

## МАЗМҰНЫ

<b>Асқаров Е. С.</b> Төменгі жетегінде орналасқан жұрықша-бұрандалы басқыш .....	5
<b>Бакиров А. Г., Жунусов А. К., Чекимбаев А. Ф., Шошай Ж.</b> Ферросиликоалюминийді балқыту үшін шикізұрам қоспаларының меншікті электр кедергісін зерттеу .....	14
<b>Волкова Л. Ю., Макушев Ю. П.</b> Дизельдерде отын беру үрдісін диагностикалау .....	19
<b>Жунусов А. К., Бектемиров К. А.</b> Анод күйдіру пешінің төсенішінің қызмет ету мерзімін ұзарту мүмкіндігін талдау .....	30
<b>Қанаев А. Т., Богомоллов А. В., Қанаев А. А.</b> Плазмалық орныққан доңғалақты болаттың беріктігі мен тозуға төімділігін арттыру .....	37
<b>Корниенко П. В., Туғумбаев Д. А., Ахметова У. Е., Атконова А. П.</b> Темірбетон құрылылымындағы бетон қондырғыларын жобалау кезінде жүйелі тәсілдемесі .....	45

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).

**Кызылбаева Э. Ж., Кадыров А. С.**  
Қосалқы бөлшектердің математикалық болжамдау модельдерін талдау ..... 56

**Макушев Ю. П., Полякова Т. А., Рындин В. В., Литвинов П. В.**  
Индикаторлық диаграммамен құрылған бензин қозғалтқышының жұмыс циклын есептеу тәсілдері ..... 63

**Мусина Ж. К., Итыбаева Г. Т., Касенов А. Ж., Абишева М. Ж.**  
Спиральді бұрғылардың қайрау әдістерін салыстыру ..... 82

**Рындин В. В., Абдуллина Г. Г., Абдуллин А. Т.**  
Магистральдық мұнай-газ құбырларын пассивті коррозиядан қорғау әдістерін талдау ..... 91

**Сапинов Р. В., Починок В. Ф., Починок А. В.**  
«Шығыс» ЕЭК АҚ көмір кешенінің энергетикалық тиімділігін энергетикалық аудит жүргізу арқылы арттыру ..... 101

**Ходжибергенов Д. Т., Шеров К. Т., Касенов А. Ж., Ходжибергенова У. Д.**  
Өндіріске жаңа енгізілген материалдарды өңдеу технологияларын таңдау мәселелері ..... 111

**Мерейтойлық даталар** ..... 118

Авторларға арналған ережелер ..... 120

№ 2 2018

# НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПАВЛОДАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА

Импакт-фактор  
РИНЦ – 0,011

КОРРЕКТОР:  
А. Р. Омарова,  
З. С. Исакова

ВЕРСТКА:  
А. А. Шукурбаева

© ПГУ им. С. Торайгырова

## СОДЕРЖАНИЕ

**Аскароев Е. С.**  
Кулачково-винтовой пресс с нижним расположением привода ..... 5

**Бакиров А. Г., Жунусов А. К., Чекимбаев А. Ф., Шошай Ж.**  
Исследование удельного электрического сопротивления шихтовых смесей для выплавки ферросиликоалюминия ..... 14

**Волкова Л. Ю., Макушев Ю. П.**  
Диагностирование процесса подачи топлива в дизелях ..... 19

**Жунусов А. К., Бектемиров К. А.**  
Анализ возможности продления срока службы огневых простенок печи обжига анодов ..... 30

**Канаев А. Т., Богомолов А. В., Канаев А. А.**  
Повышение износостойкости и прочности колесной стали плазменным упрочнением ..... 37

**Корниенко П. В., Тугумбаев Д. А., Ахметова У. Е., Атконова А. П.**  
Системный подход при проектировании бетона с требуемыми свойствами в железобетонных конструкциях ..... 45

**Кызылбаева Э. Ж., Кадыров А. С.**  
Анализ математических моделей прогнозирования запасных частей ..... 56

**Макушев Ю. П., Полякова Т. А., Рындин В. В., Литвинов П. В.**  
Способы расчета рабочего цикла бензинового двигателя с построением индикаторной диаграммы ..... 63

**Мусина Ж. К., Итыбаева Г. Т., Касенов А. Ж., Абишева М. Ж.**  
Сопоставление методов заточки спиральных сверл ..... 82

**Рындин В. В., Абдуллина Г. Г., Абдуллин А. Т.**  
Анализ пассивных методов защиты от коррозии магистральных нефтегазопроводов ..... 91

**Сапинов Р. В., Починок С. Ф., Починок А. В.**  
Повышение энергетической эффективности разреза «Восточный» АО «ЕК» путем проведения энергетического аудита ..... 101

**Ходжибергенов Д. Т., Шеров К. Т., Касенов А. Ж., Ходжибергенова У. Д.**  
Проблемы выбора технологии обработки новых внедренных материалов в производство ..... 111

**Юбилейные даты** ..... 118

Правила для авторов ..... 120

## CONTENTS

<b>Askarov E. S.</b> Cam-screw press with the lower arrangement of the drive .....	5
<b>Bakirov A. G., Zhunusov A. K., Chekemaev A. F., Shoshai Zh.</b> Research of charge mixture electrical resistance for ferrosilicon aluminum smelting .....	14
<b>Volkova L. Y., Makushev Y. P.</b> Diagnosis of fuel delivery process in diesel engines .....	19
<b>Zhunusov A. K., Bektemirov K. A.</b> Analysis of the possibility of extending the service life of the anode furnace lining.....	30
<b>Kanayev A. T., Bogomolov A. V., Kanayev A. A.</b> Increase of wear resistance and strength of wheel steel by plasma hardening.....	37
<b>Korniyenko P. V., Tugumbaev D. A., Akhmetova U. E., Atkonova A. P.</b> System approach to designing concrete with required properties in reinforced concrete structures .....	45
<b>Kyzylbaeva E. Zh., Kadirov A. S.</b> Analysis of the mathematical models of forecasting spare parts.....	56
<b>Makushev Y. P., Polyakova T. A., Ryndin V. V., Litvinov P. V.</b> The methods of calculating gasoline engine operating cycle with the construction of the indicator diagram.....	63
<b>Mussina Zh. K., Itybaeva G. T., Kasenov A. Zh., Abisheva M. Zh.</b> Comparison of twist drills sharpening methods.....	82
<b>Ryndin V. V., Abdullina G. G., Abdullin A. T.</b> Analysis of passive methods of protection from corrosion of main oil and gas pipelines .....	91
<b>Sapinov R. V., Pochinok S. F., Pochinok A. V.</b> Increase of energy efficiency of JSC «EEK» «Vostochny» open-pit coal mine by performing energy audit .....	101
<b>Hodzhbergenov D. T., Sherov K. T., Kasenov A. Zh., Hozhibergenova U. D.</b> Problems of the choice of technology for processing of new intensified materials in manufacture .....	111
<b>Anniversary dates .....</b>	118
Rules for authors .....	120

ГРНТИ 55.16.03

**Е. С. Аскароев**

к.т.н, профессор, кафедра «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения»,  
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева,  
г. Алматы, 050013, Республика Казахстан  
e-mail: erlan57@mail.ru

**КУЛАЧКОВО-ВИНТОВОЙ ПРЕСС С НИЖНИМ  
РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПРИВОДА**

*Рассмотрена оригинальная схема механического пресса нового типа – кулачково-винтовой. Предлагается схема с нижним расположением привода. Это позволит уменьшить высоту пресса в 2 раза, металлоемкость понизится на 20 %.*

*Ключевые слова: кривошипный пресс, кулачково-винтовой пресс с нижним приводом, штамповка.*

## ВВЕДЕНИЕ

Обработка металлов давлением занимает заметное место в машиностроении. Её эффективность в значительной мере зависит от оборудования – прессов. Более половины парка механических прессов в современном машиностроении занимают кривошипные прессы.

Рассмотрим кинематическую схему классического кривошипного пресса (рисунок – 1). Пресс состоит из вала – 1, на котором имеется кривошип – 2. На кривошипе – 2 шарнирно закреплен шатун – 3, на конце которого шарнирно закреплен ползун – 4, который имеет возможность перемещаться вертикально в направляющих станины – 8. Электромотор – 5 через ременную передачу – 6 вращает маховик – 7, который свободно проворачивается относительно вала – 1 в холостом режиме (пресс не работает). Для осуществления рабочего цикла работник нажимает педаль. В это время срабатывают две муфты. Кулачковая муфта замыкается перемещением подвижной полумуфты – 9 к полумуфте – 1 установленной на маховике – 7. Вал 1 начинает вращаться вместе с маховиком 7, фрикционная муфта – 11 в этот момент размыкается. Вал – 1 вращается, шатун – 3 двигается вначале вниз (рабочий ход – угол поворота 180°), затем вверх (холостой ход – угол поворота 180°). После полного поворота вала фрикционная муфта – 11 замыкается и останавливает вал – 1, полумуфты 9 и 10 размыкаются. Пресс переходит в холостой режим.

Для подачи рулонного листового материала в зоны штамповки в прессе часто применяют валковую подачу. Тяга – 12 валковой подачи эксцентрично крепится к маховику – 7, через рычаг тяга вращает валки – 13, которые дискретно протягивают стальной лист в зону обработки.

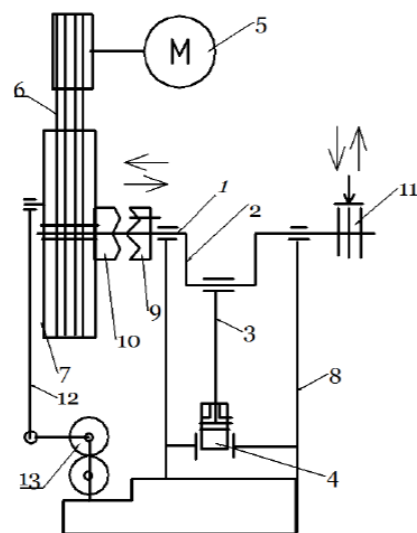


Рисунок 1 – Схема классического кривошипного пресса

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Несмотря на длинную историю использования кривошипного пресса он имеет множество недостатков, что мешает его работе на заводах. Рассмотрим их:

1 Включение двух муфт кулачковой и фрикционной в определенный момент времени, синхронно, на большой скорости вращения вала (частота вращения  $60 \dots 150 \text{ мин}^{-1}$ ) создает множество проблем. Муфты быстро ломаются, не всегда срабатывают.

Эту проблему решали разными способами. В основном работы велись в направлении усиления прочности муфт. Но данный подход увеличивает стоимость муфт и всего пресса в целом. В работе [1] сделана попытка создать механический безмуфтовый пресс на основе рычажного механизма переменной структуры. Но данный пресс имеет сложную структуру механизма, что понижает его жесткость, также переход из одного режима пресса в другой может произойти самопроизвольно.

2 Вследствие изменения угла передачи силы в рычажном ползунном механизме, который используется в кривошипном прессе при подходе к крайнему нижнему положению, полезная сила давления на заготовку уменьшается, и в крайнем нижнем положении она равна нулю. Вследствие этого при подходе к этому положению силы давления может не хватить, чтобы деформировать заготовку, и пресс может заклинить. Он входит в положение «распора» [2, с. 300, 3, 4].

3 Кривошипный пресс имеет большую высоту, так в его составе есть длинная деталь шатун. Компонировка пресса в основном вертикальная. Вследствие этого, если в составе цеха есть большой пресс, для него одного приходится строить цех с высоким потолком, что экономически не выгодно. Также высокие прессы с верхним приводом имеют и другой недостаток. Высоко расположенный центр тяжести обуславливает их недостаточную устойчивость и вибрацию в период рабочего хода и при включении муфты. Для устранения этого недостатка применяют прессы с нижним приводом [5, с. 38].

4 Обычно кривошипный механизм пресса имеет равное время движения ползуна вниз и вверх, то есть  $180^\circ$  поворота кривошипа вниз и  $180^\circ$  поворота кривошипа вверх. Следовательно, рабочее время воздействия инструмента на заготовку равно времени движения инструмента вверх в исходную позицию. Время рабочего хода равно времени холостого хода. Это очень не выгодно в скоростных прессах-автоматах.

Для повышения доли рабочего хода применяют вращение рабочего вала пресса с двумя частотами вращения- рабочий ход на медленной, а холостой ход на быстрой частоте вращения. Для этого например, применяют специальные двухскоростные муфты. В приводе со специальными муфтами применяют двухскоростные фрикционные со встроенной планетарной передачей или электромагнитные муфты [5, с. 39].

Фрикционные муфты имеют общий недостаток – быстрый износ фрикционных элементов, особенно муфты ускоренного хода, включение которой происходит дважды в течение одного двойного хода.

Частота вращения в электромагнитных муфтах изменяется в результате управляемого скольжения ведомых частей относительно ведущих. Варьируя электромагнитные поля, индицируемые в муфте и тормозе, проскальзывание доводят до 50 % угловой скорости холостого хода. Недостаток такой муфты – непроизводительные потери энергии при торможении маховых масс.

Иногда применяются сдвоенные приводы. На рабочем валу устанавливают две отдельные муфты – маховики разного диаметра. Частота вращения изменяется попеременным подключением разных маховиков. Естественно наличие двух маховиков в одном прессе увеличивает его массу и стоимость [5, с. 40].

Кроме описанных недостатков кривошипного пресса имеются и другие, менее важные. Это неравномерность скорости хода ползуна, сложность конструкции, низкий КПД и т.д.

Работы по устранению этих недостатков ведутся давно. Они уменьшают влияние проблем кривошипного пресса на эффективность его работы, но полностью убрать проблемы не могут [6–9]. Специфика самой схемы кривошипного механизма не позволяет сделать это.

В работах [10–19] автор предлагает оригинальный кулачково-винтовой механический пресс. Пресс имеет высокий уровень оригинальности, в его основе принципиально новый механизм.

Кулачково-винтовой пресс состоит из следующих частей (рисунок – 2): приводного вала – 1, на котором соосно расположен цилиндр – 2 с конической винтовой поверхностью – 3 с углом наклона образующей  $AE$  к оси вала – 1, равным  $\alpha$ . Поверхность имеет скос под углом  $\beta$  к горизонтали. Под цилиндром – 2 установлен ползун – 4, имеющий возможность свободного вертикального осевого движения в корпусе – 5. В верхней части ползуна – 4 имеется вогнутая поверхность – 6, выполненная с возможностью контакта с винтовой поверхностью – 3 и имеющая угол наклона к горизонтали, равный  $\beta$ .

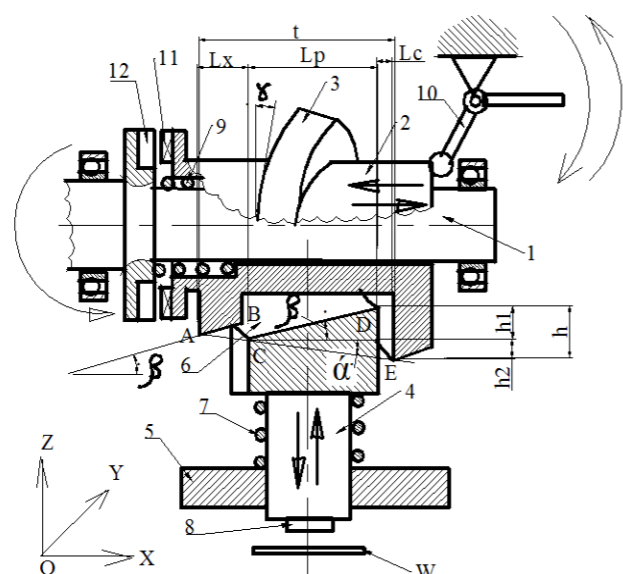


Рисунок 2 – Схема прессы.

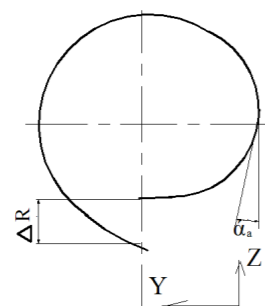


Рисунок 3 – Спираль Архимеда конической винтовой поверхности в плоскости YOZ

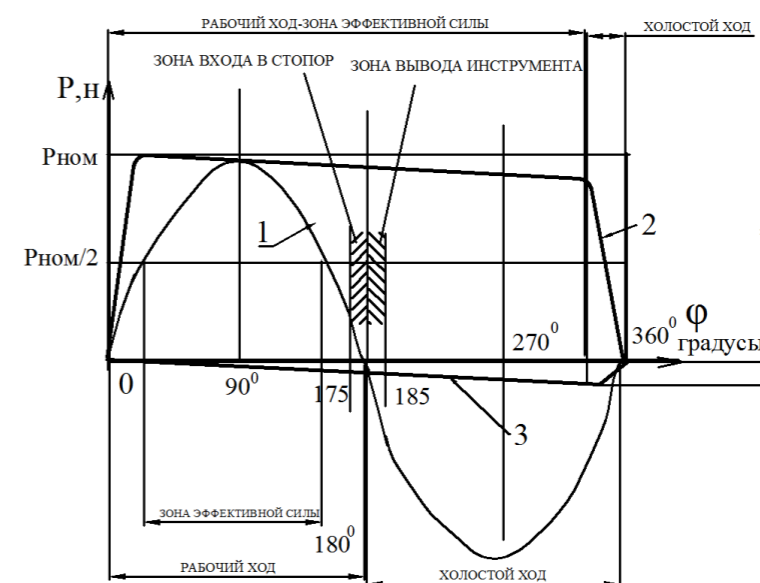
Пресс работает следующим образом. Приводной вал – 1 совместно с цилиндром – 2 вращается от привода. Нижняя образующая АВ винтовой поверхности – 3 движется вдоль оси вала – 1, приближаясь к поверхности – 6. При перемещении АВ на длину  $L_x$  она вступает в контакт с образующей CD поверхности – 6, винтовая поверхность – 3 и поверхность – 6 вступают в контакт и между ними образуется площадка контакта. Винтовая поверхность – 3 давит на поверхность – 6 и ползун – 4, который перемещается вниз, сжимая пружину – 7. Вместе с ползуном – 4 движется инструмент – 8, который производит вдавливание в заготовку W. Ползун – 4 движется вниз до тех пор, пока точка А образующей АВ не совместится с точкой D образующей CD. Нижняя образующая АВ в это время проходит рабочую длину  $L_p$ .

После этого контакт поверхности – 3 с поверхностью – 6 размыкается и ползун – 4 вместе с поверхностью – 6 и инструментом – 8 под действием пружины – 7 поднимается вверх в исходную позицию. После этого точка А еще проходит расстояние, равное  $L_c$ , после чего винтовая поверхность – 3 завершает свой полный

8

оборот и весь цикл снова повторяется. Для свободного движения поверхностей – 3 и – 6 относительно друг друга, уменьшения сил трения эти поверхности постоянно смазываются маслом.

Для отключения прессы и работы ее в холостом режиме необходимо механизмом переключения – 10 поджать цилиндр – 2 вправо. кулачки – 11 цилиндра – 2 выходят из зацепления с пазы – 12 полумуфты, и цилиндр – 2 свободно проворачивается относительно вала – 1. Если цилиндр – 2 поджать пружиной – 9, стремящейся вывести его из зацепления с валом 1, то размыкание контакта поверхностей – 3 и – 6 будет происходить автоматически после окончания каждого цикла. Смыкание кулачков – 11 и пазов – 12 производится движением механизма – 10 влево.



1 – кривошипный пресс, 2 – кулачково-винтовой пресс, 3 – сжатие пружины возврата кулачково-винтового прессы.  
Рисунок 4 – Графики зависимости силы P от угла поворота вала φ

Предложенный пресс заметно превосходит по своим эксплуатационным и функциональным показателям существующий в настоящее время кривошипный пресс.

1 Пресс потребляет в зависимости от вида обработки электроэнергии в 1,5–2 раза меньше чем, кривошипный, так как усилие на ползун во время всего рабочего цикла передается равномерно с небольшими потерями. У кривошипного прессы усилие увеличивается до угла  $90^\circ$ , а затем уменьшается до угла  $180^\circ$ . Зона эффективной силы размещается от  $30^\circ$  до  $150^\circ$  (рисунок 4).

2 Пресс имеет небольшое время холостого хода, на уровне 15–20 %, кривошипный пресс имеет долю времени холостого хода равную 50 % (рисунок 4). Следовательно, производительность нового прессы будет выше.

9

3 Пресс имеет равномерность движения ползуна во время рабочего хода, ползун кривошипного пресса движется неравномерно с ускорением. Равномерное движение ползуна позволяет снизить скорость износа инструмента, примерно на 20 %.

4 Рабочее усилие на ползуне нового пресса во время всего рабочего хода поддерживается равномерным. Также при подходе ползуна к крайнему нижнему положению усилие пружины становится максимальным и при размыкании контакта ползуна и винтовой поверхности усилие пружины позволяет вернуть ползун вместе с инструментом в исходное положение, преодолевая сопротивление обработанной заготовки. Вероятность заклинивания нового пресса в нижнем положении нулевая. У кривошипного пресса зона вращения кривошипа 175...185° характерна малой величиной полезной силы вдавливания и вывода ползуна, что ведет к заклиниванию пресса (вход в «Стопор») (рисунок 4).

5 Кинематическая схема пресса не имеет специального узла тормоза, как в кривошипном прессе, его функции выполняют поверхности 3 и 6 (рисунок 4). Механизм пресса обеспечивает автоматическое отключение ползуна в его верхнем положении прессе. Это повышает надежность остановки пресса в конце цикла, снижает затраты энергии на торможение механизма, снижает его износ.

6 Работа муфты пресса осуществляется в облегченных условиях, при ее включении она подвергается динамическим усилиям, ослабленным примерно в 2 раза. Уменьшение динамических усилий достигнуто за счет того, что в новом прессе не требуется останавливать вал пресса, который имеет постоянное вращение, в прессе нет шатуна.

7 Пресс не имеет шатуна, что позволяет уменьшить общую высоту пресса ориентировочно на 15–20 %.

8 Кинематическая цепь нового пресса имеет всего два звена – винтовой цилиндр и ползун, кривошипный пресс имеет в цепи три звена – кривошип, шатун и ползун. Новый пресс будет иметь более высокую жесткость, что естественно увеличит его точность и долговечность.

9 Износ контактирующих поверхностей 3 и 6 практически не влияет на работоспособность пресса.

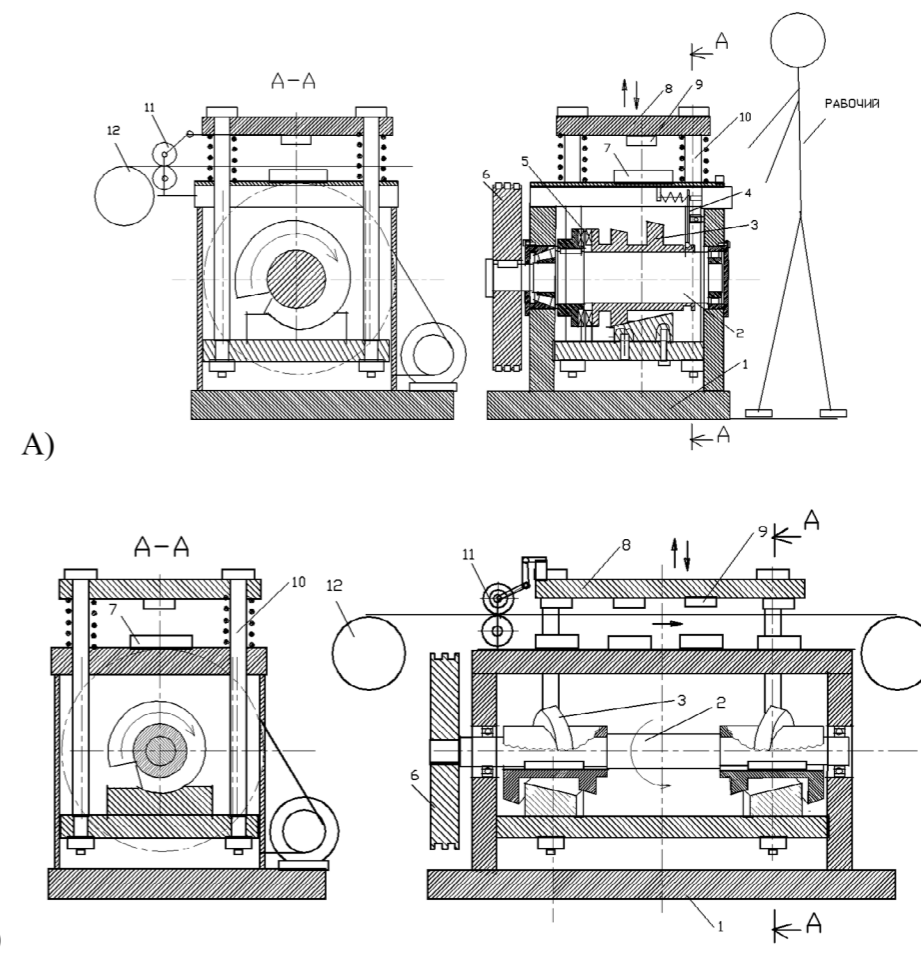
10 Кинематически новый пресс намного проще кривошипного, в его составе меньше деталей. Это позволяет утверждать, что в серийном производстве его изготовление будет дешевле.

Для повышения эффективности нового пресса предлагается расположить привод внизу. На рисунке 5А показана схема пресса с нижним расположением привода. Это уменьшает металлоемкость пресса, его высоту, повышает динамическую устойчивость оборудования. Кривошипные пресса с нижним расположением привода практически не делаются. В кривошипной схеме имеется длинный шатун, что увеличивает высоту пресса с нижним приводом. Также в кривошипном прессе значительно возрастает возможность заклинивания при начале подъема плиты-ползуна – 8 с инструментом-пуансоном – 9 в исходную

позицию (зона вывода инструмента 180°–185°, рисунок – 3), так как масса плиты – 8 достаточно большая.

Новая схема пресса позволяет расположить ось вращения вала – 2 перпендикулярно по отношению к зоне нахождения рабочего, так как нет фрикционного тормоза-муфты. Такая компоновка повышает безопасность и удобство работы, маховик – 6 пресса находится сзади пресса. В данной схеме возможно подключение валковой подачи – 11 к ползуну – 8 пресса, что упрощает ее конструкцию, дает возможность подключения с любой стороны.

На рисунке 5Б показана схема кулачково-винтового многопозиционного пресс-автомата с валковой подачей



А) Кулачково-винтовой пресс с нижним расположением привода,  
 Б) кулачково-винтовой многопозиционный пресс-автомат с нижним расположением привода, 1 – станина, 2 – вал, 3 – кулачково-винтовой цилиндр, 4 – механизм включения, 5 – кулачковая муфта, 6 – маховик, 7 – инструмент-матрица на рабочем столе, 8 – плита- ползун, 9 – инструмент-пуансон, 10 – скалка направляющая с возвратной пружиной, 11 – валковая подача, 12 – рулон стальной ленты.

Рисунок 5

## ВЫВОДЫ

Предлагается новая компоновка кулачково-винтового пресса с нижним расположением привода. Это позволит упростить конструкцию пресса, уменьшить высоту в 2 раза, уменьшить металлоемкость примерно на 20 %. Возможна схема с перпендикулярным расположением оси вала по отношению к рабочему. Это повысит удобство и безопасность работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Авт. свидетельство СССР 1774921, Безмуфтовый пресс / Абдраимов С. и др., МПК В 30 В 15/14, опубл. 07.11.92., Бюл. 41.
- 2 **Свистунов, В. Е.** Кузнечно-штамповочное оборудование. Кривошипные прессы. Учебное пособие. – М. : МГИУ, 2008, 680 с.
- 3 **Жуматаев, А. К., Олжабаев, Р. О.** Повышение надежности оборудования // Наука и техника Казахстана. Павлодар – 2010. – №2. – С. 52–54.
- 4 Патент РФ 2320486, Устройство для вывода кривошипного пресса из заклинивания / Корнилов В.В, МПК В30В15/28, опубл. 15.05.94, Бюл.20
- 5 **Живов, Л. И., Овчинников, А. Г., Складчиков, Е. Н.** Кузнечно-штамповочное производство. Учебник для вузов / под ред. Л.И.Живова. – М. : изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.
- 6 Патент РФ 2136502, Устройство для затяжки разъемной станины пресса и выведения пресса из распора / Авилов В. И., Дибнер Ю. А., Старых О. В. МПК В30В15/28, опубл. 15.06.93, Бюл.18.
- 7 Патент РФ 2033877, Устройство для затяжки разъемной станины пресса и выведения пресса из распора / Горожанин В. Н. МПК В30В15/28, опубл. 30.01.93, Бюл.5.
- 8 Авт. свидетельство СССР 487788, Устройство для предохранения кривошипных прессов от перегрузки и заклинивания / Мороз П. З., Ермоленко А. А., МПК В30В15/28, опубл. 15.10.1975, Б. 38.
- 9 **Свистунов, В. Е., Чубаков, В. А., Матвеев, А. Г., Гартвиг, А. А.** Предохранение кривошипных листоштамповочных прессов-автоматов от перегрузок // Машиностроение и инженерное образование. М. : 2012, № 2, С. 2–11.
- 10 **Аскаров, Е. С.** Патент 2627 РК, МКИ В30В01/26, Механический пресс Аскарова / Аскаров Е. С. (РК): заявл. 26.07.93, опубл. 15.06.98, Бюл. № 5 – 4 с.
- 11 **Абдрахманов, Е. С., Дейграф, И. Э., Тусупбекова, М. Ж., Аубакиров, А. Ж.** Инженерный метод расчета пневматического ударного цилиндра установки ВСП-Комби // Наука и техника Казахстана. Павлодар – 2015. – № 1–2. – С. 6–11.
- 12 **Ахметов, Ж. Е.** Разработка конструкции газимпульсного прессового оборудования для производства тротуарных плит из полусухой смеси // Наука и техника Казахстана. Павлодар – 2010. – № 4. – С. 11–15.
- 13 **Askarov, E. S.** Mechanical press based on a cam mechanism with an enlarged contact spot // Russian Engineering Research – Allerton Press, 2003, № 12, P. 1–8.

14 **Аскаров, Е. С.** Новый кулачково-винтовой механический пресс // Вестник машиностроения, – М. : 2015, № 4, С. 32–35.

15 **Аскаров, Е. С.** Новый кулачково-винтовой механический пресс. Исследование и анализ. Монография. – Алматы, Экономика, 2016, 58 с.

16 **Erlan Askarov, Algazy Zhauyt, Zhastalap Abilkaiyr, Adilet Zhankeldi, Batyr Naurushev.** New type cam-screw mechanical press // 17 International Scientific Conference- Engineering for rural development. Latvia, Jelgava, 24.05.2017, P. 36–41.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*E. S. Askarov*

**Төменгі жетегінде орналасқан жұрықша-бұрандалы басқыш**

К. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,  
Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*E. S. Askarov*

**Cam-screw press with the lower arrangement of the drive**

K. Satpayev Kazakh National Research Technical University,  
Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan.

Material received on 15.05.18.

*Жұдырықша-бұрандалы механикалық басқыштың жаңа түрінің әмбебап сызбасы қарастырылған. Төменгі жетегінің орналасқан сызбасы ұсынылған. Бұл әдіс басқыштың биіктігін 2 есе азайтады, металл сыйымдылығының 20 % төмендеуіне мүмкіндік береді.*

*The original scheme of a mechanical press of new type – a cam screw is considered. The scheme with the lower arrangement of the drive is offered. It will allow to reduce press height twice, the metal consumption will go down for in 20 %.*

**А. Г. Бакиров<sup>1</sup>, А. К. Жунусов<sup>2</sup>, А. Ф. Чекимбаев<sup>3</sup>, Ж. Шошай<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> магистр, ст. преподаватель, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup> к.т.н., ассоц. профессор (доцент), Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup> к.т.н., вед. науч. сотр., Лаборатория «Металлургические расплавы», Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100004, Республика Казахстан;

<sup>4</sup> магистр, ст. преподаватель, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>altynsary@mail.ru; <sup>2</sup>zhunusov\_ab@mail.ru; <sup>3</sup>askar\_hmi@mail.ru;

<sup>4</sup>zhanserik@inbox.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ШИХТОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ**

*В данной статье приводятся результаты исследования по изучению изменения удельного электрического сопротивления шихтовых смесей для выплавки ферросиликоалюминия. Результаты исследований показали принципиальную возможность замены стальной стружки на металлизированный железорудный агломерат, что может существенно снизить потребление дефицитной стальной стружки в ферросплавной отрасли.*

*Ключевые слова: железорудный агломерат, ферросиликоалюминий, стальная стружка, удельное электрическое сопротивление, шихта.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Работа ферросплавных печей в большой степени зависит от глубины погружения электродов в шихту, что улучшает технико-экономические показатели протекающих процессов. При высоко сидящих электродах зона плавления перемещается вверх, что резко ухудшает ход процесса: увеличиваются тепловые потери с колошниковыми газами, затрудняется обслуживание перегретого колошника, температура горна повышается, что создает дополнительные трудности при выпуске металла и шлака, уменьшается извлечение основных элементов вследствие повышенного улета.

При постоянном вторичном напряжении глубина погружения электродов зависит от общего сопротивления ванны печи, которое в свою очередь зависит от

природы применяемых руд, вида их подготовки (агломерирование, окатывание, брикетирование), фракционного состава материалов и вида восстановителей.

Способ подготовки шихтовых материалов, тип окускованных материалов, отражаются на электросопротивлении шихты [1]. В результате возникает необходимость проведения исследований по изучению электросопротивления окускованных шихтовых материалов.

#### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Изучение электросопротивления шихтовых материалов и шихт проводилось по методике описанной в работе [1], которая позволяет определять электросопротивление материалов и шихт при температурах до 1800 °С в насыпном слое с одновременной фиксацией степени их размягчения (усадки). В данное время этот метод применяется для определения электросопротивления материалов и шихт многими исследователями [2, 3].

Были проведены сравнительные исследования по изучению изменения удельного электрического сопротивления шихтовых смесей для выплавки ферросиликоалюминия.

При проведении опыта измерялось электросопротивление выбранных компонентов и всей шихты. При этом контролировались все факторы, влияющие на сопротивление шихты: температура, агрегатное состояние, степень восстановления материалов. Для объяснения причин изменения электросопротивления ведется постоянное наблюдение за изменением объема материалов.

При измерении электрического сопротивления шихты фракционный состав ее подбирался пропорционально крупности компонентов шихты, применяемой в производственных условиях, пределы которого уменьшались на порядок.

В качестве шихтовых материалов использовались высокозольный уголь разреза «Молодежный» (УД «Борлы») и кварцит. Отличие опытной и сравнительной шихты состояло в использовании в первом случае металлизированного агломерата из железистых песков, а в составе сравнительной смеси традиционно использовалась стальная стружка.

Высокозольный уголь фракции 1–5 мм имел следующий технический состав: зольность – 56,8 %; летучие компоненты – 17,2 %, влажность – 1,0 %. Состав золы был представлен на 58,9 % диоксидов кремния и на 37,2 % оксидом алюминия.

Опытная шихтовая смесь состояла из 67,8 % высокозольного угля, 12,3 % металлизированного агломерата и 19,8 % кварцита.

Измерения проводили на опытной лабораторной установке с возможностью проведения экспериментов в интервале температур 22–1600 °С по методике [1]. Измерения проводились при напряжении постоянного тока, равного 5 вольт с фиксированием значений силы тока в зависимости от температуры. Результаты сравнительных исследований в виде графиков удельного электросопротивления и удельной электропроводности в зависимости от температуры представлены на рисунках 1 и 2. Графики представлены для интервала температур 850–1200 °С, характерных для верхних слоев шихты при выплавке ферросиликоалюминия.



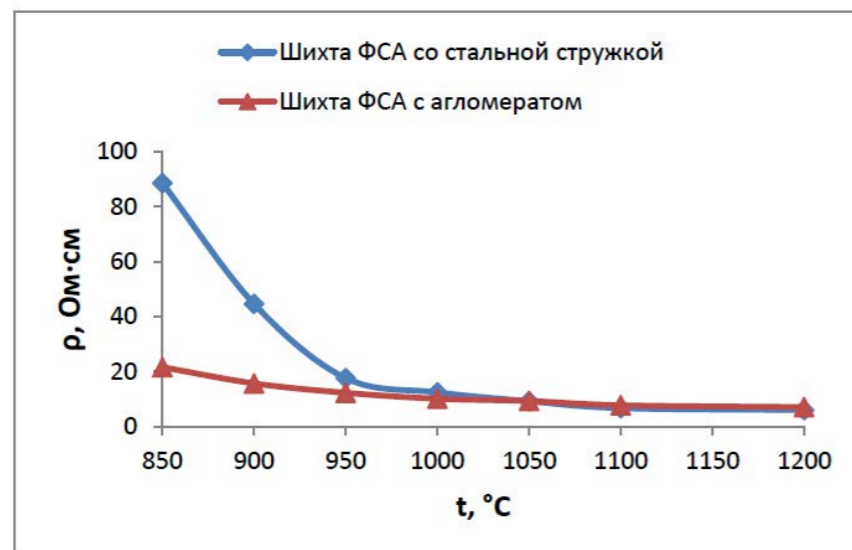


Рисунок 1 – Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры сравнительной и опытных шихтовых смесей для выплавки ферросиликоалюминия.

Как видно из результатов измерений при температурах до 950 °C электросопротивление опытной шихты с агломератом несколько ниже чем у традиционной шихты со стальной стружкой. Это объясняется тем, что в составе металлизированного агломерата содержатся незначительные количества спекшихся относительно легкоплавких смесей, содержащих соединения железа, в частности фаялит ( $Fe_2SiO_4$ ).

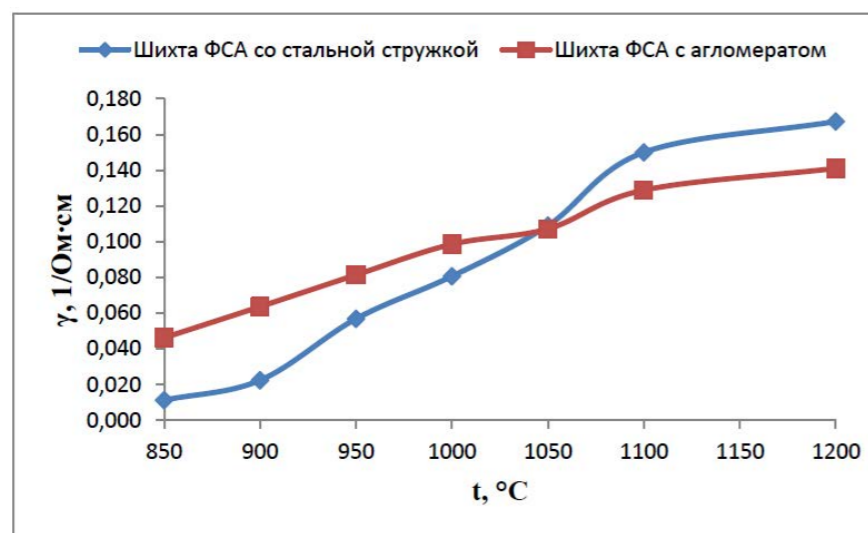


Рисунок 2 – Зависимость удельной электропроводности от температуры сравнительной и опытных шихтовых смесей для выплавки ферросиликоалюминия.

Далее после восстановления железа при температуре более 1000 °C электрическое сопротивление сравнительной и опытных шихтовых смесей выравнивается. Это показывает на принципиальную возможность замены стальной стружки на металлизированный железный агломерат, что может существенно снизить потребление дефицитной стальной стружки в ферросплавной отрасли.

Наличие в составе агломерата полученного из отходов глиноземного производства железистых песков [4] до 15–25 % в сумме оксидов кремния и алюминия не будет оказывать существенного отрицательного влияния при выплавке ФСА, поскольку являются основными компонентами шихты.

#### ВЫВОДЫ

Необходимо отметить, что в составе стальной стружки содержатся 1,5–2,5 % марганца, хрома и цветных металлов, которые полностью будут переходить в состав выплавляемого ФСА. В опытном агломерате примесей этих элементов практически нет, поэтому выплавляемый ферросиликоалюминий будет чистым по этим примесям.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Жучков, В. И.** Энергетические параметры и конструкции рудовосстановительных электропечей / В. И. Жучков, В. Л. Розенберг, Б. И. Зельберг. – Челябинск : Металл, 1994. – 192 с.
- Николайшвили, Г. У.** Электрическое сопротивление и теплопроводность шихт углеродистого ферромарганца и силикомарганца / Г. У. Николайшвили, М. А. Кекелидзе // Сб. науч. тр. «Производство и применение марганцевых ферросплавов». – Тбилиси, 1986. – С. 37–46.
- Нурмуханбетов, Ж. У.** Электрическое сопротивление углеродистых восстановителей Ж.У. Нурмуханбетов, В. А. Ким, М. Ж. Толымбеков // Новости науки Казахстана. – 2005. – № 2. – С. 35–40.
- Жунусов, А. К.** Возможное использование отходов глиноземного производства в черной металлургии / А. Жунусов, С. Байсанов // Сб. докл. IV меж. науч.практ.конф. «Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия промышленных регионов России». – Новокузнецк, 2012. – С. 198–200.
- Жунусов, А. К.** Переработка красных шламов Павлодарского Алюминиевого / А. К. Жунусов, С. О. Байсанов, А. К. Жунусова // Сб. докл. по материалам Межд. науч.практ.конф. «Проблемы и перспективы горно-металлургической отрасли: теория и практика». – Караганды, 2013. – С. 343–346.
- Процесс Ромелт; под ред. В. А. Роменца – М. : МИСиС, Руда и металлы, 2005. – 400 с.
- Розен, Я. Б.** Переработка отходов глиноземного производства / Я. Б. Розен, Н. В. Синельщикова. – М. : ЦНИИ цветмет экономики и информации, 1981. – 49 с.

8 **Тесля, В. Г., Тесля, В. А., Утков, С. И. и др.** Переработка шламовых и твердых отходов производства глинозема и алюминия / В. Г. Тесля, В. А. Тесля, С. И. Утков и др. // Цветные металлы. – 1997. – № 4. – С. 87–88.

9 **Clenister, D. J. Abbott, T. M.** Dewatering and dry disposal of fine bauxite residue / D. J. Clenister, T. M. Abbott // Dewatering technology and practice conference. – Brisbane, Australia, 1989, 9–11 October. – P. 37–35.

10 **Paradis, R. D.** Application of alcans deep bed thickener technology / R. D. Paradis // Travaux ICSOBA, – Vol. 24. – Milan, 1997. – P. 82–89.

11 **Утков, В. А.** Переработка бокситовых красных шламов / В. А. Утков, А. В. Пацей, Н. С. Шморгуниенко // ЦНИИЦВЕТМЕТ экономики и информации. – № 6. – 1988. – 38 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*A. G. Bakirov<sup>1</sup>, A. K. Zhunusov<sup>2</sup>, A. F. Chekymbaev<sup>3</sup>, Zh. Shoshai<sup>4</sup>*

**Ферросиликоалюминийді балқыту үшін шикіқұрам қоспаларының меншікті электр кедергісін зерттеу**

<sup>1,2,4</sup>Металлургия, машина жасау және көлік факультеті,  
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>Ж. Абишева атындағы Химия-металлургиялық институты,  
Қарағанды қ., 100004, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*A. G. Bakirov<sup>1</sup>, A. K. Zhunusov<sup>2</sup>, A. F. Chekymbaev<sup>3</sup>, Zh. Shoshai<sup>4</sup>*

**Research of charge mixture electrical resistance for ferrosilicon aluminum smelting**

<sup>1,2,4</sup>Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,  
S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute,  
Karaganda, 100004, Republic of Kazakhstan.

Material received on 15.05.18.

*Бұл мақалада ферросиликоалюминийді балқыту үшін шикіқұрам қоспаларының электр кедергісінің өзгеруін зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеулердің нәтижелері болат жоңқаларын металданған темір кен агломератымен ауыстырудың негізгі мүмкіндігін көрсетті, бұл ферроқорытпа өнеркәсібіндегі тапшы болат жоңқалардың тұтынылуын едәуір төмендетеді алады.*

*In this article, we present the results of the study of changes in electrical resistance of charging additives for ferrosilicon aluminum smelting. The findings show that the main feature of replacing steel ingots with metallized ferrous sintering agglomerates is that it can significantly reduce the consumption of defective steel chips in the ferroalloy industry.*

ГРНТИ 73.01.77

**Л. Ю. Волкова<sup>1</sup>, Ю. П. Макушев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Судовые энергетические установки и теплоэнергетика», Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, 236000, Российская Федерация;

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Тепловые двигатели и автотракторное оборудование», Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, 644080, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup>volkova0969@mail.ru; <sup>2</sup>makushev321@mail.ru

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ**

*В статье рассмотрены датчики для определения давления топлива и записи перемещения движущихся деталей топливной аппаратуры (ТА). Предложен комбинированный датчик для определения давления в итуцере насоса и хода нагнетательного клапана. Корпус датчика является одновременно итуцером насоса, что позволяет работать датчику во время эксплуатации дизеля и по изменению осциллограммы процесса впрыска определять техническое состояние ТА.*

*Для измерения давления топлива в любом месте трубопровода предложено использовать конструкцию накладного датчика типа ПД-6 или фирмы AVL. Исследования показали, что движение иглы, записанное индуктивным датчиком в виде «проставки» и изменение давления в замкнутом объеме форсунки равнозначны друг другу. Движение иглы распылителя рекомендовано определять при помощи датчика низкого давления, установленного в линию слива утечек топлива из форсунки.*

*Предложена методика диагностирования технического состояния ТА по анализу характерных точек и участков осциллограммы давления топлива.*

*Ключевые слова: насос, итуцер, трубопровод, форсунка, датчик, диагностирование, распылитель.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Топливная аппаратура (ТА) с механическим или электронным управлением хода иглы является одной из основных систем дизелей. Она в значительной степени влияет на его мощность, экономические, экологические показатели, надежность и долговечность. Технические показатели ТА можно определить по анализу давления в топливопроводе и перемещения иглы распылителя форсунки.

Для исследования и диагностирования ТА необходимы датчики, усиливающая, преобразующая и измерительная аппаратура. При исследовании оценивают интенсивность впрыска топлива (величину давления, продолжительность впрыска, характеристику впрыска). Протекание процесса подачи топлива в камеру сгорания дизеля должно обеспечить малый расход топлива, минимальную токсичность отработавших газов и допустимую жесткость сгорания.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Для проведения диагностирования по изменению величины давления был предложен контрольный (наиболее характерный) режим работы ТА дизеля 4ЧН 13/14 с цикловой подачей  $q_u = 100 \text{ мм}^3$  и частотой вращения вала насоса

$n_n = 600 \text{ мин}^{-1}$ . Форсунка была отрегулирована на давление открытия иглы 18 МПа. Вид исправности форсунки определялся сравнительным способом по изменению характерных точек и участков на диаграмме давления. Для этого были сняты осциллограммы (импульсы давления) с известными неисправностями форсунки.

Последовательность диагностирования сравнительным способом по изменению давления на входе в форсунку следующая:

1 Для ТА с данными, соответствующими конструкторской документации, на режиме малых нагрузок при помощи датчика давления фиксируют эталонный (контрольный) импульс давления топлива в трубопроводе у форсунки с пояснением характерных точек и участков;

2 Для каждого вида неисправностей (уменьшение давления подъема иглы, образование кокса в распылителе, потеря подвижности иглы, увеличение зазора между иглой и корпусом распылителя) фиксируется импульс давления;

3 Полученный импульс давления сравнивается с эталонным (контрольным). Если он изменен, то путем сравнения, с заранее снятыми осциллограммами, определяется вид неисправности.

На контрольном режиме для исправной топливной аппаратуры была снята эталонная осциллограмма при помощи тензометрического датчика давления (рисунок – 1), имеющая характерные точки и участки. Для анализа импульса давления топлива в трубопроводе  $P_\phi$  на осциллограмме приведена линия атмосферного давления  $P_o$  и отметка времени, равная 0,002 с.

На эталонной (контрольной) диаграмме давления выделим характерные точки и участки: 1 – остаточное давление в топливопроводе; 2 – начало повышения давления на входе в форсунку; 3 – изменение давления вследствие поднятия нагнетательного клапана; 4–5 – падение давления в результате подъема иглы форсунки; 5–6 – продолжение впрыска топлива; 7 – начало посадки иглы на седло; 8 – завершение снижения давления; 2–8 – период превышения давления в топливопроводе над остаточным давлением  $P_o$ ; 8–9 – расстояние между прямой и отраженной волнами давления топлива; 10 – колебания отраженной волны.

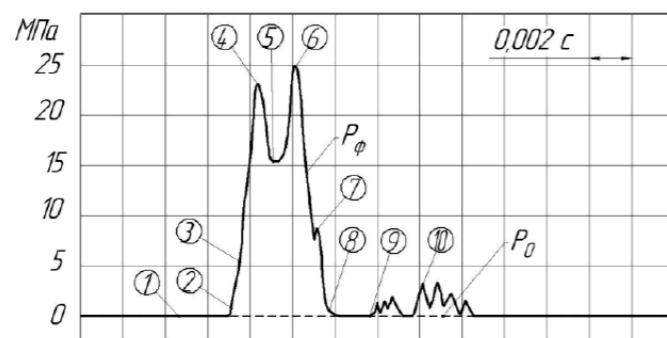


Рисунок 1 – Эталонный импульс давления топлива у форсунки  $P_\phi$  и линия атмосферного давления  $P_o$

На рисунке 2 приведена диаграмма давления топлива при снижении на 20 % давления начала открытия иглы форсунки. Для данной неисправности характерным является уменьшение максимального давления в трубопроводе (22 МПа вместо 25 МПа), увеличение расстояния между прямой и отраженной волнами, снижение амплитуды отраженной волны.

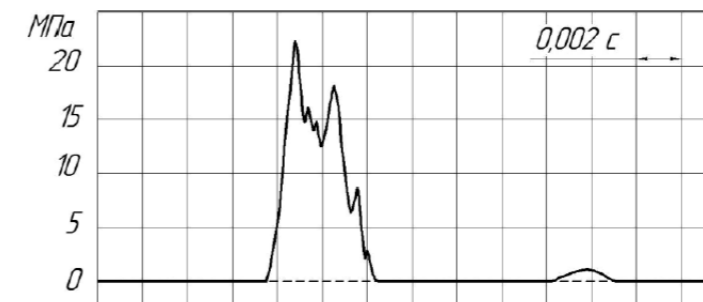


Рисунок 2 – Снижение давления открытия иглы на 20 %

Для форсунки с закоксованными сопловыми отверстиями характерным является наличие двух отраженных волн, давление в трубопроводе увеличивается, удлиняется участок 2–8, возрастает величина остаточного давления, уменьшается проходное сечение, что приводит к увеличению продолжительности впрыска, понижению подачи топлива, уменьшению мощности и экономичности двигателя.

Таким образом, имея эталонную (контрольную) осциллограмму давления для исправной форсунки и набор осциллограмм с характерными неисправностями, сравнительным способом можно определить вид неисправности. Для этого компьютер (электронный блок) сравнивает реальные осциллограммы давления на входе в форсунку, полученные в процессе диагностирования, с контрольной осциллограммой и определяет вид неисправности.

Недостатком данного способа диагностирования является повышение трудоемкости установки датчика в линию высокого давления.

Для исследования и диагностирования ТА необходимы датчики различной конструкции, сигналы с которых усиливаются и регистрируются специальной аппаратурой. Ряд датчиков выпускают отечественные или зарубежные фирмы (например, австрийская фирма AVL, Clamp-On Transducer) [1]. В современных датчиках давления и перемещения возможно применение встроенных аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), что упрощает процесс исследования или диагностирования ТА [2].

На рисунке 3 приведено оборудование и персональный компьютер, которые при помощи накладного пьезодатчика ПД-6 записывают импульс давления топлива в трубопроводе высокого давления.



Рисунок 3 – Приборы для исследования процесса впрыска топлива

На фото показаны необходимые приборы для осцилографирования процесса впрыска топлива накладным пьезоэлектрическим датчиком ПД-6 (он устанавливается на трубопроводе высокого давления). На переднем плане виден датчик ПД-6, в центре расположен усилитель заряда (предназначен для усиления сигнала от датчика ПД-6). К усилителю сигнала (PIEZO AMPLIFIER) подводится питание от аккумуляторной батареи 12 вольт (провода красный и черный). Сигнал от усилителя черным проводом подводится к аналогово-цифровому преобразователю (АЦП). Далее АЦП соединяется с компьютером, в который должна быть установлена программа, способная сигнал с датчика преобразовать в импульс (осциллограмму), по анализу которого определяется величина и форма пульсирующего давления и начало подачи топлива. Сравнение полученного импульса с контрольным (эталонным) позволяет определить техническое состояние топливной аппаратуры.

На рисунке 4 показаны пьезодатчики ПД-4 и ПД-6 для диаметра топливопровода 4 и 6 мм, состоящие из двух частей с винтовым зажимом. Датчики предназначены для преобразования радиальной деформации топливного трубопровода высокого давления в электрический заряд (токовый сигнал). Сигнал пропорционален не силе, с которой топливопровод воздействует на пьезоэлемент датчика, а скорости изменения этой силы. В усилителе токовый сигнал с датчика преобразуется в сигнал напряжения. Емкость датчика должна быть не менее 250 нФ.



Рисунок 4 – Общий вид датчиков ПД-4 и ПД-6

При затяжке винтов следует руководствоваться следующими правилами:

1 верхняя и нижняя половины корпуса датчика должны быть строго параллельны относительно друг друга;

2 вначале винты затягивают до касания двух половин;

3 затем винты доворачивают на 30-40 градусов.

Установка (крепление) датчика ПД-6 на топливопровод высокого давления показана на рисунке 5. Кабель с усилителя сигнала (например, типа PIEZO AMPLIFIER) подсоединяется к разъёму пьезодатчика. Массовый зажим одевается на зачищенную трубку высокого давления системы питания двигателя.

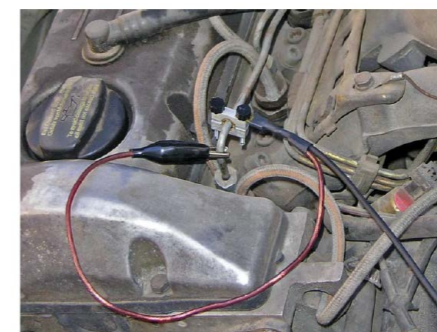


Рисунок 5 – Установка датчика ПД-6 на топливопроводе

На рисунке 6 приведён импульс давления топлива, записанный при помощи зажимного пьезоэлектрического датчика ПД-6.

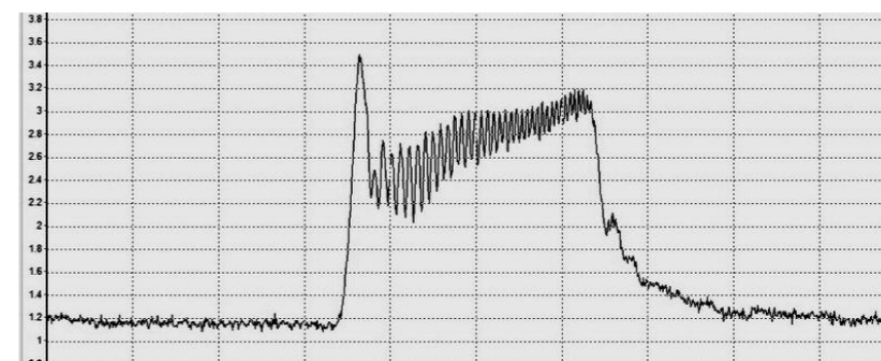


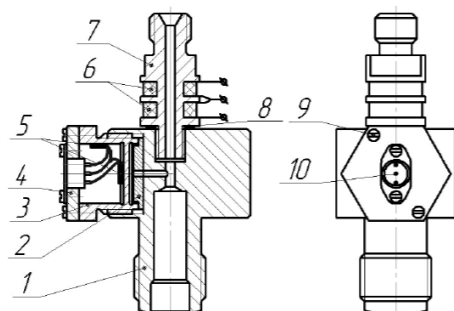
Рисунок 6 – Импульс давления топлива

Рассмотрим другие виды датчиков, которые могут быть использованы в процессе исследования или диагностирования ТА.

На рисунке 7 показана конструкция комбинированного датчика [3], позволяющего одновременно записывать изменение давления в штуцере насоса высокого давления и перемещение нагнетательного клапана.

Корпус 1 является одновременно штуцером насоса. Объем полости датчика должен соответствовать внутренним размерам штуцера. К нагнетательному клапану припаивается шток из немагнитной стали со стальным сердечником в верхней части. При установке клапана в штуцер длина штока должна быть равна расстоянию до центра между катушками 6. Катушки выполнены из провода ПЭЛ

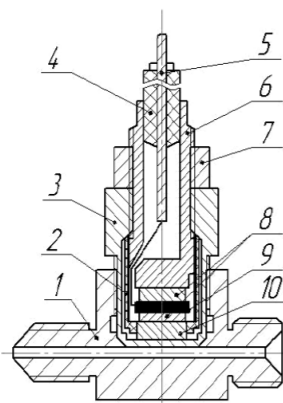
диаметром 0,15 мм с числом витков 100. Площадь отверстия корпуса 7 должна быть не менее площади сечения трубопровода.



1 – корпус датчика; 2 – вытеснитель; 3 – стакан с упругим элементом; 4 – крышка; 5 – рабочий и компенсационный тензорезисторы; 6 – катушки индуктивности; 7 – корпус датчика перемещения нагнетательного клапана; 8 – прокладка; 9 – винт; 10 – разъём.  
Рисунок 7 – Датчик комбинированный

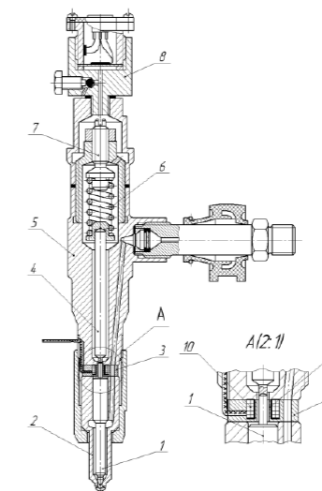
Корпус 7 выполнен из немагнитной стали X18H9T. Стакан 3 с упругим элементом изготовлен из стали 45XHMΦA. Мембрана имеет диаметр 20 мм с толщиной 1–3 мм в зависимости от величины максимального давления топлива.

Для исследования процесса подачи топлива возможно использование кварцевых датчиков с усилителем [4, 5, 6, 7]. На рисунке 8 показана конструкция пьезоэлектрического датчика для измерения давления на выходе из насоса или входе в форсунку. При повышении давления мембрана деформируется и через опорный диск 10 передает усилие на кварцевые пластины 8. Электрический заряд, создаваемый при деформации кварцевой пластины, передается от медной пластины с проводником на контакт 5 и поступает к усилителю.



1 – корпус датчика; 2 – сильфон; 3 – стакан с измерительной мембраной; 4 – изолятор; 5 – контакт; 6 – корпус модуля; 7 – контргайка; 8 – кварцевые пластины; 9 – медная пластина с проводником; 10 – опорный диск.  
Рисунок 8 – Датчик давления пьезоэлектрический

Для записи перемещения иглы распылителя форсунки рекомендуется индуктивный датчик в виде «проставки» [8]. На рисунке 9 приведён разрез форсунки дизеля с установкой индуктивного датчика 3, при помощи которого записывается движение иглы, и тензометрического датчика 8 для оценки изменения давления в полости форсунки. Корпус датчика 3 и штанга 4 выполнены из немагнитной стали X18H9T. Рабочая катушка 10 изготовлена из провода ПЭЛ диаметром 0,13 мм с числом витков 35. Компенсационная катушка имеет те же параметры и размещается вне форсунки. Принцип работы датчика основан на изменении индуктивного сопротивления рабочей катушки в зависимости от зазора между торцом иглы и корпусом форсунки [7].



1 – игла распылителя; 2 – корпус распылителя; 3 – датчик перемещения иглы; 4 – штанга; 5 – корпус форсунки; 6 – пружина; 7 – регулировочный винт; 8 – датчик давления; 9 – проставка с проточкой для катушки 10.

Рисунок 9 – Установка датчиков в форсунке для записи давления и перемещения иглы

В условиях эксплуатации двигателя применение индуктивного датчика, расположенного между корпусом форсунки и распылителем, связано с определенными трудностями. В данной работе рассмотрена возможность записи хода иглы датчиком давления, который устанавливается в линии отвода утечек топлива из форсунки [9].

В момент подъема иглы 1 (рисунок 9) в полости корпуса форсунки 5, заполненной топливом, давление повышается и может быть зафиксировано датчиком давления 8. Упругим элементом датчика является мембрана с наклеенным проволочным тензорезистором [2].

На рисунке 10 приведены осциллограммы процесса впрыска топлива, зафиксированные при работе дизеля 4ЧН13/14 на номинальном режиме с частотой вращения вала насоса 875 мин<sup>-1</sup> и цикловой подачей топлива 100 мм<sup>3</sup>. На представленных осциллограммах показаны отметка времени 1 (0,001 с.), давление

топлива в штуцере насоса 2, ход нагнетательного клапана 3, давление в замкнутом объеме форсунки 4 (полости пружины), ход иглы 5, давление перед сопловыми отверстиями 6. Сравнение осциллограмм изменения давления в замкнутом объёме форсунки 4 и хода иглы 5 показывает их идентичность [9].

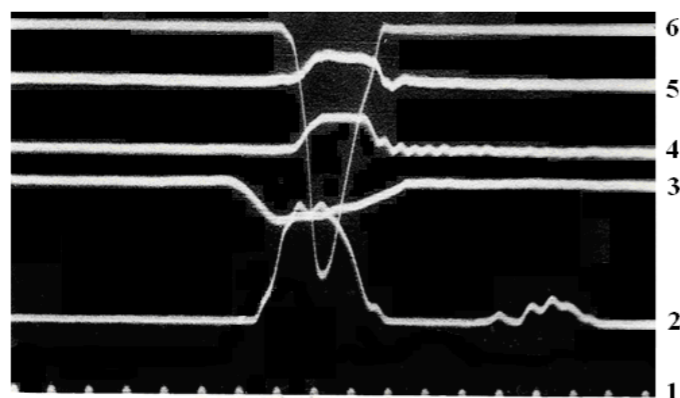


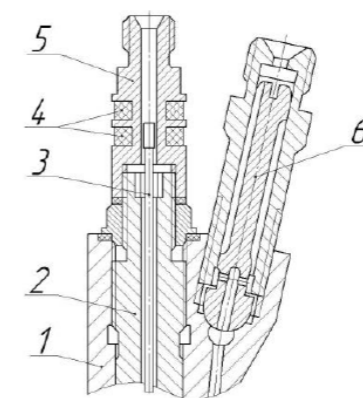
Рисунок 10 – Осциллограммы процесса впрыска топлива

Таким образом, закономерность движения иглы распылителя форсунки для топливных систем с низким остаточным давлением, можно определить при помощи датчика давления, установленного в дренажную магистраль (линию отвода утечек). На рисунке 10 при помощи комбинированного датчика (см. рисунок 7) записаны осциллограммы изменения давления в штуцере насоса 2 и движения нагнетательного клапана 3. Ход иглы 5 записан датчиком в виде «проставки», изменение давления в замкнутой полости корпуса форсунки 5 зафиксировано при помощи датчика давления 8 (см. рисунок 9).

Движение иглы распылителя форсунки может фиксироваться индуктивным выносным датчиком, корпус которого изготовлен из немагнитной стали (рисунок 11). В корпусе датчика 5 расположены две катушки 4. К штанге форсунки приварен шток 3, выполнен также из немагнитной стали. На конце штока 3 припаяна короткая стальная трубка, расположенная в середине катушек 4. При движении иглы и штанги шток 3 перемещается, изменяя индуктивность катушек 4, что позволяет фиксировать ход иглы.

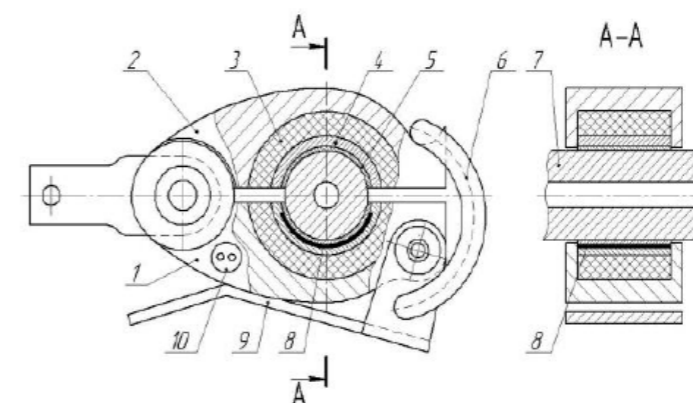
Для определения давления в трубопроводе возможно применение съёмного датчика [10], пьезоэлектрическая плёнка 8, которая при помощи специального устройства прижимается к поверхности трубопровода 7 (рисунок 12).

При деформации трубки высокого давления изменяется сопротивление пьезоэлектрической пленки. Используя усиливающую и регистрирующую аппаратуру, фиксируют импульс давления. Датчик давления с рычажным креплением выпускает австрийская фирма AVL. Размер внутренней полости датчика должен соответствовать значению наружного диаметра трубопровода (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 мм).



1 – корпус форсунки; 2 – винт регулировочный; 3 – шток; 4 – катушки; 5 – корпус датчика; 6 – штуцер.

Рисунок 11 – Верхняя часть форсунки дизеля 16ЧН 26/26 с датчиком индуктивного типа для записи хода иглы



1 – неподвижный корпус датчика; 2 – подвижный корпус датчика; 3 – упругий элемент; 4 – наружный электрод; 5 – внутренний электрод; 6 – петля; 7 – трубопровод; 8 – пьез плёнка; 9 – ручка прижимного устройства; 10 – гнездо датчика.  
Рисунок 12 – Датчик давления съёмный (зажимной)

Относительная погрешность датчиков для измерения перемещения движущихся деталей насоса и форсунки, а также давления топлива не превышает 3–5 %.

## ВЫВОДЫ

Предложена конструкция комбинированного датчика для определения хода нагнетательного клапана и давления топлива в штуцере насоса.

Разработаны индуктивные датчики для записи движения иглы распылителя форсунки в виде проставки, расположенной между корпусом распылителя и форсунки, а также на выходе из форсунки.

Предложен способ записи движения иглы датчиком давления, который устанавливается в линии отвода утечек топлива из форсунки.

Предложен съёмный пьезоэлектрический датчик типа ПД-6 или AVL для записи давления в любых сечениях трубопровода.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Коньков, А. Ю.** Диагностирование дизеля на основе идентификации рабочих процессов : моногр. / А. Ю. Коньков, В. А. Лашко. – Владивосток : Дальнаука, 2014. – 365 с.

2 Тензорезисторы, тензодатчики, барристоры, датчики давления SMS. Производство, изготовление, применение. СМС-Тензо. – 2006. [Электронный ресурс]. – <http://www.tenzo-sms.ru>.

3 Датчик комбинированный. Патент на изобретение № 2272168. Патентообладатель : Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). / Автор Макушев Юрий Петрович. Заявка № 2004120817. Приоритет изобретения 07 июля 2004 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 марта 2006.

4 **Файнлейб, Б. Н.** Топливная аппаратура автотракторных дизелей : Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленинг. отд-ние, 1990. – 352 с.

5 INA 155. Single-Supply, Rail-to-Rail Output, CMOS Instrumentation Amplifier [Text] – Burr-Brown Corporation. – 1999 – 11 p.

6 **Шарапов, В. М.** Пьезоэлектрические датчики / В. М. Шарапов, М. П. Мусиенко, Е. В. Шарапова; под ред. В. М. Шарапова. – М. : Техносфера, 2006. – 632 с.

7 **Туричин, А. М.** Электрические измерения неэлектрических величин / А. М. Туричин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина; под ред. П. В. Новицкого. – Л. : Энергия, 1975. – 576 с.

8 **Живоченко, А. В.** Датчик для записи подъема иглы форсунки дизеля / А. В. Живоченко, Л. Ю. Михайлова. // Вестник Павлодарского университета. Научный журнал. – № 4. – Павлодар, 2001. – С. 110–112.

9 **Михайлова, Л. Ю.** Датчик давления для осциллографирования хода иглы распылителя форсунки. // Материалы всероссийской 65 научно-технической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Ориентированные фундаментальные прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России. – Книга 2. – Омск, 2011. – С. 397–402.

10 **Коньков, А. Ю.** Основы технической диагностики локомотивов : учеб. пособие / А. Ю. Коньков. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2007. – 98 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*Л. Ю. Волкова<sup>1</sup>, Ю. П. Макушев<sup>2</sup>*

#### Дизельдерде отын беру үрдісін диагностикалау

<sup>1</sup>Калининград мемлекеттік техникалық университеті, Калининград қ., 236000, Ресей Федерациясы;

<sup>2</sup>Сібір мемлекеттік автомобиль-жол университеті (СибАДИ), Омск қ., 644080, Ресей Федерациясы.

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*L. Y. Volkova<sup>1</sup>, Y. P. Makushev<sup>2</sup>*

#### Diagnosis of fuel delivery process in diesel engines

<sup>1</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, 236000, Russian Federation;

<sup>2</sup>Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, 644080, Russian Federation.

Material received on 15.05.18.

*Мақалада отын қысымын анықтауға және отын аппаратурасының (ОА) жьлжымалы болшектерінің орын ауыстыруын жазуға арналған түрлендіргіштер қарастырылған. Сораптың итуцеріндегі қысымды және айдағыш қақпақшаның жүрісін анықтауға арналған аралас түрлендіргіш ұсынылды. Түрлендіргіштің тұлғасы бір мезгілде сорап итуцері болады, бұл оған дизельді пайдалану кезінде жұмыс жасауға және ОА техникалық жағдайын анықтауға мүмкіндік береді.*

*Құбырлы жолдың кез-келген жерінде отынның қысымын өлшеу үшін AVL фирмасының немесе ПД-6 жапсырма түрлендіргішінің құрылысы ұсынылған. Зерттеулер нәтижелері бойынша индуктивті түрлендіргіші жазған иненің қозғалысы мен форсунканың жабық көлеміндегі қысымның өзгеруі бір-біріне сәйкес. Топадатқыш инесінің қозғалысын отынның форсункадан ағу жолында орнатылған төмен қысымды түрлендіргіштің көмегімен анықтау ұсынылған.*

*ОА техникалық жағдайын отын қысымы осциллограммасының сипатты нүктелер мен телімдер талдауы бойынша диагностикалау тәсілі ұсынылды.*

*The article deals with sensors to determine the fuel pressure and to record the action of moving parts of the fuel equipment (FE). A combined sensor is proposed to determine the pressure in the pump and the positive progress of the valve. The sensor housing is both fitting pump that allows function of the sensor during operation of a diesel engine and to determine FE technical condition by the change in the waveform injection process.*

*To measure the fuel pressure anywhere in the pipeline it is proposed to use the surface sensor PD-6 or AVL. Studies have shown that the movement of the needle recorded by the inductive sensor in the form of a «spacer» and the pressure change in the closed volume of the injector are equivalent to each other. It is recommended to determine the movement of the sprayer needle using a low-pressure sensor installed in the drain line of fuel leaks from the injector.*

*A technique for diagnosing the technical state of FE by analyzing the characteristic points and sections of the oscillogram of the fuel pressure is proposed.*

**А. К. Жунусов<sup>1</sup>, К. А. Бектемиров<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>магистрант, кафедра «Металлургия», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>zhunusov\_ab@mail.ru; <sup>2</sup>bektemirov\_kuan@mail.ru

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ОГНЕВЫХ ПРОСТЕНКОВ ПЕЧИ ОБЖИГА АНОДОВ**

*Рассмотрена причина важности внимания к проблеме и приведен анализ возможностей увеличения срока службы футеровки печи обжига анодов для производства алюминия. Приведены результаты анализа применения нескольких способов увеличения срока службы, как в отдельности, так и в комбинации. Отмечаются положительные и отрицательные эффекты от применения, возможный экономический эффект.*

*Ключевые слова: печь обжига, анод, футеровка, искривление простенков.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Всемирное увеличение потребления алюминия привело к значительному прогрессу технологии его производства и увеличению единичной мощности электролизеров. Самые передовые производители применяют электролизеры с силой тока до 600 кА, что соответствует плотности тока на аноде  $\sim 1 \text{ А/см}^2$  [1–3].

Увеличение производительности электролизера требует соответствующего развития его конструкций, огнеупорных материалов и токопроводящих элементов – катода и анода. Требования, предъявляемые к показателям анода с повышением силы тока на электролизере, становятся все жестче, это вызвано тем фактом, что влияние данных показателей на технико-экономические показатели в натуральном выражении, растет пропорционально увеличению производительности.

Кроме повышения требований к качеству анодных блоков [4, 5], рост объемов выпуска алюминия требует увеличения мощностей линий производства анодных блоков. На футеровку печи воздействуют, следующие неблагоприятные факторы: высокая механическая нагрузка за счет большого размера основных элементов конструкции печи обогреваемых простенков, высокая температура в камере обжига (около 1300 °С), циклические термические нагрузки, в сочетании с перепадом температур по толщине простенка, воздействие восстановительной среды (углеродная засыпка и продукты её окисления) и натрий-фторидных испарений от криолита содержащего в анодных огарках, входящих в состав анодной массы в количестве от 5 до 20 % [4, 6].

Эволюция развития производства обожженных анодов прослеживает определенную закономерность, чем выше сила тока электролизера, тем, до определенной степени, больше масса анода (рисунок 1). Эта мера вынужденная, так как позволяет снизить удельную электрическую нагрузку на анодный блок,

улучшить распределение тока по электролизеру и, следовательно, стабилизировать технологический процесс электролиза [7].

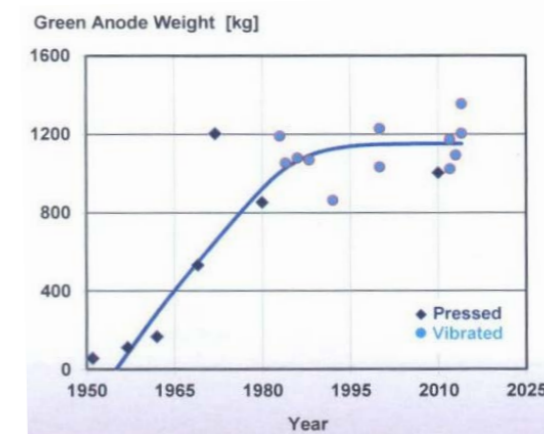


Рисунок 1 – График зависимости параметров прессования и массы анода от времени [7]

Увеличение массы (размеров) анодов также привело к значительным усовершенствованиям в технологии их производства.

Однако в данном случае все еще имеются значительные проблемные вопросы, в частности увеличение габаритов анодов привело к значительным затруднениям в процессе их обжига, увеличение размеров печей обжига, удельного расхода топлива, количество брака (некондиционных анодов), повышенное требование к режимам обжига. Что негативно сказывается на экономических показателях. Большая часть указанных проблем решается путем внедрения современных систем контроля и управления процессом обжига (АСУТП). Другая часть, которая выходит за пределы системы управления, зависит от качества футеровочных материалов, срока их службы, качества проведения технического обслуживания печей обжига. Рост габаритов анодов привел к увеличению нагрузки на материал простенков печей, как механической так и физико-химической. Возросла тепловая нагрузка по причине большего объема выделяемых летучих из анода и масса столба материала на нижнюю часть простенков.

Данная проблема является постоянным предметом исследования на предприятиях алюминиевой промышленности.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Целью данного исследования являлось увеличение срока службы футеровки печи обжига, а именно снижение частоты замены огневых простенков разрушенных под влиянием теплового расширения и (или) механического воздействия.

На периодичность замены огневого простенка влияют следующие параметры:

- качественные характеристики футеровочных материалов;
- технологические параметры обжига анодов;



- гранулометрический состав пересыпочногo материала;
- схема загрузки анодов в печь;
- стратегия, технология и качество проведения технического обслуживания.

В рамках данной статьи рассматриваются комплексное исследование влияния гранулометрического состава пересыпочногo материала, схемы загрузки и технологии проведения технического обслуживания печи обжига.

Как показано на рисунке 2, при слишком коротких интервалах техобслуживания расходы на аварийный ремонт незначительны, но затраты на профилактические работы довольно высоки. При слишком длинных промежутках времени стоимость профилактического обслуживания значительно снижается, тогда как стоимость аварийного ремонта резко возрастает.



Рисунок 2 – Взаимозависимость стоимости видов ремонта [8]

Для проведения исследования в течении длительного периода проводилось обследование состояние футеровки печи обжига анодов на АО «Казахстанском электролизном заводе» (КЭЗ).

Разъедание натрием и фторидами является последствием ненадлежащей очистки анодных огарков. В зеленых анодах должно поддерживаться содержание натрия на уровне  $\leq 200$  ppm и фторидов  $\leq 300$  ppm, во избежание ухудшения огнеупорных свойств простенков газохода [8]. В данном исследовании дефект обследуется факультативно, результаты не приводятся. На рисунке 3 приведены – виды дефектов простенков печи обжига по данным [8–10].

Для проведения исследования в течении длительного периода проводилось обследование состояние футеровки печи обжига анодов на АО «Казахстанском электролизном заводе», в основном обследование сводилось к наиболее трудозатратному замеру искривления простенков. На рисунке 4 приведены наиболее искривленный простенок (49 мм) 7 простенок камеры № 5 анодного цеха КЭЗ.

Анализ замеров:

- наибольшему искривлению подвержены простенки № 5, 6, 7, (рисунок 5) при этом сильно сокращается пространство крайней кассеты, по причине разнонаправленному прогибу простенков.

Согласно технологической инструкции поставщика, единственным возможным способом устранения существенного прогиба простенка, при отклонении от оси более 35 мм, является его замена. Также согласно инструкции, загрузка анодов производится равномерно по одному ряду в каждую кассету.

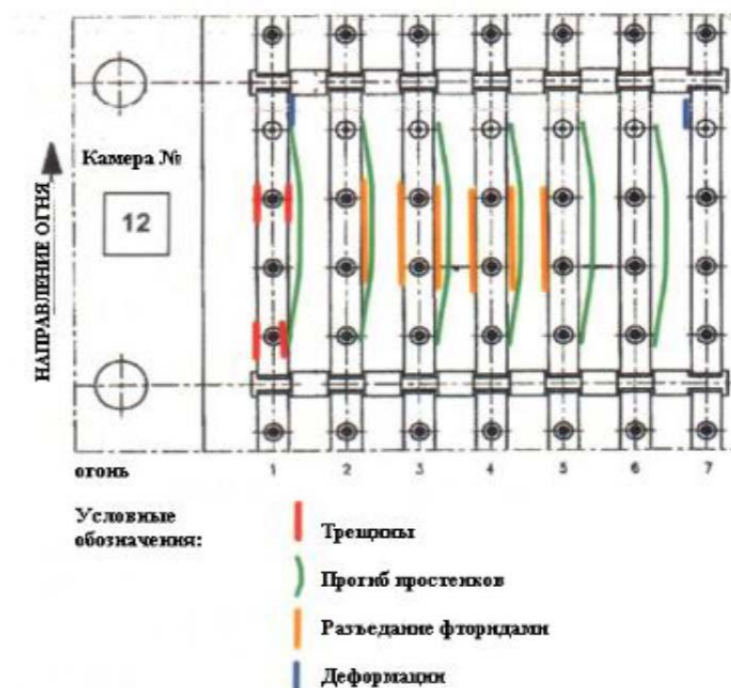


Рисунок 3 – Виды дефектов простенков печи обжига [8–10]



Рисунок 4 – Наиболее искривленный простенок (49 мм) 7 простенок камеры № 5

Замеры производились согласно рекомендации поставщика технологии обжига компании RiedhammerGmbH.

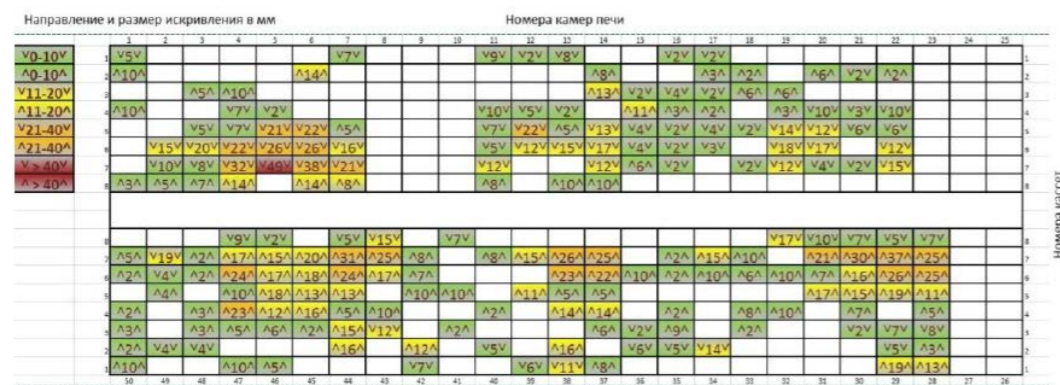


Рисунок 5 – Первичные результаты замеров

Для устранения незначительного прогиба менее 20 мм на первом этапе была изменена схема загрузки кассет: выполнялась полная загрузка кассеты со стороны прогиба при пустой соседней на камере № 4. Результаты повторных замеров показали незначительное улучшение (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты по итогам первого испытания

Искривление простенков камеры № 4, мм							
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	(8	)10	)7	)20	)25	(10

С целью дальнейшего развития данной процедуры предлагается проведение лабораторных исследований влияния структуры пересыпочногo материала на движение простенков. В процессе обжига происходит постоянные потери пересыпочногo кокса и его восполнение, при этом восполнение происходит путем закачки краном свежегo материала и последующей засыпки без контроля. Сравнение свежегo и рабочегo материалов показывает, что свежий материал имеет заданные характеристики, тогда как рабочий имеет большую насыпную плотность и более мелкий грансостав, гранулы ровную поверхность.

На втором этапе кроме изменения схемы загрузки, была введена процедура использования свежегo пересыпочногo материала, а именно свежий материал засыпался в кассету обратной стороне прогиба, а рабочий на стороне прогиба. Таким образом, создавалась менее плотная структура для возможного движения простенка к выравниванию, особенно на этапе охлаждения камеры. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты второго испытания

Искривление простенков камеры № 4, мм							
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	(8	)10	)7	)18	)20	(10

ВЫВОДЫ

По результатам можно предположить, что влияние обоих факторов однозначно присутствует, однако требуются более детальное исследование и тиражирование на большее количество камер.

Другое направление исследования по продлению срока службы футеровки печи связано с увеличением межремонтного периода простенков. По рекомендации поставщика материала, периодичность замены простенка составляет >150 циклов нагрева-охлаждение (около 7 лет, при текущем темпе обжига 23,5 часа). Данное направление имеет большое экономическое значение. Для замены одного простенка требуется около 20 тонн футеровочных материалов, значительные трудозатраты, при уменьшении производительности печи (печь переводится на больший темп обжига).

Так как изменение схемы загрузки и введение порядка применения свежегo пересыпочногo материала дают незначительный результат и больше предназначено для поддержания текущегo состояния прогиба простенка, предлагается выполнения принудительного исправления прогиба простенков имеющих отклонение от оси более 35 мм, которые согласно инструкции производителя требуется заменить. Применение для меньшегo значения менее оправдано с экономической точки зрения.

В качестве инструмента возможно применение гидравлической системы и распорной конструкции. Технологию выправления прогиба разрабатывать согласно полученным результатам. Предположительная процедура: выполнять в сторону загруженной кассеты со свежим пересыпочногo материалом, со стороны опорного простенка должна быть выполнена загрузка рабочим материалом и опорная часть распорной конструкции должна иметь большую площадь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Технология производства алюминия на электролизерах АО «Казахстанский электролизный завод» [Текст] : монография / А. Т. Ибрагимов, Р. В. Пак. – Павлодар : ТОО «Дом печати», 2012. – 288 с. – ISBN 978-601-7112-56-1
- 2 Аноды алюминиевых электролизеров [Текст] : научное издание / Э. Янко. – М. : ИД «Руда и Металлы», 2001. – 672 с. – ISBN 5-8216-0030-8
- 3 Мир знаний. Анодное устройство электролизера. / Статьи : информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <http://mirznanii.com/a/193117/anodnoe-us-troystvo-elektrolizyera>.
- 4 Трофимова, Ю. С. Особенности электролизеров различных типов [Текст] / Ю. Трофимова, А. Жунусов // Вестник Инновационного Евразийского университета. – 2013. – № 3. – С. 68–71.
- 5 Прошкин, А. В. Вогafb – огнеупорные изделия для кладки печей обжига анодов [Текст] / А. Прошкин, А. Сакулин, В. Скурихин, О. Кузнецова // VI Междунар. конгресс «Цветные металлы и минералы 2014». – Красноярск, 2014. – С. 884–888.

6 **Садлер, В.** Ключевые проблемы производства анодов и обеспечение их качества [Текст] / В. Садлер // VI Междунар. конгресс «Цветные металлы и минералы 2014». – Красноярск, 2014. – С. 822–845.

7 **Вальц, В.** Применение андалузита в печах обжига анодов [Текст] / В. Вальц, Х. Паскаль // Аллюминий Сибири-2006 г. : Сб. научн. Статей. – Красноярск : «Бона компани», 2006. – С. 289–298.

8 **Майер, М. В.** Трещины. Поведение трещин в анодах [Текст] : научное издание / Маркус В. Майер : R&D Carbon Ltd., 1996. – 220 с. – ISBN 3-9521028-1-4.

9 **Келлер, Ф.** Обжиг анодов. Обжиг анодов алюминиевой промышленности [Текст] : Феликс Келлер, Петер О. Сульгер. – Сьер, Швейцария : Calligraphy, 2007. – 363 с. – ISBN 978-2-940348-19-0.

10 **Keller, F.** Process controlled operation of backing furnaces / F. Keller, S. Oberdolz // Aluchemic and Alusuisse : R&D Carbon (Netherlands, Switzerland), 1992. – P. 134–137.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*A. K. Zhunusov<sup>1</sup>, K. A. Bektemirov<sup>2</sup>*

**Анод күйдіру пешінің төсенішінің қызмет ету мерзімін ұзарту мүмкіндігін талдау**

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

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*A. K. Zhunusov<sup>1</sup>, K. A. Bektemirov*

**Analysis of the possibility of extending the service life of the anode furnace lining**

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

Material received on 15.05.18.

*Мақалада алюминий өндірісі үшін анод күйдіру пешінің қызмет ету мерзімін ұзарту мүмкіндігі мәселесіне назар аударудың маңызды себебі қарастырылған. Қызметтің мерзімін ұзартудың бірнеше әдістерін жеке және аралас түрде қолдануды талдау нәтижелері келтірілген. Қолданудан оң және жағымсыз, ықтимал экономикалық әсерлері белгіленген.*

*The article considers the reason for the importance of attention to the problem and analyzes the possibilities for increasing the service life of the lining of the anode burning furnace for aluminum production. The results of the analysis of the application of several methods for increasing the service life are presented, both individually and in combination. There are positive and negative effects from the application, and a possible economic effect.*

ГРНТИ 55.09.29; 55.21.99

**А. Т. Канаев<sup>1</sup>, А. В. Богомолов<sup>2</sup>, А. А. Канаев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., ассоц. профессор, (доцент), Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.ф.-м.н., Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>aman-kanaev2012@yandex.ru; <sup>2</sup>bogomolov71@mail.ru; <sup>3</sup>azamat-kanaev@yahoo.com

## **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ ПЛАЗМЕННЫМ УПРОЧНЕНИЕМ**

*Проведены металлографические исследования структурно-фазовых состояний, формирующихся в сечении гребня бандажа из конструкционной стали при поверхностном плазменном упрочнении. Показано, что по глубине упрочнения отчетливо наблюдается образование нескольких структурных зон различной микротвердости, свидетельствующих о формировании градиентно-слоистой структуры. Подтверждено, что при сверхбыстрых скоростях нагрева, имеющих место при поверхностной плазменной закалке, фазовые и структурные превращения смещаются в область высоких температур, сильно изменяя кинетику возникновения и роста зародышей новой фазы (аустенита). При этом формируется мелкозернистый аустенит, который превращается в высокодисперсную мартенситную структуру, недостижимую при традиционных способах термической обработки.*

*Показано, что основным фактором, приводящим к сильному упрочнению поверхностного слоя при плазменной обработке, является формирование в приповерхностной зоне неравновесной метастабильной структуры, переходящей к узкой зоне полной и неполной закалки с неоднородной и искаженной структурой высокодисперсного мартенсита с высоким уровнем внутренних напряжений.*

*Ключевые слова: колесная сталь, плазменное упрочнение, градиентно-слоистая структура, аморфный слой, микротвердость, износостойкость, прочность.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Развитие научно-технического прогресса в различных сферах экономики требует широкого внедрения в промышленность новых эффективных и экономичных технологических процессов упрочнения материалов, основанных на достижениях современной науки и техники [1–5].

Одним из перспективных направлений, существенно расширяющих технологические возможности процесса глубокой переработки металлопродукции путем упрочняющей термической обработки, является использование высококонцентрированных потоков энергии (лазерной, плазменной, электронно-лучевой и др.). Однако широкое внедрение большинства известных способов упрочняющей термической обработки высококонцентрированным потоком энергии, а именно, лазерной, электронно-лучевой, катодно-ионной, сдерживается высокой стоимостью и сложностью оборудования, недостаточными его надежностью и производительностью, необходимостью использования

вакуума, специальных помещений с особыми требованиями, потребностью в квалифицированном обслуживании, высокими эксплуатационными расходами.

В отличие от перечисленных выше процессов технология поверхностного плазменного упрочнения металлов лишена указанных выше недостатков, успешно развивается в последние годы и находит все большее применение в различных отраслях промышленности. Практика показывает, что для продления эксплуатационного ресурса тяжело-нагруженных деталей и узлов рациональным по параметрам универсальности, доступности, экологичности и экономической эффективности является поверхностная плазменная закалка. Не изменяя параметров шероховатости поверхности, такая упрочняющая термообработка легко встраивается технологический процесс восстановления деталей, малозатратна, достаточно производительна и позволяет эффективно увеличить их эксплуатационную стойкость [6–9].

#### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Упрочнению подвергалась зона перехода от рабочей поверхности гребня к поверхности катания [10]. Зона упрочнения начинается на расстоянии 2–3 мм от вершины гребня и имеет ширину 25–26 мм.

Макроскопические исследования проводили на поперечном темплете бандажа с высотой гребня 28 мм после травления 25 %-ным водным раствором азотной кислоты. Микроскопические исследования проводили на металлографическом микроскопе «Neophot» при увеличении  $\times 200$  на микрошлифах, вырезанных в поперечном направлении из сегмента с условием сохранения упрочненного слоя.

Изучали микроструктуру, глубину, распределение микротвердости по сечению гребня, качество упрочненных поверхностей. Измерение микротвердости упрочненного слоя проводили на микрошлифе до травления на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 1,962Н (200гс) в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-2006 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников».

Изменение микроструктуры по сечению гребня, упрочненного плазменной закалкой, представлено на рисунке 1.

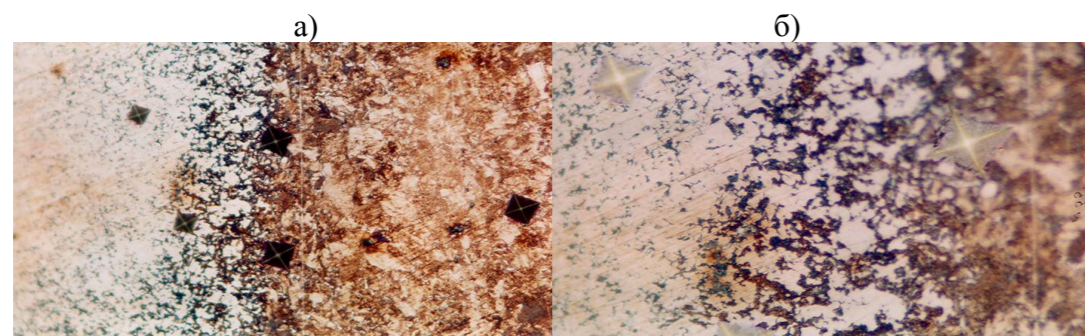


Рисунок 1 – Микроструктура образца в упрочненной зоне: а)  $\times 200$ ; б)  $\times 500$

Были также проведены исследования по определению химического состава сплава с возбуждением спектра в искре на спектрометре SPECTROLAB фирмы Leica Microsystems и мультифрактальный анализ снимков упрочненной зоны и основы.

Макроструктура закаленного слоя выявляли после травления 25 %-ным водным раствором азотной кислоты. Хорошо выявлен упрочненный слой более и менее равномерной толщины по высоте гребня бандажа. Ширина закаленных зон на гребнях колеблется 25–26 мм, глубина от 1,5 мм до 1,9–2,1 мм. Высота гребня составляла 28 мм.

Видно формирование в поверхностном слое гребня градиентно-слоистой структуры. Поверхностный слой состоит из мартенсита, образованного по сдвиговому механизму  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения. Промежуточный слой характеризуется структурой из продуктов  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения, протекающего частично по сдвиговому, частично по диффузионному механизму.

Структура сердцевины состоит из продуктов  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения, образованных по диффузионному механизму.

Заметим, что если плазменное упрочнение вести с микроплавлением поверхности, то при отдельных режимах упрочнения формируется аморфный и наноструктурированный слой с исключительно высокой твердостью [3, 11]. Так, были получены следующее распределение микротвердости по сечению упрочненной зоны гребня: микротвердость аморфного слоя 1590 HV; переходного 820HV и центрального 405HV. Однако такие режимы упрочнения не могут быть рекомендованы для внедрения, поскольку это приведет к сильному изнашиванию головки контртела гребнем сверхвысокой твердости. Поэтому выбраны режимы плазменного упрочнения, при которых в поверхностном слое формируется мелкодисперсная мартенситная структура с микротвердостью 900- 850HV [12, 13].

Из экспериментальных данных, выполненных согласно ГОСТ 9450-2006, следует, что изменение микротвердости по сечению упрочненного слоя происходит в диапазоне от 871 HV<sub>02</sub> до 240–245 HV<sub>02</sub> со структурой феррит +перлит.

Из экспериментальных данных, приведенных на рисунке 1 (а и б) видно, что по глубине упрочнения отчетливо наблюдается образование нескольких структурных зон различной микротвердости. На поверхности находится зона, химический состав которой соответствует составу стали с содержанием углерода 0,61–0,62 %. При резком охлаждении происходит ее превращение в игольчатый мартенсит с дисперсностью 5–15 мкм. За ней следует зона превращения аустенита в троостомартенсит. В микроструктуре этих слоев наблюдается присутствие небольшого количества остаточного аустенита, количество которого колеблется и зависит от глубины закаленного слоя.

Далее следует слой троостита, где микротвердость снижается и зависит от объемного содержания присутствующих фаз, затем в структуре появляется сорбит. Область расположения появляющегося сорбита определяется центральными участками бывших аустенитных зерен, характеризуется меньшей дисперсностью ферритных и цементитных составляющих в них по сравнению с трооститом и

обладает меньшей микротвердостью. Микротвердость в этой области также зависит от объемного количества присутствующих фаз.

Далее, по мере углубления внутрь образца, на стыке границ бывших аустенитных зерен появляется феррит и его количество постепенно возрастает. Структура остается феррито-сорбитной и затем плавно переходит в феррито-перлитную. Суммарная микротвердость снижается до исходной. Исходная структура представляет собой смесь ферритных и перлитных зерен с объемной долей каждой фазы соответственно 20–80 %.

При сверхбыстрых скоростях нагрева, имеющих место при плазменной закалке, фазовые превращения смещаются в область высоких температур, и это обстоятельство сильно влияет на кинетику возникновения и роста зародышей новой фазы.

Соотношение между скоростью зарождения и скоростью их роста меняется, по мере повышения температуры процесс зарождения зерен новой фазы (аустенита) происходит быстрее, чем ускорение их роста, наблюдается все большее количественное опережение скорости зарождения над скоростью роста. Это приводит к тому, что по мере смещения  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения в область высоких температур все большую роль играет процесс зарождения, а процесс же роста зародышей в значительной степени подавляется. В итоге формируется мелкозернистый аустенит, который превращается в высокодисперсный «бесструктурный» мартенсит [14].

В принципе, регулируя количество введенной энергии можно создать таких условий протекания  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения, когда единственной возможностью перехода исходных фаз оказывается процесс зарождения. Таким образом, открывается возможность получения сверхмелкого аустенита, когда размеры зерен окажутся соизмеримыми с критическими размерами при температуре, достигаемой в процессе скоростного нагрева. Это обстоятельство используется в целях улучшения свойств стали после поверхностной плазменной закалки.

При сверхбыстром нагреве отсутствует выдержка, необходимая для протекания  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения, растворения карбидов с последующим перераспределением углерода и легирующих элементов. Образующийся аустенит имеет различную концентрацию растворенных атомов углерода и легирующих элементов в отличие от гомогенного распределения, как это имеет место при медленном печном нагреве [15].

Кроме того, особенности упрочнения сплавов при быстром нагреве и охлаждении связаны с тем, что  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение в них протекает в неравновесных условиях в отличие от традиционных методов термического упрочнения, использующих медленный нагрев, либо изотермическую выдержку для достижения температуры закалки. Это приводит к тому, что структурные и фазовые составляющие стали после плазменной обработки (аустенит, мартенсит, троостит, сорбит) формируются в условиях, далеких от равновесного состояния и характеризуются повышенной дисперсностью и более высоким уровнем внутренних (фазовых и структурных) напряжений второго рода, а также ярко

выраженной химической микронеоднородностью, т.е. конечные структуры поверхностного слоя стали неоднородны по химическому составу

Для экспериментальной проверки этих утверждений были проведены специальные исследования по определению химического состава сплава с возбуждением спектра в искре на искровом спектрометре SPECTROLAB фирмы Leica Microsystems. Данные химического анализа по глубине плазменного упрочнения и не упрочненной зон подтверждают химическую микронеоднородность структурных и фазовых составляющих исследованной стали.

Из данных химического анализа следует, что содержание углерода по глубине упрочненной зоны колеблется от 0,002 до 0,06 % (ат.). Такую же микронеоднородность по глубине закаленной зоны имеют и другие постоянные примеси стали (Si, Mn, V и др.).

При скоростях нагрева ( $10^3$ – $10^5$  К/с) и кратковременности воздействия ( $10^{-4}$ – $10^{-2}$  с) на металл, характерных для плазменной обработки, процессы, связанные с гомогенизацией жидких и твердых растворов, не успевают завершиться в объеме отдельных зерен и это, как отмечалось, способствует созданию неравновесных метастабильных структур высокой твердости с хорошим сопротивлением износу и микросхватыванию в процессе трения.

Неоднородность и искаженность структурных и фазовых составляющих стали подтверждаются результатами мультифрактального анализа снимков упрочненной зоны и основы (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты мультифрактального анализа снимков поверхности

Мультифрактальные параметры	Упрочненный слой	Переходный слой	Основа
Удельная энтропия, $S_{уд}$	0,05	0,05	0,05
Упорядоченность, $\Delta$	0,143	0,082	0,115
Фрактальная размерность, $D_0$	1,991	1,993	1,993
Однородность, $R^2$	0,922	0,986	0,936
Плотность фрактальной структуры	1,391	1,368	1,349

Из таблицы 1 следует, что *основа* – достаточно упорядоченная неоднородная структура, возникшая, видимо, в результате предварительной закалки стали. *Переходной слой* – область хаоса, имеющая наиболее неупорядоченную и однородную структуру. *Упрочненный слой* – возросший параметр плотности фрактальных структур свидетельствует об образовании мультифрактальной структуры, характеризующейся неоднородностью и упорядоченностью. Поскольку фрактальная размерность  $D_0=2$ , структура представляет собой плотноупакованные кластеры с фрактальными границами [11].

## ВЫВОДЫ

Проведены металлографические исследования структурно-фазовых состояний, формирующихся в сечении гребня бандажа при поверхностном

плазменном упрочнении. Показано, что по глубине упрочнения отчетливо наблюдается образование нескольких структурных зон различной микротвердости, свидетельствующие создание градиентно-слоистой структуры. Для повышения трещиностойкости стали наиболее рациональной является градиентно-слоистая структура, при которой распространение возникшей трещины затрудняется, поскольку она должна каждый раз зарождаться вновь, переходя от одного слоя к другому.

2 Показано, что в поверхностном слое формируется мелкодисперсная мартенситная структура, на глубине 0,30–1,00 мм от поверхности троостомартенситная структура, образованная по сдвигу и диффузионному механизму  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения, затем трооститная и сорбитная структуры, далее следует структура основного металла с феррито-перлитной составляющей в соотношении 20/80. Общая глубина зоны плазменного воздействия доходит до 1,9–2,0 мм.

3 Подтверждено, что при сверхбыстрых скоростях нагрева, имеющих место при поверхностной плазменной закалке, фазовые и структурные превращения смещаются в область высоких температур, сильно изменяя кинетику возникновения и роста зародышей новой фазы. При этом все большую роль играет процесс зарождения, а процесс роста зародышей в значительной степени подавляется. В итоге формируется мелкозернистый аустенит (балл зерна 14,  $d_{cp} = 22$  мкм по ГОСТ 5639), который превращается в высокодисперсную мартенситную структуру, недостижимую при традиционных способах термической обработки.

4 Для продления эксплуатационного ресурса быстроизнашивающихся деталей рациональным по параметрам универсальности, доступности, экологичности и экономической эффективности является способ поверхностной термической обработки плазменной дугой. Не изменяя параметров в шероховатости поверхности, такая термообработка легко встраивается технологический процесс восстановления деталей, малозатратна, достаточно производительна и позволяет эффективно увеличить их эксплуатационную стойкость.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Новачук, Я. В., Тепляков, А. Н., Григоренко, В. Г. Стратегия повышения ресурса тяжело нагруженных деталей из углеродистых сталей. // Материалы научно-практической конференции «Колесо-рельс 2003». – М. : Изд-во ВНИИЖД, 2003. – С. 164–167.

2 Нечаев, В. П., Рязанцев, А. А. Исследование, разработка, обоснование возможностей повышения надежности работы крупномодульных шестерен путем плазменного упрочнения их поверхностей. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. // Вестник КТУ. – Вып. 1, 2 (43). – 2012. – С. 227–232.

3 Коротков, В. А., Ананьев, С. П., Шур, В. В. Наноструктурирование стали плазменной дугой. Технология машиностроения. – 2011. – № 4. – С. 5–7.

4 Кидин, И. Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов. – М. : Металлургия, 1969. – 376 с.

5 Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин. / Под ред. И. Н. Шило. – Минск: БГАТУ, 2010. – 320 с.

6 Поверхностное плазменное упрочнение тяжело нагруженных деталей из углеродистых сталей. // Материалы 14-ой Международной научно-практической конференции «Технологии упрочнения, нанесение покрытий и ремонта : теория и практика. Ч. 2. – СПб., 2012. – С. 338–343.

7 Kanayev, A., Sarsembayeva, T., Bogomolov, A. Overall hardening of solid-rolled wagon wheels by volume quenching and surface plasma processing/ Solid State Phenomena. – 2017. – Т. 265 SSP. – С. 706–711.

8 Канаев, А. Т., Кусаинова, К. Т., Богомолов, А. В. Исследование структурообразования в гребнях колесных пар, упрочненных плазменной закалкой // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2012. – № 12. – С. 48–51.

9 Kanaev, A. T., Sarsembayeva, T. E., Bogomolov, A. V. Improving the wear resistance of wheel-pair rims by plasma quenching // Steel in Translation. – 2012. – Т. 42. – № 6. – С. 544–547.

10 ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатаные, технические условия. – Введен в действие 2012-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 27 с.

11 Иванова, В. С., Баланкин, А. С., Бунин, И. Ж., Оксогоев, А. А. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М. : Наука, 1994. – 585 с.

12 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.

13 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. – Р. 1098–1100.

14 Богатов, А. А. Механические свойства и модели разрушения металла // Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2002. – 329 с.

15 Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. – М. : Металлургия, 1986. – 479 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

А. Т. Қанаев<sup>1</sup>, А. В. Богомолов<sup>2</sup>, А. А. Қанаев<sup>3</sup>

Плазмалық орныққан доңғалақты болаттың беріктігі мен тозуға төімділігін арттыру

<sup>1,3</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы;

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

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

**Increase of wear resistance and strength of wheel steel by plasma hardening**<sup>1,3</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University,  
Astana, 010008, Republic of Kazakhstan;<sup>2</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 15.05.18.

*Беткі плазмадағы беріктендіру кезінде құрылымдық болаттан жасалған жоттың учаскесінде қалыптасқан құрылымдық-фазалық күйлердің металлографиялық зерттеулері жүргізілді. Әртүрлі микроағзалықтардың құрылымдық аймақтарының қалыптасуы қабатталған тереңдікте байқалады, бұл қабатталған құрылымды қалыптастыруды күәландырады. Жер үсті плазма сөндіру кезінде пайда болған ультрафаттылық қызу жылыдамдықтарында фазалық және құрылымдық өзгерістердің жоғары температураға ауысуы, ядроның кинетикасы мен жаңа фазаның (аустенит) өсуінің айтарлықтай өзгеруі расталды.*

*Плазмадағы өңдеу кезінде беткі қабаттың беріктігін күшейтуге әкелетін негізгі фактор – жақын жердегі зонада метастабильді құрылымның қалыптасуы, ол ішкі кернеулердің жоғары деңгейімен дисперсиялық мартенситаның біркелкі және бұрмаланған құрылымымен толық және толық емес сөндірудің тар аймағына әкелетінін көрсетті.*

*Metallographic studies of structural-phase states formed in the section of the ridge of the structural steel band during surface plasma hardening are carried out. It is shown that the formation of several structural zones of different microhardness is distinctly observed in the depth of hardening, which attest to the formation of a graded-layered structure. It has been confirmed that at ultrafast heating rates that occur during surface plasma quenching, phase and structural transformations are shifted to high temperatures, greatly changing the kinetics of nucleation and growth of the new phase (austenite).*

*It is shown that the main factor leading to strong hardening of the surface layer during plasma treatment is the formation of a nonequilibrium metastable structure in the near-surface zone, which leads to a narrow zone of complete and incomplete quenching with an inhomogeneous and distorted structure of highly disperse martensite with a high level of internal stresses.*

**П. В. Корниенко<sup>1</sup>, Д. А. Туғумбаев<sup>2</sup>, У. Е. Ахметова<sup>3</sup>, А. П. Атконова<sup>4</sup>**<sup>1</sup>к.т.н., профессор, кафедра «Промышленное, гражданское и транспортное строительство» Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;<sup>2</sup>магистрант, инженер-технолог, ТОО «ДСК ТемірТас», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;<sup>3</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;<sup>4</sup>магистрант, инженер, Испытательная лаборатория ТОО «ДСК ТемірТас», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстанe-mail: <sup>1</sup>korniienko1943@mail.ru; <sup>2</sup>tgdamir@mail.ru; <sup>3</sup>ulpanay\_93@mail.ru; <sup>4</sup>atkonova\_aida@mail.ru**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЕТОНА С ТРЕБУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

*В статье рассматривается последовательность влияния исходных факторов на структуру и строение материала, которая определяет, при оптимизации технологических параметров производства, свойства производственных групп изделий на предприятии «Павлодарский домостроительный комбинат ТОО «ДСК ТемірТас». Приводятся результаты производственных испытаний тяжелого бетона при запуске технологической линии по производству многоспустотных плит перекрытий безопалубочного формования (стендовая технология) с использованием комплекса технологического оборудования фирм «Eletatic» (Финляндия) и ООО «Elticon» (Беларусия).*

*Ключевые слова: системный подход, менеджмент качества, структура и строение материала, исходные материалы, оптимальный состав, производственный процесс.*

**ВВЕДЕНИЕ**

В рыночных условиях хозяйствования наибольшую актуальность приобретает решение задач эффективного управления производством непосредственно на предприятии, где потери средств и ресурсов сегодня исключительно велики.

С позиции системного подхода к предприятию и управлению им все предприятия являются открытыми системами, т.е. характеризуются взаимодействием с внешней средой. Если организация управления эффективна, то в ходе процесса преобразования образуется добавочная стоимость ресурсов на входе и появляются многие возможные дополнительные результаты на выходе (прибыль, увеличение доли рынка, увеличение объема продаж, рост предприятия и др.).

На передовых предприятиях объектом управления на предприятии выступают несколько групп функциональных процессов: маркетинг, исследования и разработки, производство, финансы, персонал и др. [1].

Цель статьи заключается в том, чтобы используя принципы системного подхода выявить влияние исходных факторов на структуру и строение материала, которые определяют, при оптимизации технологических параметров производства,

с учетом свойств производимых групп изделий, экономические показатели производственного процесса и производственных затрат.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Процесс производства и управления на предприятии не могут функционировать в отдельности. Любые структурные изменения в производстве осуществляются только при непосредственном участии системы управления предприятием и требуют одновременно функциональных и структурных преобразований последней. Масштабность преобразований в определяющей мере зависит от качества разработок технологического процесса, глобальности поставленных задач.

Основные понятия и принципы менеджмента качества, описанные в международных стандартах типа ИСО, дают организациям возможность справиться с вызовами, предъявляемыми средой, которая в корне отличается от того, что было всего несколько десятилетий назад. Условия, в которых работает организация сегодня, характеризуются ускоренными изменениями, глобализацией рынков и превращением знаний в основные ресурсы. Влияние качества выходит за рамки удовлетворения потребителя: оно также оказывает непосредственное воздействие на репутацию организации [2, 3].

Предлагая основополагающие понятия и принципы, которые должны быть применены при разработке системы менеджмента качества (СМК), на предприятии мы выбрали свой экспериментальный метод, в котором учитывали поставки местных материалов, и анализировали степень влияния мелкого заполнителя и пластифицирующих добавок на качество бетона для производства сборных предварительно напряженных многопустотных плит перекрытий, изготавливаемых способом непрерывного безопалубочного формования экструдером Е9-1500е фирмы Elematic (Финляндия). Промышленные испытания проводили в условиях Павлодарского домостроительного комбината ТОО «ДСК ТемірТас», запустивший данную линию в августе 2015 года. Расчет производили и корректировали в условиях производства с учетом поставки использования местных материалов.

На предприятии ТОО «ДСК ТемірТас» используются следующие сырьевые материалы:

1 портландцемент: ЦЕМ I 42,5 Б ГОСТ 31108-2003 (соответствует портландцементу ПЦ500-Д0-Б ГОСТ 10178-85). Производитель – ОАО «Искитимцемент» (РФ, Новосибирская область, г. Искитим). Качество цемента соответствует требованиям ГОСТ 31108-2003.

2 щебень из плотных горных пород (порфирит) ГОСТ 8267-93, смесь фракций 5–20 мм. Производитель – ТОО «Асфальтобетон» (Павлодарская область, станция Майкаин). Согласно данным, приведенных в таблице 1, периодически выявлялись несоответствия зернового состава в крупном заполнителе. В соответствии с рекомендациями специалистов фирмы «Elematic» фракция щебня свыше 20 мм подвергались отсеиванию, т.к. данный фактор негативно влияет на процесс формовки пустотных плит и ускоряет износ оборудования.

Таблица 1 – Физико-механические показатели щебня

Наименование показателей	Требования ГОСТ 8267-93	Результат
Фракционный состав: полные остатки на ситах, % по массе		
1,25D – (сито № 25)	не более 0,5	0–2,5
D – (сито № 20)	не более 10	2–27
0,5 (d+D) – (сито № 12,5)	30–60	30–76
d – (сито № 5)	90–100	82–99
сито № 2,5	95–100	91–100
сито № 1,25	95–100	98–100
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе	не более 35 %	17–25
Марка по дробимости	не ниже 800	1000–2000
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	не более 1 %	0,24–3,5
Содержание глины в комках, % по массе	не более 0,25 %	менее 0,25

Данные по зерновому составу щебня представлены на рисунке 2. Из графика видно большой разброс по полным остаткам на контрольных ситах.

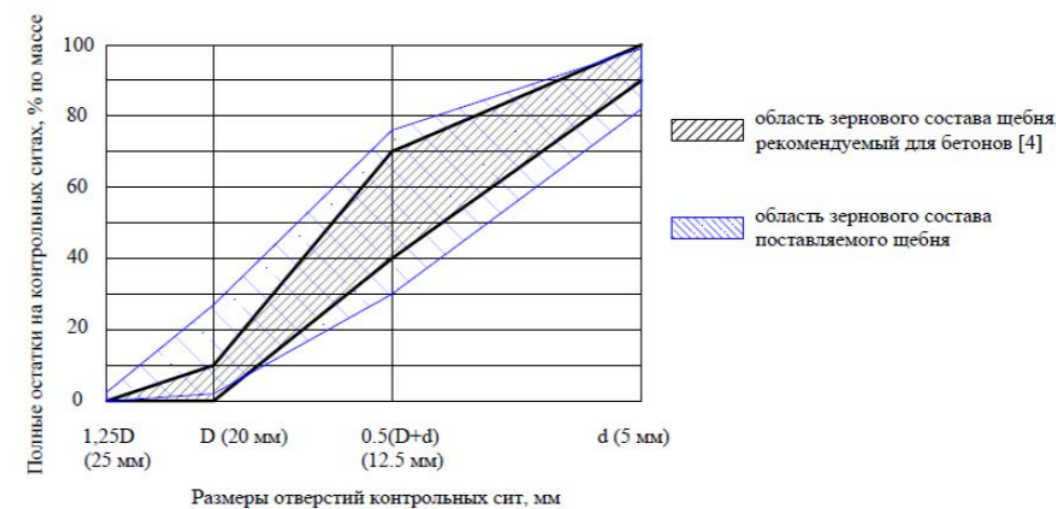


Рисунок 2 – Зерновой состав щебня

3 мелкий заполнитель:

– песок речной производства АО «Павлодарский речной порт» (г. Павлодар). Согласно ГОСТ 8736-2014 относится к мелким пескам II-го класса.

– песок карьерный производства – ТОО «Sputnik GPS» (Павлодарская область, п. Спутник). В ходе испытаний выявлено периодическое превышение содержания фракций свыше 5 и 10 мм, что фактически свидетельствует об отношении данного материала к песчано-гравийным смесям. Для корректного проведения исследований гравий смеси отсеивался на виброгрохоте в производственных



условиях. Фракции песчаной части согласно ГОСТ 8736-2014 относится к крупным пескам II-го класса.

Характеристики мелкого заполнителя приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические показатели песка

Наименование показателей	АО «Павлодарский речной порт»		ТОО «Sputnik GPS»			
	Требования ГОСТ 8736	Результат	Требования ГОСТ 8736	Результат		
Содержание зерен крупностью св. 10 мм, % по массе	не более 0,5	1,3–2,3	не более 5	2,2–10,4		
Содержание зерен крупностью св. 5 мм, % по массе	не более 10	2–3,2	не более 15	3,2–15,3		
Зерновой состав, остаток на сите, % по массе: сито 2,5 мм		частные	полные	частные	полные	
		3,6–4,1	3,6–4,1	10,2–19,2	10,2–19,2	
		сито 1,25 мм	4,2–4,4	7,8–8,5	10,7–15,6	21,1–33,1
		сито 0,63 мм	8,9–9,1	16,7–17,6	21,0–39,6	41,8–50,7
		сито 0,315 мм	20,4–22,0	38,0–38,7	10,0–32,7	69,6–84,7
		сито 0,16 мм	48,9–50,0	86,9–88,7	15,1–19,3	88,2–96,4
Содержание зерен крупностью менее 0,16 мм, % по массе	не более 20	11,3–13,1	не более 15	3,8–6,6		
Полный остаток на сите 0,63 мм, % по массе	св. 10 до 30	16,7–17,6	св. 45 до 65	41,8–50,7		
Модуль крупности $M_k$	св. 1,5 до 2,0	1,5–1,6	св. 2,5 до 3,5	2,5–2,8		
Содержание глины в комках, % по массе	не более 0,5	соответствует	не более 0,5	соответствует		
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	не более 5	соответствует	не более 3	соответствует		

По результатам испытаний были построены кривые просеивания мелкого заполнителя (рисунок 3). Полученные графики были сравнены с оптимальной областью

зернового состава, рекомендуемым автором [4], являющийся наиболее пригодным и обеспечивающий меньшую пустотность (не более 38 %). Анализ показывает, что песок производства ТОО «Sputnik GPS» является пригодным для производства бетона. Иная ситуация наблюдается с речным песком, кривая просеивания которого выходит за пределы диапазона рекомендуемого зернового состава.

4 химическая добавка – суперпластификатор СП-1. Производитель – ТОО «Полипласт-Казахстан» (РК, г. Астана). Добавка «ПОЛИПЛАСТ СП-1» представляет собой смесь натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы. Рекомендуемый диапазон дозировок добавки «ПОЛИПЛАСТ СП-1» составляет от 0,4 до 0,8 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество [5]. Плотность водного раствора – 1,18 г/см<sup>3</sup> при концентрации 35 %.

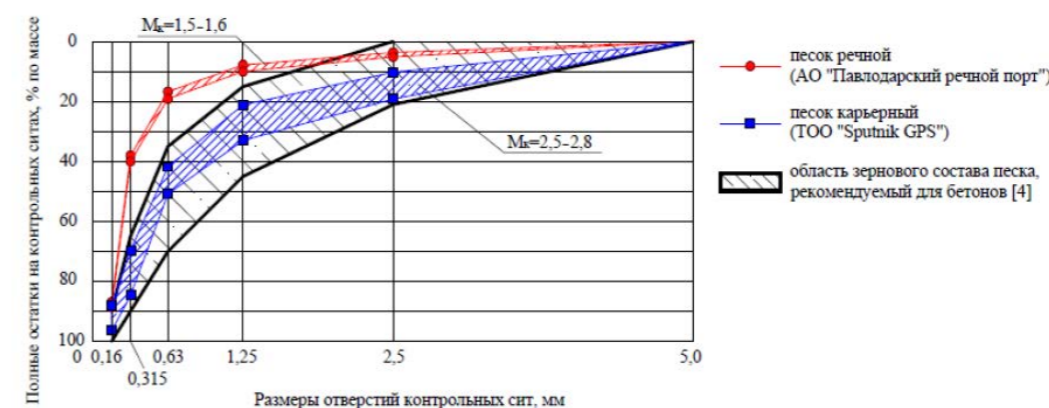


Рисунок 3 – Кривые просеивания мелкого заполнителя

Определение качества и характеристик исходных компонентов, а также испытания бетона осуществлялись в испытательной лаборатории ТОО «ДСК ТемірТас» (свидетельство об оценке состояния измерений в лаборатории № 411 от 21.04.2016 г.).

Подбор состава бетона

Заданием на подбор состава являлось получение бетона класса (марки) по прочности на сжатие В30 (М400) по ГОСТ 26633, при этом обеспечить получение оптимальной структуры и передаточной прочности не менее 32 МПа (80 % от проектной) после тепловой обработки.

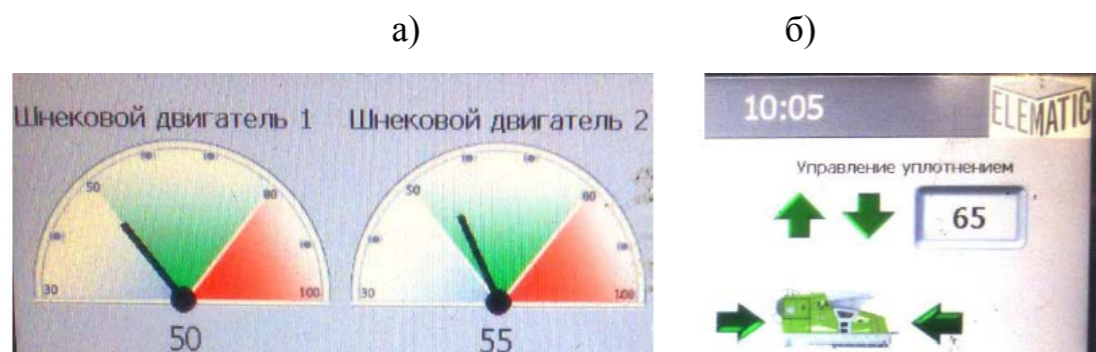
Оптимальная структура характеризуется гладкой внешней поверхностью изделий, удобоукладываемостью бетонной смеси при формовании, наименьшей межзерновой пористостью в системе заполнителя с каркасом в уплотненном состоянии и т. д.

Диапазон оптимальной жесткости бетонной смеси составляет 40-50 с при испытании на приборе Вебе (что соответствует марке по жесткости Ж4 по ГОСТ 7473-2010). Данная удобоукладываемость обеспечивает необходимую токовую нагрузку шнековых двигателей 50–60 А при регулировании интенсивности уплотнения от 40 до 90 % (рисунок 4). При соблюдении указанных условий

отформованный монолит имеет гладкую поверхность и четкую геометрию сечения согласно чертежам. Дополнительно положительной характеристикой является способность свежесформованной плиты выдерживать вес человека сразу после уплотнения.

Проектирование состава проводили по нормативным материалам и реальным условиям предприятия, которое использует местные материалы.

Тепловая обработка осуществлялась согласно рекомендациям специалистов фирмы «Elematic» при температуре изотермии не более 60 °С по режиму 2+3+13+2. Данное ограничение связано с тем, что установка по контролю тепловой обработки E9-8mc не рассчитана на более высокую температуру обогрева.



а) токовая нагрузка шнековых двигателей; б) интенсивность уплотнения.

Рисунок 4 – Фрагмент опций сенсорного компьютера экструдера E9-1500e «Elematic»

Расчет состава бетонной смеси осуществлялся согласно [6–9] по методу абсолютных объемов с последующей корректировкой в производственных условиях.

Расчитанные соотношения компонентов бетонных смесей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Составы бетонных смесей для производства плит перекрытий

Состав	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>						В/Ц	ρ <sub>см</sub> , кг/м <sup>3</sup>
	цемент	вода	песок 1*	песок 2**	щебень	СП-1		
1	410	157–160	770	–	1100	–	0,38–0,39	2440
2	370	144–147	–	900	1130	–	0,39–0,40	2545
3	310	122–125	–	980	1150	6,8	0,39–0,40	2565

\* песок 1 – речной производства АО «Павлодарский речной порт»;

\*\* песок 2 – карьерный производства ТОО «Sputnik GPS»

Работая на составе с суперпластификатором СП-1 время изотермического прогрева было сокращено на 3 часа, что уменьшило затраты на тепловую обработку изделий, а также поспособствовало к более раннему снятию напряжения арматурных канатов и распиловки плит.

Контроль и оценка прочности бетона

Контроль прочности бетона на предприятии осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности» по схеме А. По каждому составу было изготовлено по 15 линий, с каждой из которых отбирались 2 пробы по 6 образцов-кубов размером 100×100×100 мм. Испытания бетонных образцов выполняли через 4 часа после тепловой обработки согласно ГОСТ 10181-2012 на поверенном оборудовании испытательной лаборатории ТОО «ДСК ТемірТас».

Фактическую прочность бетона в партии  $R_m$ , МПа, рассчитывали по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (1)$$

где  $R_i$  – единичное значение прочности бетона, МПа;

$n$  – общее число единичных значений прочности бетона.

Среднеквадратическое отклонение прочности бетона в партии  $S_m$ , МПа, рассчитывали по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

где  $R_i$  – единичное значение прочности бетона в партии, МПа;

$R_m$  – фактическая средняя прочность бетона отдельной партии, МПа;

$n$  – общее число единичных значений прочности бетона в партии.

Текущий коэффициент вариации прочности бетона  $V_m$  определяли по формуле

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} \cdot 100 \quad (3)$$

Таблица 4 – Основные показатели и результаты испытаний бетона

Показатели	Результат		
	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Интенсивность уплотнения силового блока при токовой нагрузке шнековых двигателей 50–60 А, %	80–90	80–90	40–60
Время выработки 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, мин/м <sup>3</sup>	3,5–3,7	3,5–3,7	2,9–3,1
Скорость движения экструдера, м/мин	1,4–1,5	1,4–1,5	1,7–1,8
Время формовки 1 линии с учетом времени перемешивания и адресной подачи бетонной смеси, ч	1,8–2	1,8–2	1,5–1,7
Время ТО бетона, ч	20	20	17
Максимальное количество формируемых линий за 12-ти часовую смену с учетом времени на подготовку линий, распиловки и снятия плит, мойку технологического оборудования и т.д.	2	2	3
Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	2390–2420	2500–2540	2520–2550

Прочность на сжатие $R_m$ за анализируемый период, МПа	33,4	38,6	33,9
Среднеквадратическое отклонение прочности бетона в партии $S_m$ , МПа	2,02	2,15	1,55
Текущий коэффициент вариации прочности бетона $V_m$ за анализируемый период, %	6,05	5,57	4,57
Себестоимость материалов для изготовление 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, тг/м <sup>3</sup>	11616	11315	11245

Исходя из полученных результатов за приведенные анализируемые периоды текущий коэффициент вариации прочности бетона плит перекрытий не превышал 13 %, что говорит об однородности бетона, обеспечиваемое точным дозированием бетоносмесительного узла, являющегося необходимым условием получения качественного отформованного монолита на линии.

Испытания плит

Контрольная нагрузка

$$q_{к1.4} = (\bar{q} + 1,1 \times q_1) \times 1,4 - q_2$$

где  $\bar{q}$  – расчетная нагрузка для испытываемой плиты сверх собственной массы, равная 8 кПа (800 кгс/м<sup>2</sup>);

$q_1$  – собственная масса плит с заливкой швов между ними на 1 м<sup>2</sup> перекрытия, равная 3,28 кПа (328 кгс/м<sup>2</sup>);

$q_2$  – собственная масса плит на 1 м<sup>2</sup> перекрытия, равная 3,13 кПа (313 кгс/м<sup>2</sup>).

Таблица 5 – Основные показатели и результаты испытаний плит перекрытия

Показатель	Значение
Расчетная нагрузка сверх собственной массы, кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	8 (800)
Контрольная нагрузка по прочности (с=1,0), жесткости и трещиностойкости, кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	8,5 (850)
Фактическая полная нагрузка на плиту, кгс	7685
Контрольный прогиб плиты $f_1$ при расчетной нагрузке 8 кПа, мм	не более 6,9
Фактический прогиб от полной контрольной нагрузки, мм	4,8; 2,8; 5,8
Контрольная нагрузка по прочности (с=1,4), кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	13,1 (1310)
Фактическая полная разрушающая нагрузка, кгс	13305

### ВЫВОДЫ

По результатам, полученным в ходе проведения эксперимента, можно сделать следующие выводы:

1 сократился расход портландцемента на 100 кг от 1-го состава; уменьшение потребления цемента и затрат на транспортировку примерно на 180 тонн в месяц; для предприятия является более простым и выгодным осуществлять в месяц поставку 11 тонн химической добавки, которая есть в наличии в Павлодаре, нежели транспортировать 3 вагона цемента.

2 сокращено время тепловой обработки на 3 часа; снизилась температура обогрева бетона на 5°С; снизились затрат на потребление энергии.

3 по экструдеру:

- увеличение скорости движения экструдера при формовке с 1,5 до 1,8 м/мин;
- «смягчение» работы силового блока при уплотнении бетонной смеси
- бетонная смесь с пластификатором более «смазанная», что значительно уменьшает налипание смеси на приемочный бункер и механизмы экструдера; облегчение подачи бетонной смеси шнеками, уменьшение их износа;

- уменьшение шума от работы электродвигателя и трения щебня об механизмы уплотнительной полки;

- работа при меньшей интенсивности уплотнителя силового блока (80–90 % – без пластификатора, 40–60 % – с пластификатором СП-1) при сохранении оптимальной токовой нагрузке шнековых электродвигателей 55–60 А, обеспечивающая бесперебойную работу экструдера и качественное уплотнение бетонной смеси;

- снижение себестоимости 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси на 400 тенге, что дает экономию ≈7,5–8 млн тенге в год.

Таким образом организация сможет достигать и поддерживать требуемый уровень качества при оптимальных затратах, способствующих повышению ее рентабельности и конкурентоспособности.

Теоретическая основа и приближение к международным требованиям по менеджменту качества позволило, при анализе действующего предприятия на всех технологических переделах, сделать следующие выводы:

- процесс производства железобетонных изделий неразрывно связан со степенью воздействия машин и механизмов участвующих в формировании исходных материалов, как: соотношение фракций с учетом использования и обогащения щебня и песка с определенными размерами зерен;

- оптимизация каждого шага процесса: от дозирования до заполнения форм, уплотнения, отверждения и последующей обработки поверхности – приводит к наиболее эффективному использованию не только финансовых, но и энергетических, трудовых ресурсов и времени, что в свою очередь ведет к повышению производительности всего производства;

- все основные понятия, принципы и их взаимосвязи должны рассматриваться в целом, а не изолированно друг от друга. Ни одно основополагающее положение или принцип не важнее другого. В то же самое время, нахождение правильного баланса при применении является критически важным [10].

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Сатаева, Д., Павлова, Л., Маковеев, А. Внедрение менеджмента знаний в организационную структуру компаний // Стандарты и качество. Качество управления. – 2018. – № 4. – С. 43–49.

2 **Schmeleva, A. N.** Evaluation and improvement of the operating efficiency of enterprise quality management system (QMS) : conceptual bases // Quality – access to success. // V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Science. – М., 2017. – № 160 (18 Tom). – P. 100–107. – ISSN 1582–2259.

3 **Ахметова, У. Е., Абуова, Б. Б., Корниенко, П. В.** Основы системного подхода при производстве изделий на заводах ЖБИ // Материалы международной научно-практической конференции «VII Торайгыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар, 2016. – С. 326–333.

4 **Тимохин, Д. К., Страхов, А. В.** Подбор состава тяжелого бетона. Учебно-методическое пособие. // Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А. – 2015. – 97 с. – ISBN 978-5-7433-2866-6.

5 <http://www.polyplast-un.ru/assets/files/Stati-i-publikacii/novaya-him-dobavka-dlya-tehnologii-nepi-beoralubochno-go-formirovaniya.pdf>.

6 ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора состава».

7 Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов / Методическое пособие – М. : 2016. – 100 с.

8 СНиП 82-02-95 «Федеральные (типовые) элементарные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций»

9 **Селяев, В. П., Низина, Т. А., Балыков, А. С., Низин, Д. Р., Балбалин, А. В.** Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 1. – С. 129–146. – DOI 10.15593/pern.mech/2016.1.09.

10 **Лapidус, В. А., Грачев, А. Н.** Бережливое производство: от зарубежного опыта к разработке национального стандарта // СЕРТИФИКАЦИЯ. НИУ «Высшая школа экономики», ЗАО «Центр «Приоритет». – М. : «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации», 2014. – № 4. – С. 8–11. – ISSN 2219-0856.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*П. В. Корниенко<sup>1</sup>, Д. А. Тугумбаев<sup>2</sup>, У. Е. Ахметова<sup>3</sup>, А. П. Атконова<sup>4</sup>*

**Темірбетон құрылымындағы бетон қондырғыларын жобалау кезінде жүйелі тәсілдемесі**

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

<sup>2,4</sup>ЖШС «ТемірТас ҰҚК»,

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*P. V. Korniyenko<sup>1</sup>, D. A. Tugumbaev<sup>2</sup>, U. E. Akhmetova<sup>3</sup>, A. P. Atkonova<sup>4</sup>*

**System approach to designing concrete with required properties in reinforced concrete structures**

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

<sup>2,4</sup>LP «HBF TemirTas», S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 15.05.18.

*Мақалада материалдардың құрылымына әсер ететін негізгі факторлардың реттілігі қарастырылған. Бұл реттілік ЖШС «ТемірТас ҰҚК» Павлодар үй құрылыс комбинатының технологиялық параметрлерін оңтайландыру кезіндегі, өндірістік бұйымдар тобының қасиеттерін анықтайды. Мұнда «Elematic» және «Elticon» фирмаларының технологиялық жабдықтарын пайдалана отырып, қалыпсыз бетондау технологиясының көп қуысты плиталарын өндіру бойынша технологиялық желісін іске қосу кезіндегі ауыр бетон өндірістік сынақтарының нәтижелері келтіріледі.*

*The article discusses the sequence of influence of initial factors on the structure and pattern of the material, which determines, when optimizing the technological parameters of production, the properties of production groups of products at the enterprise «Pavlodar house-building plant LLP «DSK TemirTas». The results of production testing of heavy concrete at the start of the technological line for production of hollow-core floor slabs of cold forming (bench technology) with the use of complex technological equipment «Elematic» (Finland) and ООО «Elticon» (Belarus).*

**Э. Ж. Кызылбаева<sup>1</sup>, А. С. Кадыров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>докторант, кафедра «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>elvirakiz@mail.ru; <sup>2</sup>adil.suratovich@gmail.com

**АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ**

*Появление на горнодобывающих предприятиях большого числа зарубежных большегрузных автосамосвалов при отсутствии достаточно развитого сопутствующего технического сервиса создало потребность решения ряда научно-практических задач в деле снабжения запасными частями.*

*В результате уменьшения доли отечественных и увеличения доли зарубежных автосамосвалов обостряется актуальность, наукоёмкость и практическая значимость организации эффективной системы технического сервиса, одной из главных задач которой является решение проблемы повышения экономической эффективности машин путём минимизации затрат и возможных материальных потерь от отказов автосамосвалов. Решение этой задачи неразрывно связано с совершенствованием и оптимизацией существующей системы снабжения техники запасными частями.*

*В статье разработаны методические принципы выбора вида математических моделей для прогнозирования потребности в запасных частях: обеспечение характеристик прогноза; соответствие требованиям к исходным данным; соответствие требованиям, предъявляемым к моделям прогнозирования; возможность проведения расчетов с помощью стандартных пакетов прикладных компьютерных программ.*

*Ключевые слова: запасная часть, модель, прогнозирование, выбор.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Анализ работ авторов, посвященных проблеме обеспечения запасными частями, показал, что существующие подходы к определению номенклатуры и необходимого количества резервируемых запасных частей были разработаны для плановой экономики и их использование в условиях рынка не эффективно.

Большое количество методик основывается на зависимости спроса, на запасные части от степени изношенности и остаточного ресурса деталей на основе теории восстановления. При этом не учитываются или почти не учитываются реальные условия эксплуатации машин, при которых фактический износ деталей чаще всего не совпадал с расчётным нормативом, созданным на основе лабораторных испытаний, а также не учитываются факторы эксплуатационного и экономического характера.

Появление различных методик прогнозирования потребности с построением экономико-математических моделей стало одним из путей решения проблемы обеспечения техники запасными частями. По мнению А. Быкова [1] для прогнозирования потребности в запасных частях в условиях нестабильной экономической ситуации наиболее целесообразно применение методов

математической статистики, например, статистического многофакторного моделирования, корреляционного и регрессионного анализа. Однако применительно к большегрузным карьерным автосамосвалам в настоящее время нет единого подхода к определению потребности в запасных частях.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Ожидание запасных частей – серьезная проблема практически на любом предприятии. Беря «с потолка» или обоснованного когда-то для условий конкретного предприятия значения вероятности удовлетворения потребностей – и находя необходимое для этого количество запасных частей, оптимальный резерв не определяется.

Поэтому установление вероятности расхода запасных частей – это начальный этап. Следующий, не менее сложный этап – спрогнозировать, когда и сколько запасных частей приобретать [2–3].

Сложные производственные ситуации, особенно для крупных предприятий, трудно описать аналитически. Поэтому и последствия принимаемых решений остаются труднопредсказуемыми. Проведение натурных экспериментов требует больших затрат времени и материальных ресурсов. Кроме того, для реального производства трудно обеспечить сопоставимость при проведении натурального эксперимента, так как абсолютно сопоставимые аналоги отсутствуют. В этих условиях при принятии решений целесообразно применять методы исследования и оценки систем на моделях.

В математической статистике существуют два основных критерия, с помощью которых оценивается возможность применения той или иной модели: точность и адекватность модели [4–5].

Прежде чем приступить к расчетной части работы необходимо выполнить отбор рассмотренных математических моделей с учетом специфических особенностей функционирования горнодобывающего предприятия. Сформулируем следующие методические принципы выбора математических моделей для прогнозирования потребности в запасных частях горнодобывающих предприятий:

- обеспечение характеристик прогноза;
- соответствие требованиям, предъявляемым к исходным данным;
- соответствие требованиям, предъявляемым к моделям прогнозирования;
- соответствие требованиям, предъявляемым к стандартным пакетам прикладных компьютерных программ.

Методические принципы выбора модели для прогнозирования потребности в запасных частях и система требований, удовлетворяющая указанным принципам, представлены на рисунке 1.

Полученный с помощью выбранной математической модели прогноз должен иметь следующие характеристики:

- ценность,
- достоверность,
- точность,

- своевременность,
- соответствие заданному временному интервалу.

Ценность прогноза определяется возможностью использования его результатов для планирования производственной деятельности предприятия.

Достоверность прогноза определяется достоверностью исходных данных и правильно подобранной моделью изучаемого явления. Точность является критерием качества разрабатываемого прогноза. Для перспективного планирования прогностические оценки необходимо получать своевременно.

Прогнозы должны соответствовать заданному временному интервалу. В условиях предприятия автосервиса необходимо получение краткосрочных (ежемесячных) прогнозов, что объясняется специфическими особенностями работы горнодобывающего предприятия.

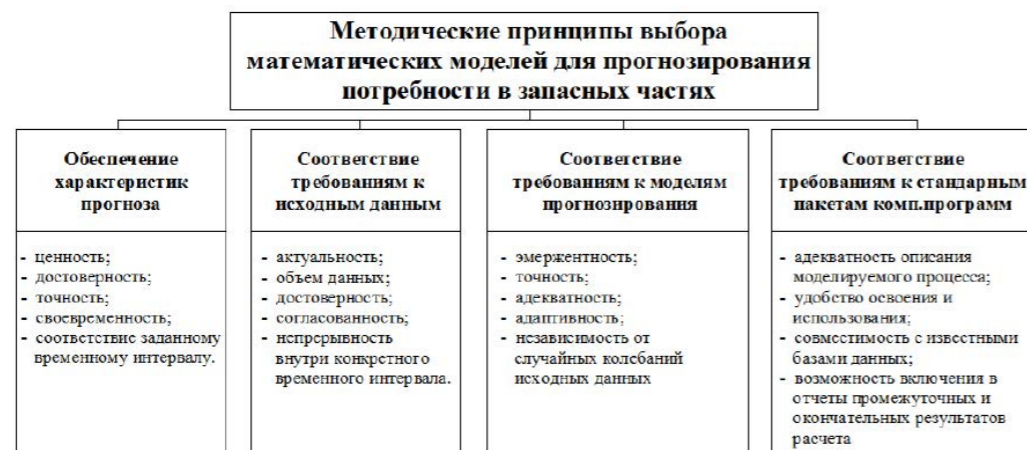


Рисунок 1 – Методические принципы выбора модели для прогнозирования потребности в запасных частях

Предприятие должно оперативно реагировать на изменения, происходящие на рынке. Величина запасов на складах предприятия, как правило, не превышает уровня, необходимого для его бесперебойной работы в течение месяца.

Основными исходными данными для прогнозирования потребности в запасных частях на предприятии автосервиса является статистика расхода запасных частей за предыдущие периоды работы предприятия (временной ряд значений), а также количественная информация об изменении основных факторов, влияющих на потребность в запасных частях.

Исходные данные для проведения расчетов должны соответствовать следующим требованиям:

- актуальность,
- объем данных,
- достоверность,
- непрерывность внутри конкретного временного интервала,
- согласованность.

Приступая к анализу исходных данных, необходимо решить, какие данные наиболее актуальны при разработке прогноза. Не менее важно установить соответствующие функциональные зависимости, т.е. данные должны быть согласованы. При сборе информации должны быть отобраны достоверные данные, подтвержденные отчетной документацией предприятия.

Получение прогнозов на заданном временном интервале предполагает непрерывную последовательность исходных данных. Объем собранной информации должен быть достаточным для построения моделей и получения прогнозов.

Математические модели для прогнозирования потребности в запасных частях должны удовлетворять следующим требованиям:

- адаптивность и чувствительность к изменению ряда наблюдений;
- эмергентность;
- точность;
- адекватность;
- независимость от случайных колебаний исходных данных.

Модели прогнозирования должны реагировать на изменения динамики ряда наблюдений, т.е. объективно отражать тенденции изменения расхода запасных частей в течение анализируемого временного интервала, обладать достаточной гибкостью, необходимой для учета и выравнивания отклонений в получаемых прогностических оценках. Модель должна обладать эмергентностью, т.е. обладать свойствами, характерными только для модели в целом, не являющимися свойствами одного конкретного элемента модели.

Адекватность модели – основное требование, определяющее возможность использования построенной модели для прогнозирования. Для адекватных моделей имеет смысл ставить задачу оценки их точности. Точность модели характеризуется величиной отклонения выхода модели от реального значения моделируемой переменной. Модели прогнозирования не должны терять своих свойств под воздействием случайных колебаний исходных данных.

Номенклатура постоянно расходуемых запасных частей на дилерском предприятии автосервиса составляет несколько тысяч наименований.

Проведение расчетов потребности в запасных частях возможно только в случае применения стандартных пакетов прикладных компьютерных программ, к которым предъявляются следующие требования: адекватность описания моделируемого процесса, удобство освоения и использования, совместимость с известными базами данных, возможность включения в отчеты промежуточных и окончательных результатов расчета, создание графиков [6–12].

На основании изложенных требований для последующих расчетов производится выбор стандартных пакетов прикладных компьютерных программ.

Так как полный анализ математических моделей можно провести только после построения модели и получения прогноза потребности в запасных частях, проведем анализ рассмотренных ранее моделей на соответствие только тем требованиям, которые не предполагают построения модели расхода и проведения предварительных расчетов потребности в запасных частях.

Формулы для расчета потребности в запасных частях, основанные на применении нормативов, не удовлетворяют большинству предъявляемых требований. Количество обслуживаемых автомобилей и структура парка по моделям, возрастам и пробегам постоянно изменяются, и для конкретного предприятия автосервиса разработать нормы расхода запасных частей не представляется возможным.

Использование трендовых моделей прогнозирования возможно только при существовании постоянной тенденции в изменении расхода запасных частей. Если предположить, что рост расхода запасных частей на прогнозируемом промежутке времени сменится спадом, указанная модель «не почувствует» данного изменения. Модели, основанные на законах распределения случайной величины, также предполагают соответствие изменений расхода запасных частей кривой распределения.

Адаптивная модель прогнозирования удовлетворяет всем разработанным принципам, но неадекватно реагирует на случайные колебания исходных данных.

Применение моделей на основе гармоник ряда Фурье обосновано в том случае, если колебания расхода запасных частей в течение рассматриваемого промежутка времени будут значительны и закономерны. Прежде чем применять указанную модель в практических расчетах, необходим анализ кривой расхода запасных частей.

Регрессионные модели дают возможность получения краткосрочного прогноза, но требуют значительного объема исходных данных. Они удовлетворяют требованию эмергентности, и для них существуют стандартные пакеты прикладных компьютерных программ, адекватно описывающие процесс моделирования.

## ВЫВОДЫ

Результаты анализа моделей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа математических моделей прогнозирования

Модели и методы	Соответствие заданному временному интервалу	Объем исходных данных	Непрерывность внутри временного интервала	Адаптивность к изменению ряда наблюдений	Эмергентность	Независимость от случайных колебаний	Адекватность описания процесса
Трендовые	+	+	+			+	+
Регрессионные	+		+		+	+	+
Адаптивная модель Брауна	+	+	+	+			
Модели с использованием ряда Фурье	+	+	+				+
Нормативные методы планирования							+
Нормальный закон распределения случайных величин		+	+				

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Быков, А.** Оптимизация запасов на основе имитационного моделирования // Логистика. – 2004. – № 1.

2 **Ныгыманов, А. Л., Усембаева, З. А., Жанайдаров, Ж. К., Имангазинова, Д. Б.** Актуальные проблемы и тенденции развития рынка транспортно-логистических услуг в Казахстане. // Наука и техника Казахстана. – № 3–4. Павлодар, 2015. – С. 75–79.

3 **Бедняк, М. П., Тахтамышев, Х. М.** Прогнозирование расхода запасных частей к автомобилям. – Киев : «Автомобильный транспорт», 2003. – № 10. – С. 20–22.

4 **Якушев, А. А.** Экономическое прогнозирование с применением математических моделей // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы обеспечения устойчивого экономического и социального развития России». – Челябинск, 2005, 22 апреля. – С. 173–177.

5 **Егорова, Н. Е., Мудунов, А. С.** Автосервис. Модели и методы прогнозирования деятельности. – М. : Экзамен, 2002. – 256 с.

6 **Крамаренко, Г. В., Кривенко, Е. И.** Расчет потребности в запасных частях. // Автомобильный транспорт. – 2007. – № 2. – С. 36–38.

7 **Бредихина, О. А., Шестакина, С. В., Фильчаков, С. В.** Прогнозирование на основе математических моделей // Сборник научных статей VI международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы преподавания математики». – Курск, 2016, 18–19 ноября. – С. 87–91.

8 **Хунов, Т. Х., Медведев, Д. В., Полесский, С. Н.** Исследование математических моделей прогнозирования надежности программного обеспечения // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – № 1 – М. : 2014. – С. 585–590.

9 **Габалин, А. В.** Применение математических моделей для прогнозирования и планирования развития систем // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2010). – М., 2010, 19–21 октября. – С. 143–145.

10 **Alsigar, M. K.** Mathematical model to predict material removal rate of reverse zones // Journal of advanced research in technical science. – 2018. – № 9–1. – С. 27–30.

11 **Агишев, Т. Х.** Математические модели прогнозирования процессов // Проблемы исследования финансово-экономических процессов в условиях глобализации. – Уфа, 2014, 27–28 июня – С. 3–6.

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

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

Э. Ж. Кызылбаева<sup>1</sup>, А. С. Кадыров<sup>2</sup>**Қосалқы бөлшектердің математикалық болжамдау модельдерін талдау**<sup>1,2</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,  
Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы.  
Материал баспаға 15.05.18 түсті.E. Zh. Kyzylbaeva<sup>1</sup>, A. S. Kadirov<sup>2</sup>**Analysis of the mathematical models of forecasting spare parts**<sup>1,2</sup>Karaganda State Technical University,  
Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 15.05.18.

Тау-кен қазу кәсіпорындарында дамыған сервистік қызметтердің жоқ болуы кезінде шетелдік ауыр жүк тасығыш автотүсіргілер санының артуы оларды қосалқы бөлшектермен жабдықтау мәселесіндегі бірқатар ғылыми-тәжірибелік талаптарды шешу қажеттілігін тудырады.

Автотүсіргілердің отандық үлесінің азаюы және шетелдік үлесінің артуы нәтижесінде техникалық сервистің тиімді жүйесін ұйымдастырудың өзектілігі, ғылымды қажетсінуі және тәжірибелік маңыздылығы арта түседі, оның басты міндеттерінің бірі – автотүсіргілердің бұзылуы салдарынан болатын мүмкін материалдық жоғалтуларды және шығындарды азайту арқылы машиналардың экономикалық тиімділігін көтеру мәселесін шешу болып табылады.

Мақалада қосалқы бөлшектерге қажеттілікті болжамдауға арналған математикалық модельдердің түрін таңдаудың келесі әдістемелік қағидалары орнатылды: болжау сипаттамаларын қамтамасыз ету, бастапқы деректердің талаптарына сәйкес келу, болжамдау модельдеріне қойылатын талаптарға сәйкес келу, қолданбалы компьютерлік бағдарламалардың стандартты пакетінің көмегімен есептеу жүргізу мүмкіндігі.

The appearance of a large number of foreign heavy-duty dump trucks at the mining enterprises in the absence of a sufficiently developed accompanying technical service has created the need to solve a number of scientific and practical problems in the supply of spare parts.

As a result of the decrease in the share of domestic dump trucks and the increase in the share of foreign dump trucks, the urgency, science-intensive and practical significance of an effective technical service system organization is intensified, one of the main tasks of which is to solve the problem of increasing the economic efficiency of machines by minimizing costs and possible material losses from dump truck failures. The solution of this problem is inextricably linked with the improvement and optimization of the existing system of supplying spare parts for the equipment.

The article develops methodical principles for choosing the type of mathematical models for forecasting the need for spare parts: ensuring the characteristics of the forecast; compliance with the requirements for the source data; compliance with the requirements for forecasting models; the possibility of making calculations using standard packages of applied computer programs.

ГРНТИ 55.42.03

**Ю. П. Макушев<sup>1</sup>, Т. А. Полякова<sup>2</sup>, В. В. Рындин<sup>3</sup>, П. В. Литвинов<sup>4</sup>**<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Тепловые двигатели и автотракторное оборудование», Факультет «Автомобильный транспорт», Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск, 644080, Российская Федерация;<sup>2</sup>к.п.н., доцент, кафедра «Высшая математика», Факультет «Экономика и управление», Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск, 644080, Российская Федерация;<sup>3</sup>к.т.н., профессор, кафедра «Механика и нефтегазовое дело», Факультет «Металлургия, машиностроение и транспорт», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; e-mail:<sup>4</sup>аспирант, кафедра «Теплоэнергетика», Теплоэнергетический факультет, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, 644044, Российская Федерация  
e-mail: <sup>1</sup>makushev321@mail.ru; <sup>3</sup>rvladvit@yandex.kz**СПОСОБЫ РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ЦИКЛА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТРОЕНИЕМ ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЫ**

Приведена методика построения индикаторной диаграммы бензинового двигателя мощностью 55 кВт при частоте вращения коленчатого вала 5800 мин<sup>-1</sup> с последующим определением работы, мощности, крутящего момента. Промежуточные значения давления газов в цилиндре двигателя на линии сжатия и расширения определены графоаналитическим способом, используя переменную величину сжатия для конкретного положения поршня. Результаты определения индикаторной работы графическим и расчётным способами практически совпадают, погрешность расчёта не превышает 5%. Графический способ построения индикаторной диаграммы занимает больше времени, но является наглядным и более понятным.

Для двигателя внутреннего сгорания той же мощности и частоты вращения коленчатого вала выполнен тепловой расчёт рабочего цикла с применением системы Mathcad, построены развёрнутая и свёрнутая диаграммы изменения давления газов в цилиндре. Применение системы Mathcad позволяет исследовать протекание процесса сгорания топлива при изменении любого значения исходных данных, проводить математическое описание решения задачи и быстро получать результаты вычислений, как в аналитическом, так и в численном виде с использованием при необходимости их графического представления. Относительная погрешность расчётных исследований, выполненных графоаналитическим способом и с использованием системы Mathcad, не превышает 1,4%.

Ключевые слова: двигатель, мощность, крутящий момент, давление, расчёт, цикл, диаграмма, система Mathcad.

**ВВЕДЕНИЕ**

Тепловой расчёт двигателя выполняется с целью определения давления и температуры газа в цилиндре двигателя при протекании процессов впуска, сжатия, рабочего хода (расширения), выпуска отработавших газов. Для заданных значений степени сжатия, числа цилиндров, состава топлива, эффективной мощности двигателя расчётным путем определяют давление газов, температуру в цилиндре и его размеры.

Диаграмма, построенная по данным теплового расчета [1], позволяет определить среднее индикаторное давление, работу, мощность, крутящий момент. Расчётные индикаторные диаграммы позволяют изменять, анализировать и



диагностировать параметры рабочего цикла на стадиях проектирования двигателя. Индикаторные диаграммы могут служить для анализа рабочего процесса двигателя, работающего на различных видах топлива [2–5]. Также, индикаторная диаграмма даёт обширное представление о протекании внутрицилиндровых процессов в различных двигателях, в том числе и экспериментальных [6].

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЫ  
ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

На рисунке 1 представлена теоретическая индикаторная диаграмма бензинового двигателя. Рассмотрим её построение графоаналитическим способом. При построении индикаторной диаграммы её масштаб выбирают таким образом, чтобы высота была в 1,2–1,5 раза больше её основания. Объём цилиндра должен быть пропорционален ходу поршня. Длину диаграммы выбирают равной ходу поршня или в два раза больше, если ход поршня малый. Например, ход поршня 90 мм, выбираем масштаб 2:1 и основание диаграммы  $V_h$  (рабочий объем цилиндра) принимаем равным 180 мм.

Выбрав длину основания индикаторной диаграммы в координатах  $V-P$  (например, 180 мм), выбираем высоту диаграммы, которая зависит от значения максимального давления сгорания топлива  $P_z$  (рисунок 1). В нашем примере значение  $P_z$  равно 6,4 МПа, если 1 МПа примем равным отрезку в 40 мм, то высота диаграммы составит 256 мм.

Под степенью сжатия обычно понимают отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания. Зная степень сжатия  $\epsilon$ , определим объём камеры сгорания в условных линейных единицах по формуле

$$V_c = \frac{V_h}{\epsilon - 1} = \frac{160}{9 - 1} = 20 \text{ мм.}$$

При  $\epsilon=9$  полный объем цилиндра в линейных единицах составит

$$V_a = V_c \cdot \epsilon = 20 \cdot 9 = 180 \text{ мм.}$$

Для построения диаграммы в координатах  $V-P$  из теплового расчета двигателя берем значения давлений в конце наполнения  $P_a$ , в конце сжатия  $P_c$ , максимальное давление сгорания  $P_z$ , давление в конце расширения  $P_b$  и давление в конце выпуска  $P_e$ .

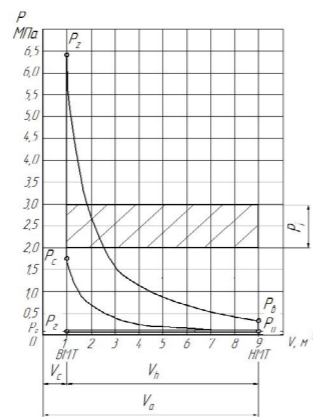


Рисунок 1 – Теоретическая индикаторная диаграмма бензинового двигателя

Процесс наполнения свежим зарядом цилиндра (воздухом у дизеля, топливом и воздухом у бензинового двигателя) происходит при постоянном давлении, значение которого на 10–20 % меньше атмосферного (двигатели без наддува) или равно давлению наддува. Поршень движется от ВМТ к НМТ, проходя точки 1–9. Впускной клапан открыт.

Процесс сжатия воздуха начинается в НМТ (клапаны закрыты), поршень движется к ВМТ, проходя точки 9–1. Процесс сжатия протекает политропно (кривая между значениями давления  $P_a$  и  $P_c$ ) и определяется выражением

$$P_a \cdot V_a^{n_1} = P_c \cdot V_c^{n_1} = P_{сжi} \cdot V_i^{n_1}$$

Откуда находим давление в точке с координатой  $x_i = \frac{V_i}{V_c} = i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$  (номер точки  $i$  на оси абсцисс показывает, во сколько раз объём  $V_i$  в данной точке  $i$  больше объёма камеры сгорания  $V_c$ )

$$P_{сжi} = P_a \cdot \epsilon_i^{n_1} \tag{1}$$

где  $\epsilon_i = V_a / V_i = \epsilon \cdot V_c / (x_i V_c) = \epsilon / x_i = \epsilon / i$  – текущее значение степени сжатия в  $i$ -ой точке цилиндра (значения  $\epsilon_i$  для  $i = 1-9$  приведены в таблице 1).

Принимая давление  $P_a = 0,0803$  МПа (как и в расчёте в системе Mathcad, приведённом ниже) и  $n_1 = 1,361$ , определяем по формуле (1) текущие значения давления на линии сжатия.

Давление в конце такта сжатия  $P_c$  определяем по формуле (1) для  $i = 1$  ( $\epsilon_1 = \epsilon / 1 = \epsilon$ )

$$P_c = P_a \cdot \epsilon^{n_1} = 0,0803 \cdot 9^{1,361} = 1,597 \text{ МПа}$$

В конце процесса сжатия горючая смесь, состоящая примерно из 15 частей воздуха и 1 части распыленного топлива (бензина), воспламеняется при помощи искры и фронт пламени распространяется по объёму камеры сгорания со скоростью 40–60 м/с. Температура в процессе сгорания достигает 2200–2400 К, а давление 4–6,5 МПа. Повышение давления при сгорании  $\lambda = \frac{P_z}{P_c}$  зависит от степени сжатия, угла опережения зажигания, частоты вращения и может достигать значения, равного 3–4,5. В нашем примере  $\lambda = 4,023$  и  $P_z = 6,427$  МПа.

В процессе расширения (объём увеличивается) совершается работа давлением газов (такт расширения, поршень движется от ВМТ к НМТ, проходя точки 1–9). Давление газов снижается и в конце расширения достигает значения  $P_b = 0,3-0,5$  МПа.

Уравнение политропного процесса для точек линии расширения имеет вид ( $V_z = V_c$ )

$$P_z \cdot V_c^{n_2} = P_b \cdot V_a^{n_2} = P_{расi} \cdot V_i^{n_2}$$

Откуда находим давление в промежуточных точках

$$P_{расi} = P_z \cdot \left( \frac{V_c}{V_a} \right)^{n_2} = \frac{P_z}{x_i^{n_2}} = \frac{P_z}{\delta_i^{n_2}} \tag{2}$$

где  $\delta_i \equiv x_i = V_i / V_c = i$  – текущая степень расширения, равная для нашего примера 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9;

$n_2$  – показатель политропы расширения, равный 1,25–1,30.

Давление в конце расширения определяется по формуле (2) для  $i=9$  и  $x_9 = 9 = \varepsilon$

$$P_b = P_a \cdot \varepsilon^{n_2} = 6,427 \cdot 9^{1,273} = 0,392 \text{ МПа}$$

Для построения линий сжатия и расширения индикаторной диаграммы по формулам (1) и (2) делаем вычисления и заносим их в таблицу 1. Затем в соответствующем масштабе откладываем точки на линии сжатия и расширения. Участки диаграммы 1–9 относятся к линии расширения, а 9–1 к линии сжатия (изменяется направление движения поршня).

Для определения индикаторных показателей – работы сжатия, расширения, индикаторной работы цикла, среднего индикаторного давления на участках диаграммы 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 5–6, 6–7, 7–8, 8–9 (номера этих участков  $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ ) сначала определим работу сжатия и расширения на  $i$ -х участках диаграммы по формулам:

$$W_{сж_i} = P_{ср.сж_i} \cdot \Delta V = P_{ср.сж_i} \cdot V_c$$

$$W_{рас_i} = P_{ср.рас_i} \cdot \Delta V = P_{ср.рас_i} \cdot V_c$$

где  $\Delta V$  – объем цилиндра на расчётном участке (в нашем случае он равен объёму камеры сгорания  $V_c$ );

$P_{ср.сж_i} = 0,5 \cdot (P_{сж_i} + P_{сж_{i+1}})$  – среднее давление сжатия на  $i$ -м участке диаграммы;

$P_{ср.рас_i} = 0,5 \cdot (P_{рас_i} + P_{рас_{i+1}})$  – среднее давление расширения на  $i$ -м участке.

Таблица 1 – Расчётные данные для построения линий сжатия и расширения

Линия сжатия «a – c»				Линия расширения «z – b»			
Номер точки $i$	$\varepsilon_i = \varepsilon / i$ $\varepsilon = 9$	$\varepsilon_i^{n_1}$	$P_{сж_i} = P_a \cdot \varepsilon_i^{n_1}$ МПа	Номер точки $i$	$\delta_{i-1}$	$\delta_i^{n_2} = i^{n_2}$	$P_{рас_i} = P_z / \delta_i^{n_2}$ МПа
9	1,000	1,000	0,080 ( $P_a$ )	1	1	1,000	6,427 ( $P_z$ )
8	1,125	1,174	0,094	2	2	2,417	2,659
7	1,286	1,408	0,113	3	3	4,049	1,587
6	1,500	1,736	0,139	4	4	5,840	1,100
5	1,800	2,225	0,179	5	5	7,759	0,828
4	2,250	3,015	0,242	6	6	9,786	0,657
3	3,000	4,460	0,358	5	5	11,907	0,540
2	4,500	7,745	0,622	8	8	14,113	0,455
1	9,000	19,984	1,597 ( $P_c$ )	9	9	16,396	0,392 ( $P_b$ )

Например, среднее давление сжатия (см. рисунок 1, таблица 1) на участке 1–2 (номер участка  $i = 1$ )

$$P_{ср.сж_1} = 0,5 \cdot (P_{сж_1} + P_{сж_2}) = 0,5 \cdot (1,597 + 0,622) = 1,11 \text{ МПа}$$

Принимаем диаметр цилиндра  $D = 80$  мм, а ход поршня  $S = 70$  мм.

Рабочий объём цилиндра

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot 10^{-6} = 0,352 \text{ л.}$$

Объём камеры сгорания (при  $\varepsilon = 9$ )

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} = 0,044 \text{ л.}$$

Полный объём цилиндра

$$V_a = \varepsilon \cdot V_c = 0,396 \text{ л.}$$

На рисунке 2 показано определение среднего давления газов  $P_{ср}$  на участке изменения объёма в цилиндре  $\Delta V$  и работы, равной площади заштрихованного прямоугольника.

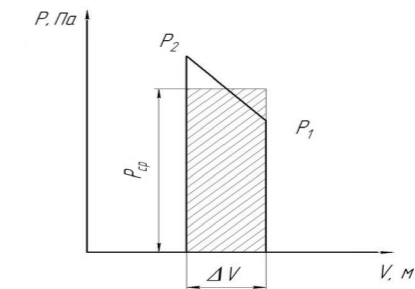


Рисунок 2 – Участок индикаторной диаграммы для расчёта среднего давления и работы

Индикаторная работа цикла на каждом участке равна разности работ расширения и сжатия  $W_{ци_i} = W_{рас_i} - W_{сж_i}$ . В виду малости работы на газообмен, ею пренебрегаем. Результаты расчёта работ на каждом участке диаграммы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение индикаторной работы

Номер участка диаграммы	Работа сжатия, $W_{сж_i}$ , Дж	Работа расширения, $W_{рас_i}$ , Дж	Индикаторная работа, $W_{ци_i}$ , Дж
1	48,808	199,903	151,095
2	21,553	93,427	71,874
3	13,201	59,129	45,928
4	9,255	42,435	33,180
5	6,996	32,673	25,677
6	5,552	26,324	20,771
7	4,559	21,893	17,334
8	3,839	18,642	14,803

$$\text{Работа сжатия } W_{сж} = \sum_{i=1}^8 W_{сж_i} = 113,763 \text{ Дж.}$$

$$\text{Работа расширения } W_{рас} = \sum_{i=1}^8 W_{рас_i} = 494,426 \text{ Дж.}$$

Работа теоретического цикла

$$W_{ци} = W_{рас} - W_{сж} = 494,426 - 113,763 = 380,663 \text{ Дж.}$$

К такому же результату можно прийти, применяя процесс интегрирования. Вычислим работу теоретического цикла при помощи определенного интеграла.

В общем случае работа при изменении объёма находится по формуле

$$W = \int_1^2 P dV \quad (3)$$

где 1 и 2 – пределы интегрирования, обозначающие начальное и конечное состояния газа.

Чтобы определить интеграл (3), необходимо перейти к одной переменной – к объёму. Для этого воспользуемся уравнением политропного процесса  $p \cdot V^n = p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n = C$ .

Откуда находим  $p = C/V^n = C \cdot V^{-n}$  и, подставляя в (3), получим

$$\begin{aligned} W &= \int_1^2 P dV = C \int_1^2 V^{-n} dV = -\frac{1}{n-1} C V^{-n+1} \Big|_1^2 = \\ &= -\frac{1}{n-1} (C V_2^{-n+1} - C V_1^{-n+1}) = -\frac{1}{n-1} (P_2 V_2^n V_2^{-n+1} - P_1 V_1^n V_1^{-n+1}) = \\ &= \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{n-1} = \frac{1}{n-1} P_1 V_1 \left[ 1 - \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} \right] = \frac{1}{n-1} P_1 V_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Процесс вывода формулы (4) для расчёта работы путём интегрирования достаточно сложен. В статье и монографии [7–8] вводится новая физическая величина «работоёмкость» (аналог теплоёмкости), которая позволяет определять работу (как и теплоту) по изменению температуры. В случае политропного процесса «работоёмкость» (равна работе при изменении температуры на один градус) величина постоянна и равна  $c_W = \frac{W}{\Delta T} = -\frac{R}{n-1}$ , Дж/(кг·К).

В результате формула для расчёта работы выводится без интегрирования

$$\begin{aligned} W &= c_W m \Delta T = -\frac{R}{n-1} m (T_2 - T_1) = \frac{m R T_1}{n-1} \left( 1 - \frac{T_1}{T_2} \right) = \frac{P_1 V_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \\ &= \frac{P_1 V_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

При выводе уравнения (5) использовались уравнения состояния  $P_1 V_1 = m R T_1$  политропы  $T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(n-1)/n}$  и  $P_2/P_1 = (V_1/V_2)^n$  [9–10].

Для «интегральных» работ процесса расширения от точки  $z$  (1) до точки  $b$  (2) и процесса сжатия от точки  $a$  (1) до точки  $c$  (2) формула (5) запишется в двух видах:

$$W_{рас.и} = \frac{P_z \cdot V_c}{n_2 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{P_b}{P_z} \right)^{\frac{n_2 - 1}{n_2}} \right] = \frac{P_z \cdot V_c}{n_2 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_c}{V_a} \right)^{n_2 - 1} \right] = \frac{P_z \cdot V_c}{n_2 - 1} \cdot (1 - \varepsilon^{1 - n_2}), \quad (6)$$

$$W_{сж.и} = \frac{P_a \cdot V_a}{n_1 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{P_c}{P_a} \right)^{\frac{n_1 - 1}{n_1}} \right] = \frac{P_a \cdot V_a}{n_1 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_a}{V_c} \right)^{n_1 - 1} \right] = \frac{P_a \cdot V_a}{n_1 - 1} \cdot (1 - \varepsilon^{n_1 - 1}). \quad (7)$$

Подставляя в формулы (6) и (7) значения соответствующих величин:  $P_a = 8,03 \cdot 10^4$  Па;  $P_z = 6,427 \cdot 10^6$  Па;  $V_a = 3,958 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>;  $V_c = 4,398 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>;  $\varepsilon = 9$ , получим значения работ расширения и сжатия (работа сжатия отрицательна):

$$W_{рас.и} = 467,1 \text{ Дж}; W_{сж.и} = -106,6 \text{ Дж}.$$

Работа цикла определяется как алгебраическая сумма работ

$$W_{ци.и} = W_{рас.и} + W_{сж.и} = W_{рас.и} - |W_{сж.и}| = 467,1 - 106,6 = 360,5 \text{ Дж}.$$

Погрешность результатов расчёта индикаторной работы графическим и расчётным методами не превышает 5 %.

Среднее индикаторное давление (условное постоянное давление, совершающее работу за ход поршня, равную работе за цикл), находим из выражения

$$P_i = W_{ци.и} / V_h = 360,5 / 3,52 \cdot 10^{-4} = 1,024 \cdot 10^6 \text{ Па, или } 1,024 \text{ МПа}.$$

Зная  $P_i$ ,  $V_h$ , число цилиндров  $i = 4$  и частоту вращения коленчатого вала двигателя  $n_d = 5800$  мин<sup>-1</sup>, определим индикаторную мощность двигателя  $N_i$ :

$$N_i = (P_i V_h i n_d) / 120 = (1,024 \cdot 10^6 \cdot 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 5800) / 120 = 69,7 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 69,7 \text{ кВт}$$

Механический КПД учитывает потери мощности на трение, газообмен и привод вспомогательных механизмов (0,75–0,9). Приняв  $\eta_m = 0,81$ , определяем эффективную мощность двигателя по формуле [11].

$$N_e = N_i \cdot \eta_m = 69,7 \cdot 0,81 = 56,5 \text{ кВт}$$

Зная значение  $N_e$ , определим эффективный крутящий момент на коленчатом валу:

$$M_e = 9550 N_e / n_d = 9550 \cdot 56,5 / 5800 = 93 \text{ Н·м}.$$

Методика расчета работы сжатия, расширения, определения мощности, крутящего момента двигателя и построения индикаторной диаграммы графоаналитическим способом наглядна, становится более понятной, но занимает много времени. Применение программ и современных персональных ЭВМ позволит значительно ускорить процесс теплового расчета двигателя внутреннего сгорания, выполнить необходимые исследования.

#### ПРОГРАММА ТЕПЛОВОГО РАСЧЁТА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ MATHCAD

Ниже приводится программа расчёта цикла бензинового двигателя в системе Mathcad [12]. В основу программы положен пример расчёта рабочего цикла, приведённого в работе [11–13]. Для сокращения текста статьи в отдельных местах изменён порядок расчёта (расчёт характеристик воздуха и продуктов сгорания приводится в одном разделе, теплоёмкости газов даются в функции от температуры).

Всё ниже написанное, включая и комментарии, может составлять содержание программы расчёта – система сама определяет, где текст, а где математические выражения (для наглядности буквенные обозначения величин в тексте и в нерабочих формулах, приводимых для пояснения, будем писать курсивом).

Задаём **исходные данные** для расчёта двигателя, то есть, присваиваем обозначениям величин числовые значения. Ввод символа присваивания – двоеточия с равно «:=» осуществляется нажатием клавиши с символом двоеточия «:».

Номинальная мощность двигателя  $Ne_0 := 55$  кВт. Частота вращения коленчатого вала  $n := 5800$  мин<sup>-1</sup>. Число цилиндров  $i := 4$ . Степень сжатия  $\varepsilon := 9$ . Коэффициент избытка воздуха  $\alpha := 0.9$ . Температура таяния льда  $T_0 := 273.15$  К.

Параметры окружающей среды:  $T_{oc} := 288,15$  К;  $p_{oc} := 0,10$  МПа.

Заметим, что буквенные обозначения величин могут содержать русские индексы, в отличие от других языков программирования. Индекс в имени переменной может записываться на одном уровне с основным символом ( $Ne$ ), а может записываться ниже –  $Ne_o$ . В последнем случае после набора символа  $Ne$  следует нажать клавишу с точкой и ввести индекс «o».

Характеристики воздуха, горючей смеси и продуктов сгорания:

- удельная газовая постоянная воздуха  $R_g := 0,287$  кДж/(кг·К);
- молярная газовая постоянная  $R_{\mu} := 8,3145$  кДж/(кмоль·К);
- молярная масса бензина  $\mu_T := 115$  кг/кмоль;
- молярная масса воздуха  $\mu_B := R_{\mu}/R_B = 28,970$  кг/кмоль.

Состав бензина: С := 0,855; Н := 0,145; О := 0; S := 0; W := 0.

Низшая удельная теплота сгорания топлива

$$H_{\mu} := [33,91 \cdot C + 125,60 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9 \cdot H + W)] \cdot 10^3 = 43929,5 \text{ кДж/кг.}$$

Теоретическое (стехиометрическое) удельное по топливу количество вещества воздуха (термин «удельная по топливу величина» вводится для величин, получаемых от деления основной величины на массу топлива) [7].

$$L_o := \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \cdot \frac{1}{0,21} = 0,512 \text{ кмоль/кг топл.}$$

Теоретическая удельная по топливу масса воздуха (данная величина численно равна массе воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива)

$$l_o := \left( \frac{8C}{3} + 8H - O \right) \cdot \frac{1}{0,23} = 14,956 \text{ кг/кг топл.}$$

Удельное по топливу количество вещества свежего заряда (индекс 1)

$$M_1 := \alpha \cdot L_o + \frac{1}{\mu_T} = 0,4694 \text{ кмоль/кг \cdot топл.}$$

При внешнем смесеобразовании свежий заряд состоит из воздуха и бензина, поэтому молярная масса свежего заряда определяется по формуле

$$\mu_1 := \frac{1 + \alpha \cdot l_o}{\alpha \cdot \frac{l_o}{\mu_g} + \frac{1}{\mu_T}} = 30,551 \text{ кг/кмоль.}$$

Удельное по топливу количество вещества продуктов сгорания при  $\alpha < 1$

$$M_2 := \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79 \cdot \alpha \cdot L_o = 0,508 \text{ кмоль/кг топл.}$$

Теоретический коэффициент молярного (молекулярного) изменения горючего заряда при его сгорании  $\beta_0 := \frac{M_2}{M_1} = 1,082$ .

Молярная масса продуктов сгорания (равна молярной массе остаточных газов)

$$\mu_2 := \frac{\mu_1}{\beta_0} = 26,246 \text{ кг/кмоль.}$$

Теплоёмкость воздуха и продуктов сгорания. В примере [11], как обычно принято, показатель адиабаты и теплоёмкости определяются по таблицам в функции от температуры. Для автоматизации процесса расчёта в системе Mathcad теплоёмкость определяется по эмпирическим формулам, полученных путём математической обработки табличных значений теплоёмкостей [11–12].

Средняя молярная изохорная теплоёмкость воздуха, кДж/(кмоль·К):

$$C_{VB}(y) := (20,758 + 0,268 \cdot y + 5,4724 \cdot y^2 - 4,957 \cdot y^3 + 1,591 \cdot y^4 - 0,205 \cdot y^5),$$

где  $y = \frac{t}{1000}$ .

Средняя молярная изохорная теплоёмкость продуктов сгорания бензина при  $0,7 \leq \alpha \leq 1$  для интервала температуры 0–1300 °С

$$C_{VO}(t) := 20,52 + 1,675 \cdot \alpha + (1,333 + 2,673 \cdot \alpha) \cdot 10^{-3} \cdot t$$

Средняя молярная изохорная теплоёмкость продуктов сгорания бензина при  $0,7 \leq \alpha \leq 1$  для интервала температуры 1300–2500 °С

$$C_V(t) := 22,4 + 1,842 \cdot \alpha + (0,921 + 1,465 \cdot \alpha) \cdot 10^{-3} \cdot t \quad (8)$$

**Процесс впуска.** Температура остаточных газов лежит в пределах  $T_r = 900$ –1100 К. Принимаем  $T_r = 1005$  К (здесь стоит знак равно, следовательно, эта температура уточняется путём глобального присваивания из конца программы, при расчёте  $T_r$ ).

Давление остаточных газов лежит в пределах  $p_r = 0,105$ –0,125 МПа. Принимаем  $p_r := 0,118$  МПа. Температура подогрева свежего заряда  $\Delta T = \Delta t$  лежит в интервале от 5 до 30 К (°С). Принимаем  $\Delta T := 5$  К.

Так как наддув отсутствует, то параметры на входе во впускной канал принимаются равными параметрам окружающей среды:

$$p_k := p_{oc} = 0,1 \text{ МПа и } T_k := T_{oc} = 288,15 \text{ К.}$$

Плотность воздуха на впуске определяется из уравнения Клапейрона

$$\rho_k := \frac{p_k \cdot 10^3}{R_g \cdot T_k} = 1,209 \text{ кг/м}^3$$

Задаём значения коэффициента сопротивления впускной системы  $\zeta = 2,5$ –5 и скорости  $w = 50$ –150 м/с путём глобального присваивания из конца программы (при расчёте мощности), что позволяет корректировать значение вычисленной мощности  $Ne$ , приближая его к номинальному значению  $Ne_0$ :  $\zeta = 2,8$ ;  $w = 1,8$  м/с.

Давление в конце впуска  $p_a := p_{oc} - 10^{-6} \cdot \zeta \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} = 0,0803$  МПа.

Коэффициент остаточных газов  $\gamma = \frac{M_r}{M_1} = 0,05$ –0,10

$$\gamma := \left( \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \right) \cdot \left( \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} \right) = 0,057$$

Температура в конце наполнения (320–360 К):

$$T_a := \frac{T_k + \Delta T + \gamma \cdot T_r}{1 + \gamma} = 331,51 \text{ К.}$$

Коэффициент наполнения ( $\eta_V = 0,70 - 0,95$ )

$$\eta_V := \frac{\varepsilon \cdot p_a \cdot T_k}{(\varepsilon - 1) \cdot p_k \cdot T_a \cdot (1 + \gamma)} = 0,742$$

Расчёт молярной внутренней энергии смеси свежего заряда и остаточных газов в конце наполнения  $U_a$  для температуры  $t_a$ :

$$t_a := T_a - T_o = 58,4^{\circ}\text{C}; y := \frac{t_a}{1000} = 0,058; [C_{VB}(y) = 20,791; C_{VO}(t_a) = 22,246]$$

$$U_a := (C_{VB}(y) + \gamma \cdot C_{VO}(t_a)) \cdot \frac{t_a}{1 + \gamma} = 1217,98 \text{ кДж/кмоль.}$$

Процесс сжатия. Показатель адиабаты  $k$  для процесса сжатия и температуру в конце сжатия  $T_c$  находим, решая систему уравнений, состоящую из уравнения первого закона термодинамики для адиабатного процесса и уравнения адиабаты. Система уравнений записывается между операторами Given-Find (Дано-Найти). Причём в уравнениях, входящих в систему, стоит знак жирного равно (вводится при нажатии клавиш Ctrl =). Заранее необходимо задать приближённые значения всех величин, входящих в систему [12]:

$$k_1 := 1,4; t_c := 500; T_c := 800; U_c := 2 \cdot 10^4$$

где  $T_c = T_a \cdot \varepsilon^{k-1}$  – температура в конце сжатия;

$$t_c = T_c - T_o; y_c = \frac{t_c}{1000};$$

$U_c = (C_{VB}(y_c) + \gamma \cdot C_{VO}(t_c)) \cdot \frac{t_c}{1 + \gamma}$  – молярная внутренняя энергия в конце сжатия;

$$k_1 = 1 + \frac{R_{\mu} + (T_c - T_a)}{U_c - U_a}$$

$$\begin{pmatrix} T_c \\ t_c \\ y_c \\ U_c \\ k_1 \end{pmatrix} := \text{Find}(T_c, t_c, y_c, U_c, k_1) = \begin{pmatrix} 760,879 \\ 487,729 \\ 0,488 \\ 10659,41 \\ 1,378 \end{pmatrix}$$

Далее остаётся только набрать искомую величину и нажать знак равенства:

$$T_c = 760,879 \text{ К}; t_c = 487,729^{\circ}\text{C}; k_1 = 1,378 \text{ (1,38 в примере [11])}.$$

Реальный процесс сжатия протекает с теплообменом, то показатель политропы  $n_1 = 1,3 - 1,38$  (для бензиновых двигателей) получается меньше показателя адиабаты на поправку В. А. Петрова ( $\Delta n_1 = 0,01 - 0,04$ ), зависящую от частоты вращения коленчатого вала:

$$n = 5800 \text{ мин}^{-1}; \Delta n_1 := \frac{100}{n} = 0,0172; n_1 := k_1 - \Delta n_1 = 1,361; \text{(1,36 в [11])}.$$

Температура и давление в конце политропного сжатия (с теплообменом):

$$T_c := T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1} = 732,594 \text{ К (} T_c = 600 - 800 \text{ К)};$$

$$p_c := p_a \cdot \varepsilon^{n_1} = 1,596 \text{ МПа (} p_c = 0,9 - 2,0 \text{ МПа)}.$$

Молярная внутренняя энергия в конце сжатия

$$U_c = (C_{VB}(y_c) + \gamma \cdot C_{VO}(t_c)) \cdot \frac{t_c}{1 + \gamma} = 10001,9 \text{ кДж/кмоль.}$$

**Процесс сгорания.** Действительный коэффициент молярного изменения рабочей смеси, учитывающий наличие в цилиндре к началу сгорания остаточных газов

$$\beta := \frac{\beta_0 + \gamma}{1 + \gamma} = 1,0772 \text{ (} \beta_0 = 1,0816; \gamma = 0,057 \text{)}.$$

Количество тепла, потерянного вследствие неполноты сгорания топлива,

$\Delta H_u := 11950 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_o = 6140,3 \text{ кДж/кг}$ . Молярная теплота сгорания рабочей смеси ( $H_U = 43929,5$ ;  $M_1 = 0,4691$ )

$$H_{\text{раб.см}} = \frac{H_u - \Delta H_u}{M_1 \cdot (1 + \gamma)} = 76165,3 \text{ кДж/кмоль.}$$

Коэффициент использования теплоты  $\xi_z = 0,85 - 0,95$  принимаем  $\xi_z = 0,90$ .

Температура газа  $T_z$  в конце видимого сгорания определяется из уравнения первого закона термодинамики для процесса сгорания

$$\xi_z \cdot H_{\text{раб.см}} + U_c = \beta \cdot H_{\text{раб.см}} \cdot C_V(t_z). \quad (9)$$

Для облегчения дальнейших преобразований введём константу

$$C_2 := \frac{1}{\beta} (\xi_z \cdot H_{\text{раб.см}} + U_c) \text{ кДж/кмоль.}$$

Тогда уравнение (9) запишется в виде  $t_z = C_2 / C_V(t_z)$ . Решаем это уравнение методом последовательных приближений. Задаём первое приближение  $t_z := 2500$ .

где  $t_z = \frac{C_2}{C_V(t_z)}$ ;  $t_z := \text{Find}(t_z) = 2465,3^{\circ}\text{C}$ ;  $T_z := T_o + t_z = 2738,5 \text{ К}$ .

Максимальное расчётное давление в конце сгорания ( $p_z = 3,5 - 6,5 \text{ МПа}$ )

$$p_z := \beta \cdot p_c \cdot \frac{T_z}{T_c} = 6,427 \text{ МПа.}$$

Степень повышения давления в цилиндре (3,2–4,2)

$$\lambda_z := \frac{p_z}{p_c} = 4,027$$

Молярная внутренняя энергия продуктов сгорания в точке z

$$U_z = C_V(t_z) \cdot t_z = 72921 \text{ кДж/кмоль.}$$

**Процесс расширения.** Температуру  $T_b$  и показатель политропы расширения  $n_2$  находим из уравнения первого закона термодинамики для процесса расширения

$$(\xi_b - \xi_z) \cdot \chi \cdot \frac{H_u}{M_1 \cdot (\beta_0 + \gamma)} = \frac{R_{\mu}}{n_2 - 1} \cdot (t_z - t_b) - [U_z - C_V(y) \cdot t_b], \quad (10)$$

где  $\xi_b := 0,82$  – коэффициент использования теплоты к концу расширения (выбирается равным 0,82–0,87 так, чтобы значения  $T_b$  не выходили за пределы 1200–1700 К [11]).  $\chi = 1 - \frac{\Delta H_u}{H_u} = 0,86$  – коэффициент выделения теплоты при сгорании богатой смеси ( $\alpha < 1$ ).

Вводим вспомогательную константу  $C$  в уравнение (9) и разрешаем его относительно  $n_2$

$$C = U_z + (\xi_b - \xi_z) \cdot \chi \cdot \frac{H_u}{M_1 \cdot \beta \cdot (1 + \gamma)} = 67264,45 \text{ кДж/кмоль},$$

$$n_2 = 1 + \frac{R_\mu \cdot (T_z - T_b)}{C - C_V(y) \cdot t_b}$$

Начальные приближения для решения системы:  $n_2 := 1,2$ ;  $T_b := 1200$ ;

$$t_b := 900; y := 0,9. \quad \text{Given } T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2 - 1}};$$

$$t_b = T_b - T_0; y = \frac{t_b}{1000}; n_2 = 1 + \frac{R_\mu \cdot (T_z - t_b)}{C - C_V(y) \cdot t_b};$$

$$\begin{pmatrix} T_b \\ t_b \\ y \\ n_2 \end{pmatrix} := \text{Find}(T_b, t_b, y, n_2) = \begin{pmatrix} 1504,5 \\ 1231,3 \\ 1,231 \\ 1,273 \end{pmatrix}$$

$$T_b = 1504,5 \text{ К}; t_b = 1231,3^0 \text{ К}; n_2 = 1,273 \quad (n_2 = 1,22 - 1,28).$$

Давление в конце расширения ( $p_b = 0,35 - 0,60$  МПа).

$$p_b := \frac{p_z}{\varepsilon^{n_2}} = 0,392 \text{ Мпа}$$

Проверка температуры остаточных газов ( $T_r = 1005$  К)

$$T_{r1} := \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = 1008,0 \text{ К}.$$

Погрешность  $\frac{|T_{r1} - T_r|}{T_{r1}} = 0,298 \%$  (для вывода результата в процентах,

необходимо в чёрную метку числового значения ответа ввести знак %). Если несовпадение температур превышает 1 %, то нужно изменить  $\xi_b$ , либо задаваемые значения  $T_r$  или  $p_r$ .

Удобно изменять значение  $T_r$  не в начале расчёта, а непосредственно при определении погрешности её расчёта путём глобального задания её значения с помощью «тройного равно» на вкладке Evaluation (Вычисление)  $T_r \equiv 1005$  К. Выше знака глобального присваивания  $\equiv$  нельзя вводить знак местного присваивания ( $:=$ ) для одной и той же величины.

Среднее индикаторное давление  $P_i$  определяем с учётом поправки на скругление диаграммы  $\varphi_{II} = 0,94 - 0,97$  [11]. Принимаем  $\varphi_{II} = 0,97$ .

$$P_i := \frac{P_c \cdot \varphi_{II}}{\varepsilon - 1} \cdot \left[ \frac{\lambda_z}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \left( \frac{1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] = 0,9946 \text{ МПа. (11)}$$

Среднее давление механических потерь для бензиновых двигателей при предварительно принятой скорости поршня  $c_m := 13,5$  м/с [11]:

$$P_M := 0,034 + 0,0113 \cdot c_m = 0,1865 \text{ МПа}.$$

Среднее эффективное давление  $P_e := P_i - P_M = 0,808$  МПа.

**Основные геометрические параметры цилиндра и двигателя.**

Литраж четырёхтактного двигателя:  $V_L := 120 \cdot \frac{Ne_o}{P_e \cdot n} = 1,408$  л.

Отношение хода поршня к его диаметру  $K = S/D = 0,7 - 1,0$  [11]. В целях уменьшения скорости поршня и сокращения габаритов двигателя принимаем  $K := 0,85$ , тогда

$$D := \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_L}{\pi \cdot K \cdot i}} = 80,792 \text{ мм},$$

$S := K \cdot D = 68,674$  мм.

Принимаем:  $D = 80$  мм;  $S = 70$  мм.

По окончательно принятым значениям  $D$  и  $S$  определяем параметры двигателя.

Литраж:  $V_L := \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S \cdot i}{4 \cdot 10^6} = 1,407$  л. Рабочий объём цилиндра:  $V_h := \frac{V_L}{i} = 0,352$  л.

Объём камеры сгорания:

$$V_c := \frac{V_h}{\varepsilon - 1} = 0,044 \text{ л}.$$

Полный объём:

$$V_a := V_c \cdot \varepsilon = 0,396 \text{ л}.$$

Эффективная мощность при полученном литраже:

$Ne := P_e \cdot V_L \cdot \frac{n}{120} = 54,968$  кВт. Несовпадение расчёта по мощности ( $Ne_o = 55$  кВт):

$$\frac{|Ne_o - Ne|}{Ne_o} = 0,06 \%$$

Глобальное присваивание для скорости:  $w \equiv 108$  м/с.

Если несовпадение мощностей превышает 0,5 %, то следует изменить выбираемые в процессе расчёта величины, например, скорость воздуха в клапанной щели  $w$ , коэффициенты  $\zeta, \xi_z, \xi_b$  и др. Так, при скорости потока в клапанной щели 110 м/с несовпадение по мощности составляет 1,4 %, а при скорости 108 м/с – 0,06 %.

Эффективный крутящий момент:

$$M_e := \frac{3 \cdot 10^4 Ne}{\pi \cdot n} = 90,501 \text{ Н·м}.$$

Средняя скорость поршня  $c_m := \frac{S \cdot n}{30} = 13,533$  м/с (ранее принятое значение 13,5 м/с.)

**Расчёт промежуточных точек и построение индикаторной диаграммы.** Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна ( $\lambda = 0,24-0,31$ )  $\lambda := 0,265$  [11].

Задаём расчётный массив углов  $\varphi$  через 1 градус от 0 до 720:  $\varphi := 0..720$  (символ последовательного ряда значений «..» вводится клавишей со знаком точки с запятой «;»).

Зависимость объёма от угла поворота определяется выражением [12]

$$V(\varphi) := [1 + 0,5 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot [1 + 0,25 \cdot \lambda - \cos(\varphi \cdot \text{deg}) - 0,25 \cdot \lambda \cdot \cos(2 \cdot \varphi \cdot \text{deg})]] \cdot V_c,$$

где deg = 0,01745 – перевод градусов в радианы.

Считаем, что процесс выпуска протекает при постоянном давлении  $P_a$ , кроме небольшого понижения давления от  $P_r$  при 0 г.п.к.в до  $P_a$  в момент закрытия выпускного клапана при  $\varphi_{3в} = 15 - 60$  г.п.к.в. На этом участке понижение давления от угла поворота коленчатого вала считаем линейным. Принимаем  $\varphi_{3в} := 40$  г.п.к.в.

Сжатие начинается при  $\varphi = 180^0$  п.к.в. и протекает по политропе до точки  $c''$  ( $c_2$ ) момента начала сгорания топлива. Принимаем угол  $\varphi_{c_2} := 342$  г.п.к.в. (342–348 [6, 11]).

Уравнение политропы сжатия

$$P_{1\varphi} := P_a \cdot \left( \frac{V_a}{V(\varphi)} \right)^{n_1} \quad (12)$$

Здесь  $P_{1\varphi}$  – индексированная (ранжированная) переменная, индекс которой ( $\varphi$ ) вводится после нажатия клавиши с символом открывающейся квадратной скобки [ ]. Давление в начале сгорания определяем по формуле (12), вводя индекс  $\varphi = \varphi_{c_2} = 342$ ,

$$P_{c_2} := P_{1\varphi_{c_2}} = 1,183 \text{ МПа} \quad (P_c = 1,596 \text{ МПа}).$$

В результате начала сгорания топлива до прихода поршня в ВМТ действительное давление в конце процесса сжатия получается больше расчётного и лежит в пределах  $P_{сд} = (1,15 - 1,25) \cdot P_c$  [11]. Принимаем  $P_{сд} := 1,24 \cdot P_c = 1,979$  МПа.

На участке от давления  $P_{c_2}$  до давления  $P_{сд}$  и от давления  $P_{сд}$  до давления  $P_{zД}$  изменение давления от угла поворота коленчатого вала считаем линейным.

**Процесс расширения** протекает согласно политропному процессу

$$P_{2\varphi} := P_z \cdot \left( \frac{V_c}{V(\varphi)} \right)^{n_2} \quad (13)$$

Из этого уравнения можно определить угол поворота коленчатого вала, при котором максимальное давление газа равно действительному  $P_{zД}$ . Начальное приближение  $\varphi := 370$ .

$$\text{Given } P_{zД} := P_z \cdot \left( \frac{V_c}{V(\varphi)} \right)^{n_2}; \quad \varphi_z := \text{Find}(\varphi) = 373,344$$

Округляем до минимального целого значения  $\varphi_z := \text{floor}(\varphi_z) = 373$  г.п.к.в.

**Процесс выпуска** начинается с момента начала открытия выпускного клапана в точке  $b'$  до прихода поршня в НМТ при  $\varphi_{ОВ} = 460 - 500^0$ . Принимаем  $\varphi_{ОВ} = 500^0$ . Давления в точках  $b'$  и  $b$  определяются по формуле (12) соответственно для  $\varphi = \varphi_{ОВ}$  и  $\varphi = 540^0$ :  $P_{b1} := P_{2\varphi_{ОВ}} = 0,436$  МПа;  $P_b := P_{2540} = 0,392$  МПа.

Действительное давление в НМТ (точка  $b''$ ) приближённо находится как среднее арифметическое от давлений  $P_b$  и  $P_r$ :  $P_{b_2} := 0,5 \cdot (P_b + P_r) = 0,255$  МПа.

Считаем, что заметный отрыв реальной кривой давления от политропы расширения начинается после открытия выпускного клапана в точке  $b'''$  при  $\varphi_{b3} = 524^0$ . Давление в точке  $b'''$ :  $P_{b3} := P_{2\varphi_{b3}} := 0,399$  МПа.

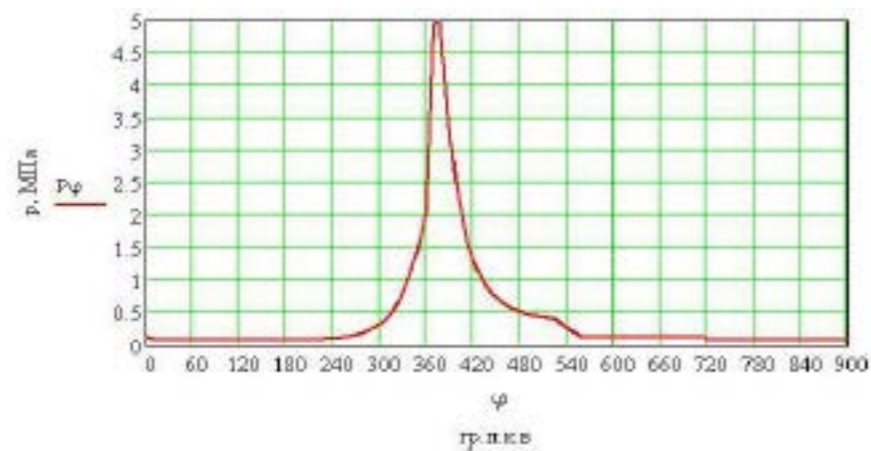
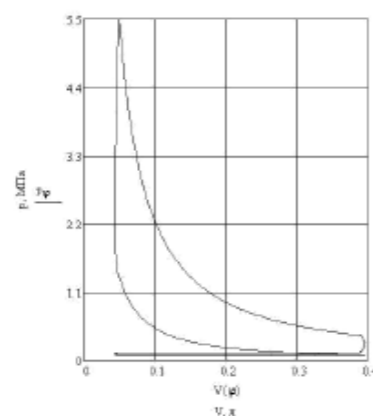
Считаем, что давление газов становится равным давлению  $P_r$  при  $\varphi_{b4} = 560^0$ . На участке от  $\varphi_{b4}$  до ВМТ давление постоянно и равно  $P_r$ . При расчёте суммарных сил на коренные шейки коленчатого вала в математической модели требуется знать силы вплоть до 900 г.п.к.в. Давление на участке от 720 до 900° задаётся так же, как и от 0 до 180°.

### РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЫ

Расчёт индикаторной диаграммы производится согласно программному модулю (рисунок 3). Для создания программного модуля используется встроенная функция панели инструментов Add line [12], которая создаёт и при необходимости расширяет вертикальную линию слева. На рисунках 4 и 5 представлены развёрнутая и свёрнутая индикаторные диаграммы. Несовпадение расчёта среднего давления  $P_i = 0,9946$  МПа по формуле (11) и по диаграмме для процессов сжатия-расширения  $P_i = 0,9914$  МПа составляет 0,322 %.

$$P_\varphi := \begin{cases} P_r - (P_r - P_a) \cdot \frac{\varphi}{\varphi_{3в}} & \text{if } 0 \leq \varphi \leq \varphi_{3в} \\ P_a & \text{if } \varphi_{3в} < \varphi \leq 180 \\ P_{1\varphi} & \text{if } 180 \leq \varphi \leq \varphi_c \\ P_{c_2} + (P_{сд} - P_{c_2}) \cdot \frac{\varphi - \varphi_c}{360 - \varphi_c} & \text{if } \varphi_c \leq \varphi \leq 360 \\ P_{сд} + (P_{zД} - P_{сд}) \cdot \frac{\varphi - 360}{\varphi_z - 360} & \text{if } 360 \leq \varphi \leq \varphi_z \\ P_{2\varphi} & \text{if } \varphi_z \leq \varphi \leq \varphi_{b3} \\ P_{b3} - (P_{b3} - P_{b2}) \cdot \frac{\varphi - \varphi_{b3}}{540 - \varphi_{b3}} & \text{if } \varphi_{b3} \leq \varphi \leq 540 \\ P_{b2} - (P_{b2} - P_r) \cdot \frac{\varphi - 540}{\varphi_{b4} - 540} & \text{if } 540 \leq \varphi \leq \varphi_z \\ P_r & \text{if } \varphi_{b4} \leq \varphi \leq 720 \\ P_r - (P_r - P_a) \cdot \frac{\varphi}{\varphi_{3в} + 720} & \text{if } 720 \leq \varphi \leq \varphi_{3в} + 720 \\ P_\varphi & \text{if } \varphi_{3в} + 720 \leq \varphi \leq 900 \end{cases}$$

Рисунок 3 – Программный модуль для задания кривой изменения давления в цилиндре от угла поворота коленчатого вала

Рисунок 4 – Развёрнутая индикаторная диаграмма (в координатах  $\varphi - P$ )Рисунок 5 – Свёрнутая индикаторная диаграмма (в координатах  $V-P$ )

### ВЫВОДЫ

1 Приведена методика и построена индикаторная диаграмма бензинового двигателя (по данным теплового расчёта) с определением работы, мощности, крутящего момента.

2 Разработана программа и выполнен тепловой расчёт бензинового двигателя в системе Mathcad. Результаты расчёта согласуются с расчётом аналогичного двигателя [11].

3 Достоинством программы является наглядность расчётных формул, что позволяет любому пользователю без специальных знаний программирования изменять её содержание.

4 Дана методика автоматизированного расчёта и построения развёрнутой и свёрнутой диаграмм цикла, что позволяет перейти к расчёту сил, действующих в кривошипно-шатунном механизме двигателя.

5 Данная программа может быть использована как в учебном процессе (курсовые работы и дипломные проекты), так и при научных исследованиях,

а также для отладки специальных программ расчёта ДВС с учётом горения и газообмена.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Макушев, Ю. П.** Интегральное и дифференциальное исчисления в приложении к технике : монография / Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, В. В. Рындин, Т. Т. Токтаганов; под ред. Ю. П. Макушева. – Павлодар : Кереку, 2013. – 330 с.

2 **Polanowski, S.** Determination of location of Top Death Centre and compression ratio value on the basis of ship engine indicator diagram. // Polish maritime research. – 2 (56) 2008. – Vol 15. – P. 59–64.

3 **Polanowski, S.** TDC determination on combustion indicator diagram. // Journal of KONES. – 1999. – Vol. 6. – No 1–2. (saved in Warsaw Institute of Aeronautics).

4 **Shudo, T., Nabetani, S., Nakajima, Y.** Influence of Specific Heats on Indicator Diagram Analysis in a Hydrogen-Fuelled SI Engine. // Manuscript for JSAE Review, Vol. 22. – No. 2. – (2001). – P. 224–226.

5 **Zeng, W., Xie, M.** A novel approach to reduce hydrocarbon emissions from the HCCI engine. Chemical engineering journal. – 2008. – Vol. 139. – Issue 2. – P. 380–389.

6 **Dec, J. E.** Advanced compression-ignition engines – understanding the in-cylinder processes. // Proceedings of the Combustion Institute. – 32 (2009). – P. 2727–2742.

7 **Рындин, В. В.** Новый метод введения политропных процессов // Известия высших учебных заведений // Проблемы энергетики. – 2013. – № 5–6. – С. 33–38.

8 **Рындин, В. В.** Первое начало термодинамики в его становлении и развитии: монография. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. – 533 с.

9 **Макушев, Ю. П.** Расчет и анализ индикаторной диаграммы двигателя с использованием математических методов / Т. А. Полякова, Ю. П. Макушев, Л. Ю. Михайлова // Омский научный вестник. Серия «Приборы. Машины. Технологии». – 2011. – № 1 (97). – С. 14–19.

10 **Черников, Д. И.** Нахождение работы двигателя с помощью определенного интеграла [Электронный ресурс] / Д. И. Черников, Т. А. Полякова // Техника и технологии строительства. – Омск : СибАДИ, 2015. – № 1. – С. 116–124.

11 **Колчин, А. И., Демидов, В. П.** Расчёт автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 1990. – 344 с.

12 **Рындин, В. В.** Расчет цикла бензиновых двигателей в системе MATCAD / В. В. Рындин, В. В. Шалай, Ю. П. Макушев. // Вестник СибАДИ. – Вып. 6 (34). – 2013. – С. 91 – 98.

13 **Ахметов, С. И., Рындин, В. В.** Об использовании программирования в системах MATHCAD и TURBO PASCAL при проектировании двигателей внутреннего сгорания. // Наука и техника Казахстана. – № 3. Павлодар, 2007. – С. 5–9.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.



Ю. П. Макушев<sup>1</sup>, Т. А. Полякова<sup>2</sup>, В. В. Рындин<sup>3</sup>, П. В. Литвинов<sup>4</sup>

**Индикаторлық диаграммамен құрылған бензин қозғалтқышының жұмыс циклын есептеу тәсілдері**

<sup>1</sup>«Автомобиль көлігі» факультеті,  
Сібір мемлекеттік автомобиль-жол университеті,  
Омбы қ., 644080, Ресей Федерациясы;

<sup>2</sup>«Экономика және басқару» факультеті,  
Сібір мемлекеттік автомобиль-жол университеті,  
Омбы қ., 644080, Ресей Федерациясы;

<sup>3</sup>«Металлургия, машина жасау және көлік» факультеті,  
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>«Жылуэнергетикалық» факультеті,  
Омбы мемлекеттік қатынас жолдары университеті,  
Омбы қ., 644044, Ресей Федерациясы.

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

Y. P. Makushev<sup>1</sup>, T. A. Polyakova<sup>2</sup>, V. V. Ryndin<sup>3</sup>, P. V. Litvinov<sup>4</sup>

**The methods of calculating gasoline engine operating cycle with the construction of the indicator diagram**

<sup>1</sup>Faculty of Automobile transport,  
Siberian State Automobile and Road University,  
Omsk, 644080, Russian Federation;

<sup>2</sup>Faculty of Economics and Management,  
Siberian State Automobile and Road University,  
Omsk, 644080, Federation;

<sup>3</sup>Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,  
S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Faculty of Heat and Power,  
Omsk State University of Railways,  
Omsk, 644044, Russian Federation.

Material received on 15.05.18.

Мақалада иінді білігінің кейіннен жұмысын, қуатын, айналу мезетін анықтайтын айналу жиілігі 5800 мин-1 қуаттылығы 55 кВт құрайтын бензин қозғалтқышының индикаторлық диаграммасын құрудың әдістемесі келтірілген. Қозғалтқыш цилиндріндегі қызу жіне кеңіту сызығындағы газ қысымының аралық мағынасы піспектің нақты орналасуына арналған қысымның ауыспалы өлшемін қолдана отырып графоаналитикалық тәсілмен анықталады. Индикаторлық жұмысты графикалық және есептеу тәсілімен анықтау нәтижелері сәйкес келеді, есептеу қателігі 5 % ғана құрайды. Индикаторлық диаграмманы құрудың графикалық тәсілі едәуір уақыт алады, бірақ көрнекі және түсінікті тәсіл болып табылады.

Иінді біліктің сондай айналу жиілігі мен қуаты бар қозғалтқыштың ішкі жануына Mathcad жүйесін қолданған жұмыс циклының жылу есебі орындалған, цилиндрдегі газдың

қысымының өзгеруінің ашық және жабық диаграммасы құрылған. Mathcad жүйесін қолдану шығын мәліметтерінің әртүрлі мағынасы кезінде жану үдерісінің мерзімін зерттеуге, міндеттерді шешудің математикалық сипаттама өткізеді және қажет жағдайда графикалық көрініс қолданумен аналитикалық және сандық түрде есептердің нәтижесін алуға мүмкіндік береді. Графоаналитикалық тәсілмен және Mathcad жүйесін қолданумен орындалған есептеу зерттеулерінің кемілігі 1,4 % аспайды.

The method of constructing the indicator diagram of a 55 kW gasoline engine power at 5800 min-1 engine speed with the following definition of work, power and torque. The intermediate pressure of gases in the engine cylinder on the line of compression and expansion are defined with a graphic-analytic method using a variable amount of compression for the specific application of the piston. The results of determining the indicator of the graphical and calculation methods are practically identical; the calculation error does not exceed 5 %. A graphical method of constructing the indicator diagram takes more time, but is clear and more understandable.

The thermal cycle design was made with the use of Mathcad and the deployed and rolled-up charts of the changes in pressure of gases in the cylinder was built for an internal combustion engine of the same power and crankshaft speed. The use of Mathcad allows exploring the process of fuel combustion at the changes in the source data values; performing mathematical description of solving the problem; and quick obtaining the calculation results, both in analytical and in numerical form, using their graphical representations, if necessary. The relative error of the graphic-analytical method and of Mathcad in calculation studies does not exceed 1,4 %.

**Zh. K. Mussina<sup>1</sup>, G. T. Itybaeva<sup>2</sup>, A. Zh. Kasenov<sup>3</sup>, M. Zh. Abisheva<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of «Mechanical Engineering and Standardization», S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan; <sup>4</sup>student, «Standardization and Certification», Department of «Mechanical Engineering and Standardization», S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan  
e-mail: <sup>1</sup>mussina\_zhanara@mail.ru; <sup>2</sup>galia\_itibaeva@mail.ru; <sup>3</sup>asylbek\_kasenov@mail.ru; <sup>4</sup>makhon9@mail.ru

**COMPARISON OF TWIST DRILLS SHARPENING METHODS**

*The majority of sharpening methods differ from each other not only in technological features, but also in a form of back surfaces of a drill. Therefore there is no coincidence on distribution of back angles along the main edges and to geometrical parameters of a cross edge: to face angles, camber, and sometimes tilt angle between drills of different sharpening even at identical values of corners  $2\phi$  and  $\alpha$ .*

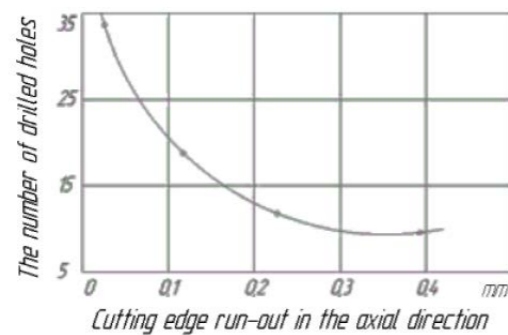
*Keywords: drills, sharpening methods, steel, cross edge, conic of the 1<sup>st</sup> type, planetary, two-plane, spiral, complicatedly spiral type.*

**INTRODUCTION**

The firmness of a drill substantially depends on symmetric sharpening of both feathers. According to the data of G. V. Bechin asymmetry of gardening especially adversely effects on firmness of the drills working on the conductor where loading cannot be redistributed between feathers at the expense of a drill bend. When processing of steel, possessing high degree of an elastic consequence, opposite, beating of the main edges within 0,2–0,4 mm and the breakdown of a hole arising at the same time reduce friction of ribbons and increase firmness of a drill.

**MAIN PART**

When drilling the majority of materials with increase in beating of the cutting edges the firmness of a drill (figure 1) decreases.



The processed material is steel 45. Diameter of the drill is 15, 88 mm. Drilling mode:  $v=38$  of m/min,  $Soc = 0,45$ mm /cycle, depth of the hole is 30 mm.

Figure 1 – Dependence of firmness of a drill on the size of axial beating of the cutting edges

Correctly constructed technology of processing allows reaching equivalent symmetry of back surfaces at all sharpening methods. However at conic and shaped sharpening the improved skills of the worker, higher precision of production of the machine and the complicated operation cycle are required in comparison with planetary, screw and difficult and screw methods for this purpose.

In the conditions of equality of angles  $2\phi$  and  $\alpha$  and symmetry of the main edges the difference the drills exploited qualities is connected with a different form of back surfaces. Comparison of geometrical parameters of drills demonstrates that increase of back angles from the periphery to the center at all methods of sharpening proceeds practically with an identical speed (table 1).

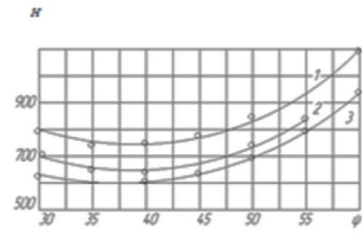
For all sharpening methods within diameters of the cutting cylinder  $Dx = (0,35 \div 1) D$  the back angle is approximately equal

The main distinction determined by a sharpening method consists in geometrical parameters of a cross edge on which process of deformation of chip scrap represents a complex combination of expression and cutting with negative face angles.

Table 1 – Geometrical parameters of drills with different sharpening  $2\phi=118^\circ$ ,  $\psi=45 \div 50^\circ$

Sharpening method	Back Angles		Relative recession of the back surface $\frac{q}{D}$	Parameters of the cross edge		Remark
	On the periphery $\alpha$ in degrees	Near the middle of $\alpha_c$ in degrees		face angles $\gamma_n$ in degrees	relative arrow of cambers $f/D$ before	
Conic of the 1 <sup>st</sup> type	10	29	0,1–0,15	-(48–53)	0,01	$\sigma = 45^\circ$
Planetary	10	30	0,08–0,12	-(50–56)	0,02	$\sigma = 30^\circ$
Two-plane	10	27	0,15–0,20	-(46–48)	0,02	$\alpha_2 = 40^\circ$
Spiral	10	32	0,04–0,06	-(34–38)	0,02	from two eccentrics, with a pointing of the cross edge
Complicatedly spiral	10	26	0,08–0,12	-(46–50)	0,01	

About 60 % of axial force and 10 % of torque when drilling are the share of a cross edge. Axial force decreases with reduction of negative face angles on a cross edge, its extent and also lengths of a way of the chip scrap which is formed on it to an exit flutes. That is why sharpening methods in ascending order of axial force when drilling form a row: screw, two-plane, complicatedly spiral, conic and planetary (table 2). Such ratio remains at all sharpening modes (figure 2).



Drill with a diameter of 20 mm with core thickness: 1–2,7 mm; 2–2,25 mm; 3–1,9 mm. Angles:  $2\varphi=116^\circ$ ,  $\alpha=12^\circ$ . Drilling mode:  $v = 28 \frac{m}{min}$ ;  $s_{af} = 0,4 \frac{mm}{cyc}$ .

The processed material is steel 45.

Figure 2 – Dependence of axial force on a tilt angle of a cross edge at conic sharpening of the 1<sup>st</sup> type

If the torque minimum is reached at  $\psi=55\div 60^\circ$ , then the minimum of axial force for all sharpening methods is in the area of lower angles  $\psi=35\div 45^\circ$ .

Change of a tilt angle with 55 to  $45^\circ$  reduces axial force on average by 1,5 times and levels difference between sharpening methods. It is connected first of all with relief of a descent of the chip scrap which is formed on a cross edge in drill flutes, and at some methods also with reduction of angles.

Application of drills with a tilt angle less than  $35^\circ$  not only on increase of axial force, but, the main thing, because of a hole facet is inadmissible.

Table 2 – Comparison of sharpening methods on the axial force and accuracy of drilling

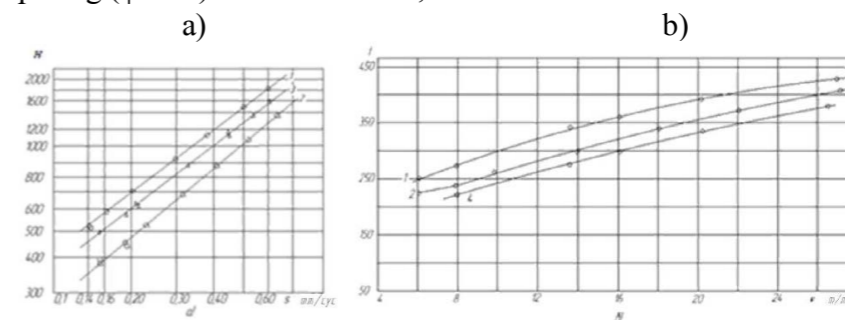
Sharpening method	The axial force				Breaking of holes		Inaccuracy of holes form		Remark
	$\psi = 55^\circ$		$\psi = 45^\circ$		In mm	%	In mm	%	
	In kg	%	In kg	%					
Conic of the 1 <sup>st</sup> type	1480	100	870	100	0,23	100	0,11	100	$\sigma = 45^\circ$
Planetary	1510	102	930	107	0,17	74	0,09	82	$\sigma = 30^\circ$
Spiral	930	63	750	86	0,15	69	0,07	67	from two eccentrics
Complicatedly spiral	1180	80	840	97	0,22	96	0,11	100	-
Two-plane	1120	76	820	95	0,20	87	0,10	91	At $\psi = 55^\circ$ $\alpha_2 = 30^\circ$ , At $\psi = 45^\circ$ $\alpha_2 = 30^\circ$

Increase in a share of the axial force falling on a cross edge is followed by increase of thermal tension of process of cutting on a cross edge and affects temperature of the main cutting edges. A. M. Danielyan and D. V. Kozhevnikov's researches have shown that depending on cutting conditions on a cross edge to temperature of peripheral points of the main edges can change on 30–50° (figure 3). Though with increase in speed of

cutting temperature of the main edges also increases, but the difference of temperatures at drills with different sharpening remains actually invariable.

When drilling with the standard cutting modes when temperature of the main edges is in limits of 300–400°C, its change on 30–50°C cannot significantly affect firmness of drills (table 3).

On the contrary, at the forced modes when temperature on the main edges exceeds the limit of 480–500°C, each additional 30–50°C very sharply influence on the drill firmness very sharply. At speeding up of the processing mode the difference in firmness of drills with two-plane ( $\psi=40^\circ$ ) and conic sharpening ( $\psi=55^\circ$ ) increases from 1, 4 to 11 times. On the contrary, at the forced modes when temperature on the main edges exceeds the limit of 480–500°C, each additional 30–50°C very sharply influence on the drill firmness very sharply. At speeding up of the processing mode the difference in firmness of drills with two-plane ( $\psi=40^\circ$ ) and conic sharpening ( $\psi=55^\circ$ ) increases from 1, 4 to 11 times. On the contrary, at the forced modes when temperature on the main edges exceeds the limit of 480–500°C, each additional 30–50°C very sharply influence on the drill firmness very sharply. At speeding up of the processing mode the difference in firmness of drills with two-plane ( $\psi=40^\circ$ ) and conic sharpening ( $\psi=55^\circ$ ) increases from 1, 4 to 11 times. On the contrary, at the forced modes when temperature on the main edges exceeds the limit of 480–500°C, each additional 30–50°C very sharply influence on the drill firmness very sharply. At speeding up of the processing mode the difference in firmness of drills with two-plane ( $\psi=40^\circ$ ) and conic sharpening ( $\psi=55^\circ$ ) increases from 1, 4 to 11 times. On the contrary, at the forced modes when temperature on the main edges exceeds the limit of 480–500°C, each additional 30–50°C very sharply influence on the drill firmness very sharply. At speeding up of the processing mode the difference in firmness of drills with two-plane ( $\psi=40^\circ$ ) and conic sharpening ( $\psi=55^\circ$ ) increases from 1, 4 to 11 times.



a) – on the axial force (diameter of a drill is 27,7 mm);

b) – temperature of the main edges of a drill (diameter of a drill is 26 mm):  
1 – conic sharpening; 2 – screw; 3 – two-plane; 4 – drilling by a drill with screw sharpening on a hole which diameter is equal to length of a cross edge.

The processed material is steel 45 mm,  $s_{af}$  is 0,33 mm /cyc

Figure 3 – Influence of a sharpening method picture

Table 3 – Influence of the processing mode on firmness of a drill

Sharpening method	Parameters of a cross edge		Firmness of a drill in min at the drilling modes		
	$\varphi$ in degrees	$ \gamma_n $ in degrees	$v=29$ m/min $S_{af}=0,43$ mm/cyc	$v = 29$ m/min $S_{af}=0,72$ mm/cyc	$= 29$ m/min $S_{af}=0,43$ mm/cyc
Conic of the 1 <sup>st</sup> type	55	-(53–55)	70	5	5,5
Conic of the 1 <sup>st</sup> type	35	-(43–51)	Was not researched		
Two-plane	40	-43	110	27	60

On the contrary, at the forced modes when temperature on the main edges exceeds the limit of 480–500 °C, each additional 30–50 °C very sharply influence on the drill firmness very sharply. At speeding up of the processing mode the difference in firmness of drills with two-plane ( $\psi=40^\circ$ ) and conic sharpening ( $\psi=55^\circ$ ) increases from 1, 4 to 11 times. At equal angles  $\psi=35\div40^\circ$  the twofold advantage of two-plane sharpening got at the forced mode will be minimized on the mode standard.

Researches have shown that in the conditions of equality  $2\varphi$ ,  $\alpha$  and  $\psi$  have shown that at the limiting runout of firmness ribbons of drills with conic, planetary, screw and two-plane sharpening are approximately identical, and the one-plane method because of big back angles gives firmness of drills for 20–25 % lower (table 4).

Table 4 – Firmness of drills with sharpening

Sharpening method	Drills diameter 20,6 mm				Drills diameter 6 mm				Remark
	Value of limit runout, in mm								
	On ribbons 1,3		On back surfaces 0,6		On ribbons 0,5		On back surfaces 0,2		
	Firmness of drills in quantity								
	holes	in %	holes	in %	holes	in %	holes	in %	
Conic of the 1 <sup>st</sup> type	710	100	263	100	435	100	220	100	$\sigma = 45^\circ$
Planetary	650	92	253	96	430	99	213	97	$\sigma = 30^\circ$
Spiral	655	93	500	190	425	98	292	132	From two eccentrics
Two-plane	670	95	247	94	449	103	210	95	$\alpha_2 = 40^\circ$
One-plane	-	-	-	-	315	72	185	84	-
Cutting mode	$v = 30$ m/min $S_{af} = 0,57$ mm/cyc				$v = 33$ m/min $S_{af} = 0,18$ mm/cyc				-

Studying of runout on a back surface has revealed almost twofold advantage of screw sharpening.

Two-plane sharpening of drills with the angle  $\alpha_2 = 40 \div 45^\circ$  is also unsuitable for drilling of high-strength materials as the cutting wedge of the main edges has the

lowered durability and rigidity and also takes away heat badly. The drill firmness decreases because of vibration and the accelerated runout of back surfaces. For drilling of high-strength materials the second plane has to be settled down at an angle  $\alpha_2=25\div30^\circ$ , at the same time advantages of two-plane sharpening in parameters of a cross edge are lost so it is necessary to undermine an edge.

The interrelation of breakdown of a hole and withdrawal of its geometrical axis with beating of the main edges without the shift of a core is expressed when processing became the following empirical formulas offered by A. D. Martynov (figure 4):

$$\bar{x}_a = 0,0005D + 0,04\sqrt[3]{D} + (1,67 + 0,015D) b_d;$$

$$\bar{x}_y = \frac{3}{D} - 0,00006 \frac{l^3}{D^3} + 0,0003 \frac{l^3}{D^3} b_d,$$

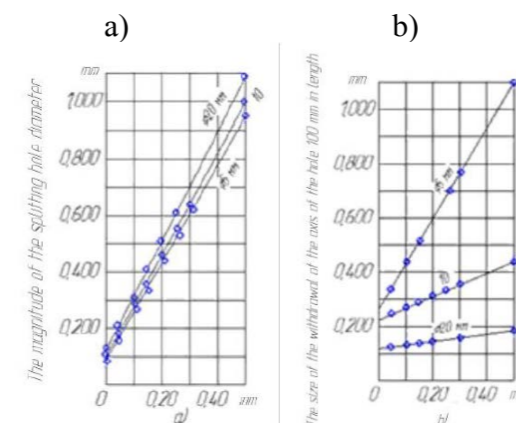
where  $\bar{x}_a$  is an average value of breakdown of a hole in mm;

$\bar{x}_y$  is an average value of withdrawal of an axis of a hole on 100 mm of length mm;

D is a nominal diameter of a drill in mm;

l is a length of a working part of a drill mm;

$b_d$  is an axial beating of a drill in average points of the main edges in mm.



a) – is on breakdown of a hole;

b) – is a withdrawal of an axis of a hole

Figure 4 – Influence of beating of the main edges on the average diameter of a drill

Accuracy of drilling depends on breakdown of a hole, withdrawal of its geometrical axis and a form inaccuracy which are caused by imbalance of forces on feathers and emergence of the resultant radial force bending a drill. In turn, the reasons of imbalance of forces on feathers and emergence of the resultant radial force bending a drill are first of all beating of the main edges and shift of a core of a drill.

Drills with more convex cross edge and smaller negative angles on its counteract top shift from the resultant radial force which has arisen on the main edges better and give more exact openings. Therefore in process of decrease in accuracy of processing,

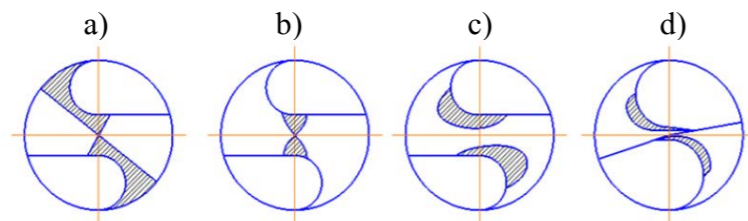
methods of drills sharpening form a row: screw, planetary, two-plane, complicatedly spiral and conic.

The sharpening of a cross edge of a drill is carried out for increase in accuracy of holes and reduction of axial force.

Thus, at a stressed processing mode the sharpening of a cross edge in connection with improvement of conditions of education and removal of chip scrap can increase also firmness of a drill.

The more adverse after sharpening parameters of a cross edge are, the bigger effect is reached by its sharpening. At screw and two-plane  $\alpha_2 = 40 \div 45^\circ$  a method the sharpening of a cross edge of a drill does not influence the accuracy of drilling and axial force.

Four kinds of a sharpening are applied: with preservation of a cross edge or with its partial replacement with a new edge (figure 5).



- a) – with preservation of a cross edge and cutting of an occipital part of a feather;  
 b) – with preservation of a cross edge without cutting of an occipital part of a feather;  
 c) – with partial replacement of a cross edge without correction of face angles on the main edges; d) – with partial replacement of a cross edge and correction of face angles on the main edges

Figure 5 – Kinds of sharpening

In the first case improvement of face angles is reached and the descent of the chip scrap which is formed on a cross edge in drill flutes is facilitated. The central site of a cross edge about 0,5 mm length is not undermined. The sharpening shown in the figure 5 is carried out by a grinding wheel of a direct profile. Therefore the advantage of such sharpening is simple editing of a grinding wheel, and disadvantages are its labor input and decrease in rigidity and durability of the cutting wedge. The specified disadvantages are liquidated when using a shaped circle.

On a cross edge by installation of a drill and circle it is possible to receive face angles to  $+5^\circ$  that at conic sharpening reduces axial force by 1,5–2 times. The two first kinds of a sharpening can be recommended for drilling of materials of low and average durability, especially on drills with a reinforced core.

At partial replacement of a cross edge improvement of angles  $\gamma_n$  and a descent of chip scrap are reached and also some effect of a breaking chip scraps on the main edge. The advantage of a sharpening is the possibility of correction of face angles on the main edges and creations of the breaking chip scraps rapids.

The mandatory requirement imposed to thy cross edge sharpening is symmetry of its performance. This operation should be performed on special or universal and tool-grinding machines where the correct installation of a drill and exact division is provided.

#### CONCLUSION

Thus, the cross edge needs to be undermined at all drills with core thickness more than 0,18D irrespective of a sharpening method of back surfaces. At the drills with thinner core working on materials of low and average durability after screw or two-plane sharpening it is inexpedient to undermine a cross edge.

It should be mentioned that when forming the occipital surface having the raised back angle it is necessary to reduce a corner  $\varphi_0$  on  $7-8^\circ$ . When sharpening a drill on two cones it is possible to process a diamond wheel not only the main, but also cross edge.

#### REFERENCES

- 1 **Baroiu, N., Teodor, V. G., Berbinschi, S., Susac, F., Oancea, N.** New sharpening method and the behaviour of the multi-flute twistdrill with curved cutting edge in machining operations // *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences.* – Vol. 23. – Is. 5. – 2016. – P. 357–369.
- 2 **Biermann, D., Terwey, I.** Cutting edge preparation to improve drilling tools for HPC processes // *Cirp Journal of Manufacturing science and Technology.* – Vol. 1. – Is. 2 – 2008. – P. 76–80.
- 3 **de Santana, M. I., Polli, M. L.** The Influence of Twist Drill Main Cutting Edge Preparation in Drilling Process // *Materials Research-Ibero-American Journal of Materials.* – Vol. 18 – 2015. – P. 148–153 (Sup. 2).
- 4 **Ghorbani Siamak, Aguayo Crisostomo, Alejandro Veliz, Rogov, V. A.** Experimental and theoretical research on drilling epoxy granite using coated and uncoated carbidespiral drill bits // *International Journal of Mechanical Sciences.* – Vol. 135. – 2018. – P. 240–252.
- 5 **Woon, K. S., Rahman, M., Neo, K. S.** The effect of tool edge radius on the contact phenomenon of tool-based micromachining // *International Journal of Machine Tools & Manufacture.* – Vol. 48. – Is. 12–13. – 2008. – P. 1395–1478.
- 6 **Бузауова, Т. М., Альжанов, М. К., Абюров, Ш. Ж.** Исследование влияния различных способов заточки на качества режущего инструмента // *Проблемы современной науки и образования – Иваново : Изд-во Олимп, 2016. – P. 79–84.*
- 7 **Гречишников, В. А., Григорьев, С. Н., Кирсанов, С. В., Кожевников, Д. В., Кокарев, В. И., Схиртладзе, А. Г.** *Металлорежущие инструменты* // М. : Изд-во «Янус-К», 2005. – 568 p.
- 8 **Кожевников, Д. В.** *Режущий инструмент: Учебник для вузов / под ред. С. В. Кирсанова, 2-е изд. доп. – М. : Машиностроение, 2005. – 528 p.*
- 9 **Кожевников, Д. В., Гречишников, В. А., Кирсанов, С. В., Кокарев, В. И., Схиртладзе, А. Г.** *Режущий инструмент.* – М. : Научно-техническое издательство «Машиностроение», 2004. – 512 p.

10 **Мусина, Ж. К., Абишева, М. Ж.** Критерии качества заточки спиральных сверл // «Материалы за XIII международна научна практична конференция Найновите научни постижения – 2017», Vol 10 : Технически науки. – София : «Бял ГРАД – БГ», 2017. – Р. 11–16.

11 **Мусина, Ж. К., Абишева, М. Ж., Солтанова, А. М.** Влияние методов заточки свёрл на эксплуатационные качества // Автоматизированное проектирование в машиностроении: Материалы IV международной заочной научно-практической конференции. – Новокузнецк : НИЦ МС, 2016. – № 4. – С. 32–36.

12 **Ревин, Н. Н.** Повышение эффективности заточки металлорежущего инструмента, оснащенного СТМ, и его эксплуатации // Машиностроение. – 2004. – 213 р.

13 **Реченко, Д. С.** Влияние скорости резания на качество затачивания твердосплавного инструмента // Системы. Методы. Технологии – Братск : Изд-во Братский государственный университет, 2014. – Р. 47–49.

Material received on 15.05.18.

*Ж. К. Мусина<sup>1</sup>, Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, А. Ж. Касенов<sup>3</sup>, М. Ж. Абишева<sup>4</sup>*

#### **Спиральді бұрғылардың қайрау әдістерін салыстыру**

<sup>1,2,3,4</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*Ж. К. Мусина<sup>1</sup>, Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, А. Ж. Касенов<sup>3</sup>, М. Ж. Абишева<sup>4</sup>*

#### **Сопоставление методов заточки спиральных сверл**

<sup>1,2,3,4</sup>Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,  
г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*Көпшілік қайрау әдістерін бір-бірінен технологиялық ерекшеліктерімен ғана емес, бұрғылардың артқы бетіндегі нысандарымен ерекшеленеді. Сондықтан, бұрғылардың арасындағы әртүрлі қайрау кезінде, тіпті 2φ және α бұрыштарының бірдей мәндерінде, артқы бұрыштарының басты жиектері бойымен және қолденең жиегінің геометриялық параметрлері аумақтары бойынша бөлу түйісуі жоқ; алдыңғы бұрышы, бетінің доңестігі, кейбір жағдайда қолбеу бұрышы болады.*

*Большинство методов заточки отличаются друг от друга не только технологическими особенностями, но и формой задних поверхностей сверла. Поэтому, между сверлами разной заточки, даже при одинаковых значениях углов 2φ и α, нет совпадения по распределению задних углов вдоль главных кромок и геометрическим параметром поперечной кромки: передним углом, поверхности выпуклости, в некоторых случаях и углом наклона.*

SRSTI 81.33.03; 61.51.01

**V. V. Ryndin<sup>1</sup>, G. G. Abdullina<sup>2</sup>, A. T. Abdullin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Candidate of Engineering Sciences, professor, Department of «Mechanics and Petroleum Engineering», S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>PhD in Chemistry, associate professor, Department of «Mechanics and Petroleum Engineering», S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

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

e-mail: <sup>1</sup>rvladvit@yandex.kz; <sup>2</sup>gulnara\_1277@mail.ru; <sup>3</sup>aslan0477@mail.ru

#### **ANALYSIS OF PASSIVE METHODS OF PROTECTION FROM CORROSION OF MAIN OIL AND GAS PIPELINES**

*In this flock, «passive» methods of pipeline protection against corrosion are considered. High durability and trouble-free operation of pipelines directly depends on the quality of their anticorrosion protection. To minimize the risk of corrosion damage, the pipelines are protected with anti-corrosion coatings and additionally with electrochemical protection (ECC). In this case, insulation coatings provide primary («passive») protection of pipelines against corrosion, performing the function of a «diffusion barrier» through which access of corrosive agents (water, oxygen of air) to the metal is hampered. When defects appear in the coating, a cathodic protection system for pipelines is provided – «active» corrosion protection. For all time of anticorrosive coatings application, which constitute the core of «passive» protection of pipelines, a large number of insulating materials and methods of their application to the surface of pipelines in factory and route conditions have been invented. In this regard, an important role was played by such indicators of the insulation coatings quality, as waterproofness, adhesion, durability, economy, continuity, mechanical strength, and other indicators that characterize the effectiveness of an insulation coating.*

*Keywords: active and passive corrosion, insulation coating.*

#### **INTRODUCTION**

Corrosion of metals – spontaneous destruction of metals due to their chemical or electrochemical interaction with the external environment.

In most cases, corrosion of metals passes unevenly over the surface, there are areas where local lesions occur. Some corrosion products, forming surface films, inform metal corrosion resistance.

Sometimes loose friable products may appear, which have a weak adhesion to the metal. The destruction of such films causes intense corrosion of the exposed metal.

Corrosion of metal reduces mechanical strength and changes its other properties.

Corrosion processes are classified according to the types of corrosion damage, the nature of the interaction of the metal with the medium, the flow conditions.

By the nature of the interaction of metal with the environment, chemical and electrochemical corrosion are distinguished.

According to the conditions of the corrosion process, the following types of corrosion are most often encountered: gas, atmospheric, liquid, underground, biocorrosion, electrocorrosion, slit, contact, corrosion under stress, corrosion cavitation, corrosion erosion, fretting, structural, thermal contact.

## MAIN PART

For external insulation of pipelines, the following types of factory coatings are most often used:

- factory epoxy coating;
- factory polyethylene coating;
- factory polypropylene coating;
- factory combined ribbon-polyethylene coating.

These types of coatings meet modern technical requirements and provide long-term, effective protection of pipelines against soil corrosion (figure 1).

Combined ribbon-polyethylene coatings are used mainly for insulation of pipes of small and medium-sized diameters with operating temperature up to plus 40 °C.

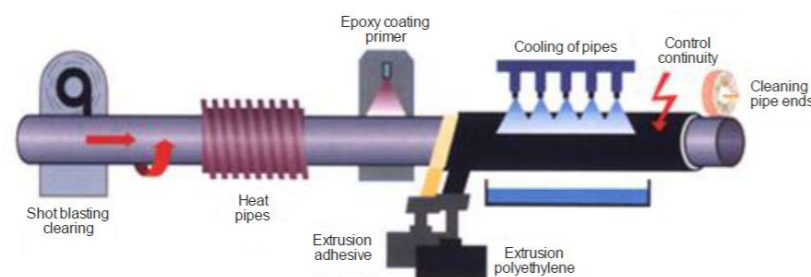


Figure 1 – Scheme of factory insulation of pipes

To date, when building domestic main and field pipelines as external protective coatings, the factory covers of pipes based on extruded polyethylene are most widely used.

The quality of the factory polyethylene coatings of pipes largely depends on the design of protective coatings and insulating materials used for their application.

There are 4 variants of constructions of factory polyethylene coatings of pipes: polyethylene coating applied on bituminous-mastic sublayer; Polyethylene coating applied on an insulating sublayer on the basis of a sticky polymer tape; a two-layer polyethylene coating consisting of an adhesive undercoat based on a hot-melt polymer composition and an outer polyethylene layer; a three-layer polyethylene coating consisting of an epoxy primer layer, an adhesive polymer undercoat and an outer polyethylene layer [1].

The first two types of polyethylene pipe coatings have a rather limited range of applications. These types of coatings are recommended to be used for external insulation of pipes of small and medium diameter (from 57 to 530 mm inclusive) at a pipeline service temperature not higher than +40 °C. The main area of application of such coatings is the construction of field pipelines, water pipes, low-pressure inter-settlement gas pipelines [2].

The application to the pipes of combined mastic-polyethylene and tape-polyethylene coatings can be carried out in conditions of stationary pipe-insulating bases. Protective coatings are applied using a simplified technology (brush cleaning, priming the surface of pipes, applying a mastic or strip underlayer, applying an outer extruded polyethylene layer).

Preliminary technological heating of pipes and abrasive cleaning is not required, which significantly reduces the cost of surface preparation and pipe insulation.

For the application of the mastic sub-layer, special modified bituminous mastics should be used, which have an increased frost resistance and good adhesion to polyethylene. For the application of the strip underlay, duplicated polyethylene tapes with a butyl rubber sublayer having a thickness of at least 0,45 mm should be used. The outer shell of extruded polyethylene with thickness up to 2,0–2,5 mm is designed to increase the mechanical strength of the coating, increase its resistance to punching and impact, which ensures long-term storage, storage and transportation of insulated pipes [3].

Factory double-layered polyethylene coatings are characterized by higher properties and a wider temperature range of operation (from minus 20 °C to plus 50–60 °C). The use as a melt adhesive of a hot melt polymer composition based on an ethylene-vinyl acetate copolymer or ethylene with an acrylic acid ester substantially increases the adhesion of the coating to the steel.

The technological process of applying a two-layer polyethylene coating includes preliminary heating of the pipes, their abrasive (shot-blasting or blasting) cleaning, heating to a specified temperature (180–200 °C), application of the adhesive «plane-slit» or annular extrusion of melts of adhesive and polyethylene, and cooling of isolated pipes with recycled water. To improve the quality of the two-layer coating at operating temperatures of 40–60°C, it is recommended to passivate the cleaned surface of pipes with a special chromate composition [4].

The design of the three-layer coating differs from the two-layer coating by the presence of an additional layer – an epoxy primer (figure 2). To apply the priming layer, it is possible to use both epoxy powder paints (the optimal thickness of the epoxy layer should be 100–200 microns and at least 40–50 microns higher than the roughness of the cleaned pipe surface) and liquid epoxy paints (dry film thickness primer should be 40–60 microns). Epoxy primer provides increased adhesion of the coating to steel, resistance to cathodic peeling and to prolonged exposure to water [5].

In addition, the epoxy layer is permeable to cathodic protection currents, which creates a good compatibility of the three-layer polyethylene coating with the electrochemical protection of the pipelines. The polymeric adhesive undercoat is an intermediate layer in the construction of a three-layer coating of pipes. Its function is to provide adhesion between the outer polyethylene layer and the inner epoxy layer. The outer polyethylene layer is characterized by low moisture-permeability, performs the functions of the «diffusion barrier» and provides a high mechanical and impact strength coating. The combination of all three layers of the coating makes a three-layered polyethylene coating one of the most effective outer protective coatings of pipelines.

Polyethylene coating has a high adhesion to steel (not less than 35 H/cm), high dielectric characteristics (more than 5 kv) and resistance to external mechanical damage [6].

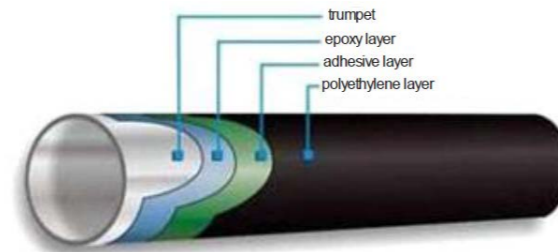


Figure 2 – Pipe with three-layered polyethylene coating

The coating is applied by the method of lateral («plane-slit») extrusion. To ensure high adhesion properties of insulation, high-quality blast cleaning of the pipe surface is applied, application of an intermediate adhesive layer (adhesion-active composition 300–400 mkm), further application of an outer protective layer based on a thermoset stabilized polyethylene composition. Pipes coated with extruded polyethylene have a number of significant advantages:

- the coating is environmentally safe;
- improves the service life of gas pipelines and the culture of construction;
- has increased mechanical strength;
- the quality of the coating does not depend on the ambient temperature, etc.

Advantages of three-layer polyethylene coatings in comparison with double-layer coatings of pipes are related not only to the presence in the coating structure of an additional layer – epoxy primer, but also with the use of higher quality insulating materials for the application of an adhesive undercoat and an outer polyethylene layer. Undoubted advantages of three-layer polyethylene coatings of pipes include their increased heat resistance. The use of modern adhesion compositions and epoxy primer allowed to expand the temperature range of application of polyethylene coatings from plus 50–60 °C to plus 80 °C [7].

Polypropylene coating has increased heat resistance, high mechanical, impact strength, resistance to extrusion and abrasive wear (figure 3).



Figure 3 – Pipes with factory polypropylene coating

The main field of application of polypropylene coatings is anticorrosive protection of «hot» sections of pipelines (up to 110–140 °C), corrosion protection of offshore, offshore pipelines, underwater crossings, pipeline sections constructed by «closed» gasket

methods (punctures under roads, directional drilling, etc.). Due to the high impact strength of the polypropylene coating, its thickness can be 20 to 25 % less than the thickness of the polyethylene pipe coating (from 1,8 mm to 2,5 mm) [8]. The disadvantages of polypropylene coatings include their reduced frost resistance.

For anticorrosive protection of pipelines of small and medium-sized diameters (up to 530 mm) in recent years a combined ribbon-polyethylene coating has been widely and successfully used. The combined tape-polyethylene coating is applied to the pipes in factory or basic conditions. Structurally, the coating consists of a layer of adhesive primer, a layer of a duplicated polyethylene tape and an outer layer based on extruded polyethylene (figure 4). The total thickness of the combined tape-polyethylene coating is 2,2–3,0 mm. In the case of insulation of pipes in factory (base) conditions, additional layers of polymer tape and wrappers are applied to increase the impact strength of the coating required for transporting insulated pipes from the plant to the pipeline construction site. In this case, depending on the diameters of the insulated pipes, the total thickness of the tape coating in accordance with the requirements should be not less than 1,8–2,4 mm. The increased consumption of insulating materials significantly increases the cost of coating [2].

In the construction of the combined coating, a polyethylene insulating tape applied along the adhesive primer provides a stable adhesion of the coating to the steel, the resistance of the coating to cathodic peeling, while the outer polyethylene layer is responsible for the mechanical characteristics of the coating, providing coverage with increased impact strength, bursting strength and light aging. The combined ribbon-polyethylene coating can be used as an anticorrosion coating for pipes used in the construction of main, field pipelines and bends from them, for laying low-pressure inter-settlement gas pipelines, city gas, water supply networks, pipelines for municipal purposes [9].



Figure 4 – Polyvinylchloride sticky tape (PVCh Sticky)

The temperature range of operation of pipelines with combined coating is from minus 20 °C to plus 40 °C, and the predicted service life is 35–40 years.

In terms of properties, the combined ribbon-polyethylene coating is inferior to the factory two-layer and three-layer polyethylene coatings of pipes, but at the same time it largely surpasses the bitumen-mastic and polymeric tape coatings of pipelines [10].



Factory epoxy coatings of pipes with a thickness of 350–500 microns are used as external anticorrosive coatings of pipelines for about 50 years (figure 5). These coatings are characterized by increased heat resistance, high adhesion to steel, excellent resistance to cathodic peeling, resistance to cutting, scraping, abrasive wear. Pipes with epoxy coating, in contrast to pipes with factory polyethylene coating, for a long time can be stored in the open air. Epoxy coatings are permeable to cathodic protection currents. Under epoxy coatings there were no cases of stress corrosion of pipelines. The cost of applying epoxy coatings is much lower than the cost of factory polyethylene and polypropylene coatings of pipes [11].



Figure 5 – Pipes with epoxy coating

Glass-enamel is a fused, vitreous, inorganic mass consisting predominantly of oxides and applied to the metal in one or more layers (figure 6).



Figure 6 – Pipes with glass-enamel coating

Enamel coatings are quite widely used. The enamel coating has great continuity, good adhesion to metal and high electrical resistance, but it is quite expensive, so it is recommended to use it only in particularly critical cases, for example when pumping aggressive media or laying pipelines in such environments. Glass-enamel coatings of factory application are used to protect pipelines from underground and atmospheric corrosion [12].

The internal coating of pipes must have high protective properties, ensuring its safety during the period of transportation, storage and installation, and also have a high durability during operation.

With internal insulation of pipes in stationary factory or base conditions, it is possible to use modern technologies and equipment for cleaning, heating and insulating pipes, performing sequential process control and quality control of finished products, which ensures high quality coating of pipes with various anticorrosion coatings [13].

The process of internal insulation of pipes is a complex of consecutive completed operations, including: preheating, drying pipes (if necessary, thermal degreasing); cleaning of the internal surface with the creation of the necessary relief; Technological heating of pipes to the set temperature (if necessary); application of a protective coating (required by the technology of the number of layers) and their curing; quality control of the protective coating; repair of places of damage to the coating [7].

Internal polymer coatings of pipelines can be divided into anticorrosive and smooth.

The use of internal pipe coatings offers a number of advantages: extending the service life of pipelines; increase in the capacity of pipelines; reduction of paraffin formation on the walls of pipelines and facilitation of the cleaning process (cleaning costs are reduced by approximately 75 %); increasing the reliability of pipelines and reducing annual operating costs [14].

It is believed that an increase in the life of the pipeline by 1 % pays for the costs of coating the pipes.

To create a durable internal insulation of pipes, it is very important that the insulating material is properly selected and that the technological process for coating the pipes is observed.

The existing technological processes of internal insulation of pipes provide for the use as powder materials of powder polymers and paintwork materials, both liquid and with a solvents content of more than 30 % and high viscosity, with a solvents content below 30 % (high-solids LMC with solids) [3].

The criteria for selecting coatings for internal insulation of pipes are the operating conditions of the pipeline, the protective and technological properties of the coatings.

In all respects the most suitable for the internal insulation of pipes are paint materials based on epoxy, modified epoxy and phenol-formaldehyde resins. From powder polymers, coatings based on epoxy powder materials applied on a phenolic primer are widely used. The thickness of anticorrosive coatings, as a rule, is 300–500 mkm [15].

In order to improve the quality of insulation works to protect the welded joint zone, heat shrinkable tapes (cuffs) are used, which are a two-layer material consisting of a polyethylene radiation-modified base film that is combined with a hot-melt adhesive that has a high adhesion to the steel pipe and to the factory coating. The primer is a solvent-free composition that consists of an epoxy resin and a hardener (activator). The primer is supplied to the consumer in complete with cuffs. Polymer coating «TERMA-ST» is a heat shrinkable tape, which is designed for corrosion protection of welded joints of pipes and made of radiation-modified (cross-linked) polyethylene, which significantly improves the physical properties of the final anticorrosion coatings, and also simplifies the process of their application; The resulting insulation is not inferior in its properties to the basic factory polyethylene insulation; work on the application of anticorrosive materials «TERM» can be made both in factory and in road conditions

(both in summer and in winter at ambient temperatures from  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); ease of application; materials provide protection against corrosion for a period of at least 30 years, since all materials of the brand «TERMA» are light stabilized and radiation-cross-linked, they can also be used for isolation of above-ground pipelines without fear of exposure to ultraviolet rays, solar radiation, temperature changes and without losing their properties [12].

#### CONCLUSIONS

Based on the analysis of «passive» methods of corrosion protection of main oil and gas pipelines, a number of requirements for protective coatings have been identified, such as: low moisture-permeability, high mechanical characteristics, high and stable in time coating adhesion to steel, cathodic peel resistance, good dielectric characteristics, resistance of coating to UV and heat aging. Insulating coatings should perform their functions in a wide range of temperatures of construction and operation of pipelines, ensuring their protection from corrosion for the maximum possible period of their operation.

According to the conducted researches of various anticorrosive coatings of factory and route application, on the basis of which it was found out that the most optimal for today is the use of pipes with a factory three-layer polyethylene coating, followed by route isolation of welded joint areas with thermo-shrink sleeves (of the type TERM-ST). Re-insulations of the trunk pipeline section with a modern insulating coating (heat-shrinkable tape) is expedient and economically viable.

It can be concluded that the insulation coatings used earlier in the isolation of the main oil and gas pipelines are no longer able to compete with modern insulation coatings that are more effective and durable.

In connection with the continuous improvement of insulation materials and their application technologies, the efficiency of passive corrosion protection of main oil and gas pipelines is constantly increasing, the longevity of the coating is increased, and, accordingly, the life of pipelines isolated by these materials, which leads to a significant reduction in costs on their operation.

#### REFERENCES

- 1 **Рудаченко, А. В.** Эксплуатационная надежность трубопроводных систем [Текст] : учеб. пособие / А. В. Рудаченко. – Томск : Издательство ТПУ, 2008. – 118 с.
- 2 **Медведева, М. Л., Мурадов, А. В., Прыгаев, А. К.** Коррозия и защита магистральных трубопроводов и резервуаров : Учебное пособие для вузов нефтегазового профиля. – М. : Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина. – 2013. – 250 с.
- 3 **Музипов, Х. Н.** Антикoroзионная защита нефтяного оборудования : Монография. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет. – 2013. – 92 с.
- 4 **Anatoliy, B., Galina, B., Natalia, G., Sergey, M., Mikhail, G.** Main pipelines corrosion monitoring device // Ecology and safety in the technosphere : current

problems and solutions. – 2017. – Vol. 50. – UNSP 012032. – DOI: 10.1088/1755-1315/50/1/012032.

5 **Pouraria, H., Sea, J. K., Palk, J. K.** CFD simulation of the effect of different oils on water wetting and internal corrosion of oil pipelines // Proceedings of the asme 35th international conference on ocean, offshore and arctic engineering. – 2016. – Vol. 5. – UNSP V005T04A023.

6 **Кузнецов, М. В.** Коррозия и защита от нее нефтегазового и нефтегазопромыслового оборудования [Текст] : учеб. пособие / М. В. Кузнецов. – Уфа : Издательство УГНТУ, 2004 – 107 с.

7 **Кошенсков, П. Ф., Конопляников, О. В., Скосырев, А. Н.** Коррозия трубопроводов в газодобывающей промышленности // Современная наука : актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки. – 2015. – № 11. – С. 51 – 52.

8 **Гончаров, В. С.** Методы получения защитных покрытий [Текст] / В. С. Гончаров // Машиностроитель. – 2001. – № 5 – С. 30–33.

9 **Будкевич Р. Л.** Защита оборудования от коррозии [Текст] : учеб. пособие / Р. Л. Будкевич. – Альметьевск : Издательство АГНИ, 2007. – 56 с.

10 **Shabarchin, O., Tesfamariam, S.** Internal corrosion hazard assessment of oil & gas pipelines using Bayesian belief network model // Journal of loss prevention in the process industries. – 2016. – Vol. 40. – P. 479–495. – DOI: 10.1016/j.jlp.2016.02.001.

11 Новые технологии защиты трубопроводов от коррозии (интервью с В. В. Притулой) // Газовая промышленность. – 2014. – № 7 (709). – С. 66–67.

12 **Амосов, А. П., Юдин, П. Е., Акулинин, А. А., Петров С. С.** Обзор методов антикoroзионной защиты элементов ТЭК // Трубопроводный транспорт : теория и практика. – 2014. – № 3–4 (43–44). – С. 24–28.

13 **Gayosso, M. J., Nava, N., Olivares, G. Z.** Characterisation and comparison of corrosion products originated in steel pipelines transporting sour gas and crude oil // Corrosion engineering science and technology. – 2016. Vol. 51. – P. 626–634. – DOI: 10.1080/1478422X.2016.1173421.

14 **Семенова, И. В.** Коррозия и защита от коррозии [Текст] / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002 – 336 с.

15 **Nejad, A. M.** A review of contributing parameters in corrosion of oil and gaswells // Anti-corrosion methods and materials. – 2018. – Vol. 65. – P. 73–78. – DOI: 10.1108/ACMM-03-2017-1779.

Material received on 15.05.18.

*В. В. Рындин<sup>1</sup>, Г. Г. Абдуллина<sup>2</sup>, А. Т. Абдуллин<sup>3</sup>*

**Магистральдық мұнай-газ құбырларын пассивті коррозиядан қорғау әдістерін талдау**

<sup>1,2,3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

В. В. Рынди́н<sup>1</sup>, Г. Г. Абдуллина<sup>2</sup>, А. Т. Абдуллин<sup>3</sup>**Анализ пассивных методов защиты от коррозии магистральных нефтегазопроводов**<sup>1,2,3</sup>Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 15.05.18.

Бұл формада коррозияға қарсы құбырларды қорғаудың «пассивті» әдісі қарастырылады. Құбырлардың жоғары беріктігі мен проблемаларын қамтамасыз ету олардың коррозиядан қорғаудың сапасына тікелей байланысты. Коррозия зақымдану қаупін төмендету үшін құбырлар коррозияға қарсы жабынмен және қосымша электрохимиялық қорғанумен (ЭХҚ) қорғалған. Бұл жағдайда оқшаулағыш жабындар коррозияға қарсы агрессивті агенттерге (су, оттегі) кедергі келтіретін «диффузиялық тосқауыл» функциясын жүзеге асыратын құбырларды бастапқы («пассивті») қорғауды қамтамасыз етеді. Қаптамада ақаулар пайда болғанда, құбырларға арналған катодты қорғаныс жүйесі – «белсенді» коррозиялық қорғаныс қарастырылған. Құбырлардың пассивті қорғанышының негізін құрайтын коррозияға қарсы жабындарды қолданудың барлық уақыттары үшін зауыттық және маршруттық жағдайлардағы құбырлар бетіне көптеген изоляциялық материалдар мен оларды қолдану әдістері ойлап табылды. Осыған байланысты оқшаулағыш жабындылардың сапасына, мысалы, су өткізбеу, адгезия, беріктілік, үнемдеу, үздіксіздік, механикалық беріктік және оқшаулағыш жабу тиімділігін сипаттайтын басқа көрсеткіштер сияқты маңызды рөл атқарылды.

В данной статье рассматриваются «пассивные» методы защиты трубопроводов от коррозии. Высокая долговечность и безаварийность работы трубопроводов напрямую зависит от качества их противокоррозионной защиты. Для сведения к минимуму риска коррозионных повреждений трубопроводы защищают антикоррозионными покрытиями и дополнительно средствами электрохимзащиты (ЭХЗ). При этом изоляционные покрытия обеспечивают первичную («пассивную») защиту трубопроводов от коррозии, выполняя функцию «диффузионного барьера», через который затрудняется доступ к металлу коррозионноактивных агентов (воды, кислорода воздуха). При появлении в покрытии дефектов предусматривается система катодной защиты трубопроводов – «активная» защита от коррозии. За все время применения антикоррозионных покрытий, составляющих ядро «пассивной» защиты трубопроводов, изобретено большое количество изоляционных материалов и методов их нанесения на поверхность трубопроводов в заводских, а также трассовых условиях. В связи с этим немаловажную роль стали играть такие показатели качества изоляционных покрытий, как водонепроницаемость, адгезия, долговечность, экономичность, сплошность, механическая прочность и др. показатели, характеризующие эффективность того или иного изоляционного покрытия.

ГРНТИ 620.97

**Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, С. Ф. Починок<sup>2</sup>, А. В. Починок<sup>3</sup>**<sup>1</sup>м.т.т., ст. преподаватель, кафедра «Механика и нефтегазовое дело», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;<sup>2,3</sup>магистранты техники и технологии, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>ruslan.sapinov@mail.ru; <sup>2</sup>686661@mail.ru; <sup>3</sup>scorpic\_85@mail.ru**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРЕЗА «ВОСТОЧНЫЙ» АО «ЕК» ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА**

*Изучается баланс энергоресурсов. Рассматриваются существующие мероприятия в области энергосбережения и специфика технологического процесса, а также анализируются результаты инструментального обследования объекта.*

*Ключевые слова: энергоёмкость ВВП, энергетический аудит, энергоэффективность, энергосбережение, тепловые потери, изоляционные материалы.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Энергосбережение – самый дешёвый и экологически чистый «источник» энергии. Это подход к экономии энергоресурсов, основанный на использовании энергосберегающих технологий, которые призваны уменьшить потери ресурсов [1]. В настоящее время энергосбережение – одна из приоритетных задач. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи [2], а также с глобальными экологическими проблемами [3], [4], [5]. Внедрение энергосберегающих технологий является одним из важных шагов в решении многих экологических проблем – изменения климата, загрязнения атмосферы (например, выбросами от ТЭЦ), истощения ископаемых ресурсов и др. Энергосбережение является важным фактором, который улучшает экономические показатели и качество окружающей среды [6], [7], [8], [9]. Энергосбережение в любой сфере сводится по существу к снижению бесполезных потерь энергии. Универсальных способов экономии энергоресурсов на данный момент не существует, но разработаны методики, технологии и устройства, помогающие вывести энергосбережение на качественно новый уровень [10]. Проблемы повышения энергоэффективности привлекает внимание руководства страны на самом высшем уровне. Главой государства поставлены цели по снижению энергоёмкости ВВП на 10 % к 2017 году и на 25 % к 2020 году, в реализации которых должны быть задействованы все промышленные предприятия [11], [12]. Особенностью процессов добычи полезных ископаемых, особенно угля, является то, что сами технологические процессы несовершенны. Практическое потребление и сопутствующие потери энергии, при отсутствии её производства, не позволяют считать их энергоэффективными. Применяемое на разрезах энергоёмкое оборудование не может не сказаться на себестоимости

конечной продукции, поэтому оценка потенциала энергоэффективности и энергосбережения устойчивого развития данных предприятий в условиях жесткой конкуренции [13], [14].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В ходе проведения исследований по теме «энергетический аудит разреза «Восточный» АО «ЕЭК» с целью разработки технических предложений по энергосбережению» были проведены работы по энергетическому аудиту предприятия угольного разреза «Восточный» с целью обеспечения прозрачности структуры энергосбережения и энергопотребления и выявления потенциалов энергосбережения на предприятии.

Задачи энергетического аудита:

- обследование состояния использования энергетических ресурсов;
- разработка организационно-технических мероприятий, направленных на снижение энергетических затрат;
- определение потенциала сбережения энергии;
- экономическое обоснование организационно-технических мероприятий;

Для обследования и анализа состояния системы теплоснабжения и теплопотребления проводятся следующие виды работ:

– определение технического состояния водяных тепловых сетей. На основе получаемых сведений о длине, размерах, местах соединения труб, а также схем трубопроводов определяется техническое состояние тепловых сетей ППК.

– проверка тепловой изоляции трубопроводов. Измерения тепловой изоляции трубопровода проводятся как по периметру комплекса, так и внутри зданий и сооружений.

Для проведения измерения необходимы соответствующие инструменты, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень приборов для энергоаудита

Наименование прибора	Тип, марка
Тепловизор	Ti 110
Расходомер ультразвуковой	Акрон-01
Гигрометр	Testo 625
Инфракрасный термометр	Кельвин

Выявление тепловых потерь на неизолированных участках теплопроводов и теплопроводах с некачественной изоляцией.

Выявление тепловых потерь от неизолированных участков теплотрассы является одним из главных мероприятий, направленных на сокращение потребления энергоресурсов. При эксплуатации промышленных трубопроводов, чтобы уменьшить тепловые потери в окружающую среду, используют теплоизоляционные материалы. Так, неизолированные участки теплотрассы,

показанные на рисунке 4, расположенные от КИП до станции «Фестивальная» с наружным диаметром  $d_{вн} = 426$  мм., длиной – 3200 м и участок теплотрассы от котельной до КИП длиной – 800 м являются источниками тепловых потерь. Температура на поверхности трубы составляет порядка 66 градусов. Ориентировочная суммарная длина участков составляет 4000 м.

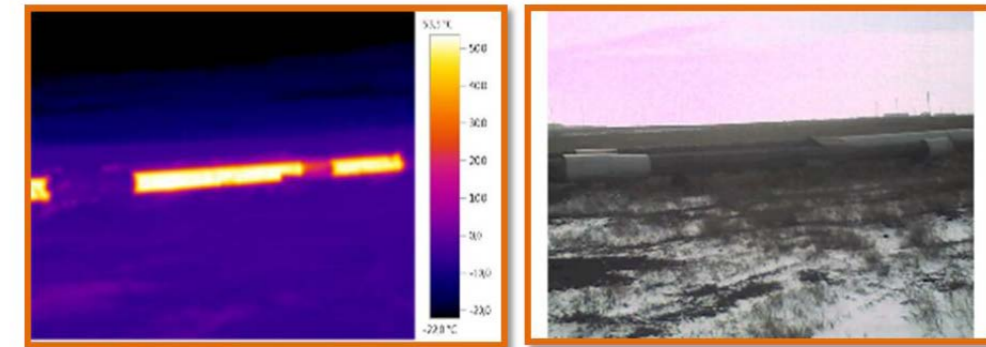


Рисунок 1 – Участок теплотрассы от КИП до ст. «Фестивальная» с наружным диаметром  $d_{вн} = 426$  мм.

Таблица 2 – Данные проведенного тепловизионного обследования

Место проведения измерений	Излучение	Температура самой теплой точки °C	Температура самой холодной точки °C	Температура воды °C
$d_{вн} = 426$ мм	0,93	66	- 3	75

Методика расчета тепловых потерь с трубопровода  $d_{вн} = 426$  мм.

1) Определим величину часовых потерь расчетным путём используя следующую формулу

$$Q = b \cdot l \cdot q \tag{1}$$

где  $b$  – коэффициент учитывающий тепловые потери через опоры, соединения и арматуру, принимаемый по СНиП 2.04.014 и равный для стальных трубопроводов с  $d_y < 150$  мм,  $b=1,2$ ,  $d_y > 150$ ,  $b=1,15$ , а для неметаллических труб  $b=1,7$ .

$l$  – длина участка, м;

$q$  – тепловые потери с одного метра трубы за один час, Вт/м.

$$q = k \cdot 3,14(t_B - t_c) \tag{2}$$

где  $t_B$  – температура воды в трубопроводе, °C;

$t_c$  – температура среды окружающей трубопровод, °C;

$k$  – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/м °C;

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{2\lambda_T}\right) \times \ln\left(\frac{d_{нт}}{d_{вт}}\right) + \left(\frac{1}{2\lambda_T}\right) \times \ln\left(\frac{d_{ни}}{d_{вн}}\right) + \frac{1}{\alpha_n \times d_{ни}}} \tag{3}$$

где  $\lambda_m$  – коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт/м<sup>2</sup> °C;

$\lambda_u$  – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/м<sup>2</sup> °C;

$d_{int}, d_{ext}$  – внутренний и наружный диаметры трубы соответственно, м;  
 $d_{in}, d_{out}$  – внутренний и наружный диаметры изоляции соответственно, м;  
 $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности тепловой изоляции, Вт/м<sup>2</sup>°С, принимаемый по приложению 9 СНиП 2.04.14 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Расчет тепловых потерь с трубопровода:

Для теплоизоляции этого участка теплотрассы можно использовать:

- 1 стекловату URSA фольгированную;
- 2 минераловатные цилиндры НОТРИПЕ.

Результаты сравнительного анализа физико-механических показателей этих теплоизоляционных материалов приведены в таблице 3. Более детально с достоинствами и недостатками этих теплоизоляционных материалов можно ознакомиться на сайтах и в каталогах фирм-производителей.

Для оценки потенциала энергосбережения от теплоизоляции участка теплотрассы, длиной 4000 м и наружным диаметром трубопровода равным  $d_{ext} = 426$  мм, использовался расчетный метод. Для этого проведены расчеты величины тепловых потерь по формулам. Расчеты производились для 3 различных вариантов:

- 1 труба изолирована стекловатой URSA фольгированной;
- 2 труба изолирована минераловатными цилиндрами НОТРИПЕ;
- 3 труба с существующей изоляцией из стекловаты (сроком сл. 20 лет).

Таблица 3 – Сравнение изоляционных материалов

Показатели	Стекловата URSA фольгированная	Минераловатные цилиндры
Коэффициент теплопроводности, Вт/м <sup>2</sup> *К	0,038	0,037
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	11–15	100
Водопоглощение, %	Менее 1,5	Менее 1,5
Температура применения, °С	От – 60 °С до +270 °С	От – 180 °С до +550 °С
Микроорганизмы, грызуны	Устойчива	НД
Эффективный срок службы, лет	30–40	40–50
Группа горючести	Г1	НГ

Необходимые для расчета исходные данные для расчета потерь при использовании вышеприведенных теплоизоляционных материалов сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Данные для расчета потерь на участке теплотрассы

Тип изоляции	Длина участка, м	Наружный диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Толщина изоляции, мм	$\lambda_n$ изол., Вт/м <sup>2</sup> °С	$t_w$ воды, °С	$t_c$ возд., °С
Стекловата URSA фольгированная	4000	426	5	80	0,038	75	-8,3
Минераловатными цилиндрами НОТРИПЕ	4000	426	5	70	0,037	75	-8,3
Существующая изоляция из стекловаты	4000	426	5	20	0,05	75	-8,3

Температура воды в трубопроводе  $t_w = 75$  °С, принята как средняя температура воды исходя из графика тепловых нагрузок в зависимости от температуры наружного воздуха Котельной на 2014 г.

Температура наружного воздуха  $t_c = -8,3$  °С принята как средняя температура окружающего воздуха за отопительный период в 2014г.

1 Определим величину часовых потерь на трубопроводе изолированном стекловатой URSA фольгированной используя формулы 1,2,3:

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{2\lambda r}\right) \times \ln\left(\frac{d_{int}}{d_{ext}}\right) + \left(\frac{1}{2\lambda r}\right) \times \ln\left(\frac{d_{in}}{d_{out}}\right) + \frac{1}{\alpha_n \times d_{in}}}$$

$$k = 0,229 \text{ Вт/м}^\circ\text{С};$$

$$q = k \times 3.14(t_w - t_c),$$

$$q = 60 \text{ Вт/м};$$

$$Q = b \times l \times q,$$

$$Q = 276 \text{ 000 Вт};$$

2 Определим величину часовых потерь на трубопроводе изолированном минераловатными цилиндрами НОТРИПЕ:

$$k = 0,252 \text{ Вт/м}^\circ\text{С};$$

$$q = 66 \text{ Вт/м};$$

$$Q = 303 \text{ 600 Вт};$$

3 Определим величину часовых потерь на трубопроводе с существующей изоляцией из стекловаты, (сроком службы более 20 лет):

$$k = 0,929 \text{ Вт/м}^\circ\text{С};$$

$$q = 243 \text{ Вт/м};$$

$$Q = 1 \text{ 117 800 Вт};$$

Результаты расчетов потерь при использовании вышеприведенных теплоизоляционных материалов сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчетов потерь на трубопроводе

Тип изоляции	$\lambda_m, \text{Вт/м}^2\text{°C}$	$\lambda_u, \text{Вт/м}^2\text{°C}$	Толщина изоляции, мм	$k, \text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$	$q, \text{Вт/м}$	$Q, \text{Вт}$
Стекловата фольгированная URSA	58	0,038	80	0,229	60	276000
Минераловатными цилиндрами HOTPIPE	58	0,037	70	0,252	66	303600
Существующая изоляция из стекловаты	58	0,05	20	0,929	243	1117800

Расчет эффективности мероприятия по установке изоляции на неизолированных участках теплопроводов и теплопроводах с некачественной изоляцией с наружным диаметром  $d_{\text{вн}}=426$  мм.

Определение стоимости тепловых потерь с указанного участка теплотрассы за отопительный период произведено расчетным методом с использованием результатов расчетов, полученных в предыдущем разделе. Продолжительность отопительного периода составляет  $n = 215$  дней (5160 часов).

В расчетах были использованы следующие соотношения между физическими величинами:

$$1 \text{ Вт} = 8,5984 \times 10^{-7} \text{ Гкал/ч} \approx 8,6 \cdot 10^{-7} \text{ Гкал/ч.}$$

$$1 \text{ Гкал/ч} = 0,143 \text{ т.у.т.}$$

1 т, угля = 0,626 т.у.т., (коэффициент перевода в тонн условного топлива был принят из «Методики по предоставлению субъектами Государственного энергетического реестра информации, необходимой для формирования и ведения Государственного энергетического реестра»).

Результаты расчетов сведены в таблицу 6

Таблица 6 – Результаты расчетов тепловых потерь в денежном эквиваленте для участка теплотрассы

Тип изоляции	Потери, Вт/ч	Потери, Гкал/год	Потери, т.у.т./год	Потери, т/год	Потери, тг/год	Ежегодная экономия, тг/год
Стекловата фольгированная URSA	276000	1222,4	174,8	279,24	339777	1038997
Минераловатными цилиндрами HOTPIPE	303600	1347,25	192,65	307,76	374480	1004294
Существующая изоляция из стекловаты	1117800	4960,35	709,33	1133,12	1378774	0

\*Стоимость тонны угля составляла 1216,8 тг.

Выгода от применения указанных видов изоляции участка теплотрассы составляет порядка 1 млн. тенге ежегодно.

Из предложенных вариантов теплоизоляции оптимальным вариантом будет использование фольгированной стекловаты URSA, так как данная теплоизоляция обладает высокой теплоизолирующей способностью при малом весе, имеет химическую и биологическую нейтральность, низкое влагопоглощение, стабильные физические свойства, легко режется под нужный размер. Помимо указанных качеств, стекловаты, из предложенных вариантов теплоизоляции, является единственным товаром, представленным на казахстанском рынке. Стоимость доставки по территории Республики Казахстан других видов теплоизоляционных материалов на порядок выше, чем доставка стекловаты URSA.

Паспортные данные и стоимость стекловаты URSA были взяты с сайта <http://diana-almaty.kz/>. Расчеты на доставку товара производились через онлайн калькулятор на сайте <http://www.aleko.kz/>. При этом, рассматривались два возможных варианта доставки утеплителя, который предлагается указанной деливерской компанией:

- вариант 1 – доставка по весу товара;
- вариант 2 – доставка по объему товара.

Из предложенных вариантов доставки доставка по весу является рациональным вариантом доставки, так как обладает меньшими экономическими затратами.

Капитальные затраты на реализацию проекта по теплоизоляции участка теплотрассы наружным диаметром  $d_{\text{вн}} = 426$  мм представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Капитальные затраты на реализацию проекта по теплоизоляции участка теплотрассы  $d_{\text{вн}} = 426$  мм

Тип изоляции	Стоимость материала, тг	Площадь поверхности трубы, м <sup>2</sup>	Размеры материала (1 рулон)	Вид доставки	Стоимость доставки, тг	Стоимость монтажных работ, тг
Стекловата URSA фольгированная	2834595 243 рулона	5099,4 м <sup>2</sup>	18000120080 мм, 21 м <sup>2</sup>	по весу 3402 кг	290820	1000000 с учетом подрядной организации

Суммарные затраты составят:

$$S = 2\,834\,595 + 290\,820 + 1\,000\,000 = 4\,125\,415 \text{ тенге.}$$

Простой срок окупаемости проекта составляет:

$$T_{\text{ок}} = \frac{4\,125\,415}{1\,038\,997} = 3,97 \text{ года} \approx 4 \text{ года.}$$

Сведенные финансовые показатели анализа завтра жизненного цикла данного проекта по энергоэффективности, а также их основные составляющие, приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Анализ затрат жизненного цикла проекта

Показатель	Значение
Начальные капитальные вложения, тг	4 125 415
Чистая приведенная стоимость (NPV), тг	4 131 234

Коэффициент чистой существующей прибыли (NPVQ)	1
Внутренняя норма прибыли (IRR), %	26,1
Отношение экономии к инвестициям (SIR)	2,3
Полный срок окупаемости, лет	4
Продолжительность жизненного цикла, лет	10
Ежегодная экономия, тг/год	1 038 997

### ВЫВОДЫ

1 Проведение тепловизионного обследования довольно эффективно, поскольку позволяет наглядно продемонстрировать потери тепла.

2 По итогам тепловизионного обследования разрабатываются конкретные мероприятия по устранению потерь с указанием конкретных мест, указываемых на снимках произведенных с использованием соответствующей аппаратуры.

3 Также логичным будет произвести расчет тепловых потерь с сравнением различных теплоизоляционных материалов доступных на рынке.

4 Таким образом, как видно из расчетов любые из 3-х видов теплоизоляционного материала значительно (в 3 раза) уменьшают тепловые потери, теплопроводов. При этом стекловата URSA фольгированная несколько превышает остальные по теплоизолирующим свойствам. Следующим логичным шагом будет проверить экономическую целесообразность замены существующей теплоизоляции на новую теплоизоляцию.

5 Предлагаемые в работе результаты исследований и мероприятия имеют большую практическую значимость, поскольку были внедрены на АО «ЕЭК» разрез «Восточный»

При реализации проекта предполагается значительное снижение затрат на энергосбережение (1 038 997 тг. в год) со сроком окупаемости 4 года.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Бергузинов, А. Н., Талипов, О. М. Тепловые насосы : прогрессивный метод энергообеспечения зданий // Наука и Техника Казахстана. – 2010 – № 2. – С. 28–29.

2 Дербенев, В. К. Макроэкономический анализ инновационного развития Казахстана // Саясат-Policy. – № 3,4. – С. 212–218.

3 Алиев, С. Б. Реструктуризация угольной промышленности Казахстана // Уголь. – 2001. – № 9. – С. 41–44.

4 Каренов, Р. С. Проблемы развития Карагандинского бассейна в условиях рыночных отношений // Комплексное использование минерального сырья. – 1994. – № 4. – С. 73–77.

5 Сайт Евразийского Банка Развития [Электронный ресурс]. – <https://eabr.org/press/comments/sostoyanie-i-perspektivy-ugolnoy-promyshlennosti-kazakhstan/>.

6 Каренов, Р. С. Минерально-сырьевой комплекс Казахстана в условиях рыночной экономики. – Алматы : РИО ВАК РК, 2000. – 296 с.

7 Energy Efficiency in Exploration and Production of Oil & Gas. [Электронный ресурс]. – URL: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/energy-efficiency-technologies-overviewreport/3-energy-efficiency-exploration-and-production-oil-gas>.

8 Международная финансовая корпорация. Руководство по энергосбережению в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/c25b18004886583db4eef66a6515\\_bb18/1-2%2BEnergy%2BConservation.pdf?MOD=AJPERES](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/c25b18004886583db4eef66a6515_bb18/1-2%2BEnergy%2BConservation.pdf?MOD=AJPERES).

9 Energy and environmental profile of the US mining industry. US Department of Energy. [Электронный ресурс]. – URL: <https://energy.gov/eere/amo/downloads/itp-mining-energy-andenvironmental-profile-us-mining-industry-december-2002>.

10 Техника и технология горно-подготовительных работ в угольной промышленности / Под ред. Э. Э. Нильвы. – М. : Недра, 1991. – 315 с.

11 Энергоаудит и нормирование расходов энергоресурсов. Сборник методических материалов под редакцией профессора С. К. Сергеева. – Н. Новгород : НГТУ, «Нижегородский региональный учебно-научный инновационный центр энергосбережения», 2004.

12 Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» с изменениями и дополнениями по состоянию на 14.01.2015 г.

13 Борголова, Е. А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности. Учебное пособие / Е. А. Борголова, Ф. Ф. Лавриненко, Ю. Ф. Тихоненко, А. В. Стежко и др. – М., 2013.

14 Бренер, М. С., Лоскутов, А. В. Зарубежный опыт стимулирования энергосбережения // Энергосбережение. – № 3. – 2008.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*Р. В. Сапинов<sup>1</sup>, В. Ф. Починок<sup>2</sup>, А. В. Починок<sup>3</sup>*

**«Шығыс» ЕЭК АҚ көмір кешенінің энергетикалық тиімділігін энергетикалық аудит жүргізу арқылы арттыру**

<sup>1,2,3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.  
Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*R. V. Sapinov<sup>1</sup>, S. F. Pochinok<sup>2</sup>, A. V. Pochinok<sup>3</sup>*

**Increase of energy efficiency of JSC «EEK» «Vostochny» open-pit coal mine by performing energy audit**

<sup>1,2,3</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 15.05.18.

*Энергия ресурстарының балансы зерттеледі. Энергияны үнемдеу және технологиялық үдерістің ерекшелігі бойынша қолданыстағы шаралар қаралды, сондай-ақ объектінің аспаптық зерттеу нәтижелері талданды.*

*The balance of energy resources is studied. Existing measures in the field of energy saving and the specificity of the technological process are considered, and also the results of instrumental survey of the object are analyzed.*

ГРНТИ 55.13.99

**Д. Т. Ходжибергенов<sup>1</sup>, К. Т. Шеров<sup>2</sup>,  
А. Ж. Касенов<sup>3</sup>, У. Д. Хожибергенова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, кафедра «Машиностроение», Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауезова, г. Шымкент, 160009, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100042, Республика Казахстан;

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

<sup>4</sup>магистр, кафедра «Машиностроение», Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауезова, г. Шымкент, 160009, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>had\_ji@mail.ru; <sup>2</sup>shkt1965@mail.ru; <sup>3</sup>asylbek\_kasenov@mail.ru; <sup>4</sup>hadji\_umida@mail.ru

### **ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ НОВО ВНЕДРЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВО**

*В данной статье приводятся результаты исследования, выполненные в рамках грантовой темы: АР05132157 «Разработка имитационных моделей процессов резания и прогнозирования на их основе оптимальных параметров инструмента и режимов обработки (договор № 161 от 15.03.2018 г)». В результате аналитических исследований были определены реальные проблемы на примерах заводов, с которыми сталкиваются машиностроители и ученые занимающиеся обработкой резанием. Выявлено, что существует проблема, связанная с правильным выбором технологии механической обработки ново внедренных материалов, назначением режимов обработки и режущего инструмента. Для решения возникшей проблемы разрабатывается программный продукт. Разработано приложение для программного продукта по расчету возникающих сил резания, температуры резания, а также износа режущего инструмента.*

*Ключевые слова. Механическая обработка, резание металлов, режущий инструмент, износ, режимы резания, температура резания, деформация.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Современным машиностроительным заводам Республики Казахстан (РК) для обеспечения экономической стабильности необходимо быть гибкими. Высокая конкуренция часто требует быстрой переналадки производства на выпуск новых видов продукции. В связи с глобализацией экономики страны в отечественное производство внедряются новые материалы, отличающиеся по химическому составу, по физико-механическим свойствам от традиционно используемых материалов, а также новые режущие инструменты и пластины. При обработке таких материалов или использование режущего инструмента и режущей пластины назначение режимов резания является сложной задачей для технологов. Отсутствие информационных данных об этих материалах, режущих инструментах и режущих пластин в справочниках еще усугубляет данную проблему. В таких случаях технолог вместе со станочниками (токарь, фрезеровщик, сверловщик и др.) вынужден методом подбора осуществить назначение режимов резания и выбор режущих инструментов. При этом предприятие теряет время, ресурсы и финансы, которые в

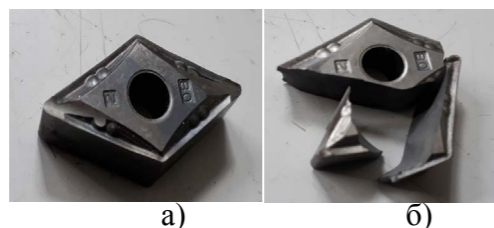


денежном выражении добавляются в себестоимость изделия. В связи с этим научно-исследовательская работа, направленная на разработку имитационных моделей процессов резания и прогнозирование на их основе оптимальных параметров инструмента и режимов обработки является актуальной задачей.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для определения состояния проблемы был проведен анализ деятельности нескольких машиностроительных заводов, которые освоили выпуск новых видов продукции. Рассмотрим случай, связанный с изготовлением детали конусной дробилки в условиях машиностроительного завода. На заводе была налажено производство для получения заготовок из высоколегированной стали марки: Сталь 110Г13Л по ГОСТ 977-88 (Сталь Гадфильда) способом литья. При разработке технологии механической обработки заготовок из стали 110Г13Л перед специалистами завода появилось ряд сложностей, связанные с выбором материала режущей части инструмента. В исходном состоянии после закалки сталь 110Г13Л (сталь Гадфильда) имеет аустенитную структуру с твердостью HB 250 и высокой вязкостью. Под воздействием динамических нагрузок, под влиянием холодной деформации происходит самоупрочнение стали 110Г13Л до HB 600 и трудно поддается обработке резанием или вовсе не поддается [1]. С целью приобретения режущего инструмента для данной стали машиностроительный завод обращается к официальному дистрибьютору мировых лидеров по производству режущего инструмента для металлорежущих станков ТОО «ToolsKZ», который является одним из крупных поставщиков режущих инструментов на рынке РК. Однако ТОО «ToolsKZ» затруднялся рекомендовать материал режущей части инструмента для обработки стали 110Г13Л, хотя в наличии имел различные инструментальные материалы от мировых производителей как SANDVIK Coromant (Швеция), ARNO (Германия), EWS (Германия), Garant (Германия) и Dormer (Германия). В итоге специалистами машиностроительного завода было выбрано пластины от мирового производителя SANDVIK Coromant (Швеция).

На рисунке 1 показана пластина производства SANDVIK Coromant.



а) – новая пластина; б) – после первого прохода обработки  
Рисунок 1 – Пластина производства SANDVIK Coromant

Процесс механической обработки заготовки из стали 110Г13Л производился на вертикальном токарном станке модели VDM 1600.

На рисунке 2 показаны изношенные пластины производства SANDVIK Coromant при обработке заготовки из стали 110Г13Л.



Рисунок 2 – Износ режущих пластин производство SANDVIK Coromant при обработке заготовки из стали 110Г13Л

На рисунке 3 показаны изношенные пластины производство компании Korloy (Южная Корея) при обработке заготовки из стали 110Г13Л.



Рисунок 3 – Износ режущих пластин производство компании Korloy (Южная Корея) при обработке заготовки из стали 110Г13Л

При отливке заготовки из стали 110Г13Л на поверхности образуется твердый слой, который очень трудно поддается механической обработке [2]. Из-за твердости поверхности заготовки с первого прохода режущий инструмент истирается на глазах, а также наличия дефектов (раковины, лунки, выемки) приводит к поломке пластины (см. рис. 1б, рис. 2 и рис. 3). В рассматриваемом случае причиной износа и поломки пластин может быть не только высокая твердость заготовки из стали 110Г13Л. Причиной может быть отсутствие информации о возникающих силах резания, которые затрудняют назначение режимов резания. Помимо этого, необходимо иметь информацию о возникающих температурах, износа инструмента, а также протекания процесса деформации в зоне резания. Известно, что срезаемый слой металла подвергается значительным упругопластическим деформациям в результате взаимодействия его с режущим лезвием инструмента. Это сопровождается структурными изменениями в поверхностном слое детали, распространяющимися на значительную глубину, течением и разрушением снимаемого слоя, трением, большой усадкой стружки, наростом на режущем инструменте и другими явлениями. Исследованиями в этой области занимаются большое количество ученых как зарубежные, так и отечественные [3;4;5;6;7]. Несмотря на большое количество работ по исследованию процесса резания, отсутствуют методы, совокупно рассматривающие вышеперечисленные явления процесса резания. Во многих работах моделирование процесса выполняется либо по видам обработки, либо по конструкции режущего инструмента и т.д. Рассмотренный случай на машиностроительном заводе и анализ результатов

существующих работ по обработке резанием показывает необходимость разработки имитационных моделей процессов резания и прогнозирование на их основе оптимальных параметров инструмента и режимов обработки для современных машиностроительных производств. В рамках выполнения грантовой темы № P05132157 была разработана программа для расчета составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ . На рисунке 4 показана зависимость силы резания  $P_z$  от режимов резания при точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении.

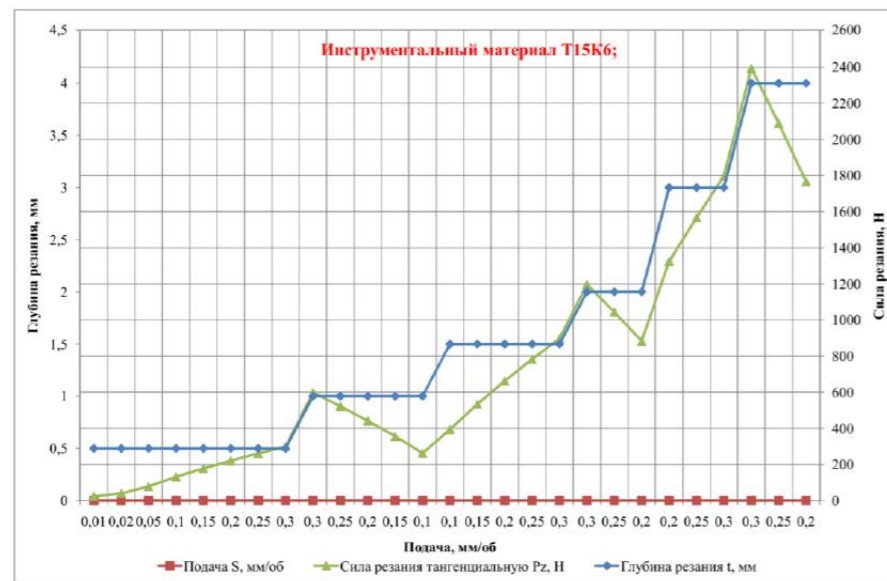


Рисунок 4 – Зависимость силы резания  $P_z$  от режимов резания при точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении

Для разработки программы на основе справочных данных подготовлены приложения (на языке программирования VBA – Visual Basic for Application) в Microsoft Excel офисного пакета Microsoft Office для расчета составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  с вводом в программу [8;9;10]: эмпирического коэффициента  $C_p$ ; показателей степени  $x_p$ ,  $y_p$ ,  $n_p$ ; поправочного коэффициента  $K_{M_p}$ , учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости, сталь 45; поправочный коэффициент  $K_{\phi p}$ ; величина геометрического параметра режущей части инструмента  $\phi = 30^\circ$ ; поправочный коэффициент  $K_{\gamma p}$ , величина геометрического параметра режущей части инструмента  $\gamma = -15^\circ$ ; инструментальный материал T15K6; эмпирически коэффициент  $C_v$ ,  $S \leq 0,3$ ; показатели степени  $x_v$ ,  $y_v$ ,  $S \leq 0,3$ ,  $m_v$ ;  $K_{M_v}$  коэффициент, учитывающий влияние обрабатываемого материала, сталь 45;  $K_{\eta v}$  коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;  $K_{\eta v}$  коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала, T15K6; требуемая частота вращения шпинделя станка –  $n$ , мин<sup>-1</sup>; фактическая скорость резания –  $V_{\phi}$ , м/мин; период стойкости режущего инструмента –  $T$ , мин; глубина резания –  $t$ , мм; подача –  $S$ , мм/об; диаметр обрабатываемой поверхности –  $D$ , мм; паспортное значение частоты вращения

шпинделя станка –  $n_c$ , мин<sup>-1</sup>; глубина резания –  $t$ , мм; подача –  $S$ , мм/об. В результате было получена зависимость силы резания  $P_z$  (см. рис. 4).

При этом использовалась вероятностно-аналитическая модель, где влияние случайных факторов учитывалось с помощью задания вероятностных характеристик случайных процессов. Аналогичные программы можно разработать для расчета температуры резания и износа режущего инструмента. При расчетах один параметр оставляем константой, а остальные варьируем, получая различные зависимости режимов резания от силы, температуры и износа инструмента. Аппроксимация полученных зависимостей помогут создавать, вероятностно-статистические модели для программного продукта.

### ВЫВОДЫ

1 В результате анализа состояния современных машиностроительных производств РК было выявлено, что существует проблема, связанная с правильным выбором технологии механической обработки ново внедренных материалов, в частности в области резания, где затруднительно назначения режимов обработки и выбор режущего инструмента.

2 Установлено, что отсутствие информации о возникающих силах резания, температурах, износа инструмента, а также протекание процесса деформации в зоне резания затрудняет производственника назначения режимов резания и выбор материала режущей части инструмента.

3 В рамках выполнения грантовой темы № P05132157 «Разработка имитационных моделей процессов резания и прогнозирование на их основе оптимальных параметров инструмента и режимов обработки (договор № 161 от 15.03.2018 г)» была разработана программа для расчета составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Могилев, В. К., Лев, О. И. Справочник литейщика. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
- 2 Давыдов, Н. Г. Свойства, производство и применение высокомарганцевой стали / Н. Г. Давыдов, В. В. Ситнов. – М. : Машиностроение, 1996. – 232 с.
- 3 Constantin, C., Strajescu, E. Revision of actual stage in modeling of cutting processes // Proceedings in Manufacturing Systems. – Vol. 6. – Iss. 1. – 2011. – P. 11–24.
- 4 Barge, M., Hamdi, H., Rech, J., Bergheau, M. Numerical modelling of orthogonal cutting: influence of numerical parameters // J. of Mat. Proc. Tech. – Vol. 164–165. – 2005. – P. 1148–1153.
- 5 Slotwinski, J. A. Characterization of metal powders used for additive manufacturing [Text] / J. A. Slotwinski, E. J. Garboczi, P. E. Stutzman, C. F. Ferraris, S. S. Watson, M. A. Peltz // J. Res Natl. Inst. Stand. Technol. – 2014. – 119 p.
- 6 Быданов, В. В., Алексеев, В. П. Оптимизация условий обработки труднообрабатываемого материала на основе разработанной имитационной

модели процесса фрезерования в САЕ-системе DEFORM. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук 7 Машиностроение и машиноведение, Т.17. – № 6(3). – 2015. – С. 612–617.

7 **Байжабагинова, Г. А., Шеров, К. Т., Сейдинова, Г. А.** Прочностные характеристики стали 110Г13Л после электроконтактной обработки // Сборник тезисов III Всероссийской межвузовской научной конференции. III Всероссийские научные Зворыкинские чтения : Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. – Муром : Изд-во ПЦ МИ ВулГУ, 2011. – С. 398–399.

8 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / под редакцией А. Г. Косилевой и Р. К. Мещерякова. – 4 изд. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с.

9 **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х томах. – Т. 1. – 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2001. – 920 с.

10 Обработка металлов резанием : Справочник технолога. / под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.18.

*Д. Т. Ходжибергенов<sup>1</sup>, К. Т. Шеров<sup>2</sup>, А. Ж. Касенов<sup>3</sup>, У. Д. Ходжибергенова<sup>4</sup>*

**Өндіріске жаңа енгізілген материалдарды өңдеу технологияларын таңдау мәселелері**

<sup>1,4</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,  
Шымкент қ., 160009, Қазақстан Республикасы.

<sup>2</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,  
Қарағанды қ., 100042, Қазақстан Республикасы;

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

Материал баспаға 15.05.18 түсті.

*D. T. Hodzhibergenov<sup>1</sup>, K. T. Sherov<sup>2</sup>, A. Zh. Kasenov<sup>3</sup>, U. D. Hozhibergenova<sup>4</sup>*

**Problems of the choice of technology for processing of new intensified materials in manufacture**

<sup>1,4</sup>M. Auezov South-Kazakhstan State University,  
Shymkent, 160009, Republic of Kazakhstan.

<sup>2</sup>Karagandy State Technical University,  
Karaganda, 100042, Republic of Kazakhstan

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

Material received on 15.05.18.

Бұл мақалада P05132157 «Кесу процесінің имитациялық моделдерін жарату және соның негізінде кесу режимдері мен кесуші құралдың оңтайлы параметрлерін тұспалдау» гранттық тақырыбының аясында орындалған зерттеу нәтижелері берілген (15.03.2018, келісім шарт № 161 ж.). Аналитикалық зерттеу нәтижесінде зауыттар жағдайындағы шын мәнінде машина жасаушылар мен кесумен өңдеу саласының ғалымдары ұдайы тап болатын мәселелер анықталды. Зерттеу нәтижесінде өндіріске жаңа енгізілген материалдарды механикалық өңдеу технологиясын дұрыс таңдауда, яғни кесу режимдері мен кесуші құралды таңдауда қиыншылықтар бар екені мәлім болды. Осы мәселені шешу бойынша арнайы бағдарлама жобалануда. Қазіргі уақытта осы бағдарлама үшін кесу температурасы мен кесу күшін есептеуге, сондай-ақ, кесуші құралдың тозуын анықтауға арналған қыстырма жобаланды.

*This article considers the results of the research carried out within the framework of the grant theme: AP05132157 «Development of simulation models for cutting processes and forecasting based on them optimal tool parameters and processing conditions (Contract No. 161 dated 15.03.2013)».*

*As a result of analytical studies on the examples of factories, real problems encountered by machine builders and scientists engaged in cutting are identified. It is revealed that there is a problem associated with the correct choice of the technology of machining newly introduced materials, the assignment of processing modes and cutting tools. To solve the problem, a software product is being developed. The applications for the software product for calculating the emerging cutting forces and cutting temperature, as well as wear of the cutting tool are developed.*

## ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ



1 мая 2018 года исполнилось 80 лет Нуржауову Амангельды – доктору технических наук, профессору кафедры «Транспортная техника и логистика» Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова.

Он родился в поселке Индер Гурьевской области (ныне Атырауская обл.) Казахской ССР.

Нуржауов А. в 1955 году поступил на механический факультет Ташкентского ирригационного института, после окончания которого работал главным инженером по науке Гурьевской государственной опытной станции.

В 1964 году перешел на преподавательскую работу в Павлодарский индустриальный институт (ныне Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова). В 1968 году, после прохождения научной стажировки, Нуржауов А. поступает в аспирантуру при Харьковском Ордена Ленина политехническом институте им. В. И. Ленина и оканчивает её защитой диссертации, посвящённой исследованию динамики машинно-тракторного агрегата. После окончания аспирантуры Нуржауов А. работал старшим преподавателем, доцентом кафедры «Автомобили и тракторы», а с 1978-года по июль 2010 года работал заведующим этой же кафедрой. В промежутке этого времени в период 1992...1996 гг. избирался деканом факультета по обучению на государственном языке (МТОФ – Мемлекеттік тілде оқыту факультеті). Ныне работает профессором вышеуказанной кафедры.

Он избран академиком Международной академии информатизации, а также является членом диссертационного совета Д.05.11.043 – при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики, с правомочностью для фиксированного рассмотрения диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) наук по специальностям 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины и 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта (по совокупности трудов).

Нуржауов А. является одним из организаторов в институте выпускающей кафедры по специальности 0513 – Автомобиле- и тракторостроение. Он является первым кандидатом технических наук из казахстанцев, защитившим диссертацию по специальности 195 – Автомобили и тракторы, ныне первым и единственным в РК доктором технических наук по специальности 05.05.03 – Колёсные и гусеничные машины. В период его заведования кафедрой на её базе совместным решением министерств тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР и высшего и среднего специального образования КазССР в 1980 году была открыта отраслевая научно-исследовательская лаборатория (ОНИЛ) «Исследование нагруженности трансмиссий промышленных тракторов», научным руководителем

которой был назначен А. Нуржауов. Под научным руководством А. Нуржауова и при его непосредственном участии на основе хозяйственных договоров, заключенных с ПО «Павлодарский тракторный завод», проводились научно-исследовательские работы, связанные с созданием и усовершенствованием тракторов ДТ-75МП и ДТ-75МЛ. Результаты научно-исследовательских работ А. Нуржауова внедрены в производство. На базе выполненных научно-исследовательских работ отраслевой лаборатории, руководимой А. Нуржауовым, Ученым советом Челябинского филиала Общесоюзного института НАТИ было принято решение о разработке отраслевой методики проведения стендовых ресурсных испытаний механизмов поворота гусеничных тракторов класса 30...40 кН тяги.

Амангельды Нуржауов дважды был командирован за границу – в Чехословакию в 1973 году и в Латинскую Америку – Республику Никарагуа (1987–1990 гг.), где с достоинством представлял нашу страну, проводил занятия и читал лекции на испанском языке.

А. Нуржауов является ветераном труда. За активную производственную и научно-педагогическую деятельность он награжден нагрудными знаками «Почётный работник образования Республики Казахстан», «Победитель социалистического соревнования», «Почётный заведующий кафедрой ПГУ им. С. Торайгырова». За заслуги при выполнении интернационального долга ему вручены Почётная грамота Госкомитета СССР по экономическим связям, Почётная грамота правительства Никарагуа и Фронта национального освобождения, Грамота национального комитета молодежи Республики Никарагуа, Грамота Национального инженерного университета (г. Манагуа).

**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@psu.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. Сиюнич<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: 'rvladvit@yandex.kz; '2upnk1@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

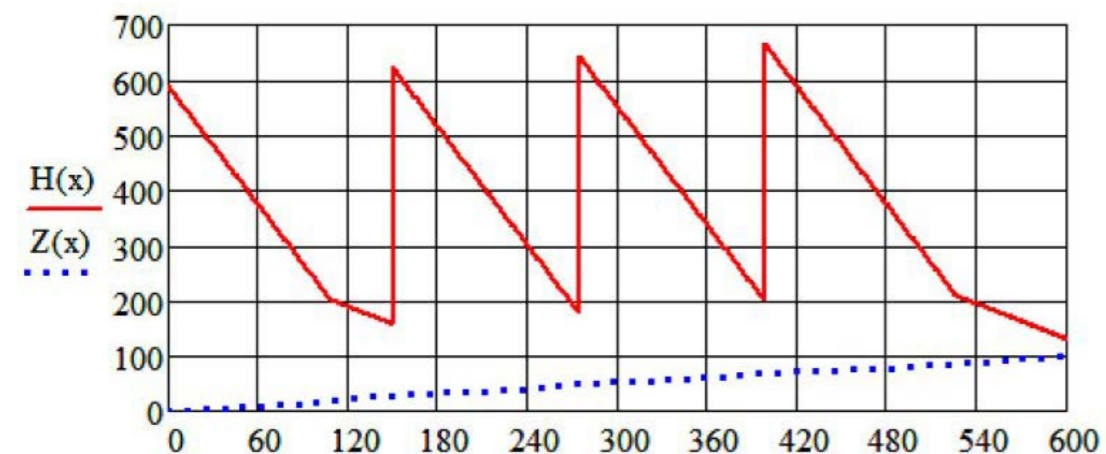


Рисунок 1 – Расстановка четырёх НПС на МН с двумя лупингами

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 15.05.2018 ж. жіберілді. Басуға 29.05.2018 ж. қол қойылды.  
Форматы 297\*420/2. Кітап-журнал қағазы.  
Шартты баспа табағы 7,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген А. А. Шукурбаева  
Корректор: А. Р. Омарова, З. С. Исакова

Тапсырыс № 3278

«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