к.т.н., профессор, кафедра «Металлургия», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан  
e-mail: erai1512@mail.ru

### **СНИЖЕНИЕ БАЛЛАСТА В СОСТАВЕ УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ ЗА СЧЕТ ЕЕ ОБОГАЩЕНИЯ И БРИКЕТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ КОМПОНЕНТОВ И СВЯЗУЮЩИХ**

*Установлены характеристики брикетов на биосвязующих и на нефтяном пеке с обогатителями в виде резинотехнической сажи и анодной пыли электролизеров для получения алюминия. Выявлено, что теплотворная способность брикетов выше, чем экибастузского угля на 20–40 %, причем теплотворная способность наиболее высокая у брикетов с обогатителем в виде анодной пыли и связующем в виде нефтяного пека ( $-\Delta H^0_{\text{сгорания}} = 6840,8$  ккал/кг). Сконструированы конструкции сажеуловительной установки, сортировочно-просеивающего оборудования, смешивающей лабораторной установки, мундштучно-брикетирующего пресса, валкового брикетирующего пресса и шнекового смесителя с обогревателем.*

*Ключевые слова: угольная мелочь, брикеты, сажа, анодная пыль, коксование.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Экономное и рациональное использование сырьевых ресурсов, стимулирующее рост промышленного производства, является одним из основных требований, выдвигаемых Правительством РК в области дальнейшего развития обрабатывающих отраслей промышленности. В Государственной программе индустриально-инновационного развития на 2015–2019 годы одним из приоритетных секторов экономики является – производство машин и оборудования для горнодобывающей промышленности [1, 2].

Одними из главных проблем Экибастузского угольного бассейна являются высокая зольность угля и большое количество мелочи, что в свою очередь требует поиска путей его обогащения и окускования [3–10].

#### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Объектом исследования являлись угольная мелочь Экибастузского угля, из которой получали топливные брикеты с повышенной теплотворной способностью и меньшей зольностью за счет обогатителей в виде резинотехнической сажи и анодной пыли электролизеров для получения алюминия, в качестве связующего использовались суспензия биомассы с водой и пек нефтяной [11]. Характеристики проб полученных топливных брикетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики проб топливных брикетов

№ проб	Наименование компонентов	Содержание, %	Фракция, мм	Время перемишивания, мин.	Время нагрева, мин	Температура нагрева, °С	Плотность брикета, г/см <sup>3</sup>	Удельное давление прессования, МПа
1	Уголь Пыль анодная Пек нефтяной	45 30 25	0,8-1,2 0,2-0,4 0,2-0,4	8	5	200	1,41	25,5
2	Уголь Сажа резиновая Пек нефтяной	53 27 20	0,8-1,0 0,0006-0,001 0,2-0,4	5	5	250	1,44	25,5
3	Уголь Пыль анодная Пек нефтяной	45 25 30	1,0-1,2 0,2-0,4 0,2-0,4	8	5	200	1,42	25,5
4	Уголь Пыль анодная Пек нефтяной	53 27 20	1,0-1,2 0,2-0,4 0,2-0,4	5	5	250	1,46	25,5
5	Уголь Пыль анодная Пек нефтяной	45 30 25	0,8-1,0 0,2-0,4 0,2-0,4	8	5	250	1,45	25,5
6	Уголь Сажа резиновая Суспензия Биомассы с водой	50 25 25	0,8-1,2 0,0006-0,001 -	5	сушка 60 мин.	105	1,38	25,5

По показаниям сертификата, выданным ТОО «Институт химии угля и технологии» (г. Астана) лучшими показателями обладают пробы № 1, № 3, № 5, т.е. пробы, где состав соответствует аналитически рассчитанной рецептуре брикетной массы и длительности сухого перемешивания (таблица 2) [11].

Таблица 2 – Результаты химического анализа на углерод (С) в угольных брикетах и расчет энтальпии сгорания угольных брикетов

№ брикетов	Содержание углерода, %	$-\Delta H^0_{\text{сгорания}}$ , кДж/кг	$-\Delta H^0_{\text{сгорания}}$ , ккал/кг
1	61,05	23834	5696,5
2	54,63	19523	4666,1
3	63,89	25741	6152,3
4	60,74	23626	5646,0
5	68,18	28622	6840,8
6	56,31	20651	493,7

Расчет  $\Delta H^0_{\text{сгорания}}$  проведен по формуле из экспериментальных данных по энтальпии сгорания углей разреза «Северный» Экибастузского бассейна:

$$\Delta H_{\text{сгор.}} = 17161 - 671,5 (\% \text{ C}), \text{ кДж/кг.}$$

Сравнение с теплотой сгорания Экибастузского угля (17380 кДж/кг) показывает более высокие тепловые характеристики угольных брикетов как на биосвязующих, так и на нефтяном пеке.

На следующем этапе исследований определяли зависимость зольность брикетов. Состав брикетов приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты определения сухого, зольного остатка смеси сажи и мелочи Экибастузского угля

Размер фракции угля, мм	Содержание угля в брикете, %	Содержание сажи в брикете, %	Содержание воды в брикете, гр.	Выход золы, %
1	100	0	23	40
1	100	0	23	42
1	100	0	23	44
1	70	30	23	32
1	70	30	23	33
1	70	30	23	30
1	60	40	23	24
1	60	40	23	26
1	60	40	23	22
1	50	50	23	16
1	50	50	23	17
1	50	50	23	19
0,8	70	30	23	33
0,8	70	30	23	29
0,8	70	30	23	28
0,8	60	40	23	23
0,8	60	40	23	20
0,8	60	40	23	21
0,8	50	50	23	15
0,8	50	50	23	16
0,8	50	50	23	17

Для обработки результатов моделирования использовали регрессионный анализ, который проводили в пакете прикладных программ MicrosoftOfficeExcel.

В результате обработки этих данных было получено уравнение регрессии в виде линейной зависимости типа:

$$Y = k_1x_1 + k_2x_2 + b \tag{1}$$

где b – свободный член уравнения;

k1 и k2 – коэффициенты переменных x1 и x2;

x1 и x2 – переменные уравнения.

Принимая размер фракции угля за x1 и содержание угля в брикете за x2 получили уравнение регрессии для определения выхода золы Y от размера фракции угля и содержания угля в брикете:

$$Y = 6,11x_1 + 0,51x_2 - 12,94 \tag{2}$$

Был определен коэффициент детерминации, который имеет значение  $R^2 = 0,93$ , что показывает хорошую сходимость результатов. Далее была проверена адекватность модели, рассчитан критерий Фишера и сверен с табличными данными. Расчетный критерий Фишера  $F_p = 0,005$ , что меньше  $F_{табл.}$ . Таким образом, можно сделать вывод об адекватности модели.

Также для различных размеров фракций угля были построены графики зависимости выхода золы от содержания угля в брикете и получены уравнения регрессии, коэффициенты детерминации (рисунки 1 и 2). Для проверки адекватности модели был рассчитан критерий Фишера. Построение графиков и вычисление уравнений регрессии, коэффициентов корреляции и критерия Фишера проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel.

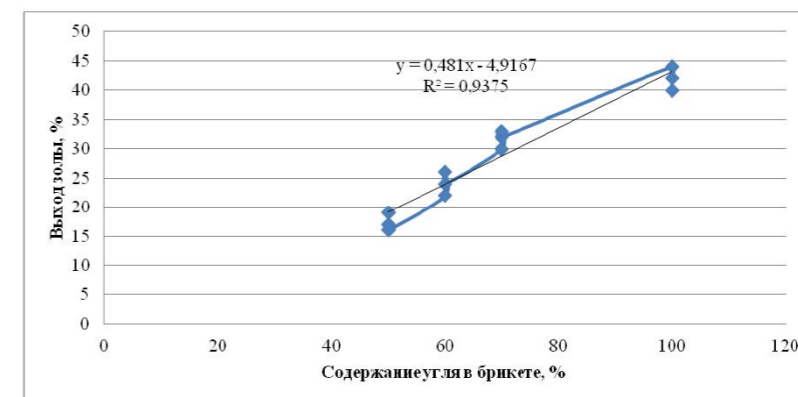


Рисунок 1 – Зависимость при размере фракции угля 1 мм (критерий Фишера F = 0,007)

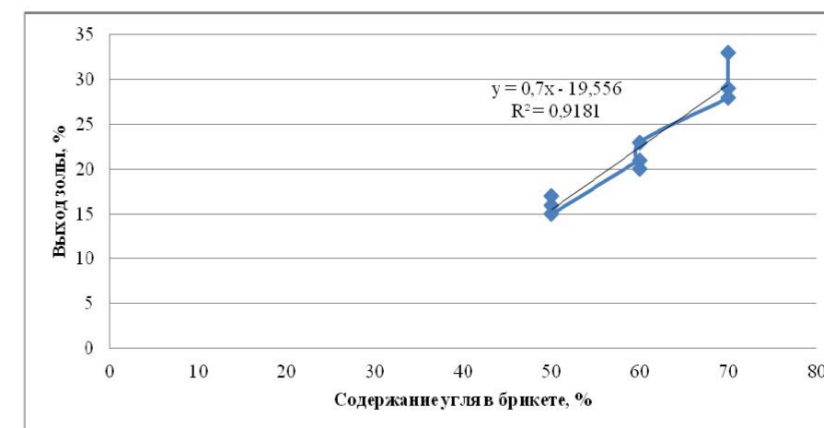


Рисунок 2 – Зависимость при размере фракции 0,8 мм (критерий Фишера F = 0,015)

Также в работе были спроектированы и изготовлены конструкции оборудования для получения сажи, брикетирующие установки мундштучного и валкового типа и шнекового смесителя с обогревателем.

#### ВЫВОДЫ

1 В работе выявлено, что теплотворная способность брикетов выше, чем экибастузского угля на 20–40 %, причем теплотворная способность наиболее высокая у брикетов с обогатителем в виде анодной пыли электродов электролизного производства алюминия связующем в виде нефтяного пека ( $-\Delta H_{\text{сгорания}}^0 = 6840,8$  ккал/кг).

2 Установлена зависимость выхода золы от содержания сажи в брикете при размере фракции 0,8 мм. Однозначно можно заключить, что состав смеси: уголь – 50 %, сажа – 50 %, при размерах фракций угля и сажи 0,8 мм, можно взять за основной, так как при этих значениях выходит минимальное количество золы, равное 15 %.

3 Сконструированы конструкции сажеуловительной установки, сортировочно-просеивающего оборудования, смешивающей лабораторной установки, мундштучно-брикетирующего пресса, валкового брикетирующего пресса и шнекового смесителя с обогревателем.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Указ Президента Республики Казахстан от «01» 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 Постановление правительства РК от 28 июня 2008 года № 644. О Концепции развития угольной промышленности Республики Казахстан на период до 2020 года.

3 Утилизация отходов горных предприятий Казахстана : научное издание / Л. А. Якушев // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М., 2014. – С. 401–404.

4 **Никишанин, М. С.** Новые технологии использования углей, угольной и коксовой мелочи : научное издание // Международная научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимая в рамках выставки-ярмарки «Уголь России и Майнинг», Новокузнецк, 2009. – Новокузнецк : СибГИУ, 2009. – С. 295–301.

5 **Александрова, Т. Н.** Способ обогащения угольного сырья / Т. Н. Александрова, А. В. Сорочинская; ИГД ДВО РАН. – № 2010118956/03; Заявл. 11.05.2010; Оpubл. 10.06.2012.

6 **Васильев, В. С.** Брикетирование угольных шихт в вальцовых прессах : научное издание // Уголь Украины. – 2013. – N 4. – С. 40–46.

7 **Степанова, Н. В., Волкова, А. И.** Брикетирование угольной пыли как способ переработки отходов угольных разрезов (на примере ООО «СУЭК-Хакасия «Разрез Черногорский») : научное издание // Окружающая среда: эффективное природопользование и здоровье человека. – Сибай, 2013. – С. 29–33.

8 **Губайдуллин, А. Б., Борщев, М. Н.** Брикетирование угля : научное издание // 2 Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», Междуреченск, 3–5 апр., 2013. – Кемерово, 2013. – С. 70–73.

9 **Ленев, Л. А., Кусков, В. Б.** Влияние технологии изготовления угольных брикетов на их свойства, // Зап. горн. ин-та. – 2006. – Т. 169. – С. 147–149.

10 К вопросу о механизме брикетирования «жестких» углей : Научный симпозиум «Неделя горняка-2003», М., 27–31 янв., 2003 / Ю. В. Шувалов; Московский государственный горный университет, Моск. гос. горн. ун-т // Горн. инф.-анал. бюл. – 2004. – N 2. – С. 127–129.

11 **Абдрахманов, Е. С., Быков, П. О., Богомолов, А. В.** Теплотворная способность обогащенных топливных брикетов, полученных из мелочи Экибастузского угля // Вестник ПГУ. Энергетическая серия, 2017. – С. 9–13.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*Е. С. Абдрахманов*

**Жаңа компоненттер мен байластырғыштарды қолдану арқылы көмір ұнтақтарының құрамындағы балласты төмендету арқылы байыту мен брикеттеу**

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.  
Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*E. S. Abdrakhmanov*

**Reduction of ballast in coal fines due to its enrichment and briquetting with the use of new components and binders**

S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 14.02.18.

*Алюминий алуға қолданылатын электролизерлердегі анод шаңы мен резинатехникалық күйе түрінде байытылған мұнай негі және биобайластырғыштардың брикеттерге сипатамалары дәлелденді. Екібастұз көміріне қарағанда брикеттердің жылу шығару қабілетті 20–40 % жоғары екені анықталған, сонымен қатар анод шаңы мен байытылған және мұнай негі түріндегі байластырғыштармен жасалған брикеттердің жылу шығару ( $-\Delta H_{\text{жаныу}}^0 = 6840,8$  ккал/кг) жоғары болып келеді. Күйе ұстағыш қондырғының, сұрыптау-елеу жабдығының, араластырғыш зертханалық қондырғының, мундштукты – брикеттеу баспасының, білікті брикеттеу баспасының және қыздырмалы шнекті араластырғыштың конструкциясы құрылғыланған.*



*The characteristics of briquettes on bio-binding and on petroleum pitch with enrichers in the form of rubber-technical soot and anode dust of electrolyzers for aluminum production have been established. It is revealed that the calorific value of briquettes is higher than that of Ekibastuz coal by 20–40 %, and the heating value is the highest for briquettes with an enrichment agent in the form of anode dust and a binder in the form of petroleum pitch (-NH combustion = 6840,8 kcal/kg). The structures of the soot separator, sorting and sifting equipment, mixing laboratory equipment, the mouthend briquetting press, the briquetting press and the screw mixer with the heater have been designed.*

FTAMP 73.49.99; 30.19.19

### **К. К. Абишев<sup>1</sup>, Д. Қ. Есенжол<sup>2</sup>, Д. С. Жайлаубай<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>т.ғ.к, доцент, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>магистр, оқытушы, «Көлік және коммуникация колледжі» МКҚК, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>магистрант, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, С.Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы  
e-mail: <sup>1</sup>a.kairatolla@mail.ru; <sup>2</sup>diko.love@mail.ru; <sup>3</sup>darkhan.zhailaubay@mail.ru

### **ҚАРДАЖҮРГІШ АСПАСЫНЫҢ ҚАТАҢДЫҒЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ**

*Қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасын жетілдіру бойынша авторлар орындаған ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген. Қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасының жұмысын арттыру үшін оның жаңа құрылысы жобаланды. Аталған құрылғы пайда болатын динамикалық жүктемелерді жояды және қардажүргіш аспасының эксплуатациялық көрсеткіштерін арттырады. Қардажүргіш аспасының қатаңдығын зерттеуі мен есептеуі жүргізілді. Жобаланған құрылғының зерттеуі SolidWorks компьютерлік бағдарламасында жүргізілді.*

*Кілтті сөздер: қардажүргіш, шаңғы аспасы, шынжыр, қар, жызықтық.*

#### **КІРІСПЕ**

Қардажүргіштердің жұмыс сипаттамасы мен жүріс жайлылығы әртүрлі жүйелерге, компоненттерге және қардажүргіш аспаларына байланысты. Әдетте қардажүргіш аспалары екі жүйеден тұрады: алдыңғы жүйе шаңғы аспасынан, ал артқы жүйесі – шынжыр табан аспасынан [1, 2, 3].

Қардажүргіш шаңғысы жол профилімен және қар беті бойымен тікелей жанасады. Шынжыр табан ауданы көп нүктелі аспасы арқасында жүктеменің басым бөлігін алады, ал алдыңғы басқармалы шаңғыда тұрақты жүктеме болмайды. Ол шаңғының шынжыр табан жазықтығынан қаншалықты төмен шығуын анықтайтын жол профилінен және көптеген факторлардан тығыз байланысты (жүктемені орналастырудан, шынжыр табан аспасы жағдайынан, шаңғы аспасы жағдайынан және тағы басқаларына байланысты).

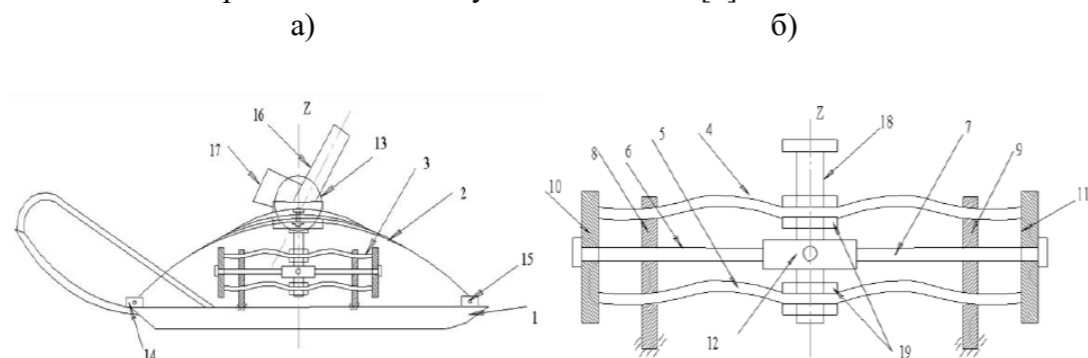
#### **НЕГІЗГІ БӨЛІМ**

2015 жылы жоғарғы оқу орындарының техникалық кафедра ұжымдары бірігуімен қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасының құрылысы құрастырылды. Құрылыс басқармалы шаңғы аспасына, қысқы жолда пайдаланылатын көлік құралдарының элементіне жатады және қардажүргіштер, кез-келген жерден жүргіштер, мотошаналар және басқа да ұқсас қозғалыс құралдарында пайдаланылады.

Осы жұмыстың нәтижесінде Қазақстан Республикасының пайдалы модельге патенті алынды [4]. Ұсынылатын өнертабыстың техникалық нәтижесі

динамикалық жүктемелерді бейтараптандыру және қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасының пайдалану көрсеткіштерін арттыру болып табылады. Бұндай техникалық нәтижеге, қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасына келесідей өзгерістер енгізу арқылы жетеді: шаңғы және беттік рессоралар арасына қатандық реттегіш орнатыған.

Қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасы 1-ші суретте көрсетілген. Осы құрылымда қатандық реттегіш орнату арқылы, қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасын жетілдіретін шешімді табуға бағытталған [5].



а) жалпы көрініс; б) қатандық реттегіш; 1 – шаңғы; 2 – беттік рессора, 3 – қатандық реттегіш, 4 – жоғарғы пластина, 5 – төменгі пластина, 6 – алдыңғы бұрандама, 7 – артқы бұрандама, 8 – алдыңғы кронштейн, 9 – артқы кронштейн, 10 – алдыңғы фланец, 11 – артқы фланец, 12 – ортаңғы сомын, 13 – ортаңғы біріктіргіш, 14 – алдыңғы біріктіргіш, 15 – артқы біріктіргіш, 16 – шүберін, 17 – буфер, 18 – орталық бұрандалы білік, 19 – сомындар.

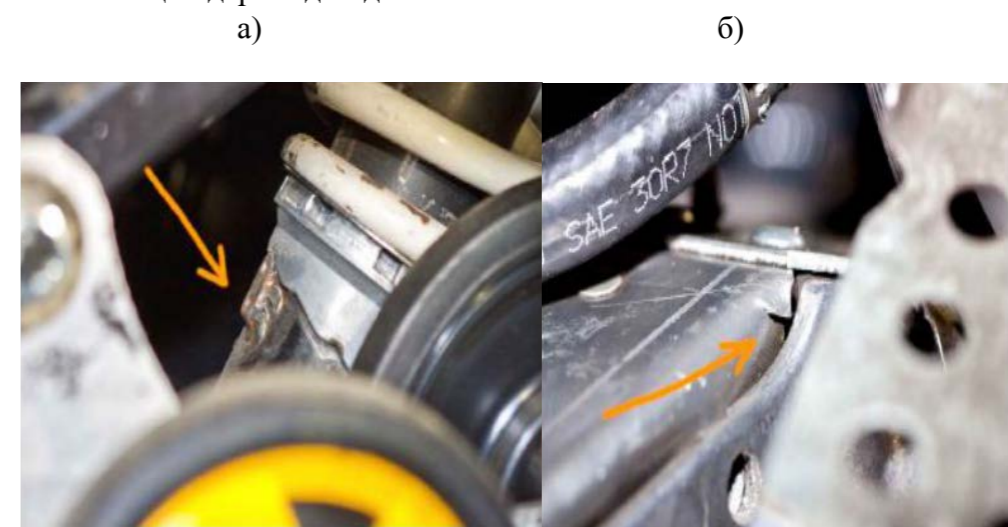
Сурет 1 – Қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасы

Жұмыс келесідей орындалады: кедір-бұдырлы бет арқылы қозғалыс кезінде басқармалы шаңғы аспасында динамикалық жүктеме пайда болады, бірақ ішінара беттік рессора арқылы өшсе де, қардажүргіштің рамасы мен шаңғына беріледі. Қардажүргіштің басқармалы шаңғы аспасындағы динамикалық жүктемелерді төмендету үшін шаңғы 1 және беттік рессора 2 арасына қатандық реттегіш 3 орнатылады. Қатандық реттегіш жоғарғы пластина 4 және төменгі пластина 5 арқылы екі пакет түрінде істелінген. Пластиналар синусоида пішінді және алдыңғы бұрама 6 мен артқы бұраманы 7 қысып буу есебінен Z бағытында теріс қатандықта болады. Бұрандамалар фланецтер (алдыңғы 10 және артқы 11) мен кронштейндер (алдыңғы 8 және артқы 9) арқылы жіберілген және ортаңғы сомынға 12 бұралған. Құрылғы қатандығы синусоида тәрізді иілген пластинаны шетінен қысу арқылы өзгереді. Пластинаның теріс қатандығы беттік рессораның оң қатандығымен қосылып, қосындысы нөлге жақын қатандықты береді. Беттік рессора мен қатандақ реттегіш пластиналар пакеттерінің бірігіп жұмыс атқаруы діріл әсерінен сапалы оқшаулануды қамтамыз етеді, сонымен қатар қатандақ реттегіш серпінді тірек ретінде жұмыс істейді. Осылайша, берілген құрылғы

динамикалық жүктемелерді бейтараптандырады және қардажүргіштің менгерік шаңғы аспасының пайдалану көрсеткіштерін арттырады.

Пайдалану процесі кезінде шаңғы жол кедір-бұдырлығынан соққыға ұшырайды, қар беті бойымен жанасуынан тозады және үлкен жүктемелерді қабылдайды.

Көптеген авторлар жұмыстарының нәтижесінде мүмкіндік рұқсат етілген тік жүктемелердің артуы салдарынан қардажүргіштің жүріс бөлігінің және реттеуші тіректердің бұзылатыны есептік және тәжірибелік түрде дәлелденді [6, 7, 8, 9]. Әдетте жүріс бөліктің бұл элементтері жерге түсу кезінде сынады, сонымен қатар, кейде бөтен заттармен соғылу нәтижесінде пайда болатын қардажүргіштер қозғалтқышының сыртқы пластикалық және металды қорғаныстары бұзылуына байланысты зақымдар кездеседі.



а) тіректерді кесу; б) қаңқадағы жарық  
Сурет 2 – Қардажүргіштің жүріс бөлігінің бұзылуы

Қардажүргіш аспасына әсер ететін тік жүктемелер аспа сипатына және оның деформациясына байланысты. Жалпы аспа сипаттамасы серпінді элементтердің сипаттамаларына байланысты. Біз қарастырып жатқан жағдайда – бұл беттік (листовые) рессоралар.

Қатандық – бұл аспаның (немесе рессораның) серпінді деформациясы бір метрге тең болғандағы аспаға түсетін жүктеменің мәні.

Рессораның бір шетінің қатандығы [10]

$$c_1 = \frac{\delta \cdot 3E}{\sum_{i=1}^{n+1} a_{i+1}^3 (y_i - y_{i+1})} \quad (1)$$

Бұл жерде  $\delta = 0,83 \div 0,87$  – тәжірибелік коэффициент. Бұл коэффициенттің астыңғы шегі жүк көліктерінің рессораларына, ал үстіңгі – жеңіл көліктерінің рессорларына сәйкес;

$E$  – бірінші текті серпінділік модулі, беттік (листовые) рессоралар үшін  $E = 2,05 \cdot 10^5 \div 2,1 \cdot 10^5$  МПа;

$a_{i+1}$  – негізгі және қарастырылып отырған беттің ұзындықтар айырмасына тең шама ( $a_{i+1} = l_1 - l_i$ );

$y_i$  – қарастырылып отырған қимадағы беттік рессораларының инерция моментіне кері шама;

$y_{i+1}$  – қарастырылып отырған беттен кейінгі беттің инерция моментіне кері шама.

Барлық беттіктерінің қалыңдығы бірдей қардажүргіштің төртбеттік рессорасының бір шетінің қатандығын есептеу арқылы анықтаймыз.

Қиманың инерция моменті барлық беттіктерде бірдей және 0,5 см 4 тең. Есептеуге қажетті көрсеткіштердің мәнін анықтамалықтар мен мемлекеттік стандарттардан аламыз [11, 12].

Қатандықты есептеуге қажетті көрсеткіштердің мәндері 1-ші кестесінде көрсетілген.

Кесте 1 – Есептеуге қажетті көрсеткіштердің мәндері

Беттік №	$l_i, \text{м}$	$a_{i+1}, \text{м}$	$\sum I_i, \text{м}^4$	$y_i = \frac{I}{\sum I_i}, \text{м}^{-4}$	$y_i - y_{i+1}, \text{м}^{-4}$	$a_{i+1}, \text{м}^3$	$a_{i+1}^3 (y_i - y_{i+1}) \text{м}^{-1}$
1	0,65	0	$0,5 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8$	0		0
2	0,5	0,15	$1,0 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^8$	$3,3375 \cdot 10^{-3}$	$3,375 \cdot 10^5$
3	0,35	0,30	$1,5 \cdot 10^8$	$0,667 \cdot 10^8$	$0,333 \cdot 10^8$	$27 \cdot 10^{-3}$	$8,991 \cdot 10^5$
4	0,2	0,45	$2,0 \cdot 10^8$	$0,5 \cdot 10^8$	$0,167 \cdot 10^8$	$91,13 \cdot 10^{-3}$	$15,218 \cdot 10^5$
5	0	0,65		0	$0,5 \cdot 10^8$	$422 \cdot 10^{-3}$	$211 \cdot 10^5$

(1) формуласы бөлгішінің мәнін жоғарыдағы кестені қолданып табамыз

$$\sum_{i=1}^{n+1} a_{i+1}^3 (y_i - y_{i+1}) = 3,375 \cdot 10^5 + 8,991 \cdot 10^5 + 15,218 \cdot 10^5 + 211 \cdot 10^5 = 238,6 \cdot 10^5$$

Рессораның бір шетінің қатандығын (1) формуласына белгілі мәндерді қойып табамыз

$$c_1 = \frac{0,87 \cdot 3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}{238,6 \cdot 10^5} = 2,19 \cdot 10^4 \text{ Н/м} = 21,9 \text{ кН/м}$$

Рессораның бір шетінің қатандығын біле, барлық рессораның қатандығын анықтауға болады

$$c_{p1} = 2c_1. \quad (2)$$

$$c_{p1} = 2 \cdot 21,9 \cdot 10^3 = 43,8 \cdot 10^3 \text{ Н/м.}$$

Қардажүргіштің алдыңғы жүріс жүйесіне жол бетінен соққылар әсер етеді. Олардың мәнін азайту үшін басқармалы шаңғы аспасының құрылысы амортизаторлар мен беттік рессоралардан тұрады.

Қардажүргіштің тік тербелісін есептеу кезінде амортизатордың кедергі коэффициентін  $k_{от} \neq k_{сж}$  деп есептейміз [13, 14]. Амортизатордың орташа кедергі коэффициенті шамасын анықтаймыз.

$$k = \frac{(k_{от} + k_{сж})}{2}. \quad (3)$$

Бұл жерде  $k_{от}$  – тоқтау жүрісі кезіндегі амортизатордың кедергі коэффициенті;  $k_{сж}$  – сығу жүрісі кезіндегі амортизатордың кедергі коэффициенті.

$$k_{от} = 2\psi_{от} \sqrt{\frac{c_p \cdot F_{ст}}{g}}, \quad (4)$$

$$k_{сж} = 2\psi_{сж} \sqrt{\frac{c_p \cdot F_{ст}}{g}}. \quad (5)$$

Бұл жерде  $\psi_{от} = 0,45$  – тоқтау кезіндегі сөну коэффициенті;

$\psi_{сж} = 0,15$  – сығу кезіндегі сөну коэффициенті;

$F_{ст}$  – рессораға түсетін статикалық жүктеме.

$$F_{ст} = m \cdot g \cdot \lambda. \quad (6)$$

Бұл жерде  $\lambda$  – аспаның жүктеме коэффициенті. Алдыңғы шаңғы үшін  $\lambda_{ш} = 0,30$ .  $m$  – қардажүргіштің салмағы, кг.

Қардажүргіштің алдыңғы жүріс жүйесіндегі рессорасына түсетін статикалық жүктемені (6) формула арқылы анықтаймыз

$$F_{ст} = 314 \cdot 9,81 \cdot 0,3 = 924 \text{ Н.}$$

Қардажүргіштің алдыңғы жүріс жүйесіндегі амортизатордың кедергі коэффициенттерін (4) және (5) формулаларын қолданып анықтаймыз

$$k_{от1} = 2 \cdot 0,45 \sqrt{\frac{43,8 \cdot 10^3 \cdot 924}{9,81}} \approx 1823.$$

$$k_{сж1} = 2 \cdot 0,15 \sqrt{\frac{43,8 \cdot 10^3 \cdot 924}{9,81}} \approx 609.$$

Қардажүргіштің алдыңғы жүріс жүйесіндегі амортизатордың орташа кедергі коэффициентін (3) формуласы арқылы анықтаймыз

$$k_1 = \frac{(k_{от1} + k_{сж1})}{2} = \frac{(1823 + 609)}{2} = 1216 \text{ кг} \cdot \text{с/м.}$$

Қардажүргіштің артыңғы жүріс жүйесінде тәуелсіз серіппе-балансталған аспа орнатылған. Оның сипаттамасы – серіппенің майысуы – келесі формула бойынша анықталады [13, 14]

$$f = \frac{F}{c_{p2}} = \frac{8Fu^3i}{Gd}. \quad (7)$$

Бұл жерде  $F$  – бір серіппеге түсетін жүктеме, Н;

$d$  – серпе сымының диаметрі, м;



$u$  – серіппе индексі (әдетте  $8 \leq u \leq 10$ );

$i$  – жұмыс орамаларының саны,  $i = 8 \dots 10$ ;

$G$  – бұралу кезіндегі серпімділік модулі,  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа.

Осыдан қардажүргіштің артыңғы жүріс жүйесіндегі шынжыр табанды қозғалтқыштың тәуелсіз серіппе-балансталған аспасының қатандығы

$$c_{p2} = \frac{Gd}{8u^3i} = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^3 \cdot 10} = 7 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$$

Қардажүргіштің артыңғы жүріс жүйесіне түсетін статикалық жүктемені (6) формула арқылы анықтаймыз. Осы формулада шынжыр табанды қозғалтқыштың жүктеме коэффициентін  $\lambda_{гус} = 0,70$  деп аламыз.

$$F_{ст2} = 314 \cdot 9,81 \cdot 0,7 = 2156 \text{ Н.}$$

Қардажүргіштің артыңғы жүріс жүйесіндегі амортизатордың кедергі коэффициенттерін (4) және (5) формулаларын қолданып анықтаймыз

$$k_{от2} = 2 \cdot 0,45 \sqrt{\frac{7 \cdot 10^3 \cdot 2156}{9,81}} \approx 1116.$$

$$k_{ск2} = 2 \cdot 0,15 \sqrt{\frac{7 \cdot 10^3 \cdot 2156}{9,81}} \approx 372.$$

Сонда қардажүргіштің артыңғы жүріс жүйесіндегі амортизатордың орташа кедергі коэффициенті

$$k_2 = \frac{(k_{от2} + k_{ск2})}{2} = \frac{(1116 + 372)}{2} = 744 \text{ кг·с/м.}$$

Аспаның қатандығын кең шекте өзгерту келесі құрылымдық (конструктивті) шаралар арқылы жетіледі:

- аспаға қосымша серіппелі элементті орнату арқылы (резенкелі буфер, серіппе немесе қосымша рессоралар);
- жұмысқа дәйекті түсетін бірнеше бөліктен тұратын рессоралар құрылысымен;
- деформация шамасына байланысты рессораның, шеткі немесе орталықты бөлігін шығару арқылы, жұмыс ұзындығын өзгертуімен.

#### ҚОРЫТЫНДЫ

Қарастырылып отырған қардажүргіштің аспасының рационалды құрылымдық (конструктивті) параметрлерін жоғарғы нақтылықпен анықтау үшін, SolidWorks «Simulation» компьютерлік бағдарламасында цифрлық модель дайындалып зерттеліп талданды [15].

Қардажүргіштің қатандықты реттеуші бар басқармалы шаңғы аспасын әр түрлі жүктеме режимдерінде SolidWorks «Simulation» бағдарламасында жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша аталған құрылғы пайда болатын динамикалық жүктемелерді жояды және қардажүргіш аспасының эксплуатациялық көрсеткіштерін арттырады.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Подвеска гусеницы снегохода : Патент на полезную модель № 108409 Российская Федерация, МКИ В62М 27/02; В62D 55/04 / Р. С. Валеев, А. М. Жогин, А. Н. Ермолаев; заявл. 13.04.2011; опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26.

2 Warner, M. Snowmobile Cornering and Acceleration Data from On-Snow Testing / M. Warner, J. Bready, W. Warner, A. Asay // SAE Technical Paper 2015-01-1431. – 2015, [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.4271/2015-01-1431>.

3 Абишев, К. К. Об использовании лыжно-гусеничного движителя в транспортной технике / К. К. Абишев, Д. К. Есенжол // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2015. – № 4 (70). – С. 21–23.

4 Подвеска рулевой лыжи снегохода : Патент на полезную модель № 001867 Республика Казахстан, МКИ В62В 17/04 / К. К. Абишев, О. Т. Балабаев, Д. К. Саржанов, Д. Қ. Есенжол; заявл. 09.12.2015; опубл. 21.11.2016, Бюл. № 17.

5 Сулейменов, Т. Б. Қардажүргіштің менгерлік шаңғы аспасын жетілдіру / Т. Б. Сулейменов, О. Т. Балабаев, Д. К. Саржанов, К. К. Абишев, Д. Қ. Есенжол // Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилева. – 2015. – № 6 (109). – С. 226–230.

6 Петухов, М. Ю. Проблемы эксплуатации снегоходов импортного производства в экстремальных условиях / М. Ю. Петухов, А. М. Щелудяков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2013. – Т. 1. – С. 323–328.

7 Жуматаев, А. К. Повышение надежности оборудования / А. К. Жуматаев, Р. О. Олжабаев // Наука и техника Казахстана. – 2010. – № 2. – С. 52–54.

8 Салыков, Б. Р. К анализу математических моделей движения автомобиля / Б. Р. Салыков, М. И. Нечаев // Наука и техника Казахстана. – 2017. – № 3–4. – С. 91–94.

9 Петрова, М. С. Оценка конкурентоспособности отечественных снегоходов и пути ее повышения / М. С. Петрова, И. И. Ицкович // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2013. – № 1 (24). – С. 302–306.

10 Пархиловский, И. Г. Автомобильные листовые рессоры. – М. : Машиностроение, 1978. – 232 с. ил.

11 ГОСТ 14959-2016. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. – Введ. 1981.01.01. – М. : Стандартинформ, 2006. – 13 с.

12 ГОСТ 3396-90. Рессоры листовые автотранспортных средств. Общие технические условия. – Введ. 1991.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 24 с.

13 Расчёт подвески автомобиля. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Автомобили» / Сост. В. Н. Торлин, Т. А. Рогозина, А. Г. Остренко. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2007. – 64 с.

14 Сарач, Е. Б. Определение оптимальных параметров упругого элемента Е. Б. Сарач, Г. О. Котиев // Труды НАМИ. – 2016. – № 265. – С. 25–28.

15 **Абишев, К. К.** К вопросу совершенствования ходовой части снегоходов / К. К. Абишев, Д. К. Саржанов, О. Т. Балабаев, Д. Қ. Есенжол // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5. – Ч. 5 – С. 704–708.

Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*К. К. Абишев<sup>1</sup>, Д. К. Есенжол<sup>2</sup>, Д. С. Жайлаубай<sup>3</sup>*

#### **Исследование и расчет жесткости подвески снегохода**

<sup>1,3</sup>Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

<sup>2</sup>ГККП «Колледж транспорта и коммуникации», г. Астана, 010000, Республика Казахстан

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*К. К. Abishev<sup>1</sup>, D. K. Esenzhol<sup>2</sup>, D. S. Zhailaubay<sup>3</sup>*

#### **Research and calculation of the snowmobile suspension stiffness**

<sup>1,3</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

<sup>2</sup>SPUE «College of Transport and Communications», Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 14.02.18.

*Представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных авторами по совершенствованию подвески рулевой лыжи снегоходов. Для повышения эффективности работы подвески рулевой лыжи снегоходов, осуществлена разработка новой конструкции, работа, которой, позволяет нейтрализовать возникающие динамические нагрузки, и повышает эксплуатационные показатели. Описана конструкция данного устройства. Проведены расчет и исследование жесткости подвески снегохода. Исследования разработанной конструкции исполнены в программной среде SolidWorks.*

*Presents the results of research works carried out by authors for improving suspension of the steering skis of a snowmobile. To increase the efficiency of suspension of the steering skis of a snowmobile, new construction was developed, which allows to neutralize the arising dynamic loads, and increases the operational performance. The design of this device is described. The calculation and study of the snowmobile suspension stiffness was carried out. The studies of the designed structure are executed in the SolidWorks software environment.*

ГРНТИ 53.31.23; 53.43.31

#### **П. О. Быков<sup>1</sup>, А. Д. Касимгазинов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., ассоц. профессор, кафедра «Металлургия», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>м.т.т., главный технолог, ПФ ТОО «Кастинг», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>Bykov\_petr@mail.ru, <sup>2</sup>kasimgazinov@pf.casting.kz

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ И АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КАТАНЫХ ПОМОЛЬНЫХ ШАРОВ 5 ГРУППЫ ТВЕРДОСТИ В УСЛОВИЯХ ПФ ТОО «КАСТИНГ»**

*Развитая в Казахстане и макрорегионе горнорудная промышленность обеспечивает большой спрос на помольные шары. В Казахстане старейшим и крупнейшим производителем стальных помольных шаров методом винтовой прокатки является ПФ ТОО «Кастинг». В последние годы появляются новые производители помольных шаров, например ТОО «KSP Steel» и другие, которые увеличивают конкуренцию на местном рынке, что может в перспективе привести к потере доли рынка компаний ПФ ТОО «Кастинг».*

*Данная ситуация требует расширения номенклатуры производимых помольных шаров с целью максимального удовлетворения потребности заказчиков, в том числе организация производства предприятием помольных шаров 5 группы твердости.*

*Экспериментально разработан новый химический состав экономно-легированной стали для производства шаров 5 группы твердости диаметром 35 мм в условиях ПФ ТОО «Кастинг».*

*Ключевые слова: сталь, шары катаные, сортовой прокат, твердость, металлургия.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из основных приоритетов реализации задач поставленных в Послании Главы государства Нурсултана Назарбаева народу Казахстана 17 января 2014 года «Казахстанский путь – 2050: единая цель, единые интересы, единое будущее» является переход традиционных отраслей промышленности Казахстана на выпуск продукции высоких переделов [1].

В Павлодарском регионе одним из основных продуктов сталелитейной промышленности является шар помольный катаный.

Помольные шары находят применение в размольно-дробильном оборудовании в качестве измельчающей среды. Шары характеризуются износоустойчивостью, плотностью и формой и выпускаются из чугуна и стали, в том числе легированной.

Выпуск стальных помольных шаров осуществляется в соответствии с ГОСТ 7524–89, а также по ТУ. Общее потребление и удельный расход помольных шаров определяются типом установленного оборудования, материалами (из которых они изготовлены) и применяемыми при их выпуске технологическими процессами.

Шары подразделяют по твердости на группы: 1 – нормальной твердости общего назначения; 2 – повышенной твердости общего назначения; 3 – высокой

твердости для измельчения руд черных металлов; 4 – особо высокой твердости для измельчения руд цветных металлов, цемента и огнеупоров.

Развитая в Казахстане и макрорегионе горнорудная промышленность обеспечивает большой спрос на помольные шары.

В Казахстане старейшим и крупнейшим производителем стальных помольных шаров методом винтовой прокатки является ПФ ТОО «Кастинг». В последние годы появились новые производители помольных шаров, например, ТОО «KSP Steel» и другие, что увеличивает конкуренцию в данном сегменте рынка.

Данная ситуация требует расширения номенклатуры производимых помольных шаров с целью максимального удовлетворения потребности заказчиков, в том числе организация производства предприятием помольных шаров 5 группы твердости.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования являлись шары стальные катаные диаметром 35 мм, производимые в соответствии с СТ ТОО 010541005838–002–2015 и шаровые марки стали, производимые в ПФ ТОО «Кастинг» (таблица 1).

В работе использовали следующие методы контроля катаных помольных шаров. Размеры шаров проверяли штангенциркулем по ГОСТ 166. Твердость шаров измеряли по методу Роквелла по ГОСТ 9013 на твердомере ТК–14–250 и методу Бринелля по ГОСТ 9012 на твердомере ТШ–2М. Твердость на поверхности шара определяли на двух диаметрально противоположных площадках, твердость на глубине определяли на 1/2 радиуса.

Таблица 1 – Существующие марки и химический состав стали для производства катаных помольных шаров

Марка стали с группой твердости	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S, не более	P, не более	Cr	Ni, не более	Cu, не более
Ш2	0,40–0,56	0,15–0,35	0,50–0,70	0,040	0,040	–	0,4	0,4
Ш3	0,48–0,55					–		
Ш4	0,50–0,60		0,70–1,00			0,35 –0,50		

Углеродный эквивалент стали  $C_s$  (%) вычисляли по формуле

$$C_s = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{40} + \frac{V}{14}, \quad (1)$$

где C, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V – массовые доли углерода, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, ванадия, %.

Контроль коэрцитивной силы проводился с помощью коэрцитиметра (импульсный магнитный анализатор) КФ–3М. Качество поверхности шаров проверяли визуально, без применения увеличительных приборов.

Контроль химического состава сталей осуществляли по ГОСТ 12344, ГОСТ 12345, ГОСТ 12346, ГОСТ 12347, ГОСТ 12348, ГОСТ 12350, ГОСТ 12351, ГОСТ 12355 на оптико-эмиссионном спектрометре Mettler Atlantis 11140.

Макро- и микроструктуру исследовали в катанном и термообработанном состоянии. Металлографические исследования шлифов проводили на металлографическом микроскопе Метам – 32.

Выплавка шаровых марок стали осуществлялась в ДСП–25Н5 одношлаковым процессом с доводкой стали на АКП. В качестве шихтовых материалов использовали металлолом категории 2А и отходы передельных участков по ГОСТ 2787. Для науглероживания металла применяли углеродсодержащий материал по СТ ТОО 40564020017 и материал термообработанный углеродсодержащий ТУ 1914–00194042–026. В качестве окислителя применяли кислород по ГОСТ 5583, в качестве шлакообразующих известь свежееобожженную согласно ТУ 14–16–42, плавиковый шпат по ГОСТ 29220. Для раскисления и легирования использовали ферросиликомарганец по ГОСТ 4756 (FeMnSi), ферросилиций по ГОСТ 1415 (FeSi 75A11), феррованадий по ГОСТ 27130, феррохром по ГОСТ 4757, силикокальций по ГОСТ 4762 (СК20 и т.п.). Фракция материалов, подаваемых через систему их подачи находилась в пределах 5 – 50 мм.

Непрерывная разливка стали осуществлялась на МНЛЗ радиального типа с радиусом изгибающего сектора 6375 мм. Сечение отливаемых заготовок – 150 × 150 мм. Непрерывная разливка осуществляется методом «плавка на плавку». Непрерывнолитые заготовки квадратного сечения разливают открытой струей.

Производство помольных шаров осуществлялась в два этапа: обжатие заготовок на среднесортном стане и прокатка шаров на шаропркатном стане.

При апробации и внедрении технологии производства катаного шара Ø 35 мм 5 группы твердости ставились задачи:

- получение высокой твердости шаров (на поверхности шара твердость не менее 59 HRC, на глубине 1/2 радиуса шара твердость не менее 54 HRC);
- снижение минимальных внутренних напряжений (коэрцитивной силы) при высокой твердости шаров.

При отработке технологии изготовления и освоении выпуска шаров Ø 35 мм был учтен опыт изготовления шаров Новокузнецким металлургическим заводом в части химического состава шаровой стали, опыт Чешского Витковицкого металлургического завода в части термообработки шаров и т.д. [2–7].

В экспериментальных исследованиях на первом этапе был оптимизирован химический состав стали с целью повышения твердости и износостойкости. Было увеличено содержание марганца на 0,2 % – 0,3 % и хрома на 0,2 % по сравнению с Новокузнецким и Витковицким заводами (таблица 2).



Таблица 2 – Предельные отклонения химического состава стали экспериментальных плавков для получения шара 5 группы твердости диаметром 35 мм

Хим. состав	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Содержание элемента, %	0,57± 0,62	0,9± 1,01	0,27± 0,34	0,005± 0,03	0,008 ±0,021	0,34 ±0,41	менее 0,40	менее 0,40

Выбор и обоснование параметров прокатки помольных шаров диаметром 35 мм V группы твердости. Баланс металла при прокатке на шаропрокатном стане (ШПС) представлен в таблице 3 [8].

В вальцетокарной мастерской были нарезаны два валка на прокатку шара Ø 35 мм по калибровке разработанной фирмой ООО «ШПС» (г. Москва). Также были изготовлены три комплекта технологической оснастки:

- труба, вращающаяся для УВЗ;
- линейка направляющая.

Таблица 3 – Баланс металла при прокатке шаров 5 группы твердости диаметром 35 мм

Диаметр шара, мм	Всад, тн	Годное, тн	Брак, тн	Сортировка, тн	Облой, тн	Угар, тн
35	107,28	87,18	1,692	12,305	3,63	3,021
%	100	80,85	1,57	11,42	3,37	2,81

Оптимальная температура печи в зоне выдержки и скорость прокатки представлены в таблице 4 [8].

Таблица 4 – Температура в печи и скорость прокатки

Диаметр шара, мм	Температура зоны выдержки при непрерывной прокатке, °С	Скорость прокатки, м/с
35	1100–1130	0,88

Во время прокатки было выявлено, что на сам процесс прокатки и качества шара большое влияние оказывает (значительно больше, чем при прокатке шара Ø 40, 60 мм) разность диаметров калибровочных калибров по заходам. При нарезке валков разность одного из калибров по отношению к трем другим составила 0,2 мм, что оказалось при прокатке шара Ø 35 мм существенно, хотя при прокатке шаров Ø 40, 60 мм такая разность влияние на прокатку и качество шара не оказывала.

Для закалки шара на 5 группу твердости была проведена работа по модернизации узла термообработки с целью перевода его на локальную систему:

- был установлен дополнительный насос производительностью 40 м³ /час;
- подведена горячая и холодная вода с целью точной регулировки температуры охлаждающей воды;
- были подобраны режимы термообработки шара на ШПС.

В работе было установлена оптимальная температура шара перед закалкой на элеваторе, которая составила 780–800 °С. Измерения проводились переносным пирометром марки «Термоскоп-100».

Отработка режима термообработки производилась в следующем порядке:

1 первоначально температура охлаждающей воды составляла 35 °С, для чего в бак подкачивали горячую воду до установки требуемой температуры.

При данной температуре воды была прокатана и закалена плавка № 3132996.

После закалки и отпуска было установлено, что твердость шара превышает показатели 4 группы твердости, но не соответствовало 5 группе твердости. Температура охлаждающей воды при закалке поддерживалась в пределах 33–36 °С;

2 на следующем этапе температура охлаждающей воды была понижена до 29 °С. Температура воды в баке поддерживалась в пределах 29–32 °С. Бала прокатана плавка № 3132997, твердость на поверхности повысилась до 58,5 HRC, на глубине радиуса до 51,5 HRC.

3 на заключительном этапе температура охлаждающей воды была установлена на уровне 26 °С и поддерживалась в пределах 25–28 °С. На данном режиме были прокатаны остальные плавки.

Данные по химическому составу плавков приведены в таблице 5 [8].

Таблица 5 – Химический состав стали экспериментальных плавков

Номер плавков	Химический состав, %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
3132996	0,57	1,01	0,27	0,029	0,015	0,41	0,15	0,14
3132997	0,62	0,97	0,31	0,021	0,02	0,38	0,1	0,16
2131410	0,56	0,9	0,29	0,005	0,021	0,34	0,1	0,16
3133078	0,62	0,92	0,34	0,025	0,011	0,35	0,1	0,16
2131497	0,60	0,9	0,27	0,03	0,008	0,37	0,12	0,16
2131494	0,62	0,91	0,33	0,021	0,016	0,39	0,1	0,16
2131489	0,61	0,98	0,27	0,018	0,009	0,34	0,1	0,17

Данные по температуре и твердости приведены в таблице 6 [8].

На всем протяжении прокатки и термообработки шара производились измерения коэрцитивной силы (внутреннее напряжения). Контроль коэрцитивной силы проводился с помощью коэрцитиметра КФ–3М.

Таблица 6 – Твердость шаров 5 группы твердости диаметром 35 мм

Номер плавков	Температура охлаждающей воды, °С	Твердость на поверхности, HRC	Твердость на глубине радиуса, HRC
3132996	33–36	55,3	54
3132997	29–32	58,5	51,5
2131410	25–28	62,5	58,5

3133078	25–28	62,5	59,5
2131497	25–28	62,5	59,5
2131494	25–28	63,5	60
2131489	25–28	63,5	57,5

Максимальное значение коэрцитивной силы не превысили 56 единиц. Были произведены 154 замера, значение коэрцитивной силы находилось в пределах 45–56 единиц. Для сравнения, на чешских шарах максимальная коэрцитивная сила составила 56 единиц.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований и промышленных испытаний был получен оптимизированный экономнолегированный химический состав стали для получения катаного шара 5 группы твердости (таблица 7).

Таблица 7 – Оптимизированный химический состав стали для производства катаных шаров диаметром 35 мм 5 группы твердости

Хим. состав	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Содержание элемента, %	0,57–0,62	0,9–1,05	0,27–0,35	Не более 0,025	Не более 0,025	0,4	0,4	0,4

Далее в работе были проведены выборочные микроструктурные исследования. Подготовка образцов и проведение металлографических исследований проводилось по стандартным для металловедения методикам [9, 10]. Были отобраны образцы стальных шаров катаных диаметром 35 мм 4 и 5 групп твердости.

На рисунке 1 приведена микроструктура стального шара катаного 5 группы твердости.

Микроструктура шара, представленного на рисунке 1 состоит из следующих структурных составляющих:

- на поверхности шара: крупноигольчатый мартенсит + остаточный аустенит, твердость 59–60 HRC;
- на глубине 1/2 R шара: крупноигольчатый мартенсит + остаточный аустенит в ликвационных зонах, твердость 58–59 HRC;
- в сердцевине шара: крупноигольчатый мартенсит + остаточный аустенит в ликвационных зонах + незначительные выделения игольчатого феррита по границе зерна, твердость 58,5–59 HRC.



Рисунок 1 – Микроструктура стального шара катаного диаметром 35 мм 5 группы твердости

Для сравнения были проанализирована микроструктура стального шара катаного 4 группы твердости. Анализ показал наличие следующих структурных составляющих:

- на поверхности шара: крупноигольчатый мартенсит + остаточный аустенит, твердость 57–58 HRC;
- на глубине 1/2 R шара: крупноигольчатый мартенсит + остаточный аустенит в ликвационных зонах, твердость 56–57 HRC;
- в сердцевине шара: крупноигольчатый мартенсит + остаточный аустенит в ликвационных зонах + незначительные выделения игольчатого феррита по границе зерна, твердость 56–57 HRC.

Также в работе были проведены микроструктурные исследования стального шара катаного без термической обработки (охлаждение на воздухе).



а × 100; б × 500

Рисунок 2 – Микроструктура стального шара катаного без термической обработки (охлаждение на воздухе)

Микроструктура шара, представленного на рисунке 2 состоит из следующих структурных составляющих: перлит пластинчатый + перлит сорбитообразный + ед.участки феррита по границе зерна.

#### ВЫВОДЫ

1 По результатам проведенных промышленных испытаний в условиях ПФ ТОО «Кастинг» получены шары Ø 35 мм 5 группы твердости со следующими характеристиками:

- твердость шаров на поверхности – 59 HRC – 64 HRC;
- твердость шаров на глубине ½ радиуса – 55 HRC – 60 HRC;
- коэрцитивная сила (внутренние напряжения шара) – 44–50 единиц.

2 Экспериментально разработан новый химический состав экономно-легированной стали для производства шаров диаметром 35 мм (C – 0,57 ÷ 0,62 %; Si – 0,27 ÷ 0,35 %; Mn – 0,9 ÷ 1,05 %; S ≤ 0,025 %; P ≤ 0,025 %; Cr ≤ 0,40 %; Ni ≤ 0,40 %; Cu ≤ 0,40 %);

3 Экспериментально подобран режим термической обработки шара диаметром 35 мм, обеспечивающей получение 5 группы твердости (температура закалки – 800 ± 10 °C; температура самоотпуска – 170–190 °C, температура охлаждающей воды 25–28 °C).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015–2019 годы, утвержденная Указом Президента РК от 1 августа 2014 года № 874.

2 **Вавилкин, Н. М., Челноков, В. В.** К выбору материала для производства мелющих шаров / Н. М. Вавилкин, В. В. Челноков // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 1. – С. 41–46.

3 **Cleary, P. W.** Charge behaviour and power consumption in ball mills: sensitivity to mill operating conditions, liner geometry and charge composition // International Journal of Mineral Processing. – 2001. – № 2. – P. 15–20.

4 **Ефременко, В. Т.** Металлографический анализ причин разрушения стальных катаных тел для барабанных мельниц / В. Т. Ефременко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – Мариуполь, 2008. – № 8. – С. 89–91.

5 **Noguchi, T., KShimizu, Takahashi, N., Nakamura, T.** Strength evaluation of cast iron grinding balls by repeated drop tests / T. Noguchi, K. Shimizu, N. Takahashi, T. Nakamura // Wear. – № 2. – 1999. – P. 301–309.

6 **Игнатов, В. А., Соленьий, В. К., Жук, В. Л. и др.** Основные принципы выбора материалов для изготовления мелющих тел, работающих в условиях ударно-абразивного, ударно-коррозионно-абразивного и ударно-усталостного износа / В. А. Игнатов, В. К. Соленьий, В. Л. Жук и др. // Металл и литье Украины. – 2001. – № 10–11. – С. 3–34.

7 **Ефременко, В. Т.** Особенности характера изнашивания рабочих органов барабанных мельниц / В. Т. Ефременко // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь – 2000. – № 5. – С. 67–74.

8 **Касимгазинов, А. Д., Быков, П. О.** Разработка технологии производства стальных помольных шаров 5 группы твердости диаметром 35 мм в условиях ПФ ТОО «Кастинг» // Материалы международной научной конференции «XVI Сатпаевские чтения». – Т. 14. – Павлодар : ПГУ имени С. Торайгырова, 2016. – С. 56–61.

9 **Беккерт, М., Клемм, Х.** Способы металлографического травления: Справочное издание / М. Беккерт, Х. Клемм. : пер. с нем. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1988. – 400 с.

10 **Ташенов, С. Ж., Тугумов, К. К., Ерёменко, А. С., Жидкова, А. И., Кулумбаев, Н. К.** Подготовка металлографических шлифов к исследованию микроструктуры // Наука и техника Казахстана. – 2014. – № 3–4. – С. 66–69.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*П. О. Быков<sup>1</sup>, А. Д. Касимгазинов<sup>2</sup>*

**«Кастинг» ЖШС ПФ жағдайында 5 топ қаттылықты оралып созылған ұнтақтағыш шарлардың жасау технологиясын зерттеу мен апробациясы**

<sup>1</sup>С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

<sup>2</sup>ЖШС ПФ «Кастинг», Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*P. O. Bykov<sup>1</sup>, A. D. Kasimgazinov<sup>2</sup>*

**Research and approbation of production technology for rolled grinding balls 5-th group of hardness in the PB LLP «Casting»**

<sup>1</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

<sup>2</sup>PB LLP «Casting», Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Material received on 14.02.18.

*Қазақстанда және макроауданда тау-кен өндірісінің дамуы ұнтақтау шарларының үлкен сұранысын қамтамасыз етеді. Қазақстанда болат ұнтақтау шарларын алудың ескі және ірі вишті илемдеу әдісімен алу өндірушісі «Кастинг» ЖШС ПФ болып табылады. Соңғы жылдары ұнтақтау шарларының жаңа өндірушілері пайда болуда, мысалы «KSP Steel» ЖШС ПФ және т.б. жергілікті нарықта бәсекелестікті арттырады да, келешекте «Кастинг» ЖШС ПФ компаниясының нарықтағы үлесін төмендетеді. Аталған жағдай өндірілетін ұнтақтау шарларының номенклатурасын кеңейтуін талап етеді, тапсырыс берушілердің қажеттіліктерін қанағаттандыру мақсатында, өнеркәсіптің 5 топтағы қаттылығы бар ұнтақты шарлардың өндірісін ұйымдастыру керек.*

*«Кастинг» ЖШС ПФ жағдайында диаметрі 35 мм 5 топ қаттылықты шарларды өңдеуге арналған, үнемделген болаттын жаңа химиялық құрамы эксперименттік жолымен жасалған.*

*The mining industry developed in macro region and Kazakhstan provides great demand for grinding balls. In Kazakhstan, the oldest and largest manufacturer of steel grinding balls with screw rolling method is the PB LLP «Casting». In recent years new producers of grinding balls, such as LLP «KSP Steel» and others increase the competition in the local market, which could potentially lead to loss percentage of market by PB LLP «Casting».*

*This situation requires an expansion of grinding balls with aim to fulfill customer's needs, including the organization of production of grinding balls with V-th group of hardness.*

*Experimentally developed a new chemical composition of economically-alloyed steel for the production of balls of the 5-th group of hardness with a diameter 35 mm in the PB LLP «Casting» conditions.*

ГРНТИ 55.41.13; 55.16.17

**В. В. Вайнорюте<sup>1</sup>, И. Н. Дычко<sup>2</sup>, А. В. Богомолов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>магистр, ТОО «Проммашкомплект», г. Экибастуз, 141200, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., ассоц. профессор, доцент, Павлодарский государственный университет

имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>vl-vv@mail.ru; <sup>2</sup>dychko\_ivan@list.ru; <sup>3</sup>bogomolov71@mail.ru

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ТОО «ПРОММАШКОМПЛЕКТ»**

*Описана целесообразность организации производства железнодорожных колес в Казахстане, их конструкция и эксплуатационные особенности. В основной части проведен анализ технологических схем производства заготовок для железнодорожных колес на зарубежных предприятиях, рассмотрено оборудование, используемое в технологическом процессе.*

*Отмечено, что общей для всех производителей колес является технологическая схема, включающая выплавку стали, получение и резку непрерывнолитой заготовки на исходные заготовки, их нагрев и удаление окалины, осадку, штамповку, прокатку и калибровку черного колеса на прессопрокатной линии, термообработку (закалка и отпуск), механическую обработку, отделку и приборный контроль качества колес, покраску и отгрузку готовой продукции. Исходя из анализа технологических схем производства железнодорожных колес обоснована технология, которая будет осуществляться на ТОО «Проммашкомплект».*

*Ключевые слова: заготовка, железнодорожное колесо, производство, технология, деформация, технологическое оборудование, конкурентоспособная продукция.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Республика Казахстан имеет большую территорию и большое количество производственных площадок, удаленных друг от друга. В связи с этим объем грузовых перевозок железнодорожным транспортом возрастает, так как является основным. Колесо, входящее в состав железнодорожного транспорта, наиболее подвержено изнашиванию, так как все время вступает во взаимодействие по контактными поверхностям с рельсом, следовательно, организация производственного процесса получения заготовок железнодорожных колес имеет особую актуальность. Так же это экономически целесообразное решение, так как колеса, используемые для казахстанского железнодорожного транспорта, закупаются из-за рубежа, что приводит к утечке финансов из страны, а организация производства в Казахстане не только будет обеспечивать отечественный рынок качественной железнодорожной продукцией, но и привлечет зарубежных покупателей.

Железнодорожное колесо, несмотря на отличия, вызванные конструкцией вагонов и локомотивов, сложившимися производством и условиями эксплуатации, имеет три основных элемента: ступицу, диск и обод. Часть поверхности обода, контактирующая с рельсом, называется поверхностью катания. Различают



внутреннюю поверхность колеса, расположенную со стороны гребня, и наружную. Преимущественно колеса изготавливают цельными, но они могут быть и составными. Колеса большого диаметра для локомотивов из-за недостаточной мощности производственного оборудования имеют бандажированный обод. Цельные колеса более надежны в эксплуатации и более экономичны. Конструктивная прочность колес зависит от профиля поверхности катания. Железнодорожное колесо помимо конструкции и размеров различается по маркам стали (1, 2, Т, С и Л), классу точности (1, 2), степени разрешения ультразвукового контроля при выявлении внутренних дефектов и неметаллических включений (А, В и С), а также полнопрофильной механической обработки (П) и балансировки колеса (Б). Точность размеров колеса, чистота поверхности, уровень механических свойств и технологических испытаний регламентированы стандартами, например, ГОСТ 10791-2011 [1].

С целью повышения работоспособности колеса при динамических и знакопеременных нагрузках диск колеса, соединяющий обод и ступицу, изготавливается плоскоконическим (рисунок 1 а), либо криволинейным, S-образным (рисунок 1 б). Высокая точность размеров колеса и чистота поверхности достигаемы при полнопрофильной механической обработке (таблица 1) способствуют повышению их долговечности. Характеристики качества в основном определяют долговечность колеса в определенных условиях эксплуатации (таблица 2).

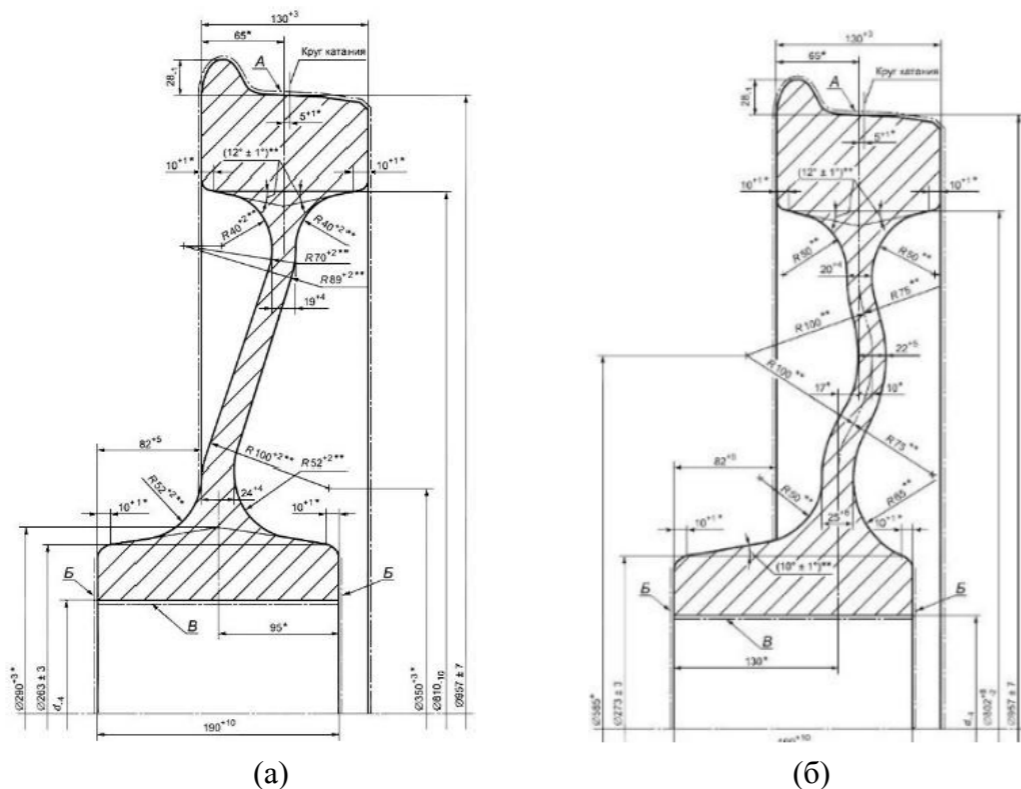


Рисунок 1 – Колесо цельнокатаное с плоскоконическим (а) и криволинейным (б) диском диаметром по кругу катания 957 мм

Таблица 1 – Классы точности и допуски размеров железнодорожного колеса

Элемент колеса	Показатели	Обозначение	Поле допуска размеров (мм) колес для классов точности изготовления	
			1	2
Обод	Диаметр по кругу катания	D	8	14
	Диаметр внутренней поверхности обода с наружной стороны колеса	D <sub>н</sub>	5	10
	Диаметр с внутренней поверхности обода с внутренней стороны	D <sub>в</sub>	5	10
	Ширина	B	2	3
	Высота гребня	h <sub>г</sub>	1	1
	Коробление	–	0,3	0,4
	Развал	–	0,3	0,5
	Поднутрение	–	0,3	0,5
	Разность значений толщины по периметру колеса	–	1	2
	Отклонение от круглости по кругу катания	–	0,1	0,25
Ступица	Диаметр наружной поверхности ступицы с наружной стороны колеса	D <sub>с.н.</sub>	4	6
	Диаметр наружной поверхности ступицы с внутренней стороны колеса	D <sub>с.в.</sub>	4	6
	Диаметр отверстия	d	4	4
	Длина	B <sub>с</sub>	2	10
	Расстояние от торцевой поверхности ступицы до боковой поверхности обода с внутренней стороны колеса	r	2	5
	Разностенность по периметру колеса	–	2	4
	Отклонение параллельности плоскостей – торцевой поверхности ступицы относительно боковой поверхности обода с внутренней стороны колеса	–	1,5	2,5
Диск	Толщина у обода	Вд.о.	2	4
	Толщина у ступицы	Вд.с.	2	6
	Разность значений по периметру колеса	–	1	2

Таблица 2 – Условия эксплуатации колес

Максимальная расчетная осевая нагрузка кН(тс)	Конструкционная скорость железнодорожного подвижного состава $V_k$ , км/ч				Конструкция колес вагонов локомотивной тяги, немоторных вагонов электро- и дизель-поездов
	$V_k \leq 120$	$120 < V_k \leq 160$	$160 < V_k \leq 200$	$V_k > 200$	
1	2	3	4	5	6
Колеса грузового железнодорожного подвижного состава					
230,5 (23,5)	$\frac{2.Т}{В, 2}$	–	–	–	A.1**
245,3 (25,0)	$\frac{Т}{В, 2}$	–	–	–	(A.2, A.3, A.4) **
264,9 (27,0)	$\frac{Т}{В, 2}$	–	–	–	A.2, A.3, A.4) **
294,3 (30,0)	$\frac{Т *}{В, 2}$	–	–	–	A.2, A.3, A.4) **
Колеса для пассажирского железнодорожного подвижного состава					
245,3 (25,0)	$\frac{1,2.Л}{В, 2}$	$\frac{1,2.Л}{В, 2}$	$\frac{1.Л *}{А, 1, П, Б}$	$\frac{1.Л *}{А, 1, П, Б}$	$V_k \leq 160$ км/ч (A.2, A.3, A.4) ** $V_k > 160$ км/ч A.1**

Примечание: \* Допускается применение стали других марок по специальным техническим условиям.

\*\* Допускается применение колес других конструкций по специальной конструкторской документации.

Примечания:

1 В числителе приведены допускаемые марки стали, в знаменателе – категория по внутренним дефектам, выявляемым при УЗК, загрязненности неметаллическими включениями, класс точности изготовления и виды дополнительной обработки колес.

2 По требованию заказчика полнопрофильной механической обработке также могут подвергаться колеса для грузового и пассажирского железнодорожного подвижного состава с конструкционной скоростью до 160 км/ч.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Общей для всех производителей колес является технологическая схема, приведенная на рисунке 2, включающая выплавку стали, получение и резку непрерывнолитой заготовки на исходные заготовки, их нагрев и удаление окалины, осадка, штамповка, прокатка и калибровка черного колеса на прессопрокатной линии, термообработка (закалка и отпуск), мехобработка, отделка и приборный

контроль качества колес, покраска и отгрузка готовой продукции. Могут применяться дополнительные упрочняющие операции [3–5].

Рассмотрим технологические схемы деформации и состав оборудования на прессопрокатных линиях некоторых предприятий [6–12].

#### 1 Bonatrans (Чехия)

На заводе установлено оборудование английской фирмы «Davy and united engineering» (Рисунок 2). Прессопрокатная линия этой фирмы включает три прессы и колесопркатный стан горизонтального типа. На предприятии используются прессы с нижним расположением рабочих цилиндров.

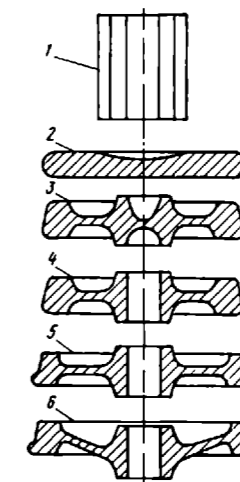


Рисунок 2 – схема деформации заготовок на заводе фирмы Bonatrans: 1 – заготовка; 2 – осадка; 3 – штамповка; 4 – прошивка отверстия; 5 – прокатка; 6 – выгибка диска и калибровка

На первом прессе усилием 85 МН осаживают и формируют колесную заготовку. Пресс – гидравлический с четырьмя рабочими цилиндрами, оснащен гидравлическим мультипликатором; рабочая жидкость – вода с эмульсолом. В зависимости от давления поступающей в мультипликатор воды пресс развивает усилие 56 или 85 МН.

На прессе выполняют две технологические операции: осадку заготовки с одновременной разгонкой металла центральной зоны и формовку заготовки с образованием ступицы и примыкающей к ней части диска. Для выполнения указанных операций пресс оборудован двумя скользящими плитами. Верхняя плита снабжена двумя штамподержателями, а нижняя – двумя столами. На первом столе установлена плоская обжимная плита, а на первом штамподержателе – коническая обжимная плита (калибровочного кольца нет), на втором столе и втором штамподержателе – нижний и верхний формовочные штампы. Пресс обеспечивает производительность 80 колес в час. С помощью выталкивателя и манипулятора заготовку снимают с прессы и по рольгангу передают на прошивной пресс. Последний имеет нижний рабочий цилиндр и способен развивать усилие 10 МН.

Заготовку с прошитым отверстием опускают на рольганг, о которому ее подают к колесопрокатному стану. Стан (рисунок 3) семивалковый, горизонтального типа. Мощности индивидуальных приводов наклонных валков по 300 кВт, а главного привода 110 кВт.

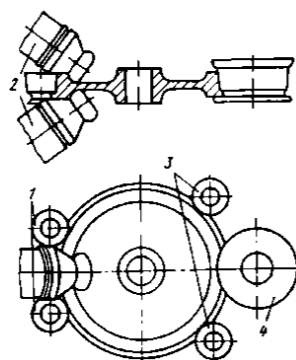


Рисунок 3 – схема расположения валков стана фирмы Bonatrans:

1 – холостые валки; 2 – наклонные приводные валки;

3 – два направляющих холостых ролика; 4 – главный приводной валок

После прокатки разгрузочное устройство, аналогичное загрузочному, захватывает колесо и передает на тележку, транспортирующую его к выгибному прессу. Выгибной пресс усилием 20 МН гидравлический, имеет мультипликатор. На этом же прессе, происходит клеймение колес. После выгибки и клеймения колесо с помощью крюка, подвешенного к подвижной траверсе пресса, переключается на тумбу (второй стол на подвижной плите пресса), откуда поворотным краном транспортируется на склад, где собранные в стопы колеса медленно охлаждаются на воздухе. Производительность всей установки «Bonatrans» составляет 80 колес в час. Однако точностные характеристики колес, поступающих с прессопрокатной линии, довольно низкие. Эксцентриситет ступицы доходит до 10 мм, а припуски на ее обработку – до 20 мм. При этом колеса, как правило, приходится последовательно обрабатывать по всем элементам.

### 2 Sumitomo Metal Industries & Nippon Steel (Япония)

Прессопрокатная линия имеет в своем составе гидравлический пресс двойного действия с подвижными столами, на котором производится предварительная и окончательная штамповка, колесопрокатный стан вертикального типа и калибровочно-выгибной пресс (рисунок 4).

Отличительной особенностью технологии является применение сферодвижной штамповки (рисунок 5, а и 5, б) в операциях калибровки. Особенностью сферодвижной штамповки является вращение нижнего штампа и колебательное движение верхнего штампа за счет того, что ось его отклонена на угол  $\beta$  относительно оси нижнего штампа. Преимуществами технологии является повышение точности параметров процесса. Этот процесс был опробован на отдельно стоящем прессе, но в прессопрокатной линии не был освоен.

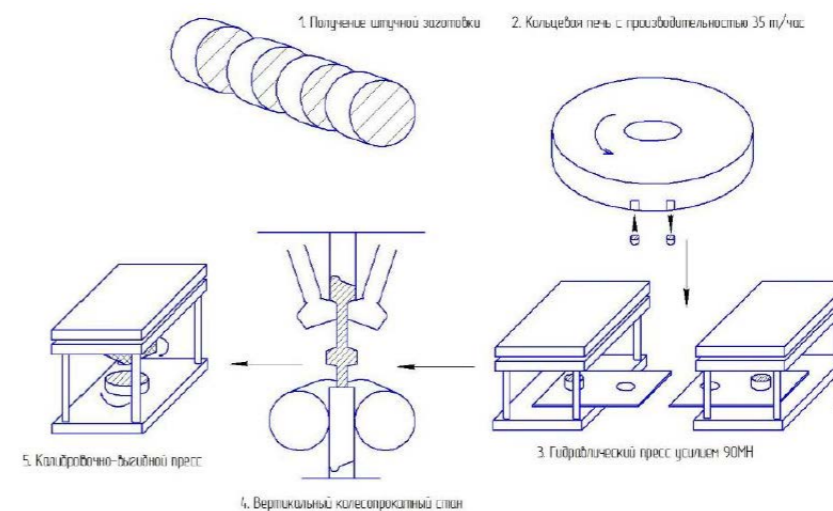


Рисунок 4 – технологическая схема получения черного колеса на Sumitomo Metal Industries & Nippon Steel

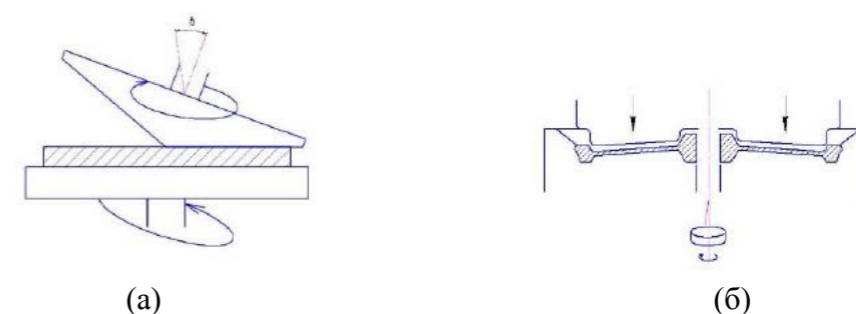


Рисунок 5 – Общая схема сферодвижной штамповки (а) и реализация на калибровочно-выгибном прессе (б)

### 3 Нижнеднепровский трубопрокатный завод (Украина) и Выксунский металлургический комбинат (Россия)

Производителем оборудования является ОАО «Уралмашзавод». Схема деформации, принятая на этих линиях следующая (рисунок 6): предварительная осадка заготовки на гладких плитах производится на отдельном прессе усилием 20 МН. Окалина, опавшая с боковых поверхностей, сбивается, а заготовка передается на пресс усилием 50 МН, где ее осаживают гладкими плитами в плавающем калибровочном кольце, затем калибровочное кольцо специальным механизмом центруют. Одновременно рычажным механизмом подводят пуансон, и вторым ходом пресса осуществляют разгонку. Заготовку выталкивают из кольца на пресс усилием 10 МН, где осуществляют ее формовку. Штампованную поковку центрируют по наружной боковой поверхности специальным механизмом.

Прессы выгодно отличаются от предыдущих тем, что в процессе работы их столы не имеют горизонтальных перемещений, заготовки укладывают на нижние столы прессов и снимают с них после завершения деформации специальными механизмами-манипуляторами. Это облегчает настройку прессов и обеспечивает

повышение точности размеров колес. Разгрузка прессы 50 МН от предварительной осадки и разгонки заготовки обеспечивает повышение производительности всей линии на 15–20 %. Далее заготовку передают на колесопрокатный стан и производят ее раскатку. Стан шестивалковый. Обладает рядом технологических преимуществ. Высокая прочность и жесткость рабочей клетки позволяет прокатывать тяжелые колеса при пониженной температуре и повышенном сопротивлении деформации. Положительным является индивидуальный привод у всех трех приводных валков, а также стационарное положение каретки с наклонными валками. Подвижными являются приводной и холостой коренные валки, смонтированные на другой каретке. Важной особенностью стана является установка нажимных валков на отдельных штангах, что позволяет им во время прокатки занимать такое положение по поверхности катания колеса, которое обеспечивает равномерное распределение обжатий и соответственно усилий.

Выгибку диска, калибровку колеса и прошивку центрального отверстия осуществляют на прессе двойного действия усилием 35 МН. Здесь же наносят на колеса клейма. Пресс усилием 35 МН позволяет не только откалибровать обод по ширине и по внутреннему диаметру, но и в определенной мере уменьшить эксцентricность ступицы относительно обода. Заготовки к агрегатам и от них транспортируются по рольгангу. Наряду с указанными преимуществами линий имеются некоторые технологические недостатки. На формовочном прессе наиболее загрязненная ликватами зона металла перемещает в ступицу и даже в диск.

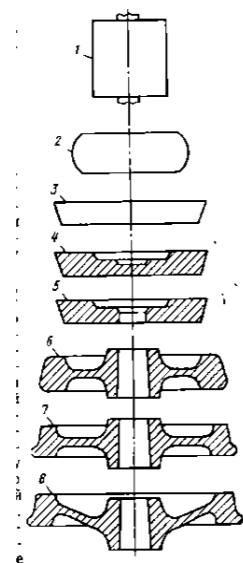


Рисунок 6 – Схема деформации заготовок на прессопрокатных линиях Нижнеднепровского трубопрокатного завода и Выксунского металлургического комбината: 1 – заготовка; 2 – свободная осадка; 3 – осадка в кольце; 4 – разгонка; 5 – штамповка; 6 – прокатка; 7 – выгибка диска и калибровка; 8 – прошивка отверстия

Неравномерное заполнение калибровочного кольца на прессе усилием 50 МН, неточное центрование заготовки на прессе усилием 100 МН, неравномерный нагрев заготовки и другие причины приводят к эксцентричному расположению ступицы относительно обода. Недостатком оборудования прессопрокатной линии является длительная замена узлов и деталей, вышедших из строя и существенное увеличение продолжительности переделок, особенно при переходе с одного типоразмера на другой, что затрудняет освоение производства колес широкого сортамента.

Основные недостатки рассмотренных вариантов технологии и оборудования сводятся к следующему:

- неравномерность нагрева заготовки по сечению и высоте;
- неточность размеров заготовки, получаемой при разрезке слитка;
- отсутствие соосности инструмента деформации на прессах, особенно на прессах с перемещающимися столами;
- прокатный стан горизонтального типа не обеспечивает устойчивого положения колеса в процессе прокатки, а окалина на диске и ободу с передней стороны колеса вкатывается в металл;
- использование манипуляторов не обеспечивает точной укладки заготовки в штамп.

Технологические схемы производства черновых колес и состав оборудования прессопрокатных линий имеют две тенденции, отличающиеся количеством штамповочных прессов. Первая из них основана на максимально возможном разделении прессовых операций и выполнения их на отдельных прессах. В составе прессопрокатной линии, разработанной ОАО «Уралмашзавод», применяются четыре прессы усилием 20 МН, 50 МН, 100 МН, 35 МН. Это позволяет операции осадки, калибровки и разгонки, окончательной штамповки, выгибки диска и калибровки выполнять на специализированных прессах и достигать максимальной производительности. Вторая тенденция связана с уменьшением количества прессов до двух (SMS-EUMOCO). На первом прессе усилием 95 МН осуществляют осадку, предварительную и окончательную штамповки, а на втором – выгибку диска и калибровку чернового колеса. Производительность таких линий меньше, чем у предыдущего типа, но зато снижаются эксплуатационные расходы [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

#### ВЫВОДЫ

Исходя из анализа технологических схем производства железнодорожных колес можно сделать вывод, что для получения годной продукции, отвечающую всем требованиям качества и безопасности, важны следующие факторы:

- устойчивые показатели производственного процесса;
- оптимальные режимы деформации;
- высокотехнологичное оборудование.

Предлагаемая технология, которая будет осуществляться на ТОО «Проммашкомплект», включает следующие операции:



- приемка и порезка непрерывнолитой заготовки на мерные длины;
- нагрев в кольцевой печи;
- деформация на прессе усилием 10000 т.с. включающая две операции – осадка и формовка;
- раскатка на вертикальном колесопрокатном стане;
- калибровка и прошивка отверстия ступицы на прессе усилием 5000 т.с.;
- маркировка на маркировочном прессе;
- замер размеров продукции на лазерной установке измерения геометрических параметров;
- термическая обработка продукции.

Данная технология при правильной калибровке оборудования и подборе устойчивых показателей производственного процесса, позволит получать конкурентоспособную продукцию, которая не только заполнит отечественный рынок, но и будет пользоваться спросом за рубежом.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатаные, технические условия. – В 2012–01–01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 27 с.
- 2 **Харрис, У. Дж.** Обобщения передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: пер. с англ. / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландгрэн [и др.]. – М. : Интекст, 2002. – 408 с.
- 3 **Kanayev, A. T.** Overall hardening of solid-rolled wagon wheels by volume quenching and surface plasma processing / Kanayev A., Sarsembayeva T., Bogomolov A. // *Solid State Phenomena*. – 2017. – Т. 265 SSP. – P. 706–711.
- 4 **Канаев, А. Т.** Исследование структурообразования в гребнях колесных пар, упрочненных плазменной закалкой / Канаев А. Т., Кусаинова К. Т., Богомолов А. В. // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2012. – № 12. – С. 48–51.
- 5 **Kanaev, A. T.** Improving the wear resistance of wheel-pair rims by plasma quenching / Kanaev A. T., Sarsembayeva T. E., Bogomolov A. V. // *Steel in Translation*. 2012. – Т. 42. – № 6. – P. 544–547.
- 6 **Богатов, А. А.** Механические свойства и модели разрушения металла // Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2002. – 329 с.
- 7 **Шифрин, М. Ю.** Резервы производительности и выхода годного при прокатке колес // *Металлургия*, 1989. – 144 с.
- 8 **Шифрин, М. Ю.** Производство цельнокатаных колес и бандажей / М. Ю. Шифрин, М. Я. Соломович. – М. : Металлургиздат, 1982. – 672 с.
- 9 **Данченко, В. Н.** Оптимизация технологической схемы двухпроходной горячей штамповки железнодорожных колес / В. Н. Данченко, А. В. Шрамко, А. В. Ашкелянец [и др.] // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением*. – 2010. – № 4. – С. 27–30.

10 **Паршин, В. А.** Исследование операции формовки при производстве железнодорожных колес / В. А. Паршин, О. А. Ганаго // *Материалы к II конференции молодых научных работников г. Нижний Тагил. Металлургическая секция*. – Свердловск : Сред.-Урал. кн. Изд-во, 1969. – С. 98–107.

11 **Бибик, Г. А.** Производство железнодорожных колес за рубежом // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 1977. – № 16. – С. 19–36.

12 **Шрамко, А. В.** Исследование причин образования зажимов при многопереходной штамповке полнопрофильных заготовок железнодорожных колес / А. В. Шрамко, Л. В. Голубева, В. Н. Данченко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 4. – С. 50–52.

13 **Фукуда, С.** Технология прокатки колес для электровозов в Японии // *Дэнки киканся*. – 1974. – № 219. – С. 15–22.

14 **Кушнарев, А. В.** Модернизация производства железнодорожных колес на Нижнетагильском металлургическом комбинате / А. В. Кушнарев, А. А. Киричков, В. А. Камардин, А. Р. Иваницкий // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2006. – № 7. – С. 33–35.

15 **Коперс, У.** Производство железнодорожных колес на высоком техническом уровне / У. Коперс, М. Кунц, М. Линденблан // *Черные металлы*. – 2006. – № 3. – С. 75–79.

16 **Коперс, У.** Новый стан для прокатки железнодорожных колес // *Черные металлы*. – 1993. – № 6. – С. 40–43.

17 Патент 2404009 Российская Федерация, МПК В 21 Н 1/04, В 21 К 1/28. Способ изготовления цельнокатаных железнодорожных колес / Р. А. Кушнарев, А. А. Богатов, А. А. Киричков [и др.] – № 2008115847/02; опубликовано 20.11.2010.

18 **Kushnarev, A. A.** Introduction of wheel production on a new pressing and rolling line / A. V. Kushnarev, A. A. Kirichkov, V. D. Shestak [etc.] // *Steel in Translation*. – 2010. – Т. 40. – № 12. – P. 1098–1100.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*В. В. Вайнорюте<sup>1</sup>, И. Н. Дычко<sup>2</sup>, А. В. Богомолов<sup>3</sup>*  
**«Проммашкомплект» ЖШС-нің базасында теміржол донғалактарына арналған дайындама алу технологиясын әзірлеу**

<sup>1,3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
 Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

<sup>2</sup> «Проммашкомплект» ЖШС,  
 Екібастұз қ., 141200, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 14.02.18 түсті.

V. V. Vainoryute<sup>1</sup>, I. N. Dychko<sup>2</sup>, A. V. Bogomolov<sup>3</sup>**Development of production technology for railway wheels billets based on LLP «Prommashkomplekt»**<sup>1,3</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.<sup>2</sup>LLP «Prommashkomplekt», Ekibastuz, 141200, Republic of Kazakhstan. Material received on 14.02.18.

Мақалада Қазақстанда теміржол доңғалақтардың өндірісін ұйымдастыру орындылығы, конструкциясы және қолдану ерекшеліктері сипатталған.

Басты бөлімде теміржол доңғалақтары үшін дайындамаларды шетел кәсіпорындарда өндірудің технологиялық сызбаларының талдауы жасалған және технологиялық процессте қолданылатын жабдықтары қарастырылған.

The article describes the feasibility of the organization of railway wheels production in Kazakhstan, their design and operational features. In the main part the analysis of technological schemes of billets production for railway wheels at the foreign enterprises is carried out, the equipment used in technological process is considered.

FTAMP 73.00.00.

**А. М. Жандарбекова<sup>1</sup>, Г. Н. Байгужина<sup>2</sup>**<sup>1</sup>т.ғ.к., аға оқытушы, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы;<sup>2</sup>магистрант, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы  
e-mail: <sup>1</sup>AZhandarbekova@bk.ru; <sup>2</sup>gul\_8989@mail.ru**БІР ШӨМІШТІ ФРОНТАЛЬДІ ТИЕГІШТЕРДІҢ СЕНІМДІЛІГІНЕ ЖАСАЛҒАН ПАЙДАЛАНУ СЫНАҚТАРЫНЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІ**

Өзектілігі: Қазіргі заман жағдайында құрылыс-жол машиналарының ағымдағы жөндеу жүргізу көлемін қысқарту, машиналарды сатып алудың жиынтық үлестік шығындарын азайту және олардың пайдалану сенімділігін қолдау сияқты міндеттерді шешудің үлкен тәжірибелік мәні бар. Осыған орай берілген жұмыстың өзектілігі пайдаланудағы фронтальді тиегіштердің сенімділігін сәйкес деңгейде ұстау қажеттілігімен анықталады.

Жұмыстың мақсаты: Фронтальді тиегіштерді пайдалану барысында жөндеу шығындарын және тоқтап тұруларын қысқарту.

Жұмыстың міндеттері: Амкодор 342С-04 бір шөмішті фронтальді тиегіштерінің сенімділігін шектейтін агрегаттар мен түйіндерді анықтау.

Зерттеу нысаны: Амкодор 342С-04 бір шөмішті фронтальді тиегіштері.

Зерттеу әдісі: Статистикалық мәліметтерді салыстыру әдісі, Парето диаграммасын қолдану әдісі.

Нәтижелері: Пайдалану сынақтары барысында Амкодор 342С-04 тиегіштерінің сенімділігін шектейтін жүйелер, агрегаттар және түйіндер анықталды.

Кілтті сөздер: бір шөмішті фронтальді тиегіш, гидромеханикалық беріліс, беріліс қорабы, жүйе, агрегат, түйін, бөлшек.

**КІРІСПЕ**

Фронтальді тиегіштер тек жер қазу, жоспарланған тиеу-түсіру жұмыстарын ғана емес, сонымен қатар ауыл шаруашылығында, индустриалды және қалалық жағдайлардағы неғұрлым кең спекторлы жұмыстарды орындайды [1–7]. Фронтальді тиегіштердің сенімділігіне пайдану жағдайында жүргізілетін сынақ әдістері әртүрлі болуы мүмкін [8]. Олар, нысандардың тоқыраусыздығы мен төзімділігін қамтамасыз ету және жоғарылату бойынша маңызды құраушыларының бірі болып саналады.

Пайдалану жағдайында жасалған сынақтардың және статистикалық модельдеудің нәтижелерін өңдеу тәжірибесінде сенімділік көрсеткіштеріне (үлестіру параметрлеріне) мынадай факторлардың әсер етуі анықталды: сынақтарды жүргізу шарттары, мәліметтерді жинақтау, іріктеме көлемі, іріктемедегі істен шығулардың саны және т. б. Осы ретте бағалаудың сапасы бастапқы мәліметтердің дәлдігіне, толықтығы мен нақтылығына және оларды өңдеу әдістеріне байланысты. Осыны ескере отырып, қарастырылатын тиегіштердің сенімділігі туралы бастапқы мәліметтер толық, нақты, біртекті, дискретті, уақтылы және үздіксіз болуы тиіс.

Осы зерттеуді орындау барысында Амкодор 342С-04 бір шөмішті фронтальді тиегіштердің Астана қаласының кәсіпорындарында қолданылатын он саны тандап алынып, [8]-де ұсынылған әдістемеге сәйкес, олардың сенімділігіне пайдалану жағдайында сынау жүргізілді.

Амкодор 342С-04 фронтальді тиегіштері Амкодор компаниясы шығаратын құрылыс және жол машиналарының ең кеңінен тараған түрі және сатылымы бойынша рейтингісі жоғары техниканың бірі болып табылады. Бұл тиегіштері әртүрлі табиғи және климаттық жағдайларда, тиеу-түсіру және жер қазу жұмыстарын орындауға арналады, ол үшін олар әртүрлі ауыстырылмалы жұмыс жабдығымен (шөміш, айыр және т. б.) қамтамасыз етіліп, көлемі орта жұмыс нысандарынан үлкеніне дейін қолданылуы мүмкін.

Қазақстан Республикасының әртүрлі өңірлерінде, сондай-ақ ТМД елдерінде (Ресей, Белоруссия) құрылыс-жол машиналары мен оларға қосалқы бөлшектерді жеткізуді жүзеге асыратын «Амкодор» ЖШС компаниясының мәліметтері бойынша, аталған фронтальді тиегіштер Ақмола облысында да қолданыста кеңінен тараған [9].

### НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Қарастырып отырған машиналардың ерекшеліктерін, ең алдымен олардың механизациялаудың бір басқармасындағы аз санын ескере отырып, зерттеу барысында тиегіштердің жүйелері мен агрегаттарының сенімділігі туралы ақпарат жинау Астана қаласының екі кәсіпорнында «КазГерСтрой» АҚ және «Астана Көмек Машиналар» АҚ орындалды [9].

Жоғарыда аталған екі кәсіпорынның өндірістік нысандары мен жабдықтары оларды қолдануға арналған нормативтік құжаттарға сәйкес техникалық қызмет көрсету мен жөндеудің барлық түрлерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді: сауатты мамандар, жоғары білікті қызметкерлермен және техниканың барлық түрлерімен жабдықталған, сонымен қатар қаржылық мүмкіндіктері де бар.

Бақылауға алынған тиегіштер туралы мәліметтер олардың сериялық нөмірін, қозғалтқышының түрі мен нөмірін қамтиды (кесте 1).

Кесте 1 – Бақылауға алынған фронтальді тиегіштер туралы мәліметтер

Р/н	Өндіруші зауыт нөмірі	Қозғалтқышының түрі	Қозғалтқышының нөмірі	Тиегіштер қолданылған кәсіпорынның атауы
1	20479	Д-260.2	0405008632	«КазГерСтрой» АҚ
2	81603	Д-260.1	21570091	«КазГерСтрой» АҚ
3	82295	Д-260.9	21674305	«КазГерСтрой» АҚ
4	82260	DCEC 6CT-8.3-C-260	21701254	«КазГерСтрой» АҚ
5	20245	Д-245.43S2	00100007580	«Астана Көмек Машиналар» АҚ
6	20316	Д-260	01050008186	«Астана Көмек Машиналар» АҚ
7	20192	ЯМЗ-7601	20007005	«Астана Көмек Машиналар» АҚ
8	6760	Д-245	00112584588	«Астана Көмек Машиналар» АҚ
9	7695	Д-245С2	21900478	«Астана Көмек Машиналар» АҚ
10	20218	Д-260.1S2	99090006760	«Астана Көмек Машиналар» АҚ

Фронтальді тиегіштерін пайдалану сынақтарынан өткізу барысында олардың 14315 істен шығулары тіркелді. Сынау нәтижелері істен шығуларды агрегаттар мен жүйелер бойынша үлестіруді, ал бір қатар позициялар бойынша құрастырма бірліктері бойынша үлестіруді де бағалауға мүмкіндік берді.

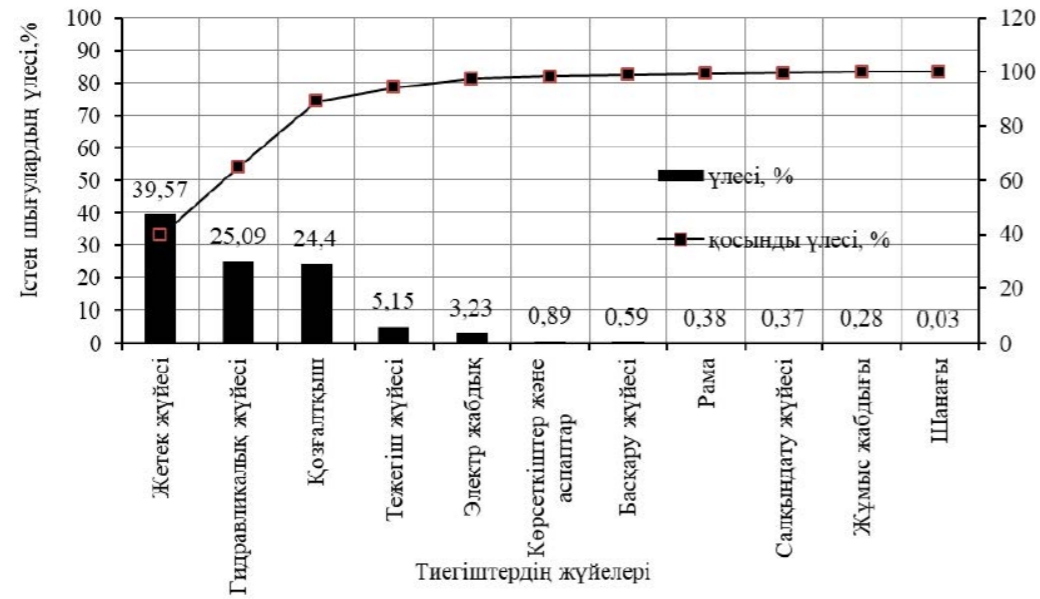
Осы ретте, Амкодор 342С-04 тиегіштерінің істен шығулары туралы статистикалық деректерді өңдеу [10]-ға сәйкес «жүйе – агрегат – түйін – бөлшек» сұлбасы бойынша жасалды. Жиі істен шығатын жүйелерді, агрегаттарды және түйіндерді анықтау [11]-ге сәйкес істен шығулар үлесін төмендету тәртібінде Парето принципін қолдану арқылы жүзеге асырылды.

Тиегіштердің істен шығулар санын жүйелер бойынша талдау олардың ең үлкен үлесін жетек жүйесі (39,57 %), үлкен үлесін гидравликалық жүйе (25,09 %) және қозғалтқыш (24,40 %) құрайтыны анықталды (2 кесте). Ал істен шығулардың шамалы үлесін тежегіш жүйесі, электр жабдықтары, көрсеткіштер және аспаптар, басқару жүйесі, рама, салқындату жүйесі, жұмыс жабдығы, шанағы (жалпы үлесі 15,0 %-дан төмен, яғни 10,13 %) құрайды.

Кесте 2 – Бақылауға алынған тиегіштер жүйелерінің істен шығуларын үлестіру

р/с	Каталог бойынша ішкі топтың нөмірі	Тиегіш жүйесі	Істен шығулар		
			саны, бірлік	үлесі, %	қосынды үлесі, %
1	04	Жетек жүйесі	5665	39,57	39,57
2	07(ТО-28А.76.00.000.04)	Гидравликалық жүйесі	3592	25,09	64,67
3	04 (ТО-28А.02.00.000.02)	Қозғалтқыш	3493	24,40	89,07
4	14 (342В.10.00.000)	Тежегіш жүйе	737	5,15	94,22
5	11(351.11.00.000)	Электр жабдық	463	3,23	97,45
6	11	Көрсеткіштер және аспаптар	127	0,89	98,34
7	05 (У7810-9.02.02.500-01)	Басқару жүйесі	85	0,59	98,93
8	03(ТО-28А.01.00.000-01)	Рама	55	0,38	99,32
9	06	Салқындату жүйесі	53	0,37	99,69
10	13 (ТО-28А.14.00.000)	Жұмыс жабдығы	40	0,28	99,97
11	02 (18Б.85.00.000.02)	Шанағы	5	0,03	100,00
		Барлығы:	14315	100,00	

Сонымен, статистикалық ақпаратты өңдеудің нәтижесінде қарастырылып отырған тиегіштердің ең жиі істен шығатын жүйелері белгілі болды. Олардың сенімділігін шектейтін жүйелері бақылау аралығында жүйелердің бөлшектерінің істен шығуларының жиынтығына байланысты анықталды. Осы ретте, жетек жүйесі тиегіштердің басқа жүйелерімен салыстырғанда сенімділігі төмен екенін көрсетті (1 сурет).



Сурет 1 – Бақылауға алынған тиегіштер жүйелерін істен шығулар саны бойынша үлестіру

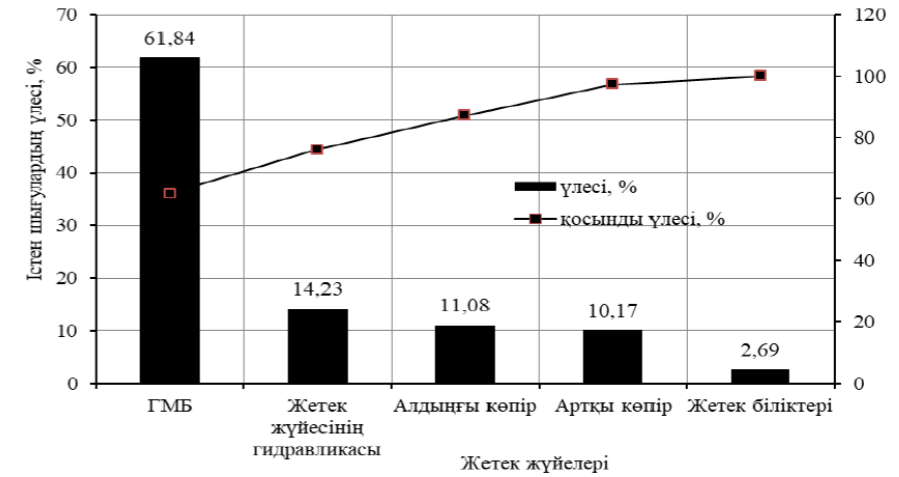
Бұл жайт, осы жүйеге қатысты Амкодор 342С-04 фронтальді тиегіштерінің сенімділігін жоғарылату мақсатында зерттеудің өзектілігін растайды.

Жетек жүйесінің істен шығуларын талдау барысында олардың ең үлкен үлесін (61,84 %), гидромеханикалық беріліс қорабының (ГМБ) істен шығуларымен байланысты болып шықты [9]. Ал, оның басқа жүйелерінің істен шығулары (жетек жүйесіндегі гидравлика, алдыңғы және артқы көпірлер және жетек біліктері) 38,17 %-ды құрады (3 кесте).

Кесте 3 – Трансмиссия істен шығуларының санын агрегаттары мен жүйелері бойынша үлестіру

Ішкі топтың нөмірі	Жетек жүйесі	Істен шығулар		
		саны, бірлік	үлесі, %	жиынтық үлесі, %
342В.03.00.000	ГМБ	2920	61,84	61,84
ТО-28А.07.00.000	Жетек жүйесінің гидравликасы	672	14,23	76,07
342.05.01.000.01	Алдыңғы көпір	523	11,08	87,15
342.05.01.000.02	Артқы көпір	480	10,17	97,31
ТО-28А.04.00.000	Жетек біліктері	127	2,69	100,00
	Барлығы:	4722	100,00	

Жетек жүйесінің істен шығуларын агрегаттары мен жүйелері бойынша үлестіруді 3-ші суреттегі диаграмма көрсетеді.



Сурет 3 – Жетек жүйесі істен шығулар санын агрегаттары мен жүйелері бойынша үлестіру

Гидромеханикалық берілістің істен шығуларын агрегаттары бойынша үлестірудің нәтижесінде, олардың ең үлкен үлесі (82 %) беріліс қорабына тиесілі екені белгілі болды (4-кесте).

Кесте 4 – ГМБ істен шығуларын агрегаттары бойынша үлестіру

Ішкі топтың нөмірі	ГМБ	Істен шығулар		
		саны, бірлік	үлесі, %	қосынды үлесі, %
342В 03.01.000	Беріліс қорабы	943	82	82
ПД340А-00.00.000	Гидротрансформатор	127	11	93
ТО.18.03.00.100	Қуатты айналдыру редукторы	85	7	100
	Барлығы:	1155	100	

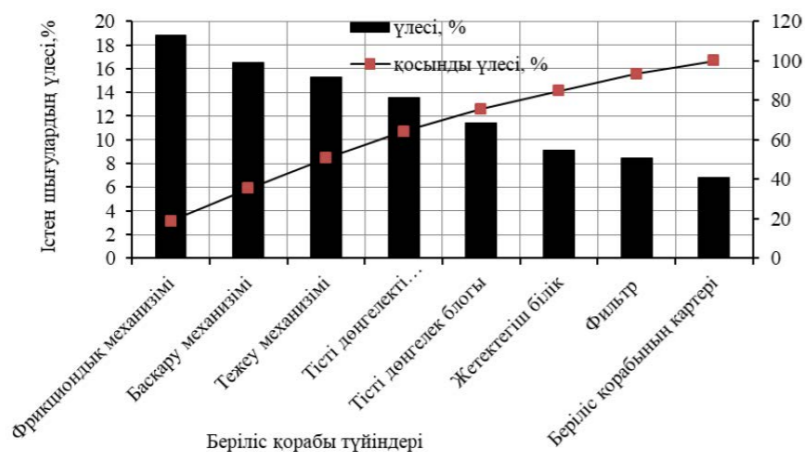
Амкодор 342С-04 тиегіштерінің гидромеханикалық беріліс қорабының істен шығуларын түйіндері бойынша талдау, оның ең үлкен үлесін фрикциондық механизімі (19 %), басқару механизімі (17 %) және тежеу механизімі (15 %) құрайтынын көрсетті (кесте 5).

Кесте 5 – Амкодор 342С-04 тиегіштері гидромеханикалық берілісінің, беріліс қорабы істен шығулар санын түйіндері бойынша талдау

Ішкі топтың нөмірі	Беріліс қорабының түйіндері	Істен шығулар		
		саны, бірлік	үлесі, %	қосынды үлесі, %
150.07.074	Фрикциондық механизімі	89	19	19
У 35.605М.-03000.04	Басқару механизімі	78	17	35
2108-350101814	Тежеу механизімі	72	15	51
У 35.615.-35.510	Тісті дөңгелекті планетарлық қатар	64	14	64



У 35.615.-01.304.4	Тісті дөңгелек блогы	54	11	76
У 35.615.-35.301-01	Жетектегіш білік	43	9	85
У 35.605М.-03000.03	Фильтр	40	8	93
У 35.605М.-03000.06	Беріліс қорабының қарттері	32	7	100
		472	100	



Сурет 4 – ГМБ түйіндерін істен шығулар саны бойынша үлестіру

Фронтальді тиегіштерді пайдалану сынақтарынан өткізу кезінде олардың шекті күйінің істен шығуларының нақты критерийлерін анықтау қиындық тудырды. Сонымен қатар, оларды жеке бөлікке, түйінге, құрастырмалық бірлікке, агрегатқа, жүйеге және толығымен машинаға қатысты анықталуы қажет. Өз кезегінде критерийлерді таңдау пайдалану жағдайында сынақтарды жасау негізінде анықталатын тиегіштер сенімділігінің сандық көрсеткіштеріне әсер етті.

#### ҚОРЫТЫНДЫ

Істен шығулар мен ауыстыруларды сандық талдаудың нәтижелері, сондай-ақ бөлшектері мен құрастырмалық бірліктердің істен шығуына сипатты себептері қарастырылып отырған тиегіштердің сенімділігін жоғарылату әдістерінің негізі болып табылады. Пайдалану жағдайында сынақтарды өткізу үрдісінде Амкодор 342С-04 тиегіштерінің агрегаттары мен жүйелерінің сенімділігін шектейтін бөлшектер мен түйіндер анықталды. Жүргізілген сынақтар бір шөмішті фронтальды тиегіштердің сенімділігін айтарлықтай жоғарылату үшін оның гидромеханикалық берілісінің беріліс қорабы түйіндерінің бөлшектерінің ресурсын ұзарту бойынша ұсыныстар жасау үшін өзекті және тәжірибелік маңызы зор екенін көрсетеді.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Грифф, М. И., Каганович, Е. М., Казимиров, Л. П., Ягудаев, Л. М. Погрузчики мира : Справочник. – М. : Изд-во Ассоциация строительных вузов. – 2005. – Вып. 10. – 216 с.

2 **Chellini, R.** New driveline for mini wheel loaders// Diesel Progress International Edition. – 2004. – Vol. 23. – Iss. 2. – P. 75 [Электронный ресурс]. – <https://www.scopus.com/>.

3 **Долгих, Е. С., Махно, Д. Е.** Анализ надежности фронтальных погрузчиков на горнодобывающих предприятиях севера // Вестник иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 6 (89). – С. 54–59.

4 **Roskam, R., Dobkowitz, D.** Modeling of a front-end loader for control design // 2015 23rd mediterranean conference on control and automation (MED). – 2015. – P. 442–447 [Электронный ресурс]. – <https://www.scopus.com/>.

5 **Senthil Kumar, P. S., Srinivasan, P., Palati, K. K., Mallela, G.** Design. Development and evaluation of dual belleville clutch in front end loader tractor for clutch life enhancement // International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. – 2015. – Vol. 15. – № 1. – P. 79–88 [Электронный ресурс]. – <https://www.scopus.com/>.

6 **Nilsson, T., Fröberg, A., Åslund, J.** Predictive control of a diesel electric wheel loader powertrain // Control Engineering Practice. – 2015. – Vol. 41. – p. 47–56 (электронный ресурс <https://www.scopus.com/>).

7 **Жандарбекова, А. М.** Формирование рационального комплекса текущего ремонта коробки передач одноковшовых фронтальных погрузчиков / Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 2. – С. 52–55.

8 **Кульсеитов, Ж. О.** Некоторые результаты эксплуатационных испытаний одноковшовых универсальных экскаваторов // Поиск Научный журнал министерства образования Республики Казахстан 1997 – № 2. – С. 135–138.

9 **Байгужина, Г. Н., Жандарбекова, А. М.** Фронтальді тиегіштерді сенімділікке пайдалану сынауын ұйымдастыру // С. Сейфуллин ат. Қазақ агротехникалық университетінің 60 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 13: Дәстүрлерді сақтай отырып, болашақты құру» атты респ. ғылыми-теор. конф. материалдары. – 2017. – Б. 117–119.

10 Каталог сборочных единиц и деталей 342С-04 Wheel Loader Amkodor

11 ISO 9000-4:93 / IES 300-1:93 Руководство по управлению программой обеспечения общей надежности.

Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*А. М. Жандарбекова<sup>1</sup>, Г. Н. Байгужина<sup>2</sup>*

**Результаты эксплуатационных испытаний одноковшовых фронтальных погрузчиков на надежность**

<sup>1,2</sup>Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 14.02.18.

A. M. Zhandarbekova<sup>1</sup>, G. N. Baiguzhina<sup>2</sup>**Results of exploitation tests of single-booster front loaders on reliability**

<sup>1,2</sup>Technical Faculty,  
S. Seifullin Kazakh Agro Tehnical University,  
Astana, 010000, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 14.02.18.

**Актуальность:** В современных условиях решение задач по сокращению объемов текущего ремонта дорожно-строительных машин, снижение суммарных удельных затрат на приобретение машин и на поддержание их надежности в эксплуатации имеет большое практическое значение. В связи с этим актуальность данной работы обусловлена необходимостью поддержания эксплуатационной надежности фронтальных погрузчиков.

**Цель работы:** Снижение расходов текущего ремонта фронтальных погрузчиков и сокращение их простоев в эксплуатации.

**Задачи работы:** Определение агрегатов и узлов, лимитирующих надежность фронтальных погрузчиков Амкодор 342С-04.

**Объект исследования:** Фронтальный погрузчик Амкодор 342С-04.

**Метод исследования:** Метод сопоставления статистических данных, метод диаграммы Парето.

**Результаты:** В ходе эксплуатационных испытаний выявлены системы, агрегаты и узлы, лимитирующие надежность фронтальных погрузчиков Амкодор 342С-04.

**Relevance:** In the modern conditions, the problem solving on reduction of the volumes of road-building cars maintenance, decrease in cooperative specific costs of acquisition of machines and on maintaining of their serviceability has great practical value. The relevance of this work is caused by the need of maintaining of operational reliability of the frontal-wheel loaders.

**Purpose of work:** Decrease in expenses of the frontal loaders maintenance and reduction of their operation disturbance.

**Tasks of work:** Definition of units and the clusters limiting reliability of the wheel loaders of Amcodor 342S-04 model.

**Object of research work:** The Amcodor 342S-04 model frontal loader.

**Research technique:** Method of comparison of statistical data, method of the chart of Pareto.

**Results:** During the tests the systems, units and clusters limiting reliability of the model Amcodor 342S-04 frontal loaders are revealed.

ГРНТИ 67.15.39; 53.37.13

**А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, А. К. Тлеулесов<sup>2</sup>, А. Н. Ахметбек<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н, ассоц. профессор (доцент), кафедра «Машиностроение и стандартизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>магистр, ст. преподаватель, кафедра «Профессиональное обучение и защита окружающей среды», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>магистр, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>asylbek\_kasenov@mail.ru; <sup>2</sup>askaralek66@mail.ru; <sup>3</sup>ahmet-94.94@mail.ru

**ПРОИЗВОДСТВО БЕТОНА ИЗ ОТХОДОВ  
АО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА»**

Выполнен анализ отходов металлургических предприятий Павлодарской области и выявлено, что красный бокситовый шлам – отходы Аллюминиевого завода, могут найти свое применение в строительных материалах, в качестве вяжущего материала.

Преимущество вяжущих на основе бокситовых шламов перед цементом или цементобетоном является отсутствие быстрого схватывания и замедленность процессов твердения.

В связи с этим была разработана технология производства бетона с применением бокситового шлама. Выбрано оборудование поставщика ООО «АлтайСтройМаш» для производства бетонных блоков производительностью 12 куб. метров в сутки.

Ключевые слова: производство, бетон, отходы, красный шлам, морозостойкость, водонепроницаемость, прочность.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время на предприятиях горнодобывающей, металлургической, химической, деревообрабатывающей, энергетической, строительных материалов и других отраслей промышленности в Казахстане накопилось порядка 22 млрд. тонн отходов. Ежегодно образуется до 400 млн. тонн промышленных отходов и до 20 млн. м<sup>3</sup> бытовых, из которых лишь 5 процентов идет на переработку от общего объема. В связи с этим в отвалах и шламохранилищах страны накоплено 5,9 млрд. тонн только твердых отходов.

Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья при получении различного вида продукции и прежде всего строительного назначения.

Решение проблемы ресурсосбережения в строительстве возможно при комплексном использовании технических, организационных, экономических факторов и ускорении научно-технического прогресса.

Важнейший резерв ресурсосбережения в строительстве – это широкое использование вторичных материальных ресурсов, которыми являются отходы производства и потребления. Объем промышленных отходов увеличивается более высокими темпами, чем общественное производство, и имеет тенденцию к опережающему росту. Только на удаление их и складирование расходуется в среднем 8–10 % стоимости основной производимой продукции.

Использование промышленных отходов обеспечивает производство богатым источником дешевого и часто уже подготовленного сырья; приводит к экономии капитальных вложений, предназначенных для строительства предприятий, добывающих и перерабатывающих сырье, и повышению уровня их рентабельности; высвобождению значительных площадей земельных угодий и снижению степени загрязнения окружающей среды. Повышение уровня использования промышленных отходов является важнейшей задачей [1–3].

Одно из наиболее перспективных направлений утилизации промышленных отходов – их использование в производстве строительных материалов, что позволяет до 40 % удовлетворить потребности в сырье, этой важнейшей отрасли промышленности. Применение отходов промышленности позволяет на 10–30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений при этом составляет 35–50 %.

Развитие и совершенствование производства строительных материалов, повышение их экономической эффективности на современном этапе в значительной степени будут определяться рациональностью использования сырьевых ресурсов, полнотой вовлечения в производство отходов различных отраслей промышленности.

Промышленные отходы отрицательно влияют на экологические факторы. Прежде всего это относится к составу воздуха, эдафическим, гидрохимическим и гидрофизическим факторам. Эдафические факторы включают химический состав и структуру веществ, циркулирующих в почве; гидрохимические и гидрофизические – объединяют все факторы, связанные с водой как средой обитания разнообразных живых организмов.

Наиболее значительны выбросы предприятий энергетической, химической и металлургической промышленности. В атмосферу поступают газообразные и твердые отходы при сгорании топлива, а также в результате разнообразных технологических процессов. Например, в зависимости от зольности угля, крупные ТЭЦ выбрасывают в атмосферу 10–100 т золы, распространяющейся в радиусе нескольких километров. Кроме того, в отходящих газах тепловых электростанций ежесуточно поступают в атмосферу десятки тонн серного ангидрида.

Источниками загрязнения атмосферы разнообразной пылью являются также предприятия по производству строительных материалов, горно-обогатительные комбинаты и другие предприятия, технологические процессы которых основаны на дроблении, измельчении и обжиге больших количеств минерального сырья. При работе, например, вращающихся печей для обжига цементного клинкера пылевывнос составляет 8–20 % сухого сырья. Даже после очистки газовоздушные выбросы технологических агрегатов цементных заводов содержат 100–150 мг/м<sup>3</sup> пыли. Учитывая, что объем отходящих газов из одной вращающейся клинкеро-обжиговой печи, зависящий от ее размеров, вида сырья, топлива и режима обжига, колеблется от 40 до 600 тыс. м<sup>3</sup>/ч, количество выносимой в атмосферу пыли даже при хорошей работе электрофильтров составляет около 100 кг/ч.

В соответствии с действующими нормативами все промышленные отходы делятся на четыре класса опасности: чрезвычайно опасные, высоко опасные, умеренно опасные, малоопасные.

Класс опасности промышленных отходов определяется содержанием в них определенных химических веществ:

– наличие в отходах ртути, сулемы, хромовокислого калия, треххлористой сурьмы, бензапирена, оксида мышьяка и других высокотоксичных веществ позволяет отнести их к первому классу опасности;

– наличие в отходах хлористой меди, хлористого никеля, трехокисной сурьмы, азотнокислого свинца и других, менее токсичных веществ дает основание отнести эти отходы ко второму классу опасности;

– наличие в отходах сернокислой меди, щавелевокислой меди, хлористого никеля, оксида свинца, четыреххлористого углерода и других веществ позволяет отнести их к третьему классу опасности;

– наличие в отходах сернокислого марганца, фосфатов, сернокислого цинка, хлористого цинка дает основание отнести их к четвертому классу опасности.

В зависимости от физико-химических свойств отходов, а также от их количества применяют различные методы обезвреживания и переработки: механические, биологические, химические, сорбционные, термические, а также комбинированные [4–9].

Баженов П. И. [10] предложил классифицировать побочные промышленные продукты в момент выделения их из основного технологического процесса на три следующих класса: А – продукты, не утратившие природных свойств; Б – искусственные продукты, полученные в результате глубоких физико-химических процессов; В – продукты, образовавшиеся при длительном хранении в отвалах.

Продукты класса А (карьерные остатки и остатки после обогащения на полезное ископаемое) имеют химию-минералогический состав и свойства соответствующих горных пород. Область их применения обусловлена агрегатным состоянием, фракционным и химическим составом, физико-механическими свойствами. Преимущественно минеральные продукты класса А применяются как заполнители бетонов, а также как исходное глинистое, карбонатное или силикатное сырье для получения разнообразных искусственных строительных материалов (керамики, извести, автоклавных материалов и др.).

Продукты класса Б получают в результате физико-химических процессов, протекающих при обычных или чаще высоких температурах. Диапазон их возможного применения шире, чем продуктов класса А. Особенно эффективно использование этих отходов там, где продуктивно реализуются затраты топливно-энергетических ресурсов и рабочей силы на их получение. Применение продуктов этого класса рационально прежде всего при производстве цементов, материалов автоклавного твердения, где повышенная реакционная способность исходного сырья дает высокий экономический эффект. Так, при использовании доменного шлака для изготовления шлакопортландцемента почти в два раза снижаются

топливно-энергетические затраты на единицу продукции, а себестоимость уменьшается на 25–30 %.

Продукты класса В образуются в результате физико-химических процессов, протекающих в отвалах (самовозгорание, распад шлаков и образование порошка и др.). Типичными представителями сырьевых материалов этого класса являются горелые породы.

Анализ отходов вывел следующие виды отходов металлургических предприятий: доменные, ферросплавные и сталеплавильные шлаки; шлаки, образующиеся при плавке руд цветных металлов; продукты обогащения руд; нефелиновые и другие шламы и др.

Непрерывный рост объемов металлургического производства влечет увеличение техногенного воздействия на окружающую среду в виде накапливающихся отходов производства. Это делает актуальной проблему утилизации отходов путем их переработки с доизвлечением содержащихся полезных компонентов.

Производство всех цветных металлов является материалоемким. Достаточно сказать, что для получения 1 тонны глинозема требуется более 2 тонн боксита или нефелина, т. е. половина компонентов переходит в отходы – красные шламы. По характеру происхождения эти отходы можно разделить на три группы:

1 Вещества, представляющие собой полностью или частично метаморфизированный минеральный нерастворимый остаток, например, бокситовый или нефелиновый шлам. Установлено, в частности, что красные шламы уральских алюминиевых заводов по фазовому составу – это смесь природных и вновь полученных минералов. В шламе содержатся недоразложившийся диаспор, гематит, нерастворимый в щелочно-алюминатных растворах, различные формы гидроалюмосиликатов натрия, гидрогранаты, шамозит, кальцит и т.д.

2 Вещества, выделенные из растворов, например, содосульфатный осадок, получаемый при переработке бокситов.

3 Вещества, выделенные из газообразной фазы, например, сульфат кальция, образующийся при очистке отходящих газов печей спекания известковым молоком.

В настоящее время утилизация красных шламов глиноземного производства привлекает внимание многих исследователей. Красные шламы содержат до 50 % оксида железа, а также значительное количество оксидов алюминия, кремния, титана, кальция, натрия и других ценных элементов, поэтому представляют собой нужное и полезное сырье. Однако проблема складирования красного шлама является весьма сложной. Во-первых, строительство шламовых полей – очень дорогое мероприятие. Во-вторых, под эти поля занимают большие пространства плодородных земель. В-третьих, при высыхании красного шлама очень мелкие частицы его поднимаются ветром в воздух и разносятся на многие километры вокруг, покрывая землю красным налетом, который ухудшает плодородие окружающей почвы. В-четвертых, не исключено и дренирование подшламовых щелочных вод за пределы поля и загрязнение земли и воды. Красные шламы от переработки бокситов содержат меньше, чем нефелиновые,

оксида кальция и по этой причине еще не нашли в производстве вяжущих материалов широкого применения. Тем не менее шламы, особенно спековые, имеют хорошие перспективы в указанной технологии и массовое использование их в качестве железистого и комплексного компонента цементной сырьевой смеси является вопросом времени.

В Павлодарском регионе одним из видов таких отходов являются шламы глиноземного производства. Помимо проблемы хранения (пылеобразование, воздействие на грунтовые воды) существующих отходов актуальной является проблема подготовки новых отстойников шламов, а это, как правило, пригодные для сельскохозяйственной деятельности земли.

При производстве алюминия в качестве основного сырья используется боксит, в результате этого в больших количествах образуются отходы в виде водных суспензий дисперсных частиц – шламы. На одну тонну глинозема получают около четырех тонн шлама. Характерная особенность бокситовых шламов – это высокое содержание оксидов железа и алюминия.

Для производства строительных материалов промышленное значение имеют нефелиновые, бокситовые, сульфатные, белые и монокальциевые шламы. На алюминиевом заводе используется боксит, соответственно отходом является бокситовый шлам.

Предварительный анализ химического состава шламов позволяет сделать предположение о целесообразности их переработки с извлечением содержащегося в них в виде оксидов железа. Как показали научные исследования использование красного шлама возможно, как: добавки при агломерации, окомковании, доменной плавки железных руд, сырья для получения железа, шлакообразующего агента для рафинирования чугуна и стали, частичного заменителя глины при изготовлении литейных форм, добавки при производстве цемента и керамики, добавки при производстве строительного кирпича и огнеупоров, как основа для минеральных удобрений [11].

Также красный шлам может найти свое применение в строительстве дорог. Вопросы повышения долговечности дорог и снижения стоимости строительства был и остается одной из главных задач строителей.

Дорожное строительство является самой материалоемкой отраслью строительства, поэтому долговечность автомобильных дорог и их экономичность во многом определяется качеством и стоимостью материалов, используемых при их сооружении. Долговечность и надежность дорожной одежды во многом обеспечивается путем применения в ее конструкции монолитных оснований.

На долговечность и стоимость строительства дорожных одежд оказывает влияние технология сооружения и сроки строительства. Поэтому применяемые материалы должны обладать способностью сохранять на всей протяженности технологического цикла неизменность технологических свойств и сразу после их уплотнения должны позволять устраивать вышележащие слои покрытия без какого-либо перерыва.



Одним из таких материалов, отвечающих вышеизложенным требованиям, являются бокситовые шламы Павлодарского алюминиевого завода.

Преимущество вяжущих на основе бокситовых шламов перед цементом или цементобетонном (цементоминеральными смесями) является отсутствие быстрого схватывания и замедленность процессов твердения. Если при работе с материалами, укрепленными цементом, время между приготовлением смеси и ее уплотнением обычно не должно превышать 4–6 ч, в противном случае качество устраиваемого слоя резко снижается, то при использовании шламовых вяжущих это время может достигать до 3-х суток. Это, в свою очередь, позволит увеличить длину сменной захватки, расширить фронт работ, увеличить производительность, а также исключить отрицательное влияние на конечную прочность материала непредвиденных остановок в технологическом регламенте, связанных с поломкой техники или с задержкой смеси.

В проекте ставились задачи по определению возможности применения отходов производства Павлодарского алюминиевого завода, а именно шлама в изготовлении строительных материалов. С этой целью в лаборатории Павлодарского Государственного университета им. Торайгырова были проведены эксперименты по подбору и определению состава образцов строительных материалов. Подбор состава строительных материалов проводился опытным путём, опираясь на данные исследований Новосибирского государственного технологического университета.

Изготовление образцов бетонных смесей с использованием шламоотходов в количестве 10–50 % от массы сухих компонентов.

Для начала был определен химический состав лабораторным спектрометром ДФС 500 бокситового красного шлама алюминиевого завода на. Данные исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав красного шлама

Вещество	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Процентное соотношение, %	21	40-45	4	23	1,75	0,27

Для изготовления образцов бетона в качестве материалов использовались следующие ингредиенты:

- песок ГОСТ 8736 – Песок для строительных работ. Технические условия;
- портландцемент ГОСТ 10178 – Портландцемент и шлакопортландцемент;
- бокситовый красный шлам алюминиевого завода;
- вода ГОСТ 23732 – Вода для бетонов и растворов.

Водо-цементное соотношение (В/Ц) принималось равным 0,3 от массовых составляющих цемента и шламоотходов.

В качестве мелкого заполнителя использовался промытый речной песок бассейна реки Иртыш крупностью фракции 5 мм.

В качестве материалов для изготовления базового образца бетона С-1 использовались песок, портландцемент и вода. Состав базового образца по сухому компоненту включал в себя: 40 % цемента и 60 % песка.

Для изготовления серии, каждая из которых состояла из 6 образцов, было взято 2380 г песка в качестве мелкозернистого заполнителя, 1680 г цемента в качестве вяжущего вещества и 504 г воды. Сухие компоненты смешивались между собой, а затем добавлялась вода. Введение шлама было произведено замещением песка и портландцемента с шагом 10 %, при этом 5 % приходилось на долю песка и 5 % на долю замещаемого портландцемента.

В таблице 2 приведены составы бетонных смесей с использованием красного бокситового шлама.

Формы для образцов бетона имеют размеры 7×7×7 см, следовательно, объем 343 см<sup>3</sup>.

Таблица 2 – Составы образцов бетона с использованием красного шлама

Марка образца	Массовая составляющая цемента, (%)	Массовая составляющая песка, (%)	Массовая составляющая шлама, (%)
SH0040	40	60	0
SH1035	35	55	10
SH2030	30	50	20
SH3025	25	45	30
SH4020	20	40	40
SH5015	15	35	50

После определения химического состава и состава компонентов образцов, лаборатории университета на имеющемся оборудовании были изготовлены образцы бетона, с различным содержанием шлама. Было изготовлено 6 серий, в которых предусмотрено по 6 образцов.



Рисунок 1 – Образцы бетона

По высуханию образцов было произведено взвешивание каждого экземпляра и рассчитана средняя масса каждой серии на лабораторных весах с шагом в 1 г. Результаты взвешивания занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Масса образцов бетона с использованием шлама

Марка образца	Масса, (г)						
	1	2	3	4	5	6	среднее
SH0040	649	657	658	707	727	702	683,3
SH1035	703	711	703	674	706	713	701,7
SH2030	679	676	689	684	674	669	678,5
SH3025	636	637	687	669	623	558	635
SH4020	626	626	630	621	603	605	518,5
SH5015	583	595	581	605	619	602	597,5

При исследовании было установлено, что при добавлении шлама расход воды уменьшается это, безусловно, уменьшает себестоимость продукции.

Определение плотности образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 12730.1 – 78. Плотность каждого образца  $\rho$ , г/см<sup>3</sup> вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

где  $m$  – масса образца, г;

$V$  – объем образца, см<sup>3</sup>, объем образцов постоянный 343 см<sup>3</sup>.

Плотность марки SH0040 определяется по формуле:

$$\rho = \frac{649}{343} = 1,89 \text{ г/см}^3 \quad (2)$$

Остальные расчеты плотности образцов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Плотность образцов шламобетонов

Марка образца	Плотность, $\rho$ (г/см <sup>3</sup> )						
	1	2	3	4	5	6	ср
SH0040	1,89	1,92	1,92	2,06	2,12	2,05	1,99
SH1035	2,05	2,07	2,05	1,97	2,06	2,08	2,05
SH2030	1,98	1,97	2,01	1,99	1,96	1,9	1,96
SH3025	1,85	1,86	2,00	1,95	1,82	1,63	1,85
SH4020	1,83	1,83	1,84	1,81	1,76	1,76	1,8
SH5015	1,7	1,73	1,69	1,76	1,8	1,76	1,74

Проведенные опыты по изучению плотности образцов показывают, что при использовании в изготовлении бетона шлама, плотность изделия практически не уступает эталонному образцу, а образец марки даже превосходит эталон. Образцы марок SH0040, SH1035, SH2030, SH3025, SH4020 имеют плотность выше

1,8 г/см<sup>3</sup>, поэтому их можно отнести к классу легких бетонов. Образец марки SH5015 имеет плотность 1,74 г/см<sup>3</sup> и относится к классу легких бетонов.

Определяем прочности образцов бетона с помощью измерителя прочности бетона «ПГМ-100МГ4». Прочность образцов занесена в таблицу 5.

При увеличении процентного значения массовой составляющей шламоотходов в бетонной смеси прочность бетона уменьшатся это отображено в таблице 5. Но при этом они соответствуют стандартам и могут применяться в строительстве, т.к. предел их прочности соответствует маркам бетона по прочности М250, М450, которые востребованы на рынке и нашли свое широкое применение в строительстве.

Таблица 5 – Показатели прочности образцов бетона с использованием шлама

Марка образца	Показатель прочности, МПа						
	1	2	3	4	5	6	ср
SH0040	67	73,3	44,9	58,1	69,7	80,5	65,5
SH1035	65	53	67,3	55	70,5	71,9	63,78
SH2030	63,8	57,5	49,9	45,3	48,5	50,9	52,65
SH3025	51,4	47,3	54,9	41,2	45,5	50,3	48,4
SH4020	36,3	28,1	33,2	41,9	27,6	26,9	32,3
SH5015	13,8	14,6	25,6	23,7	12,5	19,4	18,2

Подробнее о марке бетона на прочность представлено в таблице 6. Марка и класс – наиболее важный показатель качества бетона, на который чаще всего обращают внимание при покупке бетона. Такие характеристики как: морозостойкость, водонепроницаемость, подвижность интересуют покупателей во вторую очередь.

Таблица 6 – Марка бетона и их прочность

Марка образца	Предел прочности, МПа	Класс бетона по прочности на сжатие	Ближайшая марка бетона по прочности, М
SH0040	65,5	B50	M600
SH1035	63,78	B50	M600
SH2030	52,65	B40	M550
SH3025	48,4	B35	M450
SH4020	32,3	B25	M350
SH5015	18,27	B15	M200

По результатам проведенных опытов, указанных в таблице следует, что прочность бетона образцов с добавлением красного шлама соответствует требованиям ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования». Они могут найти широкое применение в строительстве.

Бетон марки М200(В15) подходит для широкого спектра строительных работ, т.к. обладает довольно высокой прочностью. Этот бетон можно использовать для

устройства фундаментов различного типа, изготовления подпорных стен, залива площадок. Бетон М200 применяют для изготовления лестниц, а в дорожном строительстве бетон М200 служит для формирования бетонной подушки под бордюр.

Бетон марки М350(25) применяют для изготовления плитных фундаментов. Высокая прочность бетона позволяет внедрять его для производства многослойных плит перекрытия, из него делают чаши бассейнов, дорожные плиты, несущие колонны и многое другое.

Бетоны марки М450(В35), М550(В40), М600(В50) содержат большое количество цемента, имеют высокую прочность, поэтому чаще всего применяются для изготовления ЖБИ конструкций специального назначения. Такие бетоны обычно не используют для возведения зданий. Основная точка приложения таких бетонов – гидротехническое строительство.

В технологическом регламенте ТР 95.02-99 даны общие понятия и универсальные дозировки, т.к. во всех регионах сырьевые компоненты разные, то дозировка регулируется индивидуально.

На начальном этапе производится замешивание смеси по универсальной дозировке и в зависимости от полученного результата производится корректировка. Практика показывает, что уже после 3-го замеса уровень подъема смеси и качество продукции начинает отвечать минимальным требованиям. В дальнейшем, в течении 1–2 недель, технология оттачивается до идеального уровня.

Главное условия получения стабильно хорошего качества:

1 Качество сырьевых компонентов. Чем выше качество сырья, тем более высокое качество готовой продукции. Цемент должен быть свежим, не «лежалым» (за 1 месяц хранения цемент теряет до 10 % марочной прочности, т.е. через месяц хранения цемента марки ПЦ400Д20 его марка снижается до 360, еще через месяц до 320 и так до нуля). Песок должен быть как можно мельче и с минимальным содержанием илистых и глинистых включений.

2 Стабильность поставок сырьевых компонентов. Характеристика используемых компонентов не должна изменяться от партии к партии. Изменение в любом компоненте влечет за собой необходимость корректировать состав смеси. Например, у цементов разных производителей может сильно различаться водопотребность. При изменении поставщика цемента, количество используемой в замесе воды может различаться на величину до 20 %, что в свою очередь влияет на уровень и интенсивность подъема смеси и как следствие на качество готовой продукции.

3 Стабильность условий производства. Температура сырьевых компонентов (главным образом воды) и температура в цехе оказывает большое влияние на интенсивность подъема смеси и равномерность набора прочности в массиве. Часто, пренебрегая этим пунктом, допускают следующие ошибки:

Во-первых, из-за плавающей от замеса к замесу температуры воды происходит неравномерный подъем смеси. Как следствие – все замесы поднимаются на разный уровень и на выходе получаем блоки разной плотности, а те массивы, которые не поднялись до уровня борта, считаются бракованными.

Во-вторых, из-за низкой температуры в цехе поверхность массива быстро остывает, и реакция твердения в этих местах сильно замедляется. В итоге получаем следующее – когда поверхность массива достигнет необходимой прочности для того чтобы можно было снять борта, в это время внутри массив набирает как правило такую прочность, что разрезать его на блоки уже не представляется возможным.

Производство бетонных блоков неавтоклавного твердения состоит из следующих основных технологических этапов: подготовка форм; подготовка бетонного раствора; заливка раствора в форму; резка бетонного массива; тепловая обработка; разборка массива на отдельные блоки.

Монтаж мини-линии конвейерного типа для производства бетона неавтоклавного твердения осуществляется в следующей последовательности:

- 1 Очистка площадки от всех посторонних предметов.
- 2 Определение мест расположения элементов линии и разметка в соответствии с планом расстановки оборудования.
- 3 Отбивка плоскости площадки по высоте.
- 4 Монтаж основных рельсовых путей.
- 5 Монтаж рельсовых путей передаточных тележек.
- 6 Монтаж и порядок сборки мини-формы конвейерной.
- 7 Монтаж поста заливки.
- 8 Монтаж основной камеры и камеры предварительного прогрева.
- 9 Монтаж опор для механических толкателей.
- 10 Монтаж резательной установки.

На рынке строительных материалов в последние годы блоки из бетона стали позиционироваться как доступная и качественная альтернатива основному композиционному материалу, используемому сегодня в отечественном домостроении – кирпичу.

Эти материалы используются, главным образом, в малоэтажном домостроении для возведения несущих стен, а также в многоэтажном жилищном и промышленном строительстве в качестве внутренних перегородок и как теплоизоляционный материал.

Малоэтажное строительство интересно тем, что предъявляет спрос на современные и экономичные строительные материалы, в частности, такие как газобетон и пенобетон.

Поставщик оборудования «АлтайСтройМаш» – холдинговая компания, специализирующаяся на производстве строительного оборудования. Компания работает с 2004 года.

Специалистами компании было разработано большое количество образцов технологического оборудования, в котором были применены современные научные разработки и ноу-хау.

В настоящее время компания производит оборудование для производства неавтоклавного бетона: линии стационарного типа, линии конвейерного типа (производительностью 6–12 м<sup>3</sup> в сут.).

Таблица 7 – Комплектации мини-линии конвейерного типа

Линия 12МК (с механизированной резкой)			
№	Наименование	Ед. измерения	Кол-во
1	Смеситель-активатор	шт.	1
2	Поддоны форм передвижные	шт.	19
3	Борта форм	компл.	6
4	Механизированная резательная установка мини-линии	шт.	1
5	Толкатель механический	шт.	2
6	Передаточная тележка	шт.	2
7	Рельсовые пути под передаточную тележку	м	6
8	Рельсовые пути под формы	м	18
9	Опоры для толкателя	шт.	2

Таблица 8 – Основные технические характеристики смесителя-активатора

Наименование показателей		
<b>Объем</b>		
Рабочей емкости смесителя	145	л
<b>Производительность</b>		
Бетонной смеси, до	2	м <sup>3</sup> /ч
<b>Габаритные размеры</b>		
Длина	1040	мм
Ширина	711	мм
Высота	1496	мм
<b>Высота загрузки</b>		
Высота загрузочного отсека, не менее	1511	мм
<b>Мощность</b>		
Двигателя (220В, 380В)	2,2	кВт
<b>Масса собственная</b>		
Смеситель-активатор	140	кг

Основными предполагаемыми источниками финансирования являются заемные средства банка 7 млн. тенге. В ходе реализации финансовые ресурсы будут использованы следующим образом, таблица 9.

Таблица 9 – Структура и назначение финансовых ресурсов

№ п/п	Наименование	Количество	Сумма, тыс. тенге
1	Заемные средства		
1.1	Основное оборудование	1	2 789,8
2.	Оборотные средства		

2.1	Цемент, кг	102 960	2 059,2
2.2	Песок	84 240	168,4
2.3	Вода	74 880	7,4
2.4	Алюминиевая пудра, г	195,84	391,6
2.5	Каустическая сода, кг	1080	324
2.6	Сульфат натрия, кг	1656	165,6
2.7	Смазка форм, кг	129,6	38,8
2.8	Электричество, кВт	5400	194,4
2.9	Поддон, шт	360	180
2.10	З/п рабочим	360	252
3	Единовременное формирование резервного и страхового производственного запаса		428,4
	Итого заемных средств		7 000

В связи с тем, что главной целью предполагаемого проекта является организация производства, то необходимо рассчитать суммарные издержки, связанные с производственным процессом и реализацией готовой продукции. Расчет издержек проводится в соответствии с таблицей 10.

Таблица 10 – Общие издержки по производственному процессу

№ п/п	Наименование статей затрат	Сумма, тенге
1	Сырье и основные материалы	3432528
2	Основная заработная плата	252000
3	Отчисления в соц. Страхование	45360
4	Амортизационные отчисления	172653
5	Накладные расходы	8452,4
	Итого	3910993,4

Ежемесячные затраты на сырье и основные материалы принимаются в размере 3 432,5 тысяч тенге.

Объем фактической реализации 360 м<sup>2</sup>, Корпоративный подоходный налог 1 377 302,40 тенге, социальный налог 25 200 тенге, социальные отчисления 12 600,00 тенге в год, ежемесячная чистая прибыль 911 901,60 тенге, будут созданы новые рабочие места.

### ВЫВОДЫ

В работе выполнен анализ отходов металлургических предприятий в Павлодарской области, было выявлено что красный бокситовый шлам, отход Алюминиевого завода, может найти свое применение в строительных материалах, в качестве вяжущего материала.



Преимущества вяжущих на основе бокситовых шламов перед цементом или цементобетоном является отсутствие быстрого схватывания и замедленность процессов твердения.

В связи с этим была разработана технология производства бетона с применением бокситового шлама. Выбрано оборудования поставщика ООО «АлтайСтройМаш» для производства газобетонных блоков производительностью 12 куб. метров в сутки.

Разработана финансовая модель проекта, которая показывает объем фактической реализации 360 м<sup>2</sup> с созданием новых рабочих мест. Объем требуемых инвестиций 7 миллионов тенге, срок окупаемости 6 месяцев.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Кудрышова, Б. Ч., Станевич, В. Т.** Производство строительных материалов на основе промышленных отходов как экологическая доминанта развития современной экономики // Наука и техника Казахстана. – 2014. – № 1–2. – С. 65–68.

2 **Дворкин, Л. И., Дворкин, О. Л.** Строительные материалы из отходов промышленности // Учебно-справочное пособие. – Ростов н/Д: Феникс. – 2007. – 368 с.

3 **Zhu Guoling, Zhang Helin, Xi Changsuo, Shan Lingzhen.** Development of special protection for continuous casting of thin slag. – Kang T,ieh/Iron and Steel (Peking). – 1993. – Vol. 28. – № 8. – P. 27–29

4 **Торпищев, Ш. К., Бейсембаев, М. К., Торпищев, Ф. Ш.** Современный опыт и перспективы утилизации отвальных шламов глинозёмного производства // Наука и техника Казахстана. – 2001. – № 2. – С. 196–201

5 **Комохов, П. Г., Грызлов, В. С.** Структурная механика и теплофизика легкого бетона // Вологда : Изд. Вологодского научного центра, 1992. – 321 с.

6 **Motz, H., Geiseler, J.** Products of steel slags an opportunity to save natural resources // Waste Management. – 2001. – № 21 (3). – P. 285–293.

7 **Kodama, K.** Study on utilisation of blast-furnace slag // Concrete Transaction of the Japan Society of Civil Engineers. – Vol. 12. – 1981. – November. – P.278–279.

8 **Carette, G. G., Painter, K. E., Malhotra, V. M.** Sustained High Temperature Effect on Concrete made with normal portland Cement and slag, portland Cement and Fly ash. // Concrete International. – 1982. – Vol. 4. – № 7.

9 **Pugin, K. G., Kalinina, E. V., Khalitov, A. R.** Resource Saving Technologies of Construction of Bituminous Concrete Pavements Using Industrial Waste. // Proceedings of Perm National Research Polytechnic University. Urban Studies. – 2011. – № 2. – P. 60–69.

10 **Баженов, П. И.** Комплексное использование минерального сырья и экология: учебное пособие / П. И. Баженов. – М. : Изд. АСВ, 1994. – 264 с.

11 **Ахметбек, А. Н., Касенов, А. Ж.** Возможность использования красного бокситового шлама в строительстве // Образование и наука без границ. – 2017. Т. 12. – С. 64–67.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*А. Ж. Касенов<sup>1</sup>, А. К. Тлеулесов<sup>2</sup>, А. Н. Ахметбек<sup>3</sup>*

**«Қазақстан Алюминий» АҚ-ның қалдықтарынан бетон өндіру**

<sup>1,2</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

<sup>3</sup>Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.  
Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*A. Z. Kasenov<sup>1</sup>, A. K. Tleulesov<sup>2</sup>, A. N. Akhmetbek<sup>3</sup>*

**Production of concrete from waste of JSC «Aluminum of Kazakhstan»**

<sup>1,2</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

<sup>3</sup>Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 14.02.18.

*Павлодар облысының металлургиялық кәсіпорындарының қалдықтарына талдау жүргізіліп, Алюминий зауытынан шыққан қызыл боксит шламы құрылыс материалдары ретінде тұтқыр материал ретінде қолданыла алады.*

*Цемент немесе цемент бетонына дейін бокситті суспензияға негізделген тұтқыр заттардың артықшылығы – бұл жылдам орнатудың болмауы және беріктендіру процестерінің баяулауы.*

*Осыған байланысты боксит шламын қолданумен нақты өндіріс технологиясы әзірленді. «АлтайСтройМаш» ЖШС жеткізушінің жабдықтары тәулігіне 12 куб метр болатын бетон блоктарын өндіру үшін іріктелді.*

*The analysis of the wastes of metallurgical enterprises of the Pavlodar region is carried out and it is revealed that the red bauxite sludge – waste from the Aluminum plant can be used in building materials, as an astringent material.*

*The advantage of astringents based on bauxite slurries before cement or cement concrete is the lack of fast setting and the slowing down of hardening processes. In this regard, the technology of concrete production with the use of bauxite sludge was developed.*

*The equipment of the supplier of LLC «AltaiStroyMash» was selected for the production of concrete blocks with a capacity of 12 cubic meter, meters per day.*

**A. K. Kurmanov<sup>1</sup>, N. A. Kamysheva<sup>2</sup>**<sup>1</sup>d.t.s., professor, department of «Mechanical engineering», Kostanai State University named after A. Baytursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan;<sup>2</sup>senior lecturer, department of «Mechanical engineering», Kostanai State University named after A. Baytursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstane-mail: <sup>1</sup>kurmanov\_ayap@mail.ru; <sup>2</sup>nata00000@mail.ru**TO THE QUESTION OF THE OPTIMAL CONFIGURATION OF THE IMPACT-CENTRIFUGAL CRUSHER 'S VANE**

*The works of leading scientists in the field of material crushing are analyzed. Conclusions are made about the expediency of using shock-centrifugal machines in the field of feed production. The analysis of scientific publications on the determination of the parameters of grinders affecting the work process is carried out. Theoretically, the influence of the blade configuration in the form of brachistochrone of the accelerating disk on productivity and specific energy intensity is proved. The results of experiments are presented. Essential factors and optimal parameters of the experimental crusher are established.*

*The authors come to the conclusion that the optimal parameters of the impact-centrifugal crusher for grinding the peas are: the number of revolutions per minute–2000, the feeding of peas into the receiving chamber is 400 kg/h, the number of blades–6, the installation of the blades–12 deg. The clearance between the disc and the crusher body is 3–4 mm*

*Keywords: crushing, rotor, scapula, ugod, brahistochrone, productivity, specific energy intensity.*

**INTRODUCTION**

Today, it is necessary to choose rational ways of grinding, allowing to achieve the desired quality of grinding and reduce specific energy consumption.

Shredding by the impact method is the most expedient, since it allows to achieve an improvement in the quality of grinding and a reduction in the specific energy intensity.

Nowadays, impact crushers are widely used for comminution operations because of their high size-reduction ratio, easy modification of the product and a relatively simple design.

The earlier analysis of the physical and mechanical properties of peas and the main types of shredders has shown that at the present time classical theory of crushing is not allowed in full, for example, because they can be applied for comparative evaluation and justification of grinding methods

One of the working part of the crusher involved in grinding is a disk with mounted on it an accelerating vane. The question of the configuration of the vanes is still unclear.

According to G. Oskalenko [1], if the circumferential velocity does not change, the velocity of the particle depends on the design of the rotor, the configuration and orientation of the vanes on the acceleration disk, and the friction coefficient of the material.

V. Sadov and V. Sadovaya, in their works proved that the configuration of the vanes leads to a large increase in the absolute velocity, and this directly affects the number of impacts that must be applied to destroy the material [2].

G. Zuev, A. A. Kukibny. [3, 4] provide data on the location of the vanes relative to the axis of rotation on the disk, indicating the bending of the ends of the vanes in the direction opposite to the direction of rotation in order to earlier relieve the weight of the cargo at a smaller angle of rotation.

S. Zolotarev [5], in turn, has been proposed and studied the percussion-centrifugal crusher feed grains from the counter-rotating rotors which fixing the flat operating parts.

N. Sergeev noted the advantages of the radial arrangement of the vanes on the acceleration disk, such as a reduction in power consumption, as compared to inclined vanes [6].

M. Dusenov, N. Japarov [7] proposed a design that contains an accelerating disk with a blade in the form of a logarithmic spiral in order to increase productivity.

The property of a logarithmic spiral consists in the constancy of the angle formed by the tangent with the radius of the current point.

O. Semkiv and V. Shatokhin [8] in their studies compared the speed of the particle and its time on the rectilinear and curved vanes of the priming thrower.

The design has the same goal as the impact – centrifugal crusher – to develop the maximum speed of the particle in the minimum time.

**MAIN PART**

The curvilinear vane shape was found as a solution to the problem of brachistochrone in the field of centrifugal inertia forces. The choice of curvilinear surface of the vane in the form of brachistochrone is due to the fact that one of the most important characteristic features of the optimal curve is that the polar radius passing through its initial point is a tangent to the curve at this point.

This means (physically) that at the beginning of the movement the centrifugal force of inertia is close to the direction of motion, i.e. provides the maximum acceleration, which is not possible with the use of a rectilinear vane (the case where the rectilinear vane is located along the radius is not satisfactory from a technological point of view). Considering the conservation of linear momentum of the system particle-crushing bar before and after impact, Attou et al. derived [9] the following expression for the impact energy per unit mass

$$E = 0.5 \cdot (R + 0.5 \cdot H_b)^2 \cdot \omega^2 \quad (1)$$

where R(m) is the rotor radius, H<sub>b</sub>(m) is the height of the impact surface of the crushing bars and ω(s<sup>-1</sup>) is the rotor angular velocity.

In vertical-axis crushers, the particles are fed to a horizontal turning table (rotor) with radially oriented guides and are projected towards the crushers walls by the centrifugal forces. Unlike in hammer crushers, here most of the fragmentation takes place at the crushers walls rather than at the rotors periphery. With the assumption that the particle energy does not change during its flight from the rotor periphery to the crushing walls, i.e., the particle–particle interactions are neglected in a first approximation, Nikolov and Lucion derived [10] the following expression for the impact energy per unit mass

$$E = R_v^2 \cdot \omega^2 \quad (2)$$

where  $R_v(m)$  and  $\omega(s^{-1})$  are the rotor radius and angular velocity respectively. The notation  $R_{vis}$  is used to distinguish between the impact energy for hammer and vertical-axis crushers given with eqs. (3) and (4) respectively.

It is interesting to note that for the same rotor radius, the impact energy per unit mass provided by hammer crushers is lower than that provided by vertical-axis crushers. This could explain the fact that vertical-axis crushers produce more fines and perform better when finer granulate must be reduced in size, which is most probably due to the higher level of impact energy reached in these machines [11].

The quantity of material passing per unit time may be determined by the following equation [12]

$$q = \frac{\pi d_3^2 \vartheta}{4} \rho \quad (3)$$

where  $q$  is the vane capacity, kg/s;

$d_3$  – is the equivalent particle diameter, m;

$v$  – is the velocity of the particle moving along the vane, m/s;

$\rho$  – density of the crushed material, kg/m<sup>3</sup>;

Then the productivity of the impact – centrifugal crusher will depend on how much material is captured by all the vanes.

$$Q = k_3 \frac{\pi d_3^2 \vartheta}{4} \rho z \quad (4)$$

here  $Q$  – is the productivity of the shredder, kg/s;

$k_3$  is the filling factor of the interscapacity space;

$z$  – number of vanes., units.

Also, the performance depends on the diameter of the grinder receiving chamber.

V. Lyapin [13] in his work focuses on what is necessary to take into account the specific structural thickness of the vane, in this case the formula takes the form of performance

$$Q = (\pi D_0 - z\delta) d_3 \vartheta \rho \quad (5)$$

where  $\delta$  is the thickness of the vane, mm.

Considering that with increasing the number of vanes the distance between them will decrease and can reach a critical value, i.e. it may become smaller than the particle size and the crusher will not work.

Therefore, the number of vanes will be limited

$$z \leq \frac{\pi D_0}{d_3 + \delta} \quad (6)$$

With this formula, the expression for determining the performance takes the following form:

$$Q = \frac{(\pi d_3)^2 D_0}{4(d_3 + \delta)} \rho \vartheta$$

The coefficient of the interscapular space  $K_z$  for peas of the variety «Altai mustached» = 0.89 [12]. Taking this coefficient into account, the formula takes the form

$$Q = K_z \frac{(\pi d_3)^2 D_0}{4(d_3 + \delta)} \rho \vartheta \quad (7)$$

The particle velocity is calculated by the formula:

$$\vartheta = \omega R \quad (8)$$

so,

$$Q = K_z \frac{(\pi d_3)^2 D_0}{4(d_3 + \delta)} \rho \omega R \quad (9)$$

It can be seen from the equation, that the productivity of the impact – centrifugal crusher depends on the diameter of the receiving chamber (the feed of grinding), the rotational speed of the disk, the radius of the vanes, their number and thickness, and also on the properties of the material to be crushed.

In the theoretical part of the study we obtained an equation that allows us to construct the trajectory of the motion of the particle along the vane, all the components of the total velocity of the particle were determined. Its direction and magnitude.

The analytical dependence of the crusher performance is determined, taking into account its design and operating parameters.

To verify the results of theoretical studies in the training workshop of the engineering and technical faculty of A. Baytursynov Kostanay state university we developed a prototype of a crusher.

During the experiment, we changed the factors: feeding feed, shaft rotation frequency, vane deflection angle from the normal (Figure 1). The criterion of optimization was the specific energy intensity.

Based on search experiments, literature data and expert opinions were chosen levels and ranges of variation factors, and the factors themselves are presented in Table 1.

Table 1 – Factor encoding

Code	The amount of the feed material, Q, kg / h	Shaft rotational speed, n, r / min	Angle of deviation shoulder vanes from the normal axis, $\varphi$ , deg
	X1	X2	X3
+	400	2600	30
0	300	1750	20
-	200	900	10

The influence of structural, kinematic and technological parameters of the crusher on the specific productivity and the degree of grain refinement was revealed in the study using the methods of active experiment planning (symmetric noncompositional quasi D-optimal Pesochinsky plan and coding factors) [14].



Figure 1 – Accelerate disks with installed vanes

## CONCLUSION

Based on theoretical and experimental studies, we established significant factors and optimal design-regime parameters of the experimental crusher.

A new design of a pea impact – centrifugal crusher was proposed (Innovative Patent No. 77987. Innovative Patent No. (11) 27012 Published on 11/04/2012, Bul, 2012, No. 4), which provides high quality grinding performance, low energy consumption of the process, achieved due to a reasonable choice of rational, regime and design parameters, namely: 2000 rpm, the number of vanes–6, the angle from the axis normal of the vane–12 degrees, feeding the material into the crusher 400 kg/h.

The clearance between the accelerate disc and the crusher body is 3–4 mm.

## REFERENCES

- 1 **Оскаленко, Г. Н.** Исследование дробления и измельчения силикатных и других материалов в центробежной роторной мельнице-дробилке: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Г. Н. Оскаленко. – Днепропетровск, 1965. – 22 с.
- 2 **Садов, В. В.** Обоснование параметров разгонного диска на дробилке с вертикальными валами / В. В. Садов, В. А. Садовая // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1 (51).
- 3 **Зуев, Г. И.** О некоторых параметрах двухдискового перегрузочного метательного аппарата / Г. И. Зуев // Одесское высшее мореходное училище. Научные труды. Морской транспорт. – Вып. 2. – 1956.
- 4 **Кукибный, А. А.** Метательные машины. – М.: Машиностроение, 1964. – 196 с.
- 5 А.с. 1671340 СССР. Дезинтегратор для зерна / Н. С. Сергеев, А. Н. Косилов, П. И. Леонтьев, С. В. Золотарев; заявл. 01.03.1989; опубл. 22.08.1991. Бюл. – № 31.
- 6 **Сергеев, Н. С.** Центробежно-роторные измельчители ИЛС-5 для переработки фуражного зерна и семян рапса // Зоотехния. – 2007. – № 5. – С. 19–21.
- 7 **Дусенов, М. К.** Обоснование движения корнеплода по криволинейной поверхности / М. К. Дусенов, Н. Р. Джапаров // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 3.

8 **Семків, О. М.** Опис руху частки ґрунту по лопатці із профілем брахістохрони у полі відцентрових сил інерції / О. М. Семків, В. М. Шатохін, А. М. Попова // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ. – 2012. – Вып. 30. – С. 190–200.

9 **Attou, A., Clepkens, O., Gustin, R.,** 1999. Modelisation de la fragmentation de matiere solide dans un concasseur a chocs axe horizontal // C.T.P. Report TP.909.99. P. 19–28.

10 **Nikolov, S., Lucion, Chr.,** 2002. Modelling and simulation of particle breakage in impact crushers // Proceedings of the 10th European Symposium on Comminution. – Heidelberg, Germany, C3.2. – P. 1–10.

11 A performance model for impact crushers (PDF Download Available). [Electronic resource]. – from: [https://www.researchgate.net/publication/223074744\\_A\\_performance\\_model\\_for\\_impact\\_crushers](https://www.researchgate.net/publication/223074744_A_performance_model_for_impact_crushers) [accessed Mar 17 2018].

12 **Сергеев, Н. С.** Центробежно-роторные измельчители фуражного зерна: автореф. дисс. ... докт. техн. наук / Н. С. Сергеев. – Челябинск: Челябинский государственный агроинженерный университет, 2008. – 19 с.

13 **Ляпин, В. В.** Измельчитель фуражного зерна ударно-центробежного типа [Текст] / В. В. Ляпин и др. // Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение: Межвузовский сборник науч. тр. – Вып. 3. – Воронеж, 2007.

14 **Новик, Ф. С.** Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.

Material received on 14.02.18.

*А. К. Курманов<sup>1</sup>, Н. А. Камышева<sup>2</sup>*

**Ортадан тепкіш соққы ұсатқыш күрекшенің онтайлы конфигурациясы мәселесі жөнінде**

<sup>1,2</sup>А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы. Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*А. К. Курманов<sup>1</sup>, Н. А. Камышева<sup>2</sup>*

**К вопросу об оптимальной конфигурации лопатки ударно-центробежной дробилки**

<sup>1,2</sup>Костанайский государственный университет им. А. Байтұрсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*Материалды ұсақтау саласындағы жетекші ғалымдардың еңбектері талданады. Азық-түлік өнімдерін өндіру саласындағы ортадан тепкіш соққы машиналарды қолданудың орындылығы туралы қорытынды жасалды. Жұмыс процесіне әсер ететін тегістеуіштердің параметрлерін анықтау бойынша ғылыми жарияланымдарға талдау жүргізіледі. Теориялық тұрғыдан, жылдамдықты дискідегі брахистохрон түрінде пышақ*



конфигурациясының өнімділікке және нақты энергия сыйымдылығына әсері дәлелденді. Эксперименттердің нәтижелері ұсынылды. Эксперименталды ұсақтағыштың негізгі факторлары мен оңтайлы параметрлері белгіленді.

Авторлар бұршақ тегістеуішке арналған ортадан тепкіш соққы ұсақтағыштың оңтайлы параметрлері: минутына айналымдар саны – 2000, қабылдау камерасына бұршақты беруі – 400 кг/сағ, күрекшелердің саны – 6, қалақшаны орнату бұрышы – 12 градус болып табылады деген тұжырымға келді. Дисктің аралығында саңылау және ұсатқыштың тұрқысы – 3\*4 мм.

Проанализированы труды ведущих ученых в области дробления материалов. Сделаны выводы о целесообразности применения ударно-центробежных машин в области кормопроизводства. Проведен анализ научных публикаций по определению параметров измельчителей, влияющих на рабочий процесс. Теоретически доказано влияние конфигурации лопатки в виде брахистохроны разгонного диска на производительность и удельную энергоёмкость. Приведены результаты экспериментов. Установлены существенные факторы и оптимальные параметры экспериментальной дробилки.

Авторы приходят к выводу, что оптимальными параметрами ударно-центробежной дробилки для измельчения гороха являются: число оборотов в минуту – 2000, подача гороха в приемную камеру – 400 кг/ч, число лопаток – 6, угол установки лопатки – 12 град. Зазор между диском и корпусом дробилки – 3–4 мм.

ГРНТИ 73.01.77, 73.39.31; 50.05.09

### **В. В. Рындин**

к.т.н, профессор, кафедра «Механика и нефтегазовое дело», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан  
e-mail: rvladvit@yandex.kz.

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА В СИСТЕМЕ MATHCAD**

При проектировании магистральных газопроводов в проектных организациях, а также в ходе выполнения дипломных и курсовых проектов в основном используются электронные таблицы (Excel). Запись программ, созданных в электронных таблицах, не является наглядной и проверить формулы и изменить их затруднительно даже самому разработчику программы. Этим недостатком лишена новая математическая система Mathcad, позволяющая записывать формулы в привычном виде, что делает её доступной для студентов и инженеров. Цель статьи – привлечь внимание проектировщиков магистральных газопроводов к использованию в своих расчётах системы Mathcad.

Разработанная программа включает следующие разделы: расчёт диаметра трубопровода и толщины его стенки; определение числа компрессорных станций и расстояния между ними; экономическое обоснование выбора диаметра трубопровода; тепловой и гидравлический расчёты трубопровода; расчёт режима работы компрессорной станции; построение линии режимов на диаграмме характеристик и графическое определение по ней характеристик выбранного центробежного нагнетателя для найденной степени повышения давления.

Ключевые слова: магистральный газопровод, система Mathcad, технологический расчёт, экономический расчёт, центробежный нагнетатель, приведённая характеристика нагнетателя.

### **ВВЕДЕНИЕ**

При решении многих математических задач широко используется программирование в средах Fortran, Turbo Pascal, Delphi, Matlab, Maple, Mathematica и др. При этом возникает вопрос, какую систему использовать для решения поставленной задачи. В работе [1] даются следующие рекомендации по выбору компьютерной системы для решения конкретных задач:

- если требуется аналитическое решение задачи, то целесообразно использовать наиболее интеллектуальные программы – Mathematica и Maple;
- если требуется широкое использование графических образов, то лидером в этой области является система Mathematica;
- если требуется решить специальную, а не общематематическую задачу, то следует выбрать систему Matlab;
- если нужно создать документ с большим количеством математических выражений, формул, символов, то следует выбрать систему Mathcad, позволяющую наглядно вводить исходные данные, проводить математическое описание решения задачи в традиционном виде и получать результаты вычислений как в аналитическом, так и в численном виде [2, 3].

На кафедре «Механика и нефтегазовое дело» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова широко используется система Mathcad при расчёте гидропривода [4] и проектировании магистральных нефтепроводов [5, 6], а также при расчёте двигателей внутреннего сгорания [7, 8]. Начальные сведения по работе в среде Mathcad, достаточные для создания подобной программы, даны в [9].

Ниже даётся программа расчёта магистрального газопровода (МГ) в системе Mathcad. В основу программы положен технологический расчёт магистрального газопровода, приведённый в [10].

**ПРОГРАММА РАСЧЁТА МГ В СИСТЕМЕ 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 – прямым шрифтом).

**Задание.** Выполнить технологический расчёт магистрального газопровода пропускной способностью  $Q_r = 31$  млрд м<sup>3</sup>/год и протяжённостью  $L = 520$  км.

Ввод символа присваивания «:=» (двоеточия с равно) осуществляется нажатием клавиши с символом двоеточия «:».

Средняя температура грунта на глубине оси газопровода  $T_{гр} = 278$  К; средняя температура воздуха  $T_в = 283$  К. Давление в конце МГ  $p_k = 2$  МПа.

Стандартные условия (СУ):  $p_{ст} = 101325$  Па;  $T_{ст} = 293.15$  К (20 °С).

Молярная газовая постоянная  $R_μ = 8314.51$  Дж/(кмоль·К).

Удельная газовая постоянная воздуха  $R_в = 287$  Дж/(кг·К).

Плотность воздуха при стандартных условиях

$$\rho_{в.ст} := \frac{p_{ст}}{R_в \cdot T_{ст}} = \frac{101325}{287 \cdot 293.15} = 1.2043 \text{ кг/м}^3$$

Начиная с Mathcad 13, появилась возможность вывода значений величин, входящих в формулу. Для этого необходимо ключевое слово explicit с панели Symbolic (Символика) ввести в конец вычисляемой формулы, а затем после explicit через запятые ввести все величины, входящие в формулу.

**1 Определение диаметра газопровода и числа КС**

**1.1 Расчёт физических свойств перекачиваемого газа:**

Компоненты	Объёмная доля	Плотность при СУ, кг/м <sup>3</sup>	Молярная масса, кг/кмоль	Газовая постоянная, Дж/(кг·К)
Метан CH <sub>4</sub>	$r_1 = 0.984$	$\rho_1 = 0.667$	$M_1 = 16.0426$	$R_1 = 518.277$
Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	$r_2 = 0.0007$	$\rho_2 = 1.250$	$M_2 = 30.0694$	$R_2 = 276.511$
Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	$r_3 = 0.0001$	$\rho_3 = 1.833$	$M_3 = 44.0962$	$R_3 = 188.554$
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	$r_4 = 0.0041$	$\rho_4 = 1.842$	$M_4 = 44.0098$	$R_4 = 188.924$
Азот N <sub>2</sub>	$r_5 = 0.0111$	$\rho_5 = 1.165$	$M_5 = 28.0134$	$R_5 = 296.805$

Здесь  $r_i$  – индексированные переменные, матричные; индекс  $i$  ставится путём нажатия клавиши с открывающейся квадратной скобкой «[».

Плотность газа при стандартных условиях

$$\rho_{ст} := \sum_{i=1}^5 (r_i \cdot \rho_i) = 0.677 \text{ кг/м}^3$$

Молярная масса смеси газов

$$M := \sum_{i=1}^5 (r_i \cdot M_i) = 16.303 \text{ кг/кмоль.}$$

Удельная газовая постоянная смеси

$$R := \frac{R_μ}{M} = \frac{8314.51}{16.303} = 510.01 \text{ Дж/(кг·К).}$$

Псевдокритические температура и давление смеси:

$$T_{пк} := 155.24 \cdot (0.564 + \rho_{ст}) = 155.24 \cdot (0.564 + 0.677) = 192.707 \text{ К;}$$

$$p_{пк} := 0.1773 (26.831 - \rho_{ст}) = 0.1773 (26.831 - 0.677) = 4.637 \text{ МПа.}$$

Относительная плотность газа по воздуху при стандартных условиях

$$\Delta := \frac{\rho_{ст}}{\rho_{в.ст}} = \frac{0.6774}{1.2043} = 0.5624.$$

**1.2 Выбор рабочего давления, типа ГПА и определение диаметра газопровода**

С учётом рекомендаций по проектированию в качестве рабочего давления выбираем  $p = 7.5$  МПа. Исходя из заданной пропускной способности газопровода ( $Q_r = 31$  млрд м<sup>3</sup>/год) и выбранного рабочего давления, по таблице 1 [10] определяем ориентировочное значение диаметра газопровода  $D_{1420} = 1420$  мм.

Далее для экономического обоснования выбора диаметра следовало бы взять ближайший меньший и ближайший больший диаметры. Но поскольку диаметра больше 1420 мм не существует, то для сравнения принимаем ближайший меньший диаметр  $D_{1220} = 1220$  мм.

Оценочный коэффициент использования пропускной способности газопровода принимаем в интервале 0,85–0,9  $K_n = 0.9$ .

Суточная пропускная способность газопровода

$$Q := \frac{Q_r \cdot 10^3}{365 \cdot K_n} = \frac{31 \cdot 10^3}{365 \cdot 0.9} = 94.368 \text{ млн м}^3/\text{сут.}$$

Исходя из принятого рабочего давления и суточной пропускной способности, принимаем по таблице 4 [10] к установке четыре газотурбинных агрегата ГПА-Ц-16, оборудованных центробежными нагнетателями ГПА-Ц-16/76. Номинальная подача нагнетателя  $Q_{н} = 32.6$  млн м<sup>3</sup>/сут. При этом нагнетатели работают параллельно, один резервный. Давления всасывания и нагнетания:

$$p_{вс} = 5.14 \text{ МПа, } p_{наг} = 7.45 \text{ МПа.}$$

Для принятых диаметров выбираем трубы Харцызского трубного завода, изготовленные по ТУ 14-3-1938-2000 из стали 10Г2ФБ. Технические характеристики труб взяты из таблицы Г.1 [11].

Нормативное сопротивление принято равным временному сопротивлению разрыва  $R_{ин} = 588$  МПа; коэффициент условий работы трубопровода  $m = 0.9$ ; коэффициент надёжности по материалу  $k_{1220} = 1.4$ ;  $k_{1420} = 1.34$ ;



коэффициент надёжности принимаем  $k_n := 1.1$ .

Расчётное сопротивление определяем по СТО Газпром 2-2-1-131-2007

$$R_{1220} := \frac{R_{1н} \cdot m}{k_{1220} \cdot k_n} = \frac{588 \cdot 0.9}{1.4 \cdot 1.1} = 343.6 \text{ МПа},$$

$$R_{1420} := \frac{R_{1н} \cdot m}{k_{1420} \cdot k_n} = \frac{588 \cdot 0.9}{1.34 \cdot 1.1} = 359.0 \text{ МПа}.$$

Принимая коэффициент перегрузки по таблице 13\* СНиП III-42-80  $n := 1.1$ , находим необходимые толщины стенок труб:

$$\delta_{1220} := \frac{n \cdot p_{наг} \cdot D_{1220}}{2(R_{1220} + n \cdot p_{наг})} = \frac{1.1 \cdot 7.45 \cdot 1220}{2 \cdot (343.6 + 1.1 \cdot 7.45)} = 14.208 \text{ мм},$$

$$\delta_{1420} := \frac{n \cdot p_{наг} \cdot D_{1420}}{2(R_{1420} + n \cdot p_{наг})} = \frac{1.1 \cdot 7.45 \cdot 1420}{2 \cdot (359.0 + 1.1 \cdot 7.45)} = 15.845 \text{ мм}.$$

Принимаем для труб этих диаметров соответствующие толщины (большие рассчитанных выше) по [11]:  $\delta_{1220} := 15 \text{ мм}$ ,  $\delta_{1420} := 16 \text{ мм}$ .

Для этих толщин находим внутренние диаметры трубопроводов:

$$d_{1220} := D_{1220} - 2 \cdot \delta_{1220} = 1220 - 2 \cdot 15 = 1190 \text{ мм}, \quad d_1 := d_{1220} \cdot 10^{-3} = 1.19 \text{ м};$$

$$d_{1420} := D_{1420} - 2 \cdot \delta_{1420} = 1420 - 2 \cdot 16 = 1388 \text{ мм}, \quad d_2 := d_{1420} \cdot 10^{-3} = 1.388 \text{ м}.$$

1.3 Определение расстояния между компрессорными станциями и числа КС

Пользуясь данными таблицы 3 [10], определяем значения начального и конечного давления на линейном участке между КС:

$$\delta p_{вых} := 0.11 \text{ МПа}; \quad \delta p_{охл} := 0.06 \text{ МПа}; \quad \delta p_{вс} := 0.12 \text{ МПа};$$

$$p_n := p_{наг} - (\delta p_{вых} + \delta p_{охл}) = 7.45 - (0.11 + 0.06) = 7.28 \text{ МПа};$$

$$p_k := p_{вс} + \Delta p_{вс} = 5.14 + 0.12 = 5.26 \text{ МПа}.$$

Полагая температуру газа на входе в линейный участок равной  $T_n := 303 \text{ К}$ , а в конце участка равной температуре окружающей среды  $T_{oc} := 278 \text{ К}$ , определим ориентировочно среднюю температуру газа на линейном участке

$$T_{cp} := \frac{T_{oc} + T_n}{2} = 290.5 \text{ К}.$$

Среднее давление на линейном участке газопровода

$$p_{cp} := \frac{2}{3} \cdot \left( p_n + \frac{p_k^2}{p_n + p_k} \right) = \frac{2}{3} \cdot \left( 7.28 + \frac{5.26^2}{7.28 + 5.26} \right) = 6.324 \text{ МПа}.$$

Приведённые значения давления и температуры

$$p_{пр} := \frac{p_{cp}}{p_{пк}} = \frac{6.324}{4.637} = 1.364, \quad T_{пр} := \frac{T_{cp}}{T_{пк}} = \frac{290.5}{192.707} = 1.507.$$

Коэффициент сжимаемости газа

$$Z_{cp} := 1 - \frac{0.0241 \cdot p_{пр}}{1 - 1.68 \cdot T_{пр} + 0.78 \cdot T_{пр}^2 + 0.0107 \cdot T_{пр}^3} = 0.881.$$

Коэффициент динамической вязкости  $\mu$  ( $p_{пр} = 1.364$ ,  $T_{пр} = 1.507$ ,  $\rho_{ст} = 0.677$ ),

$$C := 1 + \frac{p_{пр}^2}{30 \cdot (T_{пр} - 1)} = 1.122,$$

где

$$\mu := 5.1 \cdot 10^{-6} \cdot [1 + \rho_{ст} \cdot (1.1 - 0.25 \cdot \rho_{ст})] \cdot [0.037 + T_{пр} \cdot (1 - 0.104 \cdot T_{пр})] \cdot C = 1.221 \times 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Числа Рейнольдса для труб с наружными диаметрами 1220 мм и 1420 мм:

$$Re_1 := 17.75 \cdot \frac{\Delta \cdot Q}{d_1 \cdot \mu} = 17.75 \cdot \frac{0.5624 \cdot 94.368}{1.19 \cdot 1.221 \times 10^{-5}} = 6.486 \times 10^7$$

$$Re_2 := 17.75 \cdot \frac{\Delta \cdot Q}{d_2 \cdot \mu} = 17.75 \cdot \frac{0.5624 \cdot 94.368}{1.388 \cdot 1.221 \times 10^{-5}} = 5.561 \times 10^7$$

Приняв эквивалентную шероховатость для новых труб  $k_s := 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ , найдём коэффициент гидравлического трения по формуле ВНИИГаза:

$$\lambda_{пр1} := 0.067 \cdot \left( \frac{158}{Re_1} + \frac{2 \cdot k_s}{d_1} \right)^{0.2} = 0.067 \cdot \left( \frac{158}{64859228.7} + \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{1.19} \right)^{0.2} = 0.00935;$$

$$\lambda_{пр2} := 0.067 \cdot \left( \frac{158}{Re_2} + \frac{2 \cdot k_s}{d_2} \right)^{0.2} = 0.067 \cdot \left( \frac{158}{55606975.6} + \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{1.388} \right)^{0.2} = 0.00909.$$

С учётом местных сопротивлений и коэффициента гидравлической эффективности  $E_r := 0.95$  расчётные значения  $\lambda$  будут следующие:

$$\lambda_1 := 1.05 \cdot \frac{\lambda_{пр1}}{E_r^2} = 1.05 \cdot \frac{0.0093}{0.95^2} = 0.0109,$$

$$\lambda_2 := 1.05 \cdot \frac{\lambda_{пр2}}{E_r^2} = 1.05 \cdot \frac{0.0091}{0.95^2} = 0.0106.$$

Длины линейных участков между компрессорными станциями:

$$L_{1ст} := \frac{105.087^2 \cdot d_1^5 \cdot (p_n^2 - p_k^2)}{Q^2 \cdot \Delta \cdot \lambda_1 \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp}} = \frac{105.087^2 \cdot 1.19^5 \cdot (7.28^2 - 5.26^2)}{94.368^2 \cdot 0.562 \cdot 0.011 \cdot 0.881 \cdot 290.5} = 47.876 \text{ км},$$

$$L_{2ст} := \frac{105.087^2 \cdot d_2^5 \cdot (p_n^2 - p_k^2)}{Q^2 \cdot \Delta \cdot \lambda_2 \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp}} = \frac{105.087^2 \cdot 1.388^5 \cdot (7.28^2 - 5.26^2)}{94.368^2 \cdot 0.562 \cdot 0.011 \cdot 0.881 \cdot 290.5} = 106.234 \text{ км},$$

Длины последних перегонов при давлении в конце газопровода  $p_{кон} := 2 \text{ МПа}$ :

$$L_{1п.пер} := \frac{105.087^2 \cdot d_1^5 \cdot (p_n^2 - p_{кон}^2)}{Q^2 \cdot \Delta \cdot \lambda_1 \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp}} = \frac{105.087^2 \cdot 1.19^5 \cdot (7.28^2 - 2^2)}{94.368^2 \cdot 0.562 \cdot 0.011 \cdot 0.881 \cdot 290.5} = 92.61 \text{ км},$$

$$L_{2п.пер} := \frac{105.087^2 \cdot d_2^5 \cdot (p_n^2 - p_{кон}^2)}{Q^2 \cdot \Delta \cdot \lambda_2 \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp}} = \frac{105.087^2 \cdot 1.388^5 \cdot (7.28^2 - 2^2)}{94.368^2 \cdot 0.562 \cdot 0.011 \cdot 0.881 \cdot 290.5} = 205.49 \text{ км}.$$

Расчётное и округлённое число компрессорных станций:



$$n_{11} := \frac{L - L_{1п.пер}}{L_{1ст}} + 1 = \frac{520 - 92.608}{47.876} + 1 = 9.927, \quad n_1 := \text{round}(n_{11}) = 10;$$

$$n_{21} := \frac{L - L_{2п.пер}}{L_{2ст}} + 1 = \frac{520 - 205.493}{106.234} + 1 = 3.961, \quad n_2 := \text{round}(n_{21}) = 4.$$

2 Экономическое обоснование выбора диаметра магистрального газопровода  
*Капитальные затраты в линейную часть.*

Согласно П.1 [10] стоимость строительства 1 км трубопровода составляет:

$$K_{км1} := 3597.2 \cdot 10^3 \text{ руб/км для } d_1 = 1.19 \text{ м};$$

$$K_{км2} := 5280.9 \cdot 10^3 \text{ руб/км для } d_2 = 1.388 \text{ м}.$$

Тогда:  $K_{л1} := K_{км1} \cdot L \cdot 10^{-6} = 3597.2 \cdot 10^3 \cdot 520 \cdot 10^{-6} = 1861.184$  млн руб;

$$K_{л2} := K_{км2} \cdot L \cdot 10^{-6} = 5280.9 \cdot 10^3 \cdot 520 \cdot 10^{-6} = 2746.068 \text{ млн руб.}$$

Капитальные затраты на сооружение КС.

Согласно П.2 [10] для агрегата типа ГПА-Ц-16  $k_o := 33.7$ ;  $k_i := 35.6$ .

Стоимость строительства одной КС на четыре агрегата  $i := 4$  равна

$$C_{ст} := k_o + k_i \cdot i = 33.7 + 35.6 \cdot 4 = 176.1 \text{ млн руб.}$$

Тогда с учётом числа КС капитальные затраты на все КС будут равны:

$$K_{КС1} := C_{ст} \cdot n_1 = 176.1 \cdot 10 = 1761 \text{ млн руб, } K_{КС2} := C_{ст} \cdot n_2 = 176.1 \cdot 4 = 704.4 \text{ млн руб.}$$

*Полные капитальные затраты.*

$$K_1 := K_{л1} + K_{КС1} = 3622.184 \text{ млн руб, } K_2 := K_{л2} + K_{КС2} = 3450.468 \text{ млн руб.}$$

*Стоимость эксплуатации линейной части МГ.*

Согласно П.1 [10] стоимость эксплуатации 1 км МГ в год составляет:

$$C_{эл1} := 161.1 \cdot 10^3 \text{ руб/(км.год), } C_{эл2} := 237.6 \cdot 10^3 \text{ руб/(км.год)}$$

Тогда:  $\mathcal{E}_{л1} := C_{эл1} \cdot L \cdot 10^{-6} = 161.1 \cdot 10^3 \cdot 520 \cdot 10^{-6} = 83.772$  млн руб/год,

$$\mathcal{E}_{л2} := C_{эл2} \cdot L \cdot 10^{-6} = 237.6 \cdot 10^3 \cdot 520 \cdot 10^{-6} = 123.552 \text{ млн руб/год.}$$

Стоимость эксплуатации всех станций.

Согласно П.2 [10] для агрегата типа ГПА-Ц-16  $\mathcal{E}_o := 6.8$  и  $\mathcal{E}_i := 8.6$ .

Стоимость эксплуатации типовой КС на четыре агрегата ГПА-Ц-16 равна

$$C_{эт} := \mathcal{E}_o + \mathcal{E}_i \cdot i = 6.8 + 8.6 \cdot 4 = 41.2 \text{ млн руб/год.}$$

Тогда  $\mathcal{E}_{КС1} := C_{эт} \cdot n_1 = 412$  млн руб/год,  $\mathcal{E}_{КС2} := C_{эт} \cdot n_2 = 164.8$  млн руб/год.

Полные эксплуатационные расходы:

$$\mathcal{E}_1 := \mathcal{E}_{л1} + \mathcal{E}_{КС1} = 83.772 + 412 = 495.772 \text{ млн руб/год,}$$

$$\mathcal{E}_2 := \mathcal{E}_{л2} + \mathcal{E}_{КС2} = 123.552 + 164.8 = 288.352 \text{ млн руб/год.}$$

Приведённые затраты, где коэффициент эффективности  $E := 0.15 \text{ год}^{-1}$ ,

$$S_{1220} := E \cdot K_1 + \mathcal{E}_1 = 0.15 \cdot 3622.184 + 495.772 = 1039.1 \text{ млн руб/год,}$$

$$S_{1420} := E \cdot K_2 + \mathcal{E}_2 = 0.15 \cdot 3450.468 + 288.352 = 805.922 \text{ млн руб/год.}$$

Таким образом, по приведённым затратам выгодным является диаметр 1420 мм и в дальнейшем расчёты ведём для этого диаметра.

3 Уточнённый тепловой и гидравлический расчёты участков газопровода между компрессорными станциями

3.1 Уточнение расстояния между компрессорными станциями с учётом расхода топливного газа на собственные нужды. Для одного ГПА-Ц-16 номинальный расход топливного газа (ТГ) согласно П.6 [10]  $q_{ТГ} := 6240 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Суточный объёмный расход топливного газа для трёх ГПА на станции

$$Q_{ТГ} := q_{ТГ} \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 3 = 6240 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 3 = 0.4493 \text{ млн м}^3/\text{сут.}$$

Тогда объёмный расход газа по четырём участкам распределится так:

$$Q_1 := Q - Q_{ТГ \cdot 1} = 93.919 \text{ млн м}^3/\text{сут; } Q_2 := Q - Q_{ТГ \cdot 2} = 93.47 \text{ млн м}^3/\text{сут;}$$

$$Q_3 := Q - Q_{ТГ \cdot 3} = 93.021 \text{ млн м}^3/\text{сут; } Q_4 := Q - Q_{ТГ \cdot 4} = 92.571 \text{ млн м}^3/\text{сут.}$$

Средняя длина участка между КС определяется по формуле, где

$$\alpha := \frac{p_{н}^2 - p_{кон}^2}{p_{н}^2 - p_{к}^2} = \frac{7.28^2 - 2^2}{7.28^2 - 5.26^2} = 1.934 \quad (Q = 94.368, \quad L = 520),$$

$$l := \frac{L}{\left(\frac{Q}{Q_1}\right)^2 + \left(\frac{Q}{Q_2}\right)^2 + \left(\frac{Q}{Q_3}\right)^2 + \alpha \cdot \left(\frac{Q}{Q_4}\right)^2} = 102.599 \text{ км.}$$

Длина каждого участка МГ:

$$l_1 := l \cdot \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^2 = 103.583 \text{ км; } l_2 := l \cdot \left(\frac{Q}{Q_2}\right)^2 = 104.581 \text{ км;}$$

$$l_3 := l \cdot \left(\frac{Q}{Q_3}\right)^2 = 105.594 \text{ км; } l_4 := l \cdot \alpha \cdot \left(\frac{Q}{Q_4}\right)^2 = 206.242 \text{ км.}$$

Расчёт первого участка

Принимаем в качестве первого приближения значения  $\lambda$ ,  $T_{ср}$  и  $Z_{ср}$  первого этапавычислений:  $d := d_2 = 1.388 \text{ м}$ ,  $\lambda := \lambda_2 = 0.0106$ ,  $T_{ср} = 290.5 \text{ К}$ ,  $Z_{ср} := 0.881$ .

Конечноедавлениевпервомприближении ( $K := 105.087$ ,  $Q_1 = 93.92$ ,  $\Delta = 0.562$ )

$$p_{к1} := \sqrt{p_{н}^2 - \frac{Q_1^2 \cdot \Delta \cdot \lambda \cdot Z_{ср} \cdot T_{ср} \cdot l_1}{K^2 \cdot d^5}} = 5.342 \text{ МПа.}$$

Для сокращения записи сразу приводим второе приближение

$$p_{к} := p_{к2} = 5.263 \text{ МПа.}$$

Среднее давление

$$p_{ср} := \frac{2}{3} \cdot \left( p_{н} + \frac{p_{к}^2}{p_{н} + p_{к}} \right) = \frac{2}{3} \cdot \left( 7.28 + \frac{5.263^2}{7.28 + 5.263} \right) = 6.326 \text{ МПа.}$$

Приведённые значения давления и температуры

$$p_{пр} := \frac{p_{ср}}{p_{пк}} = \frac{6.326}{4.637} = 1.364, \quad T_{пр} := \frac{T_{ср}}{T_{пк}} = \frac{290.5}{192.707} = 1.507$$

Удельная теплоёмкость газа

$$c_p := 1.695 + 1.838 \cdot 10^{-3} \cdot T_{ср} + 1.96 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{p_{ср} - 0.1}{T_{ср}^3} = 2.727 \text{ кДж/(кг.К).}$$



Коэффициент Джоуля-Гомсона

$$D_i := \frac{1}{c_p} \cdot \left( \frac{0.98 \cdot 10^6}{T_{cp}^2} - 1.5 \right) = \frac{1}{2.727} \cdot \left( \frac{0.98 \cdot 10^6}{290.5^2} - 1.5 \right) = 3.709 \text{ К/МПа.}$$

Базовый коэффициент теплопередачи для газопровода диаметром 1 м для смешанного грунта 1,27–1,34 [11]. Принимаем  $K_1 := 1.34 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ .

Среднее значение коэффициента теплопередачи

$$K_{cp} := K_1 \cdot \left( \frac{1}{d} \right)^{0.9} = 1.34 \cdot \left( \frac{1}{1.388} \right)^{0.9} = 0.998 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коэффициенты

$$a_t := 0.225 \cdot \frac{K_{cp} \cdot d}{Q_1 \cdot \Delta \cdot c_p} = 2.164 \times 10^{-3} \text{ км}^{-1}; \quad A := \frac{1 - e^{-a_t \cdot l_1}}{a_t \cdot l_1} = 0.896.$$

Средняя температура газа ( $T_n = 303$ ,  $l_1 = 103.583$ ,  $p_n = 7.28$ ,  $p_k = 5.263$ )

$$T_{cp} := T_{oc} + (T_n - T_{oc}) \cdot A - D_i \cdot \frac{p_n^2 - p_k^2}{2 \cdot a_t \cdot l_1 \cdot p_{cp}} \cdot (1 - A) = 296.95 \text{ К.}$$

Уточняем значения  $T_{пр}$  и  $Z_{cp}$ :  $T_{пр} := \frac{T_{cp}}{T_{пк}} = \frac{296.95}{192.707} = 1.541$ ,

$$Z_{cp} := 1 - \frac{0.0241 \cdot p_{пр}}{1 - 1.68 \cdot T_{пр} + 0.78 \cdot T_{пр}^2 + 0.0107 \cdot T_{пр}^3} = 0.891$$

Коэффициент динамической вязкости  $\mu$  ( $p_{пр} = 1.364$ ,  $T_{пр} = 1.541$ ,  $\rho_{ст} = 0.677$ )

$$C := 1 + \frac{p_{пр}^2}{30 \cdot (T_{пр} - 1)} = 1.115,$$

где

$$\mu := 5.1 \cdot 10^{-6} \cdot [1 + \rho_{ст} \cdot (1.1 - 0.25 \cdot \rho_{ст})] \cdot [0.037 + T_{пр} \cdot (1 - 0.104 \cdot T_{пр})] \cdot C = 1.234 \times 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Число Рейнольдса и коэффициенты  $\lambda_{тр}$  и  $\lambda$  ( $k_3 = 3.10^{-5}$ ,  $E_r = 0.95$ ),

$$Re := 17.75 \cdot \frac{\Delta \cdot Q_1}{d \cdot \mu} = 17.75 \cdot \frac{0.562 \cdot 93.919}{1.388 \cdot 1.234 \times 10^{-5}} = 5.476 \times 10^7$$

$$\lambda_{тр} := 0.067 \cdot \left( \frac{158}{Re} + \frac{2 \cdot k_3}{d} \right)^{0.2} = 0.0091, \quad \lambda := 1.05 \cdot \frac{\lambda_{тр}}{E_r^2} = 0.0106.$$

Находим конечное давление  $p_{к2}$  в третьем приближении

$$p_{к2} := \sqrt{p_n^2 - \frac{Q_1^2 \cdot \Delta \cdot \lambda \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp} \cdot l_1}{K^2 \cdot d^5}} = 5.2629 \text{ МПа,}$$

что весьма близко  $p_{к2} = 5.2630 \text{ МПа}$ , поэтому среднее давление не уточняем.

Конечная температура газа ( $p_{cp} = 6.326$ ,  $p_n = 7.28$ ,  $p_k = 5.263$ ,  $a_t = 0.0022$ )

$$T_k := T_{oc} + (T_n - T_{oc}) \cdot e^{-a_t \cdot l_1} - D_i \cdot \frac{p_n^2 - p_k^2}{2 \cdot a_t \cdot l_1 \cdot p_{cp}} \cdot (1 - e^{-a_t \cdot l_1}) = 291.34 \text{ К.}$$

На этом этапе уточнённый тепловой и гидравлический расчёты первого участка газопровода можно считать завершённым.

#### 4 Расчёт режима работы КС

На компрессорных станциях установлены газотурбинные агрегаты ГПА-Ц-16, оборудованные центробежными нагнетателями ГПА-Ц-16/76.

Давление и температура газа на входе в центробежный нагнетатель:

$$p_{вс} := p_k - \Delta p_{вс} = 5.263 - 0.120 = 5.143 \text{ МПа,} \quad T_{вс} := T_k = 291.336 \text{ К.}$$

Значения давления и температуры, приведённые к условиям всасывания:

$$p_{пр} := \frac{p_{вс}}{p_{пк}} = \frac{5.143}{4.637} = 1.109, \quad T_{пр} := \frac{T_{вс}}{T_{пк}} = \frac{291.335}{192.707} = 1.512.$$

Коэффициент сжимаемости газа при условиях всасывания ( $Z_{ст} := 1$ )

$$Z_{вс} := 1 - \frac{0.0241 \cdot p_{пр}}{1 - 1.68 \cdot T_{пр} + 0.78 \cdot T_{пр}^2 + 0.0107 \cdot T_{пр}^3} = 0.904$$

Номинальные подача и частота вращения, а также параметры приведения, для которых построены характеристики ЦН, берутся по таблице 4 [10]:

$$Q_n := 32.6 \text{ млн м}^3/\text{сут}; \quad n_n := 4900 \text{ мин}^{-1}; \quad Z_{ГП} := 0.888; \quad T_{ГП} := 288 \text{ К}; \quad R_{ГП} := 508.2.$$

Плотность газа  $\rho_{вс}$ , требуемое число параллельно работающих нагнетателей  $m_n$  и подача нагнетателя при условиях всасывания  $Q_{вс}$ :

$$\rho_{вс} := \rho_{ст} \cdot \frac{p_{вс} \cdot T_{ст} \cdot Z_{ст}}{p_{ст} \cdot 10^{-6} \cdot T_{ст} \cdot Z_{вс}} = 0.677 \cdot \frac{5.183 \cdot 293.15 \cdot 1}{101325 \cdot 10^{-6} \cdot 291.336 \cdot 0.904} = 38.24 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_{КС} := Q = 94.368 \text{ млн м}^3/\text{сут}; \quad m_n := \frac{Q_{КС}}{Q_n} = \frac{94.368}{32.6} = 2.895, \text{ принимаем } m_n := 3;$$

$$Q_{вс} := \frac{Q_{КС} \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot m_n} \cdot \frac{\rho_{ст}}{\rho_{вс}} = \frac{94.368 \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot 3} \cdot \frac{0.677}{38.246} = 386.879 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Требуемая (расчётная) степень повышения давления

$$\varepsilon := \frac{p_{наг}}{p_{вс}} = \frac{7.450}{5.143} = 1.45$$

Задаём интервал чисел частоты вращения ротора с шагом 500 мин<sup>-1</sup>

$n := 4000, 4500, 5500$  (символ «..» вводится нажатием клавиши «;»).

Задаём приведённые расход  $Q_{пр}$  и относительную частоту  $n_{пр}$  в функции от  $n$ :

$$Q_{пр}(n) := \frac{n}{n_n} \cdot Q_{вс}, \quad n_{пр}(n) := \frac{n}{n_n} \cdot \sqrt{\frac{Z_{ГП} \cdot R_{ГП} \cdot T_{ГП}}{Z_{вс} \cdot R \cdot T_{вс}}}$$

$n =$	$Q_{пр}(n) =$	$n_{пр}(n) =$
4000	473.93	0.803
4500	421.27	0.903
5000	379.14	1.003
5500	344.67	1.104

и выводим их значения в виде матриц

Полученные точки наносятся на характеристику и соединяются линией (плавная кривая *ABC* – линия режимов на рисунке 1). По характеристике нагнетателя определяем расчётные значения приведённых параметров. Для этого проводим горизонтальную линию из  $\epsilon = 1.45$  до линии режимов и находим точку пересечения *p*. Проводя вертикальную линию через эту точку, находим  $Q_{пр.р} = 383.9 \text{ м}^3/\text{мин}$ ,  $\eta_{пол} := 0.848$  и  $N_{i пр} = 389.3 \text{ кВт}/(\text{кг}/\text{м}^3)$ .

$$T_{пр} = 288 \text{ К}; R_{пр} = 508,2 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

Значения расчётных величин:  $Z_{пр} = 0,888$ ;  $n_H = 4900 \text{ мин}^{-1}$ .

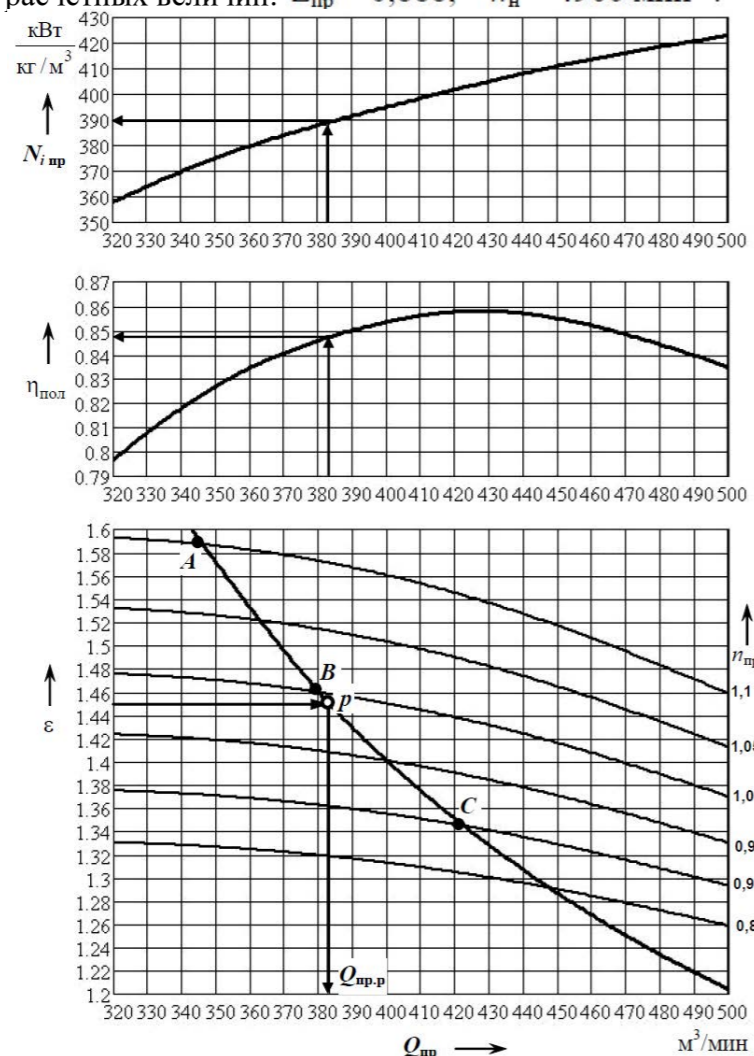


Рисунок 1 – Приведённые характеристики нагнетателя ГПА-Ц-16/76

Расчётная частота вращения вала нагнетателя

$$n_p := n_H \cdot \frac{Q_{вс}}{Q_{пр.р}} = 4900 \cdot \frac{386.88}{383.9} = 4937.8 \text{ мин}^{-1}.$$

Расчётная внутренняя мощность, потребляемая ЦН,

$$N_i := \rho_{вс} \cdot N_{i пр} \cdot \left(\frac{n_p}{n_H}\right)^3 = 38.246 \cdot 389.3 \cdot \left(\frac{4937.8}{4900}\right)^3 = 15237.6 \text{ кВт}.$$

С учетом того, что механические потери мощности составляют порядка 1 % от номинальной мощности ГТУ, определяем мощность на муфте привода

$$N_e := N_i + 150 = 15237.6 + 150 = 15387.6 \text{ кВт}.$$

По таблице 5 [10] для ГПА-Ц-16 выбираем:  $N_{е ном} := 16000 \text{ кВт}$ ;  $k_N := 0.95$ ;  $k_t := 2.8$ ;  $T_{воз.н} := 288 \text{ К}$ . Располагаемая мощность ГТУ ( $T_{н} = 283$ )

$$N_{е рас} := N_{е ном} \cdot k_N \cdot \left(1 - k_t \cdot \frac{T_{в} - T_{воз.н}}{T_{в}}\right) = 15951.9 \text{ кВт}.$$

Проверяем условие  $N_e = 15387.6 < N_{е рас} = 15951.9$ . Оно выполняется.

Температура газа на выходе

$$T_{наг} := T_{вс} \cdot \epsilon_p^{\frac{k-1}{k \cdot \eta_{пол}}} = 291.336 \cdot 1.449^{\frac{1.31-1}{1.31 \cdot 0.848}} = 323.1 \text{ К}.$$

### ВЫВОДЫ

Создана программа технологического расчёта магистрального газопровода в системе Mathcad. Данная программа может быть использована как в курсовом и дипломном проектировании, так и в проектных организациях при проектировании и исследовании режимов работы газопроводов. Преимущество данной программы перед другими программами заключается в её доступности и возможности любому пользователю изменять её отдельные блоки без изучения логики традиционного программирования.

Программа апробирована на примере расчёта магистрального газопровода, изложенного в [10]. Результаты расчёта в пределах 1 % совпадают с приведёнными в примере.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Половко, А. М.** Mathcad для студента / А. М. Половко, Н. В. Ганичев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 336 с. : ил.
- 2 **Кириянов, Д. В.** Mathcad 13. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с. : ил.
- 3 **Макаров, Е. Г.** Инженерные расчёты в Mathcad 15. – СПб. : Питер, 2011. – 400 с. : ил.
- 4 **Хайбулина, Р. Ф., Рындин, В. В.** Автоматизированный расчёт гидропривода с использованием системы MathCAD // Наука и техника Казахстана. – 2010. – № 4. – С. 109–119.

5 **Рындин, В. В., Абитова, Д. М.** Расчёт магистрального нефтепровода по четырём вариантам в системе Mathcad // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. – 2016. – № 2. – С. 152–163.

6 **Рындин, В. В., Сиюнч, Р. Н.** Исследование и расчёт магистрального нефтепровода в системе Mathcad // Наука и техника Казахстана. – 2017. – № 3–4. – С. 72–84.

7 **Рындин, В. В., Шалай, В. В., Макушев, Ю. П.** Расчёт цикла бензинового двигателя в системе Mathcad // Вестник СибАДИ. – 2013 – № 6(34). – С. 91–98.

8 **Рындин, В. В., Шалай, В. В., Макушев, Ю. П.** Расчётные исследования кинематики и динамики рядного бензинового двигателя в системе Mathcad // Вестник СибАДИ. – 2014 – № 1 (35). – С. 97–103.

9 **Макушев, Ю. П.** Интегральное и дифференциальное исчисления в приложении к технике : монография / Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, В. В. Рындин, Т. Т. Токтаганов. – Павлодар : Керек, 2013. – 330 с. : ил.

10 **Белицкий, В. Д.** Проектирование и эксплуатация магистральных газопроводов : методическое пособие / В. Д. Белицкий, Ломов С. М. – Омск : ОмГТУ, 2011. – 65 с. : ил.

11 Типовые расчёты при сооружении и ремонте газонефтепроводов: учеб. пособие / Быков, Л. И. [и др.]. – Санкт-Петербург : Недра, 2006. – 824 с. : ил.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*V. V. Ryndin*

**Magistraldyk gaz kubyryn Mathcad jүйесінде технологиялық есептеу**

S. Toraihyrov atyndaғы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*V. V. Ryndin*

**Technological calculation of the main gas pipeline in the Mathcad system**

S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 14.02.18.

*Дипломдық жобалау ұйымдарында, сондай-ақ магистральдық газ құбырларын жобалау кезінде, сондай-ақ дипломдық және курстық жобаларды орындау кезінде электрондық кестелер (Excel) қолданылады. Электрондық кестелерде жасалған бағдарламаларды жазу визуалды емес және формулаларды тексеру, тіпті бағдарламаны әзірлеушіге өзгерту қиын. Бұл кемшіліктер математикалық жүйенің жаңа математикалық жүйесінен айырылады, ол формулаларды әдеттегі түрде жазуға мүмкіндік береді, бұл студенттер мен инженерлерге қол жетімді етеді. Мақсаты – магистральдық газ құбырларын жобалаушылардың назарын есепке алу жүйесінде Mathcad жүйесін пайдалануға аудару.*

*Әзірленген бағдарлама келесі бөлімдерден тұрады: құбырдың диаметрін есептеу және оның қабырғасының қалыңдығы; компрессорлық станциялардың санын және олардың арасындағы қашықтықты анықтау; құбырдың диаметрін таңдаудың экономикалық негіздемесі; құбырдың жылу және гидравликалық есептері; компрессорлық станцияның жұмыс режимін есептеу; сызба сызығының тән диаграммасында құрылысы және қысымның ұлғаяу дәрежесі үшін таңдалған ортадан тепкіш компрессорлы сипаттамаларын графикалық анықтығын айқындау.*

*At design of the main gas pipelines in the design organizations and also in the course implementation of degree and academic year projects spreadsheets (Excel) are generally used. The record of the programs created in spreadsheets isn't evident, it is difficult to check formulas and to change them even to the developer of the program. There are no such shortcomings in the new mathematical Mathcad system, allowing to write down formulas in a habitual look that makes it available for students and engineers. The purpose of the article is to draw attention of designers of the main gas pipelines to use of the Mathcad system in the calculations. The developed program includes the following sections: calculation of diameter of the pipeline and thickness of its wall; definition of the number of compressor stations and distance between them; economic justification of the choice of diameter of the pipeline; thermal and hydraulic calculations of the pipeline; calculation of working hours of compressor station; creation of the line of the modes on the chart of characteristics and graphic definition of characteristics on the chosen centrifugal supercharger for the found extent of increase in pressure.*



**R. V. Sapinov<sup>1</sup>, A. N. Zhakupov<sup>2</sup>, A. Sadu<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Master of Engineering and Technology, senior teacher, department of «Mechanics and petroleum engineering», S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;  
<sup>3</sup>student, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan  
 e-mail: <sup>1</sup>ruslan.sapinov@mail.ru; <sup>2</sup>alibek\_j85@mail.ru; <sup>3</sup>s.alua.s@mail.ru

### **RECEIPT OF NEW COMPOSITE MATERIALS BY PROCESSING OF HOUSEHOLD AND TECHNOGENIC WASTES OF POWER AND METALLURGICAL PRODUCTIONS**

*In the article the authors give the analysis of existent traditional building materials and prospect of their replacement with new materials on the basis of technogenic and domestic wastes. So very perspective of using composite material, for making of sett, borders, sewage hatches, roof, sewage-pipes and other, on the basis of technogenic wastes - ash, metallurgical slag, sand and domestic LDPE wastes are offered in this article. Thus, the new material excels the operating qualities of traditional building materials on the basis of cement and sand. Except all other new material is deprived of such features of traditional materials on the basis of cement as dehumidification and fragility. It will allow to avoid destruction of new material, under act of winter, negative temperatures (after penetration of moisture). The inevitable losses, related to the damage of products at transporting, stevedorages and editing, will disappear also.*

*Keywords: technogenic wastes, domestic wastes, plastic, building materials, ecology, composite materials, innovations, economy.*

#### INTRODUCTION

Presently the problems of ecology and processing of technogenic wastes in the Pavlodar region cost still sharply. In area is located the largest hydroelectric power station (HEPS), warm power station (WPS) and metallurgical productions, producing thousands of tons of wastes as a coal ash and slags. Besides it, there is a problem with processing of domestic wastes as a plastic packing from a polyethylene(LDPE). Annually on an area are taken out the about 650 thousand tons of hard domestic wastes (HDW), the volume of the accumulated wastes makes 5,2 million tons. Also annually appears more than 180,0 million tons of wastes, such as: stripping breeds, wastes of production and consumption, from them processed only 20 %. In accordance with Ecological Code users of nature develop measures, on realization of that annually are expended considerable facilities (2014 year – 19,8 milliards of tenge, 2015 year – about 15,0 milliards of tenge.).

However processing of wastes is not conducted of enterprises of fuel and energy complex (ALL «HEPS-1 of Ekibastuz» of the name of B. Nyrzhanov, JSC «Power corporation of Eurasian», ALL «HEPS-2 of Ekibastuz», JSC «Pavlodar energy») [1].

Today are conducted many researches in area of processing of technogenic wastes [2], the different variants of processing of domestic wastes(LDPE) are developed, the different charts of processing are offered [3], [4], [5] different variants of the use of product of processing of wastes are offered [6], [7], [8], [9].

There are even variants of the use in medicine [10] and as purifiers for water and air [11], [12], but a problem is apparently distant from a decision. In connection with this, innovative methods of utilization or repeated utilization of wastes, for the production of different types of products as alternative from traditional materials it will be been foods by actual.

Wide demand at the market of building materials is used by a sett, sidewalk tile, borders made from sand and cement. Except it metallic tile and other materials use for a roof. Also sewage hatches and rings (usually cast-iron) and different sewage-pipes from cast-iron and plastic are widely used.

All these types of products from traditional materials, in spite of their popularity, have a row of substantial defects. So the sett and borders, made with the use of cement, have absorption of water from 2 % to 5 % [3].

In the conditions of the Pavlodar area affects on longevity of the sett even made with the observance of technology, perniciously enough. It can be looked after on the Pavlodar embankment, and in other places of Pavlodar, where practically all setts came in uselessness during 4–5 years (pic.1).



1st May Street (opposite the Manakbai market)

Picture 1 – The condition of cobblestones in Pavlodar in 2017

Sewage hatches and rings from cast-iron besides costliness and large weight are subject to the acts of vandalism, and made from a concrete short-lived and unfunctional.

Thus products are made from material of allowing avoiding all these defects, together being technogenic wastes will use undoubted advantage.

#### MAIN PART

Materials and research methods. Aim of experiment: receipt of material for making of building materials by addition in the molten plastic mass of fillers – ash and sand in different proportions. During an experiment the particles of the ground up plastic



of different factions are used. Materials for research were prepared from former in the use canister (LDPE) (pic.2, a), ash of Ekibastuz coal (pic.2, b), river sand (pic.2, c), aspiration ash of metallurgical production from filters with an aggregate is a scoop-stoven aggregate is a scoop-stove (pic.2, d). Plastic canister were ground up to faction 2x2x1 mm. Sand and ash are preliminary dried out in a muffle stove at the temperature 100 °C, during 20 minutes.



a) – chopped plastic (LDPE), b) – river sand, c) – ash of Ekibastuz coal, d) – aspiration ash of metallurgical production  
Picture 2 – Used raw materials

The physical parameters of materials are driven to the table 1

Table 1 – The physical properties of pre-product

	Bulk closeness, g/cm <sup>3</sup>	temperature of melting, °C,	tensile strength at a break, Мpa	absorption of water for 24 hours., %	faction
LDPE	0,9	115	12	< 0,1	20x20x1mm, 2x2x1 мм
Coal ash	0,8	1300	-		1 mm
Metallurgical slag	2,7	1400	-		25 mkm
River sand	1,52	1700	-		2 mm

For heating of plastic to the temperature of melting the muffle stove of laboratory is used on a base PSU the name of S.Toraighyrov.



Picture 3 – Muffle furnace SNOL

The compression of standards for shaping and further mechanical tests was conducted on the press of pelleter with a hand drive, by effort 50 H. As a result of experiment a few models were got. Models are prepared from plastic materials by faction a 20x20x1 mm, with the proportions of fillers 1:1:1 (pic.4, a) and 1:1,5:0,5 (pic.4,b) and with application of dyes have a mat brown color, not broken up at falling from a height more than 2 meters to the hard surface. Were tested by a compression on durability through the hydro hammer’s HHS 100 MG4 (pic. 6). During realization of test of destruction of model did not happen. Mechanical descriptions are driven to the table 2. Except it at models it was certain absorption of water for SAUS 4650-80 (table 2).



a) – with the proportions of fillers 1:1:1, b) – with the proportions of fillers 1:1,5:0,5 mm

Picture 4 – are models with dye from plastic materials by faction a 20x20x1 mm

Next models were prepared from plastic materials by faction 2x2x1 mm, with the proportions of fillers 0,5:1:1,5.



Picture 5 – Models with dye from plastic materials by faction a 2x2x1 mm, with the proportions of fillers 0,5:1:1,5

For test of models a compression on durability the hydro hammer of HHS 100 MG4 was also used (pic. 6). During realization of test of destruction of model did not happen. Except it at standards it was certain absorption of water for SAUS 4650-80 (table 2)



Picture 6 – A press hydraulic HHS 100 MG4

A model was further made from plastic materials by faction 2x2x1 mm, with the proportions of fillers 1:1:0,5 mm, and with the use of metallurgical slag (pic. 7). During realization of test the maximally possible loading of 105,8 kH and press was attained an automatically power-off on an overload. Durable descriptions of model are indicated to the table 2.



Picture 7 – is a standard from plastic materials by faction 2x2x1 mm, with the proportions of fillers 1:1,5:0,5 and with the use of metallurgical slag

Table 2 – Mechanical descriptions of standards

	Durability, МПа	Absorption of water %
Standard №1 proportion of fillers 1: 1: 1 (plastic, ash, sand)	40	<1
Standard №2 proportion of fillers 1: 1,5: 0,5 (plastic, ash, sand)	40	<1
Standard №3 proportion of fillers 0,5: 1,5: 1 (plastic, ash, sand)	22,46	<1
Standard №4 proportion of fillers 1: 1,5: 0,5 (plastic, ash, sand)	54	<1
Concrete M200	19,26	> 5
Concrete M400	40	4,2

CONCLUSIONS

Thus got models do not yield to on mechanical descriptions the most durable brands of concrete, and models under a number 4 excels even. Thus material has a aesthetically beautiful kind enough, possesses high plasticity and stability to the shock loading, the subzero has as compared to the concretes of absorption of water (4, 2 brands of M400). It will allow to avoid destruction of material after abundant fallouts and offensive of subzero temperatures. For the industrial production of goods from this material it is expedient to apply a screw extruder, as it is offered in-process the Tomsk’s scientists [6], however passing the stage of receipt of granules, to add a filler on the stage of melting of PET. It will allow to shorten expenses on the repeated melting of material and as standards the factions made directly from the ground up wastes a 20x20x1 mm conduct itself not worse what standards of faction a 2x2x1 mm, their quality will not suffer. Except bottles, for making of building materials it is possible to use other wastes of container and packing [13], preliminary dividing them on the brands of plastics, because their mixing is not desirable. For this purpose it is possible to set garbage tanks in the courts of dwelling-houses for the different types of plastic that will facilitate their processing considerably.

REFERENCES

- 1 <http://doklad.ecogofond.kz/os-pavlodarskaya-obl>
- 2 Капустин, Ф. Л., Фомина, И. В. Получение легкого заполнителя на основе золы – уноса Рефтинской ГРЭС для конструкционных бетонов // Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Институт материаловедения и металлургии, Экология и промышленность России. – № 8. – 2014. – С. 32–34.
- 3 <http://stroyres.net/kamennye-materialy/bruschatka>
- 4 Иванова, О. А., Реховская, Е. О. Утилизация и переработка пластиковых отходов // Молодой ученый. – 2015. – № 21. – С. 54–56. [Электронный ресурс]. – URL: <https://moluch.ru/archive/101/22978/> (Дата обращения 12.03.2017).
- 5 Переработка пластиковых отходов [Электронный ресурс]. – <http://alon-ra.ru/pererabotka-plastikovyh-othodov.html>.
- 6 Супрун, Л. В., Романенко, С. В., Цыганкова, Т. С. Анализ и решение проблемы утилизации и вторичной переработки полиэтилентерефталат (ПЭТ) отходов в городе Томске // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 4. – С. 107–112.
- 7 Пономарёва, В. Т., Лихачёва, Н. Н., Ткачик, З. А. Использование пластмассовых отходов за рубежом // Пластические массы. – 2002. – № 5. – С. 44–48.
- 8 Масленников, А. Вторая жизнь // PakkoGraff. – 2004. – № 8. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pakkograff.ru/reader/articles/materials/polymers/1069.php> (Дата обращения: 10.03.2012).
- 9 Переработка отходов ПЭТ // GalPET official site. 2007. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.galpet.com.ua/pererabotka-othodov-pet>
- 10 Косинцев, В. И. Антимикробные волокнистые материалы // Энергетика : экология, надежность, безопасность // Материалы докладов XV Всероссийской научно-техн. конф. – Томск, 9–11 декабря 2009. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009.

11 **Косинцев, В. И.** Волокнистые материалы для очистки воды от нефтепродуктов // Энергетика: экология, надежность, безопасность // Материалы докладов XV Всероссийской научно-техн. конф. – Томск, 9–11 декабря 2009. – Томск : Издательство ТПУ, 2009.

12 **Бордунов, В. В.** Перспективные полимерные волокнистые материалы для очистки воздуха // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – Вып. 3 : Проблемы и перспективы технологий атомной промышленности: тематический выпуск. – С. 222–226.

13 **Клинков, А. С.** Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов. – Тамбов : Изд. ТГТУ, 2010. – 100 с.

Material received on 14.02.18.

*Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, А. Н. Жакупов<sup>2</sup>, А. Саду<sup>3</sup>*

**Тұрмыстық пластикалық және энергетика мен металлургия өндірістердің техногендік қалдықтарын өңдеуіне қатысты жаңа композитті материалдарды қабылдау**

<sup>1,2,3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы. Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, А. Н. Жакупов<sup>2</sup>, А. Саду<sup>3</sup>*

**Получение новых композитных материалов путем переработки бытовых пластиковых и техногенных отходов энергетических и металлургических производств**

<sup>1,2,3</sup>Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*Мақалада автор дәстүрлі құрылыс материалдарын талдау және оларды техногендік және тұрмыстық қалдықтар негізінде жаңа материалдармен алмастыру мүмкіндігін береді.*

*В настоящей статье автор дает анализ существующих традиционных строительных материалов и перспективу их замены новыми материалами на основе техногенных и бытовых отходов.*

FTAMP 55; 55.13; 55.13.99

**Ж. М. Ықсан<sup>1</sup>, А. Е. Кенжебекова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>т.ғ.к., доцент, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасының меңгерушісі, С. Торайғыров атындағы Павлодар Мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы; <sup>2</sup>магистрант, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, С.Торайғыров атындағы Павлодар Мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы e-mail: <sup>1</sup>ixan\_0180@mail.ru; <sup>2</sup>erbolatovna@inbox.ru

### **САНДЫҚ БАҒДАРЛАМАМЕН БАСҚАРЫЛАТЫН БІЛДЕКТЕРІН ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ**

*Заманауи талаптарға байланысты машина жасау саласының жағдайын талдай отыра, СББ білдектерінің технологиялық мүмкіншіліктері мен қызмет көрсетуі, өңдеудің уақыты жағынан тиімді екенін дәлелдеді.*

*Сырт пішіні күрделі тетікті өңдеген уақытта білдек операторының көп жұмыс уақытын жоғалтуының әсерінен сандық бағдарламамен басқарылатын білдектер жұмысының өнімділігін жоғарылату мүмкіншілігі қарастырылған. Тетікті өңдеу уақытының есебінен бағдарламамен басқару кодына қосымша параметрлер енгізудің тиімді әдістері келтірілген.*

*Кілтті сөздер: сандық бағдарламамен басқарылатын білдектер, тиімділікті жоғарылату, өнімділік, жұмыс уақыты, басқару коды, бағдарламалау, жону.*

### **КІРІСПЕ**

Қазіргі кезде машина жасау өндірісінің әр саласында сандық бағдарламамен басқарылатын технологиялық жабдықтардың жүйелері қолданыста және жаңадан жобаланып жұмысқа қосылуда. Осы жүйелердің құрамында білдектерді басқаратын жүйелер көп орын алады.

Сол себепті, машина жасау саласының мамандарына ерекше талаптар қойылады. Олар сандық бағдарламамен басқарылатын технологиялық жабдықтар жүйелерін жобалау қабілеттілігімен қатар оларға сандық бағдарламаларды жасау, көп нұсқалар ішінен тиімді нұсқасын, механикаландыру мен автоматтандырудың тиімді дәрежесін таңдау. Қазіргі нарық экономика кезінде өндіріс тез арада нарық сұранысына бейімделуі керек, сондықтан қайта бапталып реттелетін автоматтандырылған технологиялық жабдықтардың жүйелерін жобалап жұмысқа қосу абзал, осындай мақсатпен сандық бағдарламамен басқарылатын білдектерді кеңінен қолдануын қажет етеді.

Металл кескіш білдектерінің жонудың алуан түрлілігіне карамастан, олардың тұтыну параметрлерінің қалыптасуының басты бағыттары, тәжірбие жүзінде шығарылатын өнім мен жабдық түрінен айырмашылығы жоқ. Металл кескіш білдектердің қалыптасу мүмкіндіктерін талдау үшін келесі бағыттарды көрсетеміз.

СББ (сандық бағдарламамен басқару) білдектердің қолмен басқарылатын білдектерден қарағандағы негізгі ерекшеліктері: өңдеу дәлдігінің жоғарылығы; ұсақ және сериялы өндірісте элементтердің өзара алмастырымдылықты қамтамасыз ету; толығымен белгілегіш және слесарлы жұмыстарды жою; қайта жөндеудің аздығы; бір білдекте өңдеу ауысымдарының топтасуы, сол себепті

дайындаманы орнату уақытының шығыны қысқарылып, операция санымен дайындық цикілі азаяды; тетіктердің өңдеу дәлдігінің жоғары болуы, өңдеу уақытында оператордың табандылығы мен шеберлігіне байланысты болмайды; барлық қозғалыстар автоматты жүргізіліп жатыр. СББ білдектерінде өңделетін тетік пен бұйымдарда тотығу, күйік, қақ болмауы қажет [1].

Әр түрлі тағайындалған күрделі геометриялы пішінді тетікті өңдеудің талдауы бойынша технологиялық үрдісті жобалаудың технологиялық және экономиялық қағидалары, олардың оңтайландыру көрінісін табады. Тетікті өңдеудің технологиялық үрдісін тиімді етіп жасар алдында, СББ білдектерін қолдануды қарастыру қажет. Себебі, СББ білдектерінің дұрыс жұмыс жасауы үшін өнімнің шығарылатын көлемі мен тетіктің күрделі геометриялы пішінінде әсер етеді.

СББ білдектерін қолданудағы экономиялылығы өндіріс кезеңінің азаюы мен технологиялық жабдықтауда шығынның қысқару есебінен туындайды. Сонымен қатар өндіріс мәдениеті жоғарылайды [2].

#### НЕГІЗГІ БӨЛІМ

СББ білдектерінде механикалық элементердің қайта орнату немесе ауыстырусыз тез қайта ыңғайластырылады. Білдекке еңгізілетін ақпаратты ауыстыру жеткілікті болып, ол басқа бағдарлама ретінде жұмыс жасай береді, сол себепті басқа дайындаманы (тетікті) басқа бағдарламамен өңдей бастайды. Ол СББ білдектерінің жоғарғы әмбебаптылығын анықтайды.

СББ білдектерін басқа тетікті дайындауға жылдам көшуге қажет болған жағдайда қолдануға ыңғайлы, ал қарапайым білдекте арнайы қосымша жабдықты талап етеді.

СББ білдектерін қарапайым агрегатты білдектерден айырмашылығы бар, тетікті өңдеуде сандық бағдарлама жасалынып өңдеу жүргізіледі. Қарапайым білдекте технологиялық үрдіс жасалса, ал СББ білдектеріне арнайы бағдарлама арқылы бағдарлама құрастырылады. СББ білдектерінде бағдарлама білдектің орындаушы тетіктері ауысу жылдамдығы мен бағытын өзгерту өте оңай болып келеді. Осы білдектердің негізгі ерекшеліктері өзінің автоматты басқару көмегімен әмбебаптылығын сақтау арқылы көрінеді [3].

СББ білдектерінде тетікті өңдеу жоғары геометриялық дәлдікті қамтамасыз етеді, оны статистикалық және динамикалық жоғары қатылықтары түсіндіреді, сонымен қатар позициялаудың жоғары дәлдікте келуі мен өңделетін дайындамаға қатысты құралдың қозғалыс траекториясы жетік тексеріледі. Белгілі бір бағдарламада қандайда болмасын данадағы сапасы бірегей тетіктерді алуға болады.

СББ білдектерінде технологиялық операцияларда бос жүрісті орын аусыртырудағы атқарушы мәрімдердің максималды жылдамдықта орындалуының әсерінен және қызмет ететін білдекте оператор тағайындалған кесу режимдерін өзгерте алмауы есебінен жоғарғы өнімділігін қамтамасыз етеді. СББ білдектері қарапайым білдекке қарағанда қымбат, бірақта жоғарғы өнімділігі мен өңдеу дәлдігінің әсерінен білдекті сауатты қолданса осы шығынды қайтарып алуға болады. Осының себебінен технологтар, жөндеуші мен оператор, осы жабдыққа қызмет етушілердің негізгі талабы болып отыр [4].

СББ білдектерінде жұмыс жасауда технологиялық үрдісті жобалаудағы еңбек өнімділігі мен есептерінен қиындық туындай бастайды. Бағдарламаны құрастыру үшін арнайы білім (математикадан, автоматтандырылған жобалау жүйесінен, ақпараттанудан), технологтар біліктілік деңгейін артыруды талап етеді, бағдарламаны жасап, құрастыру өндірісте дайындау жүйесінде жаңа мамандықтарды енгізуге итермелейді, сонымен бірге ұйымдастыру мәселелерін шешуді талап етеді.

Сонымен СББ білдектеріне бағдарламаны құрастыру тетіктің технологиялық үрдісінен және бағдарламаланатын өңдеу операцияларынан басталады. Тандалған операциялар бойынша жабдық құралға қажетті траекторияларды, жұмыс жылдамдығы, бос жүрістер жолдарын шығарады. Өңделетін тетіктің беттеріне байланысты орын ауыстыру өлшемдері мен бағыттары, жұмыс жылдамдығы, бос жүрістер жолдары орнатылады [5].

#### «Дөңгелек тірек» тетігін өңдеудің жону бағдарламалау

Ғылыми зерттеу объектісі «Дөңгелек тірек» тетігі болып табылады. Осы тетікті алудың себебі, сыртқы пішіні күрделі құрылымды. «Дөңгелек тірек» тетігінің беті, өңдеуге қиын сферадан, конусты беттен, радиус пен бунақтан құрастырылған. Өңдеген уақытта сфералы бетті жонуға біріншіден дұрыс база тандап орнату қажет, ал екіншіден, жону кезіндегі жонуға кеткен уақыттың көп кетуі. Сол себепті, осы тетікті өңдеу үрдісі қайсы білдекте тиімді екенін есептеп көрсету. «Дөңгелек тірек» тетігінің қызметтік тағайындамасы мен құрылымына қасқаша тоқтап өтейік.

Дөңгелек тірек көліктік салпыншақ құрылым элементі болып табылады, басқарылатын белгіні рөлден дөңгелек механизіміне жеткізеді. Дөңгелек тіректің негізгі ерекшелігі ол түйісетін тораптарда бұрыштық орын ауысуы еркін мүмкіншілігіне ие және де максималды түрде құрылымы қарапайым.

Дөңгелек тірек құрылымы жағынан жеке торап, ол екі түйісетін бөліктен тұрады, ол сфералы байланыс беті. Бір бөлігі өзек болса, бір бөлігінің соңы сфералы дөңгелектен тұрады да айналым механизімі иіңтірекпен қосылады.

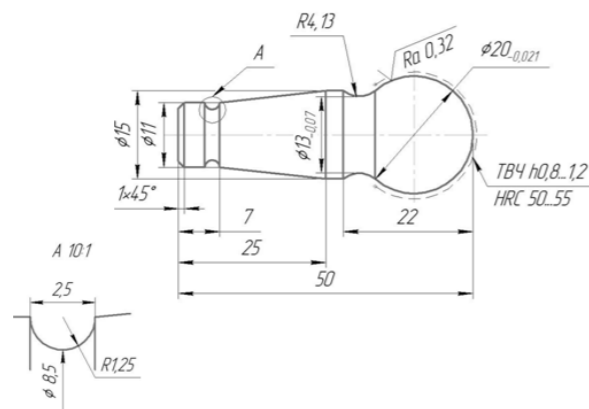
Дөңгелек тірек торабының құрылымы өте берік, егер оны жақсылап дұрыс күтетін болса төзімділігі жоғары болады. Тетіктің жұмысы жақсы жүруі үшін міндетті түрде майлап отыру қажет. Егер қажетінше майламасы шар тозуға ұшырайды, оны көліктің жүрісі кезінде түрлі дыбыстардың шығуынан естуге болады.

Техникалық талаптар:

- 1 R1 дөңгелектену радиустары көрсетілмеген;
- 2 300 бұрыштары көрсетілмеген;
- 3 Цементтеу Ø20 h2, қалған беттерді цементтеуге рұқсат етіледі;
- 4 H14, h14±IT14/2.

Берілген дайын тетік сызбасы төменде келтірілген (1-сурет).





Сурет 1 – Дөңгелек тірек тетігінің сызбасы

Тетіктің басқару бағдарламасын құрастырар алдында граф өңдеуін құрастыру қажет. Граф өңдеу нүктеде білдектің жұмыс мәрімі өз қозғалысының бағытын не жылдамдығын өзгертеді. Графтың қыры ол жалпы түрде бір қисық сызық, осы сызық дайындаманы өндегенде кесу құралдың ұшының қозғалу жолындағы геометриялық нүктелерінен пайда болады.

Өңдеу жолды оңтайлы ету, қашықтықты анықтау күрделі техника және экономикалы есеп болады. Осы есеппен тығыз байланысты бағдарламаның ұзындығын азайту, бағдарламаның өлшемін минимизациялау, әрине олар графтың ұштарының және қырларының санымен байланысты. Әрине басқару бағдарламаның өлшемі азайса, онда бағдарламаның жасау еңбек сыйымдылығы және оны сандық бағдарламамен басқарылатын құрылғының жадына енгізу еңбек сыйымдылығы да азаяды [6].

Өндеуді бастар алдында білдекті қосу, құралды таңдау, есептің есептелу басын орнату қажет.

Қарастырып отырған сызба бойынша жасалған бағдарлама:

- N001 M02 T1 S900
- N002 G00 x10.0 z3.0
- N003 G01 F25 z0.0
- N004 x20.0 z-5.0
- N005 G00 z3.0
- N006 G00 x0.0
- N007 G01 F15 z0.0
- N008 G02 F12 x20.0 z-10.0 R10.0
- N009 G02 x13.0 z-16.61 R10.0
- N010 G03 F20 z-22.0 x15.0 R4.13
- N011 G01 F25 z-25.0
- N012 x11.0 z-43.0
- N013 z-43.87 x10.0
- N014 z-44.38
- N015 z-45.75 x11.0

- N016 z-50.0
- N017 G00 x25.0
- N018 G00 z50.0
- N019 M00
- N020 M30

«Дөңгелек тірек» тетігін өңдеу кезінде тетікті орнату мен шешуіне дейін, толықтай кеткен операция саны N – 20 болды, T – кескіш, I кескіш қолдандық, G дайындық функциясы, x, z – өсімшеде немесе абсолютты өлшемдердегі x және z осьтері бойынша геометриялық мәліметтер, ал кесу жылдамдығы 900 м/мин. M – бағдарламаны орындауды тоқтатату [7].

Бағдарлама жасалғаннан кейін, СББ білдектерінің операторы білдектерге өңделетін дайындамаларды және аспаптарды жалғайды, салыстырып дұрыстайды, орнатады, жұмыс тәртібін жасайды және механизмдермен және электрқұрылғыларымен басқарады, білдектердің жұмысын және технологиялық үрдістің қалыпты ағымын бақылайды. Білдектердің тоқтаусыз жұмысын қамтамасыз етеді, профилактикалық шараларды жүзеге асырады. Жұмыстың барысында өнімнің сапасын қадағалайды, арнайы өлшеуіш құралдарымен дәл өлшемдерді жасайды, дайындайтын бөлшектерді бақылауды жүзеге асырады.

#### Жону білдегінде тетікті өңдеу

Әмбебап металл кескіш білдегінде, дайындаманы өндеуді қолмен басқаруда, жұмысшы тетіктің бастапқы мәліметтерін сызбадан қарап, білдектің басқару мәрімдеріне әсер етуіне сәйкес дайындаманы өндеудің алгоритмін (операция реті) және құралдың орын ауыстыру (сызбадан) өлшемдерін құрастырады. Өндеу үрдісі кезінде жұмысшы тетіктің шыққан өлшемдерін өлшеп отырады және құралдың орын ауыстыру өлшемдеріне түзетулерді тетіктің нақты өлшемдерін алу мақсатында енгізеді. Тетікті өндеген уақытта жұмысшының шаршауы, сыртқы әсерден оның назарының ауытқуы, көңіл – күйдің оң немесе теріс болуы, өндеу уақытында өлшемді ескеріп отыру, қолдың қозғалысы координациясының уақытылы бұзылуы, осы салдардың себебінен жұмыстағы қателіктердің болуы, қолмен басқарылған уақытта, өңделетін бір беттен екінші бетке ауысуы дәлдік өлшемді қамтамасыз ету жұмысшыға байланысты келеді. Тетікті өндеу жауапты жұмыс, материалдардың техникалық жетістіктеріне жету үшін, тұрақты бақылауда ұстау, жеке құрылым элементтерімен қоса, сонымен қатар қосымша көрсеткіштерді да бақылауда ұстау қажет [8].

Жоғарыда аталған «Дөңгелек тірек» тетігін әмбебап білдекте өндеуін жүргіземіз. Өндеудің технологиялық үрдісі 5 операциядан тұрады. Дайындаманың диаметрі Ø22 мм, ал ұзындығы 55 мм-ге тең.

Жүргізілетін операциялар: жону бұрама кесу, шарды таза жону, радиусы, бунақты жону; термиялық өңдеу, дөңгелекті шынықтыру, конусты бетті ажарлау, сфера ажарлау. Қолданылатын білдектер: жону – бұрама кескіш білдегі мод. 16K20, ажарлау білдегі мод. 3M151, дөңгелек ажарлау білдегі мод. ЛЗ-190АС. Айлабұйым: өздігінен центрленетін қысқы МЕСТ 2675-80, индуктор. Кескіш құралдар: тілімдейтін кескіш МЕСТ 18880-73 Т5K10, өтпелі табанды кескіш

МЕСТ 18879-73 Т5К10, өтпелі түзу кескіш МЕСТ 18878-73 Т15К6, дөңгелекті ажарлағыш МЕСТ 17123-79. Өлшегіш құралдар: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 МЕСТ 166-80, арнайы құймаулігі, қаттылық-өлшегіш ТЭМП-4, кедір-бұдырлық үлгісі МЕСТ 9378-93.

Соңғы операциясы бақылау үстелінде жүргізіледі: 1 суреттегі көрсетілген тетіктің сызбасына байланысты өлшемдерді, техникалық талаптарды және беттердің кедір-бұдырлығын тексеру.

Әмбебап білдекте тетікті өңдеу бір жону операциясында екі рет орнатады, сондағы бір жону операциясының уақыттын есептесек  $T_{шт} = 5,6$  мин. тең. Ал дәл осы тетікті бір рет жонып өту арқылы СББ білдегінде өндеген уақытта  $T_{шт} = 1,4$  мин. тең келеді.

СББ білдектері қарапайым білдектерге қарағанда қолдану жағынан өте қымбат келеді, бірақта өңдеу сапасы мен уақытты үнемдеу жағынан, сонымен қатар көп партиялы тетіктерді бірегей етіп жасау жағынан ұтысты келеді. СББ білдектерді сапалы қолдану жағынан қажетті:

- бағдарламаны басқаруды сонымен бірге қарапайым бағдарламаларды жасаудың еңбек өнімділігі азаяды;
- тетікті компьютер арқылы басқару;
- нақты және технологиялық талдау жасау;
- СББ білдектері үшін тетіктерді тиянақты таңдау;
- білдектің орындаушы мәрімдері үшін бос жүрістер мен жұмыс жүрістеріне кететін уақыттың минималдығы;
- кесу режимдерінің тиімділігі;
- дайындаманы өндеген де әдіптің азаюы;
- тетікті өндеудің тиімді технологиялық үрдісін жасау;
- технологиялық ауытқуларға максималды зейін қою мүмкіндігі [9].

Едәуір қымбат жабдықтарды енгізер алдында, ғылыми-техникалық әзірлемелерді, кескіш құрал мен қосымша құралды таңдау, білдектің жаңа технологиялық мүмкіншілігін қатаң қадағалап, білдектің модельін және өнделетін негізгі бөліктер құрылымын таңдап алған жөн.

#### ҚОРЫТЫНДЫ

Жоғарыда аталғандардың барлығы жабдық жұмысының білдектің бағасын төмендетіп, өндеудің өнімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді. Басқару бағдарламасын дайындау цикілінің ұзақтығын азайту және технолгиялық дайындығы мен бағдарламалау, дайындау, бақылау үрдістерін автоматтандыруға жеткізу. ЭЕМ-де басқару СББ білдектерінде тетікті өндеудің және технологиялық сұрақтарды сауатты шешу қажет. Қызмет көрсетуші қызметкерлердің жоғары білікті болуы – СББ білдектерінің тиімді қолдану жолдарын жоғарылатады [10].

«Дөңгелек тірек» тетігін екі білдекте өндеуге әмбебап жону білдегінде технологиялық үрдіс жасаймыз да, СББ білдегінде бағдарламасын жасап, өндеуге кеткен уақытты салыстырамыз.

Металл кескіш білдегінде 16К20 моделі «Дөңгелек тірек» тетігін өндеуге кеткен уақыт  $T_{нет} = 10$  мин., ал СББ білдегінде сол уақыт  $T_{нет} = 6$  мин. тең. Негізінен алғанда СББ білдегі бағасы жағынан қымбаттау болса да, өндеу уақыты жағынан тиімді, сонымен қатар өзіндік құнын аз уақыт арасында ақтап шығады.

Дөңгелек тіректі өндеудің екі нұсқасын әмбебап білдек моделі 16К20 мен СББ білдек ВНС 3040 моделін салыстыра отырып, келесі қорытындыларды жасауға болады:

1 Салыстыру жүргізген білдектердің СББ білдегінде кескіш құралдарын тез арада алмасуы, сонымен қатар тозу байқалғанда, жұмыс үрдісін тоқтатпай кескіштегі пластиналарды ауыстыру мүмкіндігі. Осы жағдайда, уақыт үнемделеді.

2 Қазіргі заман талабына сай тетікті тез арада өндеу. СББ білдегін қолдану тиімділігін қарастыру арқылы, тетікті өндеу уақытының аз болуы. Біздің жағдайда, әмбебап білдекте өнделген тетіктің уақыты 10 мин. тең. Ал, озық технологиясы бар СББ білдегінде өндеу 6 минутқа тең, қорытындысында 4 минут үнемделінеді.

3 Экономикалық тиімділігі жағынан «Дөңгелек тірек» тетігін СББ білдегінде өндегендегі экономикалық әсері 272847 теңгені құрады.

Осының есебінен СББ білдегінде өнделген тетіктің уақыты үнемделінеді, сонымен қатар бір рет орнату арқылы, дәлдікке жете аламыз.

Магистрлік диссертация аясында СББ білдегінде басқару бағдарламасын жасау арқылы күрделі құрастырылымды тетікті өндеу мүмкіншіліктері зерттелді.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Сосонкин, В. Л.** Программное управление технологическим оборудованием. – М. : Машиностроение, 2005. – 296 б.
- 2 Современные системы ЧПУ : их эксплуатация : учебное пособие / М. А. Босинзон. М. – : Академия, 2009. – 192 с.
- 3 **Чуваков, А. Б.** Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ. Производственное оборудование и основы программирования операций. – Л. : Машиностроение, 2011. – 279 б.
- 4 Разработка управляющих программ для станков с числовым программным управлением : учебно-методическое пособие / И. А. Шумейко, А. А. Ткачук. Павлодар: Кереку, 2016. – 138 с.
- 5 **Фельдштейн, Е. Э.** Обработка деталей на станках с ЧПУ. – М. : Машиностроение, 2008. – 224 б.
- 6 **Зазерский, Е. И.** Технология обработки деталей на станках с программным управлением – М. : Машиностроение, 2006 – 237 б.
- 7 **Гжиров, Р. И.** Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р. И. Гжиров. – СПб : Политехника, 2000. – 588 б.
- 8 **Сергель, Н. Н.** Металлорежущие станки: Курс лекций / Н. Н. Сергель. – Барановичи : БарГУ, 2006. – 360 б.
- 9 **Андреев, Г. И.** Работа на станках с ЧПУ. Система ЧПУ FANUC / Г. И. Андреев, Д. Ю. Кряжев. – СПб. : Взлет, 2007. – 84 с.

10 **Евгеньев, Г. Б.** Основы программирования обработки деталей на станках с ЧПУ. – М. : Машиностроение, 2004. – 287 с.

Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*Ж. М. Ыксан<sup>1</sup>, А. Е. Кенжебекова<sup>2</sup>*

**Эффективность применения станков с числовым программным управлением**

<sup>1,2</sup>Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова,

г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*Zh. M. Yksan<sup>1</sup>, A. Y. Kenzhebekova<sup>2</sup>*

**Effectiveness of application of machine tools with CNC**

<sup>1,2</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 14.02.18.

*Анализируя современное состояние машиностроительной отрасли в связи с требованиями, обслуживание станков с ЧПУ и технологических возможностей, доказана, что эффективность с точки зрения времени обработки.*

*Внешний вид механизма воздействия рабочего времени оператора станков с числовым программным управлением станки время обработки более сложных чем текущие и потенциальные возможности повышения продуктивности работы. За счет внедрения механизма эффективного управления программой, приведены методы обработки дополнительные параметры к коду времени.*

*Analyzing the current state of the machine-building industry in connection with the requirements, the maintenance of CNC machines and technological capabilities, it is proved that it is effective in terms of processing time.*

*The appearance of the mechanism of the impact of the operator's working hours with CNC machine tools processing time is more complex than the current and potential opportunities to increase productivity. Due to the introduction of the effective program management mechanism, the methods for processing additional parameters to the time code are given.*

ГРНТИ 55.35.43

**Ж. М. Ыксан<sup>1</sup>, Г. А. Усенова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>магистрант, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>ixan\_0180@mail.ru; <sup>2</sup>ussenova28g84@mail.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ**

*Исследуется метод дробеструйного упрочнения резьбовых соединений насосно-компрессорных труб как способ повышения их эксплуатационного ресурса. Кроме этого, отмечаются широкие технологические возможности дробеструйной обработки, высокая производительность, а также возможность автоматизации обработки при выполнении отделочно-упрочняющих и зачистных операций.*

*Исследована технология дробеструйного упрочнения резьбовой части НКТ, проведено исследование свойств нанесённого покрытия, и выявлены закономерности влияния параметров дробеструйного упрочнения на свойства наносимого покрытия.*

*Исследования показали получение заданных конструктивных параметров резьбы в процессе упрочнения, повышение микротвёрдости поверхности резьбовых соединений, а также зависимость коррозионной стойкости, прочности сцепления и использования материала от шероховатости. В результате исследования установлены их оптимальные параметры, что позволило рекомендовать наиболее рациональные режимы подготовки поверхностей стальных изделий дробеструйной обработкой.*

*Результаты исследований позволяют повысить ресурс и надёжность, снизить трудоёмкость изготовления и восстановления НКТ путем упрочнения резьбовой части методом дробеструйной обработки.*

*Ключевые слова: насосно-компрессорные трубы, резьбовое соединение, адгезионное схватывание, дробеструйное упрочнение.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Основной составляющей любого добывающего оборудования для нефтяных скважин, трубо- и газопроводов, а также для осуществления ремонтных и спуско-подъёмных работ являются насосно-компрессорные трубы [1, с. 58].

Резьбовое соединение «резьба ниппеля трубы – резьба муфты» в процессе эксплуатации подвергается коррозионно-агрессивному воздействию и одновременно значительным механическим нагрузкам, циклическому изгибу и кручению, абразивному износу, приводящие к ухудшению уплотнительных свойств резьбового соединения (нарушение герметичности, уменьшение натяга) и, как следствие, к преждевременному выводу трубопроводной системы из эксплуатации, что сопровождается значительными временными потерями и финансовыми издержками [2, с. 4].

В зависимости от условий эксплуатации НКТ ресурс работы и надёжность резьбового соединения «резьба ниппеля – резьба муфты» различна. Так, например, резьбовое соединение «труба – муфта» стальной насосно-компрессорной трубы

(НКТ) выдерживает в среднем пять – шесть спускоподъёмных операций, затем герметичность резьбового соединения нарушается и насосно-компрессорную трубу необходимо выводить из эксплуатации [2, с. 4].

Другой проблемой при эксплуатации насосно-компрессорной трубы, является обрыв НКТ по резьбе или зоне сбегу резьбы ниппеля НКТ. С целью увеличения ресурса работы и повышения надёжности в эксплуатации резьбового соединения «резьба ниппеля трубы – резьба муфты» необходимо произвести улучшение механических свойств трубной стали в зоне ниппеля НКТ.

В этой связи, широкие технологические возможности дробеструйного упрочнения, высокая производительность, а также возможность автоматизации обработки деталей сложной конфигурации при выполнении отделочно-упрочняющих операций ставят её в число наиболее распространённых методов обработки деталей [2, с. 4].

Наибольший интерес в области обработки деталей дробью представляют работы Саверина М. М., Петросова В. В., Рыковского Б. П., Смирнова В. А., Щетинина Т. М. [3, с.10].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основной составляющей любого добывающего оборудования для нефтяных скважин, трубо- и газопроводов, а также для осуществления ремонтных и спускоподъёмных операций являются насосно-компрессорные трубы [4, с. 41].

Одной из основных и самой дорогостоящей по устранению при эксплуатации НКТ, является проблема обрыва колонны (резьбового соединения трубы с муфтой). В большинстве случаев обрыв происходит при разрушении резьбового соединения [4, с. 42].

Однако проектирование технологических процессов обработки дробью затруднено из-за отсутствия теоретических зависимостей для определения шероховатости обработанной поверхности. Недостаточно полно проработаны вопросы формирования степени и глубины упрочнения поверхностного слоя обработанных деталей, не разработана аналитическая методика расчёта технологических параметров процесса обработки дробью для обеспечения требуемого качества изделий [5, с. 40].

При дробеструйной обработке на поверхность детали из специальных дробемётов направляется поток стальной или чугунной дроби малого диаметра (0,5–1,5мм). Удары концентрируются на весьма малых поверхностях, поэтому возникают очень большие местные давления. В результате повышается твёрдость и износостойкость обработанной поверхности. Кроме того, сглаживаются мелкие поверхностные дефекты. Глубина упрочнённого слоя при дробеструйной обработке составляет около 0,7 мм [6, с. 4].

Пластическое деформирование поверхности детали при отделочно-упрочняющей обработке дробью происходит при многократном взаимодействии с ней дроби. Образуются единичные лунки с поперечной шероховатостью, зависящие

от параметров исходного профиля. Микрорельеф поверхности образуется путём наложения и пересечения единичных следов (в соответствии с рисунком 1).



Рисунок 1 – Образование профиля установившейся шероховатости

В данном исследовании были экспериментально изучены влияние дробеструйного упрочнения поверхности резьбового соединения на шероховатость, микротвёрдость, геометрические параметры, а также определена взаимосвязь шероховатости с прочностью сцепления и газопроницаемостью.

1 При исследовании установившейся шероховатости в качестве абразива применялась чугунная дробь с размером частиц 0,5–1,5 мм, диаметр выходного сопла пистолета камеры струйно-абразивной обработки составлял 6,5–7,5 мм, расход воздуха – около 40 м<sup>3</sup>/ч. Расход абразивных частиц оценивался по изменению их объема за единицу времени и контролировался весовым методом (при этом исключалось попадание отработанного абразива обратно). Обработке подвергались образцы из стали 32Г2 для измерения прочности сцепления покрытий на отрыв штифтовым методом.

Шероховатость оценивалась параметрами Ra, Rmax, tr при помощи профилографа – профилометра модели «Talusurf-4». Параметры S (средний шаг местных выступов профиля), Sm (средний шаг неровностей профиля) определялись по профилограммам поверхности.

Анализ параметров шероховатости поверхности после струйно-абразивной обработки показал, что формируемая поверхность имеет хорошо развитый микрорельеф, характеризуемый достаточно большими высотными параметрами, средними значениями шаговых параметров, малыми радиусами впадин и выступов и достаточно большими углами наклона боковой стороны профиля. Все это обеспечивает надёжное сцепление напылённого слоя с основой.

2 Также было оценено влияние расстояния от среза сопла пистолета на диаметр пятна обработки и удельную энергию потока частиц корунда. Установлено, что диаметр пятна обработки поверхности практически линейно возрастает от 10 мм на дистанции 25 мм до 30 мм на дистанции 90 мм.

Дальнейшее повышение дистанции несколько снижает размер пятна, хотя из геометрических соображений конус распыла не должен изменяться. По всей вероятности, падает эффективность обработки и постепенно исчезает чётко выраженный светло-серый цвет пятна, свидетельствующий о качестве подготовки



поверхности. Величина удельной энергии потока частиц не пропорционально уменьшается с ростом дистанции, что обусловлено сложным характером изменения скорости полета частиц абразива по длине потока.

Изучение адгезии покрытий, напылённых на поверхность образцов, подготовленных с различной удельной энергией потока частиц, показало что максимальные значения прочности сцепления обеспечиваются после подготовки поверхности струей корунда с удельной энергией потока 70–150 кДж/кв.см, которая достигается на дистанции 50–80 мм. Большие величины 170–350 кДж/кв.см соответствуют меньшей дистанции обработки (менее 50 мм) [7, с. 20].

Для количественной оценки взаимосвязи шероховатости с прочностью сцепления и газопроницаемостью был проведен ряд экспериментов. Результаты проведенных исследований влияния шероховатости поверхности на параметры покрытия приведены на рисунках 2–4.

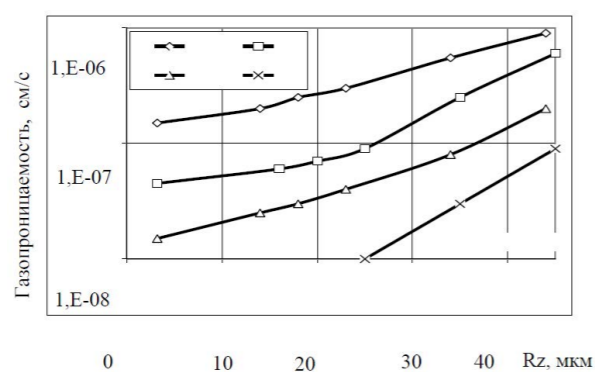


Рисунок 2 – Влияние шероховатости поверхности основы на газопроницаемость стальных покрытий:  
Толщина слоя: 1,2–0,15 мм, 3,4–0,20 мм;  
Дистанция напыления: 1,3–150 мм

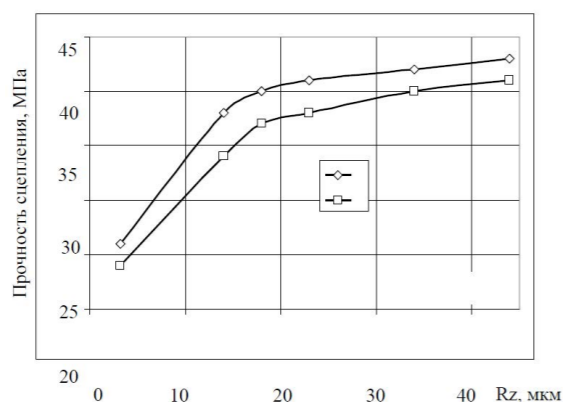


Рисунок 3 – Влияние шероховатости поверхности основы на прочность сцепления стальных покрытий:  
Толщина слоя 0,15 мм; дистанция напыления: 1–150 мм: 2–100 мм

Анализ этих результатов показывает, что коррозионная стойкость покрытия с ростом шероховатости поверхности снижается вследствие увеличения его газопроницаемости (рисунок 2). Увеличение высоты микронеровностей поверхности основы до Rz40 приводит к росту прочности сцепления, дальнейшее повышение шероховатости заметного влияния на этот параметр не оказывает (рисунок 3). Характер зависимости и значение величины осц соответствуют данным Ю. А. Харламова и Ю. С. Борисова для плазменного напыления, что говорит об аналогичном качестве плазменного напыления и покрытий, полученных методом гиперзвуковой металлизации по этому параметру. Коэффициент использования материала растет с увеличением шероховатости до Rz40. В дальнейшем идёт его некоторое снижение (рисунок 4) [7, с. 22].

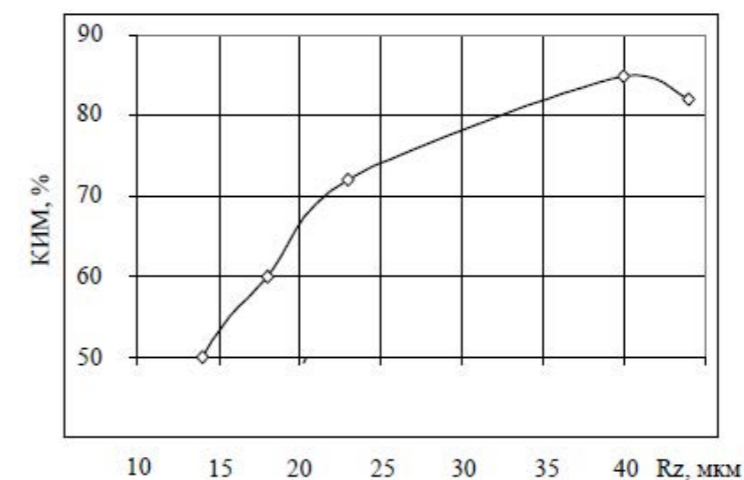


Рисунок 4 – Влияние шероховатости поверхности основы на коэффициент использования стали:  
Толщина слоя – 0,15 мм; дистанция напыления – 150 мм

Из приведённых данных видно, что рациональное сочетание параметров покрытий из легированной стали – газопроницаемости, прочности сцепления, КИМ – достигается при шероховатости поверхности Rz = (30–35) мкм.

3 Экспериментальные исследования микротвёрдости при отделочно-упрочняющей обработке дробью проводились в лаборатории на трёх образцах резьбовой части трубы Ø73,02\*5,51 мм, изготовленных по API 5CT тип прочности № 80.

Измерение микротвёрдости образцов производилось по сечению микрошлифов на микротвёрдомере модели LECO 247AT при нагрузке 1000 грамм с автоматическим пересчётом в единицы по Роквеллу. Твёрдость материала резьбовой части труб представлена в таблице № 1.

Таблица 1 – Механические свойства материала резьбовой части труб по результатам исследования

Резьбовая часть труб	Твёрдость, HRC		
	№ 1	№ 2	№ 3
Поверхность витка	22,1–23,9	22,7–25,9	24–26,4
Середина витка	22,7–24,1	24,5–24,6	23,4–24,9
По телу трубы	21,2–23,4	23–23,7	24–24,8
тах на глубине до 0,02 мм	19,7–22,3	23,1–30,3	32,4

По результатам металлографического исследования было установлено, что микроструктура образцов труб представляет собой сорбит отпуска. С поверхности резьбы образца трубы № 3 наблюдается незначительное изменение травимости в виде светлого контура на глубину до 0,015 мм. С поверхности резьбы образцов труб № 1 и 2 изменений структуры не наблюдается.

Таким образом, на поверхности резьбы исследуемых образцов труб № 3 наблюдается упрочнение (на 7-8 HRC) по контуру на глубину до 0,02 мм.

4 Исследование геометрических параметров резьбы выполнялось на экспериментальных образцах резьбовой части трубы Ø73,02\*5,51 мм, изготовленных по API 5CT тип прочности № 80 с использованием следующего оборудования и инструментов:

- шагомер «Solesa» 5600;
- профилометр для измерения высоты профиля резьбы «Solesa» 5650;
- профилометр для внутренней резьбы ПМ 2-100;
- универсальный микроскоп УИМ-21;
- конусомер 5701 для наружной резьбы;
- конусомер 5711-21 для внутренней резьбы.

Согласно полученным данным, геометрические параметры резьбовой части НКТ незначительно отличаются от показателей до проведения эксперимента, что подтверждает предположение об отсутствии влияния дробеструйного упрочнения на конструктивные параметры резьбы в процессе обработки (в соответствии с данными, приведенными в таблице 2).

Таблица 2 – Геометрические параметры профиля закруглённой треугольной резьбы соединений НКТ

Наименование параметра	Образец № 1	Образец № 2
Шаг резьбы P	2,54	2,55
H – высота исходного профиля	2.200	2.205
Высота профиля h1	1,412	1,411
h – рабочая высота профиля	1.336	1.335
a – угол профиля	60°	60°
a/2 – угол наклона стороны профиля	30°	30°

г – радиус закругления вершины профиля	0.432	0.431
г1 – радиус закругления впадины профиля	0.356	0.355
z – зазор	0.076	0.076
j – угол уклона	1° 47' 24''	1° 47' 24''
Угол профиля α	60°	60°
Конусность резьбы К	1:16	1:16

Контроль натяга резьбы труб и муфт для резьбовых соединений НКТ проводилось резьбовыми калибрами-кольцами и калибрами-пробками согласно ГОСТ 10654.

Натяг резьбы трубы, определяемый как расстояние между плоскостью торца трубы и измерительной плоскостью резьбового калибра-кольца, равен 2,5 мм, что соответствует требованиям ГОСТ 53365.

Кроме контроля геометрических параметров резьбы, был произведён визуальный контроль. По результатам визуального контроля:

- на контролируемых образцах резьба не имеет видимых несовершенств (царапины, риски, забоины, заусенцы), нарушающих ее непрерывность, в пределах длины резьбы с полным профилем;
- на резьбовых поверхностях не имеются продукты коррозии;
- поверхность уплотнений не имеет дефектов, которые могли бы вызвать повреждение сопряжённой поверхности при затяжке.

5 На основании опытных данных разработаны рекомендации по режимам дробеструйной обработки стальной поверхности перед напылением покрытий на комплексе автоматической дробеструйной обработки BML-120LT (таблица 3).

Таблица 3 – Рекомендуемые режимы обработки стальной поверхности при нанесении стальных покрытий

Режимы дробеструйной обработки	Значения
Размер абразива, кг/с	0,05–0,07
Размер абразивных частиц, $\times 10^3$ , м	1,6–1,8
Дистанция обдува, $\times 10^3$ , м	80–100
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /с	0,08–0,1
Давление воздуха, МПа	0,5–0,6

На комплексе автоматической дробеструйной обработки BML-120LT выполняется дробеструйная обработка резьбовой поверхности nipple-конца трубы, премиальных соединений дробью, с целью упрочнения резьбы и избегания коррозионного истирания деталей.

Обработка проводится на резьбовой поверхности nipple-концов насосно-компрессорных труб на участке чистовых линий финишной отделки труб С5 в соответствии с указанными требованиями установки (таблица 4).

Таблица 4 – Технические характеристики и требования установки

Наименование	Показатель
Диаметр обрабатываемых изделий	от 60 до 177,8 мм
Длина наружной обработки резьбового соединения трубы	300 мм
Время обработки резьбы	от 20 до 120 секунд
Количество рабочих мест	1 оператор
Тип используемого абразива	круглая дробь до 1 мм
Материал дроби	стекло, керамика или нержавеющая сталь диаметром от 0,2 до 0,4 мм
Необходимое давление	6–8 бар, объемом 4,6 м <sup>3</sup> /мин

Обработанная поверхность должна проходить проверку 4 раза в смену. Контроль натяга резьбы ниппельного конца трубы проверяется с помощью калибра-кольца. Обработка поверхности может быть проверена визуально сравнением с пластиной чистой поверхности, или любым инструментом, способным произвести проверку чистой поверхности, например Профилетром.

6 Проведённый расчёт технико-экономической эффективности внедрения дробеструйного упрочнения показал, что технологическая себестоимость 1 тонны упрочнённой трубной продукции увеличится всего на 2000 тенге (в соответствии с таблицей 5). Данный факт говорит о высокой технико-экономической эффективности проекта.

Таблица 5 – Расчёт себестоимости за 1 тонну упрочненной трубной продукции дробеструйной обработкой

Диаметр	Толщина стенки	Себестоимость дробеструя	Себестоимость трубы Р-110	Себестоимость с учетом дробеструя Р-110
60,32	6,45	2 128,14	207 071,87	209 200,01
60,32	7,49	2 097,84	204 751,63	206 849,47
60,32	8,53	1 962,26	196 218,52	198 180,77
73,02	7,01	1 947,95	200 698,93	202 646,88

#### ВЫВОДЫ

В статье представлена технология дробеструйного упрочнения резьбовой части НКТ, проведены исследование свойств нанесённого покрытия, выявлены закономерности влияния параметров дробеструйного упрочнения на свойства наносимого покрытия.

По результатам экспериментального исследования образцов резьбовой части трубы Ø73,02\*5,51 мм, изготовленных по API 5CT тип прочности № 80 на дробеструйной установке BML-120LT в условиях ПФ ТОО «KSP Steel» необходимо отметить следующее:

– значение среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости Ra составило 2,0 мкм, что свидетельствует о снижении шероховатости поверхности и увеличении антикоррозийной стойкости поверхности резьбы;

– соответствие геометрических параметров, что подтверждает отсутствие влияния дробеструйного упрочнения на заданные конструктивные параметры;

– на поверхности резьбы исследуемых образцов труб после дробеструйной обработки наблюдается упрочнение (на 7–8 HRC) по контуру на глубину до 0,02 мм, в то время как с поверхности резьбы образцов труб до обработки изменений структуры не наблюдается;

– улучшение механических свойств резьбовой части позволяет увеличить число «свинчиваний-развинчиваний» до 10 циклов (против 5–6 циклов без упрочнения);

– зависимость коррозионной стойкости, прочности сцепления и использования материала от шероховатости, установлены их оптимальные параметры, что позволило рекомендовать наиболее рациональные режимы подготовки поверхностей стальных изделий дробеструйной обработкой;

– технологическая себестоимость дробеструйного упрочнения одной резьбы ниппеля НКТ в автоматическом режиме не превышает 2 % от стоимости НКТ;

– дробеструйная установка имеет небольшие массогабаритные, энергетические показатели, которые позволяют достаточно легко интегрировать оборудование в технологические линии инфраструктур трубных заводов и производственных предприятий.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ергешбаева, Г. Д.** Обзор рынка стальных труб в Казахстане. Электронный журнал о Казахстане и Евразийской Экономической интеграции / Алматы, 2016. – С. 57–67.

2 **Песин, М. В.** Повышение надёжности резьбовых соединений нефтегазовых изделий / М. В. Песин // Технология машиностроения – М., 2011. – № 9.

3 **Лебеденко, В. Г.** Повышение эффективности обработки деталей дробью и улучшение условий труда операторов / В. Г. Лебеденко // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2009. – 156 с.

4 **Прокофьев, А. А.** Технологическое повышение коррозионной стойкости резьб насосно-компрессорных труб / А. А. Прокофьев. – М. : Машиностроение, 2013. – № 2 (20). – С. 39–43.

5 **Сароян, А. Е.** Эксплуатация колонн НКТ / А. Е. Сароян, М. А. Субботин. – М. : Недра, 1985. – 216 с.

6 **Галеев, И. М.** Повышение износостойкости резьбовых соединений насосно-компрессорных труб: Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций / И. М. Галеев, Е. Д. Бланк, В. Н. Слепнев, М. И. Анисимов // Материалы 5-й

Международной практической конференции-выставки. – Изд. : СПбГПУ, 2003; Харламов, Ю. А., Борисов, Ю. С. Влияние микрорельефа поверхности на прочность сцепления с газотермическими покрытиями // Автоматическая сварка. – 2001. – № 6. – С. 19–26.

8 **Паннер, В. А.** Ремонт и контроль конической резьбы насосно-компрессорных труб, применяемых при добыче нефти / В. А. Паннер, С. А. Альжанов // Омский научный вестник. – 2013. – № 1 (117). – С. 99–101.

9 **Berezantseva, L. I.** Increased tightness, strength and durability of the threaded connections «pipe-coupling» = Повышение герметичности, прочности, долговечности резьбового соединения «труба-муфта» / L. I. Berezantseva, A. Zh. Kasenov, D. A. Iskakova // ПМУ хабаршысы=Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. – 2014. – № 4. – Р. 33–36.

10 **Тюфтяев, А. С.** Влияние плазменной обработки на износостойкость модифицированной поверхности / А. С. Тюфтяев, В. Б. Мордынский, М. Г. Фролова // Технология машиностроения. – 2016. – № 9. – С. 44–50.

11 **Волков, А. А.** Формирование заданной шероховатости поверхности и упрочнение деталей при выглаживании / Волков А. А., Кургузов С. А., Сидоренко В. В. // Кузн.-штамп. пр.-во. ОМД. – 2009. – С. 16–20. – С. 10.

Материал поступил в редакцию 14.02.18.

*Ж. М. Ықсан<sup>1</sup>, Г. А. Усенова<sup>2</sup>*

**Сорғы компрессорлық құбырлардың бұрандалы қосылыстарды бытыраағынымен өңдеуінің зерттеу процесі**

<sup>1,2</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.  
Материал баспаға 14.02.18 түсті.

*Zh. M. Yksan<sup>1</sup>, G. A. Ussenova<sup>2</sup>*

**Investigation of the blasting process of threaded connections of pump-compressor pipes**

<sup>1,2</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 14.02.18.

*Осы мақалада сорғы компрессорлық құбырлардың бұрандалық қосылыстарын бытыра ағынды беріктендіру олардың қызметету мерзімін ұзарту әдісі ретінде зерттеледі. Сонымен қатар, бытыра ағыны мен өңдеуінің кең технологиялық мүмкіндіктері, жоғары өнімділік, сондай-ақ автоматтандыру мүмкіндігі өңдеу кезінде әрлеу-бытырамен тазалайтын операциялар байқалады.*

*Мақалада құбырлардың бұрандалы бөліктерін бытыра ағынды беріктендіру технологиясы зерттелді, келтірілген жабу қасиеттері зерттеу жүргізілді және әсер ету параметрлерін бытыраағынды беріктендіру қасиеттері келтірілетін жабу заңдылықтары анықталды.*

*Зерттеулер бойынша берілген конструктивтік параметрлерді алуға, кесу процесінде*

*беріктендіру арттыру, микроқаттылық бетін бұрандалы қосылыстар, сондай-ақ коррозиялық тұрақтылығын, беріктігін ілінісу және пайдалану материал кедір-бұдыр бойынша тәуелділігін көрсетті. Зерттеу нәтижесінде, олардың оңтайлы параметрлері орнатылған, негүрлым үстіңгі болат бұйымдар-бытыра ағынымен дайындау тиімді режимін ұсынысуға мүмкіндік берді.*

*This article examines a method of shot peening threaded connections of pump-compressor pipes as a way to increase their service life. In addition, there is a high technological capabilities of the blasting, high performance, and the ability to automate the processing when the finishing-grinding and hardening operations.*

*In this article the technology of shot peening hardening of the threaded part of the tubing was investigated, the properties of the applied coating were studied, and the regularities of the influence of the parameters of shot-peening hardening on the properties of the applied coating were revealed.*

*Studies have shown obtaining design parameters of a specified thread in the process of hardening, the increase of microhardness of the surfaces of threaded connections and the dependence of corrosion resistance, adhesion strength and use of material from the surface roughness. The study determined optimal parameters, allowing to recommend the most rational modes of surface preparation for steel items by shot peening.*



**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ  
НАУЧНОГО ЖУРНАЛА ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА  
«НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

**Журнал «Наука и техника Казахстана»** издается Павлодарским государственным университетом имени С.Торайгырова с 2001 года и выходит 4 раза в год в конце каждого квартала.

В публикациях журнала рассматриваются результаты фундаментальных и прикладных исследований в области естественных и технических наук.

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».

**Представленные для опубликования материалы должны соответствовать следующим требованиям:**

– отражать современный уровень знаний по данной теме, квалифицированно излагать научно-технические вопросы, обладать сжатым и хорошим литературным изложением, иметь четко выполненные иллюстрации;

– текст должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word (97, 2003, 2007, 2010) на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон, шрифт Times New Roman, кегль – 12 пунктов, межстрочный интервал – полуторный, выравнивание по ширине, абзацный отступ – 10 мм;

– общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы, должен быть не менее 5 и не более 12 страниц печатного текста (**более 12 страниц по согласованию с редколлегией**).

Все статьи строятся следующим образом:

1 **ГРНТИ** (Государственный рубрикатор научной технической информации) (прописными буквами, *нежирным прямым шрифтом*);

2 Фамилия, имя, отчество автора(-ов) (*строчными буквами, курсивом, жирным шрифтом*);

3 **Ученая степень, ученое звание** (*строчными буквами, нежирным прямым шрифтом*);

4 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, область, страна, почтовый индекс) (*строчными буквами, нежирным прямым шрифтом*);

5 **E-mail** автора(-ов) (*строчными буквами, нежирным прямым шрифтом*);

6 **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, курсивом, жирным шрифтом, выравнивание по левому краю, на трех языках: казахский, русский, английский*);

7 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, новизны, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна быть информативной (не содержать общих слов типа «Настоящая статья», «В этой статье», а сразу писать: «Изложены, приведены, рассмотрены, даны методы решения ...»), оригинальной, содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований), структурированной (следовать логике описания результатов в статье) (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 100 слов, строчными буквами, курсивом, нежирным шрифтом, кегль 10 пунктов, абзацный отступ слева и справа – 10 мм*);

8 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования. Ключевые слова должны обеспечить наиболее полное раскрытие содержания статьи. Статья должна содержать не менее 6-8 ключевых слов в порядке их значимости, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3 (*оформляются на языке публикуемого материала, строчными буквами, курсивом, нежирным шрифтом, кегль 10 пунктов, абзацный отступ слева и справа – 10 мм*);

9 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

– слово ВВЕДЕНИЕ / KIPICPE / INTRODUCTION (*прописными буквами, нежирным шрифтом, выравнивание по центру*).

Необходимо отразить результаты предшествующих работ ученых, что им удалось, что требует дальнейшего изучения, какие есть альтернативы (если нет предшествующих работ – указать приоритеты или смежные исследования). Освещение библиографии позволит отгородиться от признаков заимствования и присвоения чужих трудов. Любое научное изыскание опирается на предыдущие (смежные) открытия ученых, поэтому обязательно ссылаться на источники, из которых берется информация. Также можно описать методы исследования, процедуры, оборудование, параметры измерения, и т.д. (*1-2 страницы*);

– слова ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ / НЕГІЗГІ БӨЛІМ / MAIN PART (*прописными буквами, нежирным шрифтом, выравнивание по центру*).

Это отражение процесса исследования или последовательность рассуждений, в результате которых получены теоретические выводы. В научно-практической статье описываются стадии и этапы экспериментов или опытов, промежуточные результаты и обоснование общего вывода в виде математического, физического или статистического объяснения. При необходимости можно изложить данные об опытах с отрицательным результатом. Затраченные усилия исключают проведение аналогичных испытаний в дальнейшем и сокращают путь для следующих ученых. Следует описать все виды и количество отрицательных результатов, условия их получения и методы его устранения при необходимости. Проводимые исследования предоставляются в наглядной форме, не только экспериментальные, но и теоретические. Это могут быть таблицы, схемы, графические модели, графики, диаграммы и т.п. (*не более 10 страниц*).

– слово ВЫВОДЫ / ҚОРЫТЫНДЫ / CONCLUSION (*прописными буквами, нежирным шрифтом, выравнивание по центру*).

Собираются тезисы основных достижений проведенного исследования. Они могут быть представлены как в письменной форме, так и в виде таблиц, графиков, чисел и статистических показателей, характеризующих основные выявленные закономерности. Выводы должны быть представлены без интерпретации авторами, что дает другим ученым возможность оценить качество самих данных, и позволит дать свою интерпретацию результатов (*не более 1 страницы*).

10 **Список использованных источников** включает в себя:

– слова СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ / REFERENCES (*прописными буквами, нежирным шрифтом, выравнивание по центру*).

Список цитируемой литературы включает в себя источники, содержащие материалы, которые автор использовал при написании статьи.

Список литературных источников должен отражать состояние научных исследований в разных странах в рассматриваемой проблемной области.

Ссылки должны быть доступны научной общественности, поэтому приветствуется наличие DOI публикаций.

Количество литературных ссылок в статье должно быть не менее 10-20 наименований, из них не менее 50 % – источники из международных баз цитирования (Clarivate analytics, Scopus, Springer, Thomson Reuters, РИНЦ и другие), доступные на сайте ПГУ ([www.library.psu.kz](http://www.library.psu.kz)).

Ссылки в тексте даются в квадратных скобках, например, [1] или [2-5]. Нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте.

Ссылки на авторефераты диссертаций, диссертации на соискание ученой степени допускаются при наличии их доступных электронных версий.

Ссылки на учебники, учебные пособия, монографии должны иметь подчиненное значение и составлять не более 10-15%, поскольку малодоступны широкой научной общественности.

Ссылки на неопубликованные работы недопустимы.

Самоцитирование не должно превышать 15-20 %.

Если работа была издана на нескольких языках, то лучше предоставлять ссылку на английский вариант.

11 **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи после соответствующих ссылок на них. 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). Буквы греческого алфавита набираются прямым шрифтом; буквы русского/казахского алфавита в формулах (в том числе в индексах) – прямым, латинского – курсивом.

**На отдельной странице (после статьи)**

В бумажном и электронном вариантах приводятся фамилия, имя, отчество автора (-ов), ученая степень и звание, место работы (учебы) и должность, название статьи, аннотация и ключевые слова на 3-х языках (казахском, русском, английском).

Также необходимо представить полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, факс, e-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

Информация для авторов

Все статьи должны сопровождаться двумя рецензиями (внешняя и внутренняя) независимых ученых по тематике статьи.

Одному автору разрешается не более 2 (двух) публикаций в одном номере журнала.

Количество авторов одной статьи не должно превышать 4-х человек.

Статьи на иностранном языке принимаются бесплатно.

Статьи публикуются по мере поступления.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

При необходимости статья возвращается автору на доработку. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и не возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально).

Статью (бумажная, электронная версии, оригиналы рецензии и квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@mail.ru

Стоимость публикации одной статьи для сторонних лиц составляет 5000 (пять тысяч) тенге и предусматривает предоставление только 1-го экземпляра журнала. Оплата за дополнительный экземпляр журнала составляет 2000 (две тысячи) тенге.

Стоимость публикации одной статьи для ППС, сотрудников и обучающихся ПГУ им. С.Торайгырова составляет 3000 (три тысячи) тенге.

Для иностранных авторов оплата эквивалентно курсу Национального банка Республики Казахстан на момент сдачи статьи.

**Наши реквизиты:**

РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654	РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654
АО «Цеснабанк» ИИК KZ57998FTB0000003310 БИК TSESKZKA КБЕ 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZKX КБЕ 16 Код 16 КНП 861

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ**

ГРНТИ 73.01.77; 73.39.31; 50.05.09

**В. В. Рындин<sup>1</sup>, Р. Н. Сиюнч<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н, профессор, кафедра «Механика и нефтегазовое дело», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008. Республика Казахстан;

<sup>2</sup>оператор по учёту сырья и готовой продукции, ТОО «УПНК-ПВ», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>rvladvit@yandex.kz; <sup>2</sup>upnk1@mail.ru.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЁТ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА В СИСТЕМЕ MATHCAD**

*Приведена программа расчёта магистрального нефтепровода в системе Mathcad, позволяющая автоматически строить QH-характеристики трубопроводов и перекачивающих станций, определять положение станций и рабочую точку системы, проводить исследование режимов ...*

*Продолжение аннотации*

*Ключевые слова: нефтепровод, расчёт, система Mathcad, профиль трассы, растановка станций, рабочая точка системы.*

**ВВЕДЕНИЕ**

При решении многих математических задач широко используется программирование в средах ...

Продолжение текста

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Mathcad – интегрированная математическая система, позволяющая наглядно вводить исходные данные, проводить математическое описание решения задачи в традиционном виде и получать результаты вычислений, как в аналитическом, так и в численном виде. Ниже приводится программа ...

Продолжение текста публикуемого материала

**ВЫВОДЫ**

Разработана программа расчёта магистрального нефтепровода в системе Mathcad, записываемая в традиционных математических символах, что ...

Продолжение текста

Пример оформления таблиц и рисунков:

Таблица 1 – Химический состав исходной хромовой руды, масс. %

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO
40	21	16	5	16	2

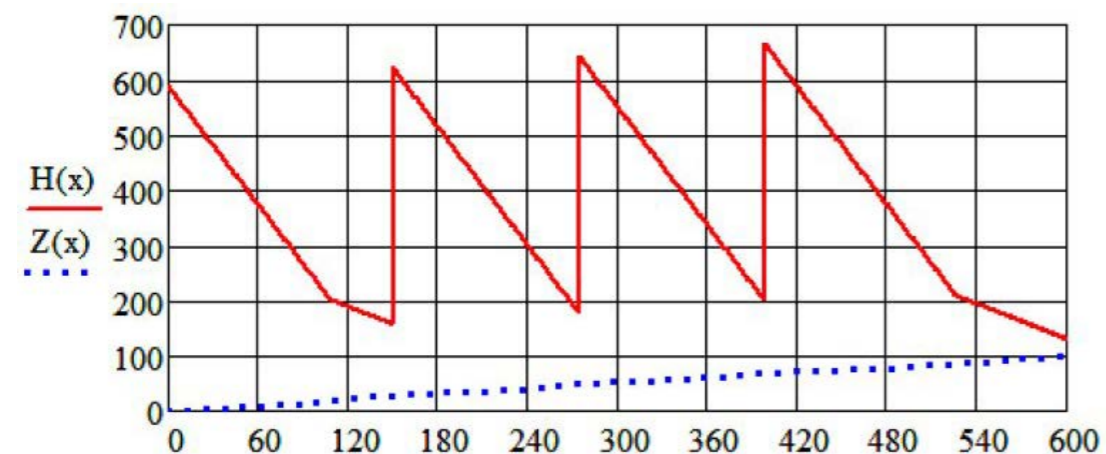


Рисунок 1 – Расстановка четырёх НПС на МН с двумя лупингами

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Макаров, Е. Г.** Инженерные расчёты в Mathcad 15. – СПб. : Питер, 2011. – 400 с. : ил.
- 2 **Макушев, Ю. П.** Интегральное и дифференциальное исчисления в приложении к технике : монография / Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, В. В. Рындин, Т. Т. Токтаганов. – Павлодар : Кереку, 2013. – 330 с. : ил.
- 3 Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах : учеб, пособие / Под общей редакцией Ю. Д. Земенкова. – СПб. : Недра, 2004. – 544 с. : ил.
- 4 **Долгов, И. А.** Тенденции развития конструкции моторно-трансмиссионных установок и сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 6. – С. 3-8.
- 5 **Ким, К. К., Шпилев, М. А.** Комплекс для выгрузки угля из полувагонов. / Статьи: информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22706030>.
- 6 **Бекенов, Т. Н.** Основы расчета опорно-цепных параметров самоходных колесных машин при обеспечении их проходимости: дисс. докт. техн. наук. – Алматы, 1998. – 308 с.

*В. В. Рындин<sup>1</sup>, Р. Н. Сионич<sup>2</sup>*

**Mathcad жүйесінде магистральдық мұнай құбырын зерттеу және есептеу**

<sup>1</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

<sup>2</sup>«УПНК-ПВ» ЖШС,  
Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.

*V. V. Ryndin<sup>1</sup>, R. N. Siunits<sup>2</sup>*

**Research and calculation of the main oil pipeline in mathcad**

<sup>1</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

<sup>2</sup>LLP «UPNK-PV»,  
Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

*Mathcad жүйесінде магистральдық мұнай құбыры бағдарламасының есептеуі келтіріліп, құбырлар мен қайта айдау станцияларының QH-сипаттамаларын автоматты түрде құруды, станцияның ережесі мен жұмыс нүктесін анықтауға, мұнай құбыры жұмысының режимдерін зерттеуге ...*

*Түйіндеменің жалғасы*

*The research presents a program for calculating the main pipeline in the system Mathcad, allowing you to automatically build a QH-characteristics of the pipelines and pumping stations to determine the position of stations and the operating point of the system, conduct a study of the modes ...*

*Continue annotation*

Теруге 14.02.2018 ж. жіберілді. Басуға 27.02.2018 ж. қол қойылды.  
Форматы 297\*420/2. Кітап-журнал қағазы.  
Шартты баспа табағы 7,3. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген А. А. Шукурбаева  
Корректор: А. Р. Омарова, К. Б. Жетписбай  
Тапсырыс № 3228

«КЕРЕКУ» баспасынан басылып шығарылған  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«КЕРЕКУ» баспасы  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69  
e-mail: kereku@psu.kz