

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2023)

---

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ  
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

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

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

Тематическая направленность

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

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/KWJR9225>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

МАШИНА ЖАСАУ

**Ахметов К. Т., Молдамурат Х., Касымов У. Т., Джундибаев В. Е.**

Үш сатылы орта класты зымыран тасығыштың оңтайлы массалық  
сипаттамаларын таңдау 9

**Касенов А. Ж.**

Тесіктерді ұңғылағыш-тартажонғышпен өңдеу дәлдігі 22

**Абілқайыр Ж. Н., Турдалиев А. Т., Альпеисов А. Т.**

Металл бұйымдарының эксплуатациялық қасиеттеріне  
қалдық кернеулердің әсері 37

**Тюлюбаев Р. А., Мустафин А. Х., Куандыков А. Б.**

Көлденең машиналарда бұрандалы құрылғылардың  
конструкциясын күшейту 48

**Гумаров Г. С., Митин С. Г.**

Автоматтандырылған жобалау жүйелерін қолдана отырып,  
көп менклатуралы механикалық өңдеу өндірістерін әзірлеу 60

**Каирбай О. Т., Маздубай А. В., Деревягин С. И.**

Қатты қалдықтарды қайта өңдеу жабдығына  
арналған құралдың құрылымын әзірлеу

МЕТАЛЛУРГИЯ

**Есенғалиев Д. А., Көбеген Е., Келаманов Б. С.**

Шұбаркөл кен орнының көмірін қалпына келтіру үшін пайдалана отырып хром  
көнін жоғары температуралы қатты фазалы қалпына  
келтіру процестерін зерттеу 67

**Шадрин Ю. И., Богомолов А. В.**

«ВЕКТОР» ЖШС жағдайында алюминий қорытпаларын балқыту кезінде  
индукциялық пештердің өнімділігін арттыру 76

**Толымбекова Л. Б., Аубакиров А. М., Теміртас Х. Б.**

Алюминий тотығын өндіруде қақтау тармағында тотықсыздандырғыш  
ретінде мұнай коксын пайдалану 86

**Варбанов П. С.**

Ферросиликоалюминийді балқыту кезінде шихтаның меншікті электр кедергісіне  
өртүрлі факторлардың әсерін зерттеу 96

КӨЛІК

**Кульчицкий А. Р.**

Дизельде пайдаланылған газдардың дисперсті ішінара  
эмиссиясын төмендету 118

**Зарипов Р. Ю., Муканов Р. Б., Миллер С. А.,  
Садықов А. А., Гаврилов П.**

Автомобиль негізінде гибриді энергетикалық  
қондырғы тұжырымдамасын әзірлеу 120

**Нұржауов А.**

Автомобильдің моторы өшірілген сәттен бастап толық тоқтағанға дейін оның  
инерция бойынша қозғалыс үрдісін зерттеу 140

**Биниязов А. М., Денисов А. С.**

Дизельді қозғалтқыштың жұмыс істейтін мотор майының диагностикалық  
параметрлеріне қойылатын талаптар 149

**Шаймарданова Б. К., Субач Р. В., Кишкунов А. Д., Жукенов Т. К.,  
Аманжолов Р. К.**

Жартылай вагон корпусының шаршау кедергісін есептеу алгоритмі

Авторлар туралы ақпарат 168

Авторларға арналған ережелер 178

Жарияланым этикасы 188

## СОДЕРЖАНИЕ

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

**Ахметов К. Т., Молдамурат Х., Касымов У. Т., Джундибаев В. Е.**

Выбор оптимальных массогабаритных характеристик  
трехступенчатой ракеты-носителя среднего класса 9

**Касенов А. Ж.**

Точность обработки отверстий развёрткой-протяжкой 22

**Абілқайыр Ж. Н., Турдалиев А. Т., Альпеисов А. Т.**

Влияние остаточных напряжений на эксплуатационные свойства  
металлических изделий

**Тюлюбаев Р. А., Мустафин А. Х., Куандыков А. Б.**

Усиление конструкции шнековых устройств в горизонтальных машинах 48

**Гумаров Г. С., Митин С. Г.**

Разработка конструкции инструмента для оборудования по переработке  
твёрдых отходов 60

**Каирбай О. Т., Маздубай А. В., Деревягин С. И.**

Разработка многономенклатурных механообрабатывающих производств с  
применением систем автоматизированного проектирования

## МЕТАЛЛУРГИЯ

**Есенғалиев Д. А., Көбеген Е., Келаманов Б. С.**

Исследования процессов высокотемпературного твердофазного  
восстановления хромовой руды с использованием для восстановления угля  
месторождения шубарколь 67

**Шадрин Ю. И., Богомолов А. В.**

Повышение производительности индукционных печей при плавке  
алюминиевых сплавов в условиях ТОО «ВЕКТОР». 76

**Толымбекова Л. Б., Аубакиров А. М., Теміртас Х. Б.**

Использование нефтяного кокса в качестве восстановителя в ветви спекания  
при производстве глинозема 86

**Варбанов П. С.**

Исследование влияния различных факторов на удельное электрическое  
сопротивления шихты при выплавке ферросиликоалюминия 103

## ТРАНСПОРТ

**Кульчицкий А. Р.**

Снижение эмиссии дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей 118

|                                                                                                 |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Зарипов Р. Ю., Муканов Р. Б., Миллер С. А.,<br/>Садыков А. А., Гаврилов П.</b>               |         |
| Разработка концепции гибридной силовой установки на базе автомобиля<br>оборудования автомобилей | 130     |
| <b>Нұржауов А.</b>                                                                              |         |
| Исследование процесса выбега автомобиля                                                         | 140     |
| <b>Биниязов А. М., Денисов А. С.</b>                                                            |         |
| Требования к диагностическим параметрам работающего моторного масла<br>дизельного двигателя     | 149     |
| <b>Шаймарданова Б. К., Субач Р. В., Кишкунов А. Д., Жукенов Т. К.,<br/>Аманжолов Р. К.</b>      |         |
| Алгоритм расчета сопротивления усталости кузова полувагона                                      | 160     |
| <br>Сведения об авторах                                                                         | <br>168 |
| Правила для авторов                                                                             | 178     |
| Публикационная этика                                                                            | 188     |

| CONTENTS                                                                                                                                |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>MECHANICAL ENGINEERING</b>                                                                                                           |     |
| <b>Akhmetov K. T., Moldamurat Kh., Kasymov U. T., Dzhundibaev V. E.</b>                                                                 |     |
| Choice of optimal weight and dimensional characteristics of a three-stage middle-<br>class launch rocket                                | 9   |
| <b>Kasenov A.</b>                                                                                                                       |     |
| Precision of hole processing by reamer-broaching                                                                                        | 22  |
| <b>Abilkair Zh. N., Turdaliev A. T., Alpeisov A. T.</b>                                                                                 |     |
| The effect of residual stresses on the operational properties of metal product                                                          | 37  |
| <b>Tyulyubayev R., Mustafin A., Kuandykov A.</b>                                                                                        |     |
| Strengthening the design of screw devices in horizontal machines                                                                        | 48  |
| <b>Gumarov G. S., Mitin S. G.</b>                                                                                                       |     |
| Development of multiple mechanclature machining productions<br>using automated design systems                                           | 60  |
| <b>Kairbay O. T., Mazdubay A. V., Derevyagin S. I.</b>                                                                                  |     |
| Design development of a tool for solid waste processing equipment                                                                       |     |
| <b>METALLURGY</b>                                                                                                                       |     |
| <b>Esengaliyev D. A., Kobegen E., Kelamanov B. S.</b>                                                                                   |     |
| Research of processes of high-temperature solid-phase reduction of chromium ore<br>using coal of shubarkol deposit for reduction        | 67  |
| <b>Shadrin Yu. I., A. V. Bogomolov</b>                                                                                                  |     |
| Induction furnaces productivity increasing during melting aluminum alloys in the<br>conditions of vector LLP.                           | 76  |
| <b>Tolymbekova L. B., Aubakirov A. M., Temirtas Kh. B.</b>                                                                              |     |
| The usage of petroleum coke as a reducing agent in the sintering branch in the<br>production of alumina                                 | 86  |
| <b>Varbanov P. S.</b>                                                                                                                   |     |
| Investigation of the influence of various factors on the electrical resistivity of the<br>charge during ferrosilicon aluminium smelting | 96  |
| <b>TRANSPORT</b>                                                                                                                        |     |
| <b>Kulchitskiy A. R.</b>                                                                                                                |     |
| Reduction of the emission of dispersed particles with diesel exhaust gases                                                              | 118 |
| <b>Zaripov R. Yu. , Gavrilovs P., Mukanov R. B., Miller S. A., Sadykov A. A.</b>                                                        |     |
| Development of the concept of a hybrid power plant based on a car                                                                       | 130 |
| <b>Nurzhauov A.</b>                                                                                                                     |     |
| Investigation of the process of vehicle running-out                                                                                     | 140 |
| <b>Biniyazov A. M., Denisov A. S.</b>                                                                                                   |     |
| Requirements for diagnostic parameters of running diesel engine oil                                                                     | 149 |

**Shaimardanova B. K., Subach R. V., Kishkunov A. D., Zhukenov T. K., Amanzholov R. K.**

The algorithm for calculating the fatigue resistance of the gondola wagon body

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Information about the authors | 168 |
| Rules for authors             | 178 |
| Publication ethics            | 188 |

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

МРНТИ 55.49.29 DOI

**К. Т. Ахметов<sup>1</sup>, Х. Молдамурат<sup>2</sup>, У. Т. Касымов<sup>3</sup>, \*В. Е. Джундибаев<sup>4</sup>**  
Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,  
г. Астана, Казахстан.

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХСТУПЕНЧАТОЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ СРЕДНЕГО КЛАССА**

*В данной статье рассматривается выбор оптимальных массогабаритных характеристик трехступенчатой ракеты-носителя среднего класса, предназначенного для вывода полезной нагрузки до 7,6 т. Впервые определены конструктивные параметры топливных баков, работающих на топливе СПГ - жидкий кислород, также определена оптимальная стартовая масса ракеты-носителя и его геометрические характеристики.*

*Статья состоит из трех основных частей: определение потребной характеристической скорости ракеты-носителя по заданным летным характеристикам; оптимальные характеристики отношение массы ракетных блоков к массе полезной нагрузке при помощи программы Mathcad; определение массогабаритных характеристик самой ракеты-носителя.*

*Впервые были определены массогабаритные и геометрические параметры ракеты-носителя с использованием нового вида топлива – сжиженный природный газ и жидкий кислород. По заданным летным характеристикам ракеты-носителя и массы полезной нагрузки впервые удалось определить стартовую массу ракеты-носителя, массогабаритные характеристики топливных баков, приборных, хвостовых отсеков ракетных блоках первой, второй и третьей ступени, а также объем головного обтекателя. Все это позволило сконструировать новую, простейшую трехступенчатую ракету-носителя, которое может выводить на околоземную орбиту полезную нагрузку до 7,6 т с космодрома «Байконур».*

*Ключевые слова: ракета-носитель, топливо, сжиженный природный газ, функция ограничения, полезная нагрузка, характеристическая скорость, околоземная орбита.*

**Введение.**

Развитие ракетно-космической техники в Казахстане совместно с РФ является наиболее актуальным направлением для исследования в области космоса, системы телекоммуникационных связей, дистанционного зондирования Земли территорий. К сожалению, на сегодняшний день, Казахстанская космическая отрасль находится не в самом благоприятном положении в мире виду отсутствия собственного производства ракета-носителей, космических аппаратов, наземных комплексов и

т.д. По причине того, что Казахстан располагает наличием космодрома Байконур [1–3], следует как можно больше уделять внимания к развитию данной отрасли.

Данная статья посвящена к конструктивному исследованию ракеты-носителя (далее, РН), в частности к определению первоначального облика трехступенчатой РН с применением нового вида топлива «сжиженный природный газ (СПГ) – жидкий кислород», которое в истории космической отрасли по сей день не применялись. Использование такого вида топлива обусловлено не только наличием на территории Казахстана запасов природного газа (Карачаганак, Тенгиз, Кашаган и т.д.), но и будет использоваться в качестве альтернативной замены вместо токсичных видов топлив, например, гептил, диметилгидразин, керосин Т-1, применяемых в РН Союз 2.1 (Россия), Falcon Heavy (США), LauncherOne (США), Nuri (Южная Корея), Firefly Alpha (США) и т.д. [4–7].

Статья состоит из четырех основных частей: определение потребной характеристической скорости РН; вывод уравнений функции ограничения в развернутом виде; определение параметров отношения массы топлива в ракетных блоках (далее, РБ) к массе полезной нагрузки при помощи программы Mathcad; определение оптимальных массогабаритных параметров РБ и стартовой массы РН.

Методы и материалы.

Потребная характеристическая скорость РН. Одна из составляющих величин, необходимой для определения массы РБ является потребная характеристическая скорость [8, 9]. Она определяется как сумма всех составных скоростей по следующему выражению:

$$V_X^{номп} = V_{X_{ид}}^{номп} - (\Delta V_G + \Delta V_A + \Delta V_P) \quad (1.1)$$

где  $V_{X_{ид}}^{ид}$  – идеальная потребная характеристическая скорость;

$\Delta V_G$  – потери скорости на преодоление силы тяжести Земли;

$\Delta V_A$  – потери скорости на преодоление аэродинамических сил сопротивления;

$\Delta V_P$  – потери скорости от противодавления на срезе сопла двигателя;

Для расчетов принимается среднее значение суммы всех потерь:

$$\Delta V_G + \Delta V_A + \Delta V_P = 450 \text{ м/с}.$$

Идеальную характеристическую скорость представляющее в выражении (1.1) представляет собой скорость, при котором не учитываются потери:

$$V_{X_{ид}}^{номп} = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_{оо}} \left( \frac{2 \cdot r_{оо}}{R_3} - 1 \right)} \quad (1.2)$$

где  $\mu_3 = 3,986 \cdot 10^5 \text{ км}^3 / \text{с}^2$  – гравитационная постоянная Земли;

$R_3$  – радиус Земли;

$r_{оо} = H_{оо} + R_3$  – радиус-вектор опорной (круговой) орбиты. Это расстояние от центра Земли до околоземной орбиты КА;

$H_{оо}$  – высота опорной орбиты.

Для вывода полезной нагрузки на околоземную круговую орбиту высотой 200 км потребная характеристическая скорость составляет 7580 м/с, что приблизительно равняется первой космической скорости [10, 11].

Вывод целевой функции и составление функции ограничений для трёхступенчатой РН. Для того, чтобы получить функцию ограничений необходимо выполнить следующее условие. Располагаемая характеристическая скорость РН должна быть равна (или больше) потребной характеристической скорости, необходимой для вывода полезной нагрузки на орбиту:  $V_X^{расп} \geq V_X^{номп}$ , отсюда следует,

$$V_X^{номп} - V_X^{расп} \leq 0 \quad (1.3)$$

На основании формулы Циолковского:

$$V_X^{расп} = w_1 \cdot \ln z_1 + w_2 \cdot \ln z_2 + \dots + w_n \cdot \ln z_n \quad (1.4)$$

где,  $w_1, w_2, \dots, w_n$  и  $z_1, z_2, \dots, z_n$  – удельные импульсы и числа Циолковского соответствующих ступеней.

Следовательно, с учетом (1.4) функцию ограничений можно записать в общем виде:

$$V_X^{номп} - (w_1 \cdot \ln z_1 + w_2 \cdot \ln z_2 + \dots + w_n \cdot \ln z_n) \leq 0 \quad (1.5)$$

В аналитических вычислениях конкретно для трехступенчатой РН функцию ограничения приравниваем нулю, в виду равенства между потребной и располагаемых скоростей:

$$V_X^{номп} - w_1 \cdot \ln z_1 - w_2 \cdot \ln z_2 - w_3 \cdot \ln z_3 = 0 \quad (1.6)$$

Для того чтобы получить целевую функцию и функцию ограничений в полной формулировке проведем некоторые математические выводы.

В качестве исходной зависимости используем отношение стартовой массы РН  $m_0$  к массе полезной нагрузки  $m_{пн}$ :

$$P_0 = \frac{m_0}{m_{\text{ПН}}} \quad (1.7)$$

Стартовую массу РН можно представить в виде следующей суммы:

$$m_0 = m_{\text{ПН}} + \sum_{i=1}^N m_{\text{Б}i} \quad (1.8)$$

где  $m_{\text{ПН}}$  – масса полезной нагрузки;

$m_{\text{Б}i}$  – масса  $i$ -го РБ;

$N$  – количество РБ или ступеней в РН.

Подставляя выражение (1.8) в (1.7), получим:

$$P_0 = \frac{m_0}{m_{\text{ПН}}} = \frac{m_{\text{ПН}} + \sum_{i=1}^N m_{\text{Б}i}}{m_{\text{ПН}}} = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{m_{\text{Б}i}}{m_{\text{ПН}}} \quad (1.9)$$

Массу блока попытаемся выразить из следующего известного соотношения для конструктивной характеристики РБ:

$$s_i = \frac{m_{\text{Б}i}}{m_{\text{Б}i} - m_{\text{Т}i}} \quad (1.10)$$

где  $m_{\text{Т}i}$  – масса топлива  $i$ -го РБ.

Решая это уравнение относительно  $m_{\text{Б}i}$ , получим:

$$m_{\text{Б}i} = \frac{s_i}{s_i - 1} m_{\text{Т}i} \quad (1.11)$$

Подставляя выражение (1.11) в (1.9), получим:

$$P_0 = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot \frac{m_{\text{Т}i}}{m_{\text{ПН}}} \quad (1.12)$$

Введем обозначение

$$x_i = \frac{m_{\text{Т}i}}{m_{\text{ПН}}} \quad (1.13)$$

и приведем выражение (1.12) к виду:

$$P_0 = \frac{m_0}{m_{\text{ПН}}} = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i \quad (1.14)$$

Таким образом, полученное выражение представляет собой **целевая функция** для многоступенчатой РН:

$$P_0 = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i \quad (1.15)$$

где  $N$  – количество РБ в РН;

$s_i$  – конструктивная характеристика РБ.

Поскольку число Циолковского есть отношение начальной массы ступени к массе ступени после выработки топлива, то можно с учетом (1.7) и (1.13) можно записать:

$$z_1 = \frac{m_{01}}{m_{01} - m_{\text{Т}1}} = \frac{\frac{m_{01}}{m_{\text{ПН}}}}{\frac{m_{01}}{m_{\text{ПН}}} - \frac{m_{\text{Т}1}}{m_{\text{ПН}}}} = \frac{P_0}{P_0 - \frac{m_{\text{Т}1}}{m_{\text{ПН}}}} = \frac{P_0}{P_0 - x_1} \quad (1.16)$$

С учетом (1.15) окончательно получим:

$$z_1 = \frac{P_0}{P_0 - x_1} = \frac{1 + \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i}{1 + \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i - x_1} \quad (1.17)$$

Для трехступенчатой РН ( $N = 3$ ) первая ступень  $z_1$ :

$$z_1 = \frac{1 + \sum_{i=1}^3 \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i}{1 + \sum_{i=1}^3 \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i - x_1} = \frac{1 + \frac{s_1}{s_1 - 1} \cdot x_1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3}{1 + \frac{s_1}{s_1 - 1} \cdot x_1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3 - x_1} \quad (1.18)$$

Также можно выразить через параметров  $x_i$  число Циолковского для второй ступени РН:

$$z_2 = \frac{1 + \sum_{i=2}^3 \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i}{1 + \sum_{i=2}^3 \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i - x_2} = \frac{1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3}{1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3 - x_2} \quad (1.19)$$

Для третьей ступени РН:

$$z_3 = \frac{1 + \sum_{i=3}^3 \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i}{1 + \sum_{i=3}^3 \frac{s_i}{s_i - 1} \cdot x_i - x_3} = \frac{1 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3}{1 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3 - x_3} \quad (1.20)$$

Подставляя выражения (1.18), (1.19) и (1.20) в (1.6), получаем функцию ограничений в развернутом виде:

$$V_x^{нотр} - w_1 \ln \left( \frac{1 + \frac{s_1}{s_1 - 1} \cdot x_1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3}{1 + \frac{s_1}{s_1 - 1} \cdot x_1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3 - x_1} \right) - \\ - w_2 \ln \left( \frac{1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3}{1 + \frac{s_2}{s_2 - 1} \cdot x_2 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3 - x_2} \right) - w_3 \ln \left( \frac{1 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3}{1 + \frac{s_3}{s_3 - 1} \cdot x_3 - x_3} \right) = 0 \quad (1.15)$$

Кроме того, следует составить функции ограничений, исходя из реализуемых в настоящее время значений чисел Циолковского (по статистике) или из физических соображений. Это могут быть, например, следующие ограничения:

$$z_1 > 1...15; \quad z_2 > 1...10; \quad z_3 > 1...7 \quad (1.16)$$

#### Результаты и обсуждения

Протокол расчета на программе Mathcad. В протоколе расчета принимается следующие исходные значения. Конструктивные характеристики для трехступенчатого РН среднего класса со схемой «смешанное соединение» принимается значений для первой ступени 10, второй ступени 20 и третьей ступени 3,5 [12].

Удельный импульс для топлива СПГ - жидкий кислород равняется в условиях Земли 3145 м/с (321 с) и в пустоте 3488 м/с (356 с) [13, 14].

Для оптимизации соотношения начальной массы РБ к массе полезной нагрузки принимается из конструктивных соображений начальных варьируемых значений  $x_1=20$ ,  $x_2=10$ ;  $x_3=3,8$  для данного типа РН.

Конструктивные характеристики:

$$S1 := 10 \quad S2 := 20 \quad S3 := 3.5$$

Масса полезной нагрузки:

$$m_{pm} := 7.6$$

Потребная характеристическая скорость, м/с:

$$V_x := 7580$$

Удельный импульс, м/с:

$$W1 := 3145 \quad W2 := 3488 \quad W2 := 3488$$

Начальные варьируемые значения:

$$X1 := 23 \quad X2 := 6$$

Целевая функция

$$f(X1, X2, X3) = 1 + \left( \frac{S1}{S1 - 1} \right) \cdot 20 + \left( \frac{S2}{S2 - 1} \right) \cdot 10 + \left( \frac{S3}{S3 - 1} \right) \cdot 3.8 = 39.069$$

Ограничения по числам Циолковского

- РБ первой ступени:

$$\frac{1 + \frac{S1}{S1 - 1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3}{1 + \frac{S1}{S1 - 1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3 - X1} > 1; \\ \frac{1 + \frac{S1}{S1 - 1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3}{1 + \frac{S1}{S1 - 1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3 - X1} \leq 15$$

- РБ второй ступени:

$$\frac{1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3}{1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3 - X2} > 1; \quad \frac{1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3}{1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3 - X2} \leq 10$$

- РБ третьей ступени:

$$\frac{1 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3}{1 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3 - X3} > 1; \quad \frac{1 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3}{1 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3 - X3} \leq 7$$

Ограничение по скорости для первой ступени:

$$W1 \cdot \ln \left( \frac{1 + \frac{S1}{S1 - 1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3}{1 + \frac{S1}{S1 - 1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2 - 1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3 - 1} \cdot X3 - X1} \right) = 3000$$

Ограничение по общему числу Циолковского:

$$Vx - W1 \cdot \ln \left( \frac{1 + \frac{S1}{S1-1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2-1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3-1} \cdot X3}{1 + \frac{S1}{S1-1} \cdot X1 + \frac{S2}{S2-1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3-1} \cdot X3 - X1} \right) -$$

$$- W2 \cdot \ln \left( \frac{1 + \frac{S2}{S2-1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3-1} \cdot X3}{1 + \frac{S2}{S2-1} \cdot X2 + \frac{S3}{S3-1} \cdot X3 - X2} \right) - W3 \cdot \ln \left( \frac{1 + \frac{S3}{S3-1} \cdot X3}{1 + \frac{S3}{S3-1} \cdot X3 - X3} \right) \leq 0$$

Функция минимизация:

$$Xm := \text{Minimize}(f, X1, X2, X3)$$

$$Xm := \begin{bmatrix} 33 \\ 11 \\ 4.18 \end{bmatrix}$$

$$Xm1 := 22 \quad Xm2 := 11 \quad Xm3 := 4.18$$

Таким образом путем оптимизации начальных масс РБ первой, второй и третьей ступени к массе полезной нагрузки составили  $x_1=33$ ,  $x_2=11$  и  $x_3=4,18$ .

Стартовая масса РН. После определения оптимальных параметров  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  при заданных конструктивных характеристиках, определяются массы топлива в РБ и стартовая масса РН [15–19].

Масса топлива  $i$ -го ракетного блока:

$$m_{Ti} = m_{PH} \cdot x_i \quad (1.17)$$

Каждая масса РБ в РН характеризуется конструктивными характеристиками и зависит от содержания в нем массы топлива:

$$m_{Bi} = \frac{s_i}{(s_i - 1)} \cdot m_{Ti} \quad (1.18)$$

Масса конструкции РБ характеризуется конструкцией РБ без содержания в нем топлива. Она определяется как разность между массы РБ и отсутствие в нем топлива:

$$m_{Ki} = m_{Bi} - m_{Ti} \quad (1.19)$$

При смешанном соединении РБ в РН первая ступень состоит из двух РБ. Эти РБ соединяются параллельно к РБ второй ступени, вторая ступень РБ соединяется последовательно с первой ступенью. Таким образом, в первой ступени массу топлива следует распределить между двумя РБ (по конструктивным характеристикам оба этих РБ равны):

$$m_{T1.1} = m_{T1.2} = \frac{m_{T1}}{2}$$

где  $m_{T1}$  – масса топлива в первой ступени.

Тогда, для первой ступени массы РБ и конструкции определяются:

$$m_{B1.1} = m_{B1.2} = \frac{s_i}{(s_i - 1)} \cdot m_{T1.1} \quad \text{и} \quad m_{K1.1} = m_{K1.2} = m_{B1.1} - m_{T1.1}$$

Стартовая масса РН определяется как сумма составляющих РБ и массы полезной нагрузки:

$$m_0 = m_{PH} + \sum_{i=1}^N m_{Bi} \quad (1.20)$$

При известных значениях составляющих масс РН дает возможность определить геометрические параметры.

Результаты вычислений оптимальных масс РБ, потребного количества топлива, конструкции и начальной массы и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Массовые характеристики РН

| Двуступенчатая РН | $m_{Ti}$ , Т | $m_{Bi}$ , Т | $m_{Ki}$ , Т | $m_0$ , Т |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Первая ступень    | 125,4×2      | 139,3×2      | 13,93×2      | –         |
| Вторая ступень    | 83,60        | 88,0         | 4,40         | –         |
| Третья ступень    | 31,76        | 44,47        | 12,70        | –         |
| Стартовая масса   | –            | –            | –            | 418       |

Геометрические параметры РН. Объем РН определяется из соображений массовых характеристик РБ. Например, для РН среднего класса объем его  $W_{PH}$  определяется как сумма объемов составных частей РН и полезной нагрузки:

$$W_{PH} = W_{GO} + W_{B1} + W_{B2} + W_{B3}$$

где  $W_{ГО}$  – объём, занимаемый полезной нагрузкой;

$B_1$  – объёмы РБ первой ступени;

$W_{Б2}, W_{Б3}$  – объёмы, второй и третьей ступени;

*Объём РБ первой ступени.* В объёме первой ступени в двух РБ располагаются по одному топливным отсекам  $W_{ТО}$  и по одному хвостовых отсекам  $W_{ХО}$ , где располагаются ракетные двигатели. В свою очередь в топливном отсеке располагается по одному баку горючего и окислителя:

$$W_{Б1.1} = W_{Б1.2} = W_{ТО1.1} + W_{ХО1.1}$$

где  $W_{ТО1.1}$  – объём, занимаемый топливным отсеком в первой ступени;

$W_{ХО1.1}$  – объём, занимаемый хвостовым отсеком (с ДУ);

*Объём РБ второй ступени.* Объём второй ступени состоит из одного топливного отсека  $W_{ТО2}$  и одного хвостового отсека  $W_{ХО2}$ :

$$W_{Б2} = W_{ТО2} + W_{ХО2}$$

где  $W_{ТО2}$  – объём топливного отсека второй ступени;

$W_{ХО2}$  – объём хвостового отсека второй ступени.

*Объём РБ третьей ступени.* При расчете объёма РБ третьей ступени следует принять один переходной отсек служащей для соединения со второй ступенью, по одному топливному и хвостовому отсеку:

$$W_{Б3} = W_{ТО3} + W_{ХО3} + W_{ПерО}$$

где  $W_{ПерО}$  – объём переходного отсека.

$W_{ТО3}$  – объём топливного отсека третьей ступени.

$W_{ХО3}$  – объём хвостового отсека третьей ступени.

Объём головного обтекателя. Объём полезной нагрузки определяется по выражению:

$$W_{ПН} = \frac{m_{ПН}}{\rho_{ПН}} \quad (1.21)$$

где  $\rho_{ПН}$  – средняя плотность полезной нагрузки.

Средняя плотность полезной нагрузки зависит от ее назначения. В первом приближении можно принять следующие значения этой плотности: для космических комплексов, выполняющих межпланетные полеты в пределах

150...300 кг/м<sup>3</sup>; для космических аппаратов, функционирующих на орбитах Земли – 300...700 кг/м<sup>3</sup>.

Объём головного обтекателя зависит от массы полезной нагрузки:

$$W_{ГО} = k_{ГО} \cdot W_{ПН} \quad (1.22)$$

где  $k_{ГО}$  – коэффициент, учитывающий неполноту заполнения головного обтекателя полезной нагрузкой;

$W_{ПН}$  – объём полезной нагрузки.

Для КА зондирования Земли можно принять  $k_{ГО} = 1,5...2,0$ , а для межпланетных космических комплексов, состоящего из разгонного блока, адаптеров и нескольких спутников, запускаемых одной РН принимается  $k_{ГО} = 2,0...3,0$ .

Для КА без разгонного блока, функционирующих на околоземной орбите плотность полезной нагрузки принимается среднее значение  $\rho_{ПН} = 500 \text{ кг/м}^3$ , а коэффициент головного обтекателя принимается среднее значение  $k_{ГО} = 1,75$ .

Длина головного обтекателя выбирается из геометрических соображений габаритных размеров полезной нагрузки. Примем для расчета КА с диаметром

Длина головного обтекателя выбирается из геометрических соображений размеров полезной нагрузки  $D_{ПН} = 2,5...3,0 \text{ м}$ .

$$L_{ГО} = \frac{4 \cdot W_{ГО}}{\pi D_{ГО}^2} \quad (1.23)$$

Объём приборных отсеков. Объём приборных отсеков следует рассчитывать только для последней ступени РН. Объём приборного отсека, установленного в одном из РБ последних ступеней РН, определяется:

$$W_{ПО} = \frac{m_{ПО}}{\rho_{ПО}} \quad (1.24)$$

где  $m_{ПО}$  – масса приборного отсека;

$\rho_{ПО}$  – средняя плотность приборного отсека, которая для приборов системы управления второй ступени РН составляет в среднем 225 кг/м<sup>3</sup>.

Масса приборного отсека:

$$m_{ПО} = \zeta_{ПО} \cdot m_0 \quad (1.25)$$

где  $\zeta_{ПО}$  – относительная масса приборного отсека по статистике равна 0,0008;

$m_0$  – стартовая масса РН.

С учетом стартовой массы РН в таблице 2 представлены оптимальные объёмно-массовые характеристики составных частей РН.

Таблица 2 – Объемно-массовые характеристики РН

| Объем ПН<br>$W_{ПН}, \text{м}^3$ | Объем ГО<br>$W_{ГО}, \text{м}^3$ | Длина ГО,<br>м | Диаметр<br>ГО, м | Объем ПО<br>$W_{ПО}, \text{м}^3$ | Масса ПО<br>$m_{ПО}, \text{т}$ |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 15,20                            | 26,6                             | 4,65           | 2,7              | 1,48                             | 0,334                          |

Объем топливных отсеков. Объем топливных отсеков каждого РБ можно определить исходя из известных значений объема топлива:

$$W_{ТОi} = k_{Ti} \cdot W_{Ti} \quad (1.26)$$

где  $W_{Ti}$  – объем топлива i-й ступени;

$k_{Ti}$  – коэффициент, учитывающий превышение объема топливного отсека над объемом топлива.

Коэффициент  $k_{Ti}$  характеризует степень совершенства топливного отсека и представляет собой отношение объема топливного отсека к объему компонентов топлива, расположенных в этом отсеке:

$$k_{Ti} = \frac{W_{ТОi}}{W_{Ок} + W_{Г}} \quad (1.27)$$

где  $W_{Ок}$  и  $W_{Г}$  – объемы окислителя и горючего соответственно.

Коэффициент  $k_{Ti}$  зависит от формы баков, от наличия в баках тоннельных трубопроводов, шаров-баллонов для хранения газа наддува, другой арматуры баков и так далее. Значения этого коэффициента лежат в пределах  $k_{Ti} = 1,15 \dots 1,3$ . Для РБ первой, второй и третьей ступени примем среднее значение коэффициента  $k_{Ti} = 1,2$ .

Объем топлива i-й ступени можно определить из значений массы топлива в РБ и средней плотности.

$$W_{Ti} = \frac{m_{Ti}}{\rho_{ср}} \quad (1.28)$$

где  $\rho_{срi}$  – средняя плотность топлива i-й ступени.

Средняя плотность топлива определяется с учетом коэффициента k при известных значениях плотностей веществ:

$$\rho_{ср} = \frac{m_{Ок} + m_{Г}}{V_{Ок} + V_{Г}} = \frac{\rho_{Ок} \rho_{Г} (k + 1)}{k \rho_{Г} + \rho_{Ок}} \quad (1.29)$$

где  $\rho_{Ок}$  и  $\rho_{Г}$  – плотность окислителя и горючего соответственно;

k – коэффициент отношения массы окислителя к массе горючего.

По статистике k = 3,5 для компонентов топлива СПГ-жидкий кислород. Плотность жидкого кислорода:  $\rho_{Ок} = 1141 \text{ кг/м}^3$ , СПГ:  $\rho_{Г} = 450 \text{ кг/м}^3$  [20]. Таким образом, для данного вида топлива СПГ-жидкий кислород средняя плотность составило  $\rho_{ср} = 850 \text{ кг/м}^3$ .

Результаты объемных характеристик топлива и занимаемых объемами топливных отсеков в РБ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Объемные характеристики топливных отсеков РН

| Объем<br>топлива<br>первой<br>ступени<br>$W_{Т1}, \text{м}^3$ | Объем<br>топлива<br>второй<br>ступени<br>$W_{Т2}, \text{м}^3$ | Объем<br>топлива<br>третьей<br>ступени<br>$W_{Т3}, \text{м}^3$ | Объем ТО<br>первой<br>ступени<br>$W_{ТО1}, \text{м}^3$ | Объем ТО<br>второй<br>ступени<br>$W_{ТО2}, \text{м}^3$ | Объем ТО<br>третьей<br>ступени<br>$W_{ТО3}, \text{м}^3$ |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 147,53×2                                                      | 98,35                                                         | 37,36                                                          | 177,03×2                                               | 118,02                                                 | 44,83                                                   |

Объем хвостовых и переходных отсеков. Суммарный объем, занимаемый хвостовыми и переходными отсеками с двигательными установками всех ступеней РН, рассчитывается в первом приближении как доля от объема всей ракеты, то есть

$$\sum W_{ТО} + \sum W_{ПОi} + \sum W_{ТОi} = k_{ХО} \cdot W_{РН} \quad (1.30)$$

где  $k_{ХО} = 0,15$  – статистический коэффициент, показывающий, какую долю объема занимают хвостовые и переходные отсеки от объема РН.

Для трехступенчатой РН среднего класса определены четыре объема топливных отсеков, один приборный отсек и один головной обтекатель. Таким образом, из выражении (1.29) объем РН равен:

$$W_{РН} = \frac{W_{ГО} + W_{ТО1.1} + W_{ТО1.2} + W_{ТО2} + W_{ТО3} + W_{ПО}}{1 - k_{ХО}}$$

Подставляя численные значений определим  $W_{РН}$ . Тогда суммарный объем хвостовых и переходных отсеков равняется:

$$W_{ПОО} + W_{ХО1} + W_{ХО2} + W_{ХО3} = k_{ХО} \cdot W_{РН}$$

Геометрические размеры РН. Для трехступенчатого РН по своей конструкции принимаем диаметр первой и второй ступени равными. Объем РБ равен произведению площади сечения корпуса на его длину:

$$W_{PB_i} = \frac{\pi D_{PB_i}^2}{4} L_{PB_i} \tag{1.31}$$

По прототипу РН «Союз 5.3» относительное удлинение РБ первой ступени:  $\lambda_1 = L_{PB_1}/D_{PB_1} = 9,5$ , для второй  $\lambda_2 = L_{PB_2}/D_{PB_2} = 11,5$  и третьей ступени  $\lambda_3 = L_{PB_3}/D_{PB_3} = 4,5$ . Тогда выражение (1.31) можно представить в следующем виде:  $D_{PB_i} = \sqrt[3]{4 \cdot W_{PB_i} / \pi \cdot \lambda_i}$ .

В трехступенчатом РН имеется четыре хвостовых отсеков, два из них в первой ступени, один во второй ступени и четвертый в третьей ступени. Для первой ступени объем хвостовых отсеков для двух РБ занимает 50 % от суммы хвостовых и переходных отсеков, для второй ступени объем хвостового отсека занимает 25 %, для третьей ступени 15 %, остальное 10 % занимает переходной отсек. С учетом того, что каждый РБ состоит из топливного и хвостового отсека определяется их суммарный объем РБ:

$$W_{PB_i} = W_{TO_i} + W_{XO_i}$$

При известных значениях диаметров РБ и относительных удлинений определяются длины РБ  $L_{PB_i} = \lambda_i D_{PB_i}$ .

Объем РН определяется как сумма составляющих РБ, головного обтекателя и переходного отсека:

$$W_{РН} = W_{PB_1} + W_{PB_2} + W_{PB_3} + W_{ППО} + W_{ГО}$$

Длина трехступенчатого РН состоит из РБ второй, третьей ступени с головным обтекателем, а ширина его состоит из диаметров первых двух ступеней РН.

Результаты расчетов геометрических параметров приведены в таблицы 4 и 5.

Таблица 4 – Объемно-габаритные характеристики РБ и составных отсеков

| Первая ступень (два РБ) |                       |                       | Вторая ступень          |                       |                       | Третья ступень          |                       |                       |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $W_{PB_1}, \text{ м}^3$ | $D_{PB_1}, \text{ м}$ | $L_{PB_1}, \text{ м}$ | $W_{PB_2}, \text{ м}^3$ | $D_{PB_2}, \text{ м}$ | $L_{PB_2}, \text{ м}$ | $W_{PB_3}, \text{ м}^3$ | $D_{PB_3}, \text{ м}$ | $L_{PB_3}, \text{ м}$ |
| 197,28                  | 3,0                   | 28,5                  | 138,27                  | 2,5                   | 28,75                 | 57,0                    | 2,5                   | 11,25                 |

Таблица 5 – Объемно-габаритные характеристики РН

| Сумма хвостовых и переходных отсеков $k_{XO} \cdot W_{РН}, \text{ м}^3$ | Объем РН $W_{РН}, \text{ м}^3$ | Ширина РН $B_{РН}, \text{ м}$ | Длина РН $L_{РН}, \text{ м}$ |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 81,0                                                                    | 624,5                          | 8,5                           | 44,65                        |

По результатам расчета приведен эскиз трехступенчатой РН, которое представлено на рисунке 1. Следует отметить, что данный расчет носит приближенный характер для определения первоначального облика трехступенчатого РН способный выводить на околоземную орбиту полезную нагрузку до 7,6 т.

Учитывая тот факт, что в реальности РН разрабатываются целыми институтами, научно-структурными подразделениями, в ней не были учтены множество факторов, а именно прочностные характеристики конструкции, схемы разделения ступеней РБ, автоматическое отделение головного обтекателя и системы вывода КА на орбиту, крепления топливных баков, размещение приборного отсека и многое другое виду их сложности.

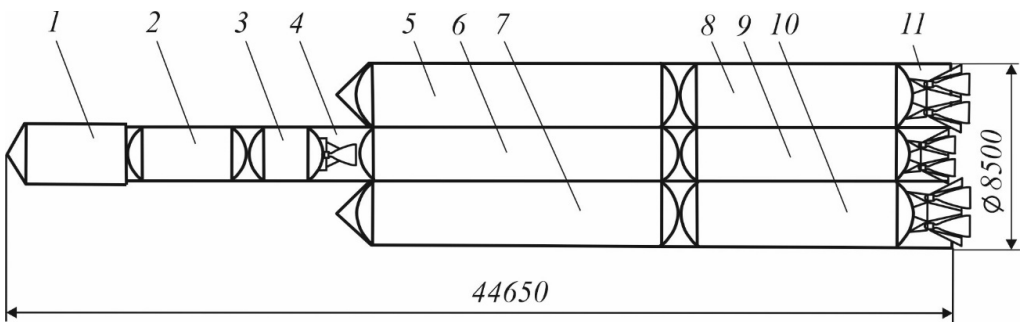


Рисунок 1 – Трехступенчатый РН среднего класса

1 – головной обтекатель с полезной нагрузкой; 2, 3 – баки окислителя и горючего третьей ступени; 4 – переходной отсек; 5, 7, 8, 10 – баки окислителя и горючего первой ступени; 6, 9 – баки окислителя и горючего второй ступени; 11 – хвостовые отсеки

**Выводы.**

Впервые были определены массогабаритные и геометрические параметры РН с использованием нового вида топлива – сжиженный природный газ и жидкий кислород. По заданным летным характеристикам РН и массы полезной нагрузки впервые удалось определить стартовую массу РН, массогабаритные характеристики топливных баков, приборных, хвостовых отсеков РБ первой, второй и третьей ступени, а также объем головного обтекателя. Все это позволило сконструировать новую, простейшую трехступенчатую РН, которое может выводить на околоземную орбиту полезную нагрузку до 7,6 т с космодрома «Байконур».

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Железняков, А. Б. «Космические гавани» планеты. Часть 1. Космодромы России / – Научно-технические ведомости СПбПУ. – № 3. – 2014 г. – с. 14-21.  
2 Космонавтика: Энциклопедия // гл. ред. В. П. Глушко; редколлегия: В. П. Бармин и др. – М. : Сов. Энциклопедия, 1985. – 526 с.  
3 Маронов, П. А. Космодромы мира. – М. : FastBook Publishing, 2011 г. – 136 с.  
4 Zak, A. Russia in space. The past explained, the future explored. Apogee Prime. Great Britain. 2013. ISBN 978-1926837-25-3

5 **Elon, M., Hans, K., , Gwynne G.** The Falcon Launch Vehicle – An Attempt at Making Access to Space More Affordable, Reliable and Pleasant. 17th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. Logan, Utah: Utah State University. 2020.

6 **Seo, D.** Staging and Mission Design of a Two-Staged Small Launch Vehicle Based on the Liquid Rocket Engine Technology. Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences. 2022 – 50(4) – pp. 277-285. DOI 10.5139/JKSAS.2022.50.4.277

7 **Kwon, K., Lee, K.** A Study on the Applicability of Air Launch Vehicle. 2022. – 50(4) – pp. 203-214 DOI 10.5139/JKSAS.2022.50.3.203.

8 **Волоцув, В. В.** Введение в проектирование, конструирование и производство ракет. – Самара : Изд-во Самарского ун-та, 2017. – 88 с.

9 **Волоцув, В. В., Ткаченко, И. С.** Введение в проектирование космических аппаратов. – Самара : Изд-во Самарского университета, 2018. – 144 с.

10 **Прохоров, А. М.** Космические скорости. Физическая энциклопедия. – М. : Советская энциклопедия, 1990. – т. 2. – 704 с.

11 **Паничкин, Н. И.** Конструкция и проектирование космических летательных аппаратов. – М. : Машиностроение, 1986. – 344 с.

12 **Куренков, В. И., Юмашев, Л. П.** Выбор основных проектных характеристик и конструктивного облика ракет-носителей. – М. : СГАУ им. С. П. Королева, 2005. – 240 с.

13 **Куренков, В. И.** Конструкция и проектирование изделий ракетно-космической техники. Часть 2. Основы проектирования ракет-носителей. – Самара : Изд-во Самарского ун-та, 2012. – 304 с.

14. РД-0169 <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%94-0169> (дата обращения: 08.12.2022).

15 **Куренков, В. И., Панков, А. А.** Основы автоматизированного проектирования. – М. : СГАУ им. С. П. Королева, 2012, – 240 с.

16 **Юмашев, Л. П.** Устройство ракет-носителей. – М. : СГАУ им. С. П. Королева, 1999, – 190 с.

17 **Юмашев, Л. П.** Арматура баков ракет. – М.: Самарский авиац. ин-т, 1991, – 32 с.

18 **Сердюк, К. В.** Транспортные средства обеспечения космических программ. / под ред. акад. В. П. Мишина . – Итоги науки и техники. Серия «Ракетостроение и космическая техника». – М.: ВИНТИ, 1990. – 276 с.

19 **Мишина, В. П.** Основы конструирования ракет-носителей. Учебник для студентов втузов. – М. : Машиностроение, 1991. – 416 с.

20 Сжиженный природный газ: – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 08.12.2022).

## REFERENCES

1 **Jelesniakov, A. B.** «Kosmicheskiye gavani» planety [«Space havens» of the planet]. Part 1. Russian spaceports / Scientific and technical statements. – № 3. – 2014. – p. 14–21.

2 Kosmonavtika [Cosmonautics]: Encyclopedia / Ch. ed. V.P. Glushko; editorial board: V. P. Barmin and others. - Publishing house of Soviet encyclopedia, 1985. – 526 p.

3 **Maronov, P. A.** Kosmodromy mira [Spaceports of the world]. – Publishing house: FastBook Publishing, 2011. – 136 p.

4 **Zak, A.** Russia in space. The past explained, the future explored. Apogee Prime. Great Britain. 2013. ISBN 978-1926837-25-3

5 **Elon, M., Hans, K., , Gwynne G.** The Falcon Launch Vehicle – An Attempt at Making Access to Space More Affordable, Reliable and Pleasant. 17th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. Logan, Utah: Utah State University. 2020.

6 **Seo, D.** Staging and Mission Design of a Two-Staged Small Launch Vehicle Based on the Liquid Rocket Engine Technology. Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences. 2022 – 50(4) – pp. 277-285. DOI 10.5139/JKSAS.2022.50.4.277

7 **Kwon, K., Lee, K.** A Study on the Applicability of Air Launch Vehicle. 2022. – 50(4) – pp. 203-214 DOI 10.5139/JKSAS.2022.50.3.203.

8 **Volotsuev, V. V.** Vvedeniye v proyektirovaniye, konstruirovaniye i proizvodstvo raket [An introduction to the design, construction and manufacture of missiles]. – Samara: Publishing House of Samara University, 2017. – 88 p.

9 **Volotsuev, V. V., Tkachenko, I. S.** Vvedeniye v proyektirovaniye kosmicheskikh apparatov [Introduction to the design of spacecraft]. - Samara: Publishing House of Samara University, 2018. – 144 p.

10 **Prokhorov, A. M.** Kosmicheskiye skorosti. Fizicheskaya entsiklopediya [Space speeds. Physical encyclopedia]. - Publishing House of Soviet encyclopedia, 1990. – v. 2. – 704 p.

11 **Panichkin, N. I.** Konstruktsiya i proyektirovaniye kosmicheskikh letatel'nykh apparatov [Design and design of spacecraft]. Publishing House of mechanical engineering, 1986. – 344 p.

12 **Kurenkov, V. I., Yumashev, L. P.** Vybor osnovnykh proyektnykh kharakteristik i konstruktivnogo oblika raket-nositeley [Selection of the main design characteristics and constructive appearance of launch vehicles]. – Samara : Publishing House of Samara University, 2005 – 240 p.

13 **Kurenkov, V. I.** Konstruktsiya i proyektirovaniye izdeliy raketno- kosmicheskoy tekhniki [Construction and design of products of rocket and space technology]. Part 2. Fundamentals of designing launch vehicles. - Samara: Publishing House of Samara University, 2012. – 304 p.

14 РД-0169 <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%94-0169> (дата обращения: 08.12.2022).

15 **Kurenkov, V. I., Pankov, A. A.** Osnovy avtomatizirovannogo proyektirovaniya [Fundamentals of computer-aided design]. – Samara: Publishing House of Samara University, 2012, – 240 p.

16 **Yumashev, L. P.** Ustroystvo raket-nositeley [Launch vehicle device]. – Samara: Publishing House of Samara University, 1999, – 190 p.

17 **Yumashev, L. P.** Armatura bakov raket [Rocket tank fittings]. - M.: Samara Aviation Institute, 1991, – 32 p.

18 **Serdyuk, K. V.** Transportnyye sredstva obespecheniya kosmicheskikh programm [Vehicles for space programs]. / ed. Acad. V.P. Mishina. - Results of science and technology. Series «Rocket science and space technology». - Publishing House of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information RAS, 1990 - 276 p.

19 **Mishina, V. P.** Osnovy konstruirovaniya raket-nositeley [Fundamentals of the design of launch vehicles]. Textbook for students of higher educational institutions. – Publishing House of mechanical engineering, 1991 – 416 p.

20 Szhizhenny`j prirodny`j gaz [Liquefied natural gas]: – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 08.12.2022).

Материал поступил в редакцию 02.02.23

**К. Т. Ахметов, Х. Молдамурат, У. Т. Касымов, \*В. Е. Джундибаев**

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Материал 02.02.23 баспаға түсті.

### ҮШ САТЫЛЫ ОРТА КЛАСТЫ ЗЫМЫРАН ТАСЫҒЫШТЫҢ ОҢТАЙЛЫ МАССАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ТАҢДАУ

Бұл мақалада пайдалы жүктемені 7,6 тоннаға дейін шығаруға арналған үш сатылы орта деңгейлі зымыран тасығыштың оңтайлы массалық сипаттамаларын таңдау қарастырылған. алғаш рет сұйытылған табиғи газ - сұйық оттегі отынымен жұмыс істейтін отын бактарының құрылымдық параметрлері анықталды, сонымен қатар зымыран тасығыштың оңтайлы бастапқы массасы және оның геометриялық сипаттамалары анықталды.

Мақала үш негізгі бөліктен тұрады: берілген ұшу сипаттамалары бойынша зымыран тасығыштың қажетті сипаттамалық жылдамдығын анықтау; оңтайлы сипаттамалары Mathcad бағдарламасының көмегімен зымыран блоктарының массасының пайдалы жүктеме массасына қатынасы есептеу; зымыран тасығыштың массалық-геометриялық параметрлерді анықтау.

Алғаш рет отынның жаңа түрін-сұйытылған табиғи газды және сұйық оттегін қолдана отырып, зымыран тасығыштың массалық және геометриялық параметрлері анықталды. Зымыран тасығыштың берілген ұшу сипаттамаларына және пайдалы жүктеме массасына сәйкес алғаш рет зымыран тасығыштың бастапқы массасын, отын бактарының, аспаптық, бірінші, екінші және үшінші сатыдағы зымыран блоктарының құйрық бөліктерінің массалық габариттік сипаттамаларын, сондай-ақ бас қаптаманың көлемін анықтауға мүмкіндік туды. Мұның бәрі «Байқоңыр» ғарыш айлағынан 7,6 тоннаға дейін пайдалы жүктемені жер орбитасына шығара алатын жаңа, қарапайым үш сатылы зымыран тасығышты жасауға мүмкіндік берді.

Кілтті сөздер: зымыран тасығыш, отын, сұйытылған табиғи газ, шектеу функциясы, пайдалы жүктеме, сипаттамалық жылдамдық, жер орбитасы.

**К. Т. Akhmetov, Kh. Moldamurat, U. T. Kasymov, V. E. Dzhundibaev\***

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan.

Material received on 02.02.23

### CHOICE OF OPTIMAL WEIGHT AND DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF A THREE-STAGE MIDDLE-CLASS LAUNCH ROCKET

*This article discusses the choice of optimal small-sized characteristics of a three-stage medium-class launch vehicle designed to launch a payload of up to 7.6 tons. characteristics.*

*The article consists of three main parts: determination of the required characteristic speed of the launch vehicle according to the given flight characteristics; optimal characteristics of the ratio of the mass of rocket blocks to the mass of the payload using the Mathcad program; determination of the weight and size characteristics of the launch vehicle itself.*

*For the first time, the mass-dimensional and geometric parameters of the launch vehicle were determined using a new type of fuel – liquefied natural gas and liquid oxygen. According to the specified flight characteristics of the launch vehicle and the payload mass, it was possible for the first time to determine the launch mass of the launch vehicle, the weight and size characteristics of the fuel tanks, instrument, tail compartments of the rocket blocks of the first, second and third stages, as well as the volume of the head fairing. All this made it possible to design a new, simplest three-stage launch vehicle that can launch a payload of up to 7.6 tons from the Baikonur cosmodrome into near-Earth orbit.*

*Keywords: launch vehicle, propellant, liquefied natural gas, constraint function, payload, characteristic velocity, near-Earth orbit.*

**A. Kasenov**

Toraigyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

**PRECISION OF HOLE PROCESSING BY REAMER-BROACHING**

*To process holes in bushings, flanges, pulleys and other similar parts, various types of metal-cutting tools are used: drills, countersinks, reamers, broaches, and others. The use of a particular tool depends on the required accuracy, roughness and type of production.*

*Unfavorable cutting conditions cause an increase in the mechanical load on the blade section, where the chips separate from the main layer of material and its deformation, which is accompanied by significant heat release and low tool life.*

*This article proposes the processing of high-precision holes - a reamer-broaching, the design of which is confirmed by the patents of the Republic of Kazakhstan, and structurally combines the features of a reamer and a broach. This design provides favorable cutting conditions, which contributes to high machining accuracy and low surface roughness.*

*In cross-section, the profile of the helical teeth of the reamer-broaching can be of the following versions: standard profile of the reamer teeth, equal-wide tooth profile, like a broach with a helical equal-wide tooth, cutting-deforming.*

*The results of production testing of samples are given, the analysis shows that the accuracy of the diametrical dimensions of the holes after processing with a reamer-broaching increased by 1.2 quality compared to a machine standard reamer; the roughness decreased by 1, 2 classes.*

*Keywords: processing, hole, accuracy, quality, roughness, reamer, broach.*

**Introduction**

One of the urgent problems of mechanical engineering is the processing of holes, which are subject to high requirements for the accuracy of size, shape and location.

Hole processing is carried out with metal-cutting tools: drills, countersinks, reamers, broaches, boring cutters, blocks and boring heads. Depending on the requirements for the accuracy of the holes, appropriate tools are used. Drilling and countersinking are preliminary operations, the rest are finishing operations.

When processing holes in body parts, bushings, flanges and similar machine parts, countersinking and unfolding operations are widely used. However, the countersink, the most common tool for processing holes after drilling, casting, forging, like any other tool with a short and therefore mechanically and thermally heavily loaded cutting part, has a limited cutting speed and relatively low durability. Wear is concentrated in the local area along a small length of the cutting part.

The unfolding is carried out with significantly lower cutting speeds, however, the cutting part also has a relatively short length and undergoes significant wear during operation. The reamer has small cutting edges in length that are constantly in operation,

and the penetration of coolant into the cutting zone, where the material being cut at a high cutting temperature and a greater degree of deformation is in conditions of comprehensive hydrostatic compression, is difficult, which contributes to an increase in the intensity of wear. In addition, the rigidity of the spindle assembly of drilling machines is insufficient. With a large length of the processed hole, a longer length of the cutting tool, for this reason, the processing accuracy decreases and the roughness increases.

**Materials and methods**

Unwrapping and broaching are finishing operations. The disadvantage of unfolding is that the cutting work is focused on a relatively short cutting part and does not correct or poorly corrects the position and shape of the axis.

Unfavorable cutting conditions cause an increase in the mechanical load on the blade section, where the chips are separated from the main layer of the material and its deformation occurs, which is accompanied by significant heat generation, although less than during countersinking. Mechanical and thermal stresses lead to a relatively low resistance of cutting tools [1-10].

At the Department of Mechanical Engineering and Standardization, the analysis of methods and methods of processing cylindrical holes, parameters of the cut layer during cutting, geometry and designs of existing metal-cutting tools (reamers, broaches, combined tools) has been carried out, new metal-cutting tools have been developed to improve processing accuracy, surface quality of parts and productivity, patents of the Republic of Kazakhstan have been obtained [11-14].

**Results and discussion**

The advantages of broaching are used in the new design of the cutting tool: relatively low cutting speed, processing quality (size accuracy, roughness), reduction of abrasion.

Scanning-broaching allows to significantly reduce the breakdown of holes that occurs when processing with drills and countersinks, as well as to reduce the roughness of the treated surface and increase the durability of the tools themselves [4-5].

The sweep-broach is structurally constructed according to the following principle: in the axial section it has design features corresponding to the broach: the front shank, neck, front and rear guides, cutting and calibrating parts, and in the cross section the signs of the sweep: the shape and number of teeth, the geometry of the cutting part, and when working it rotates like a sweep (figure 1).

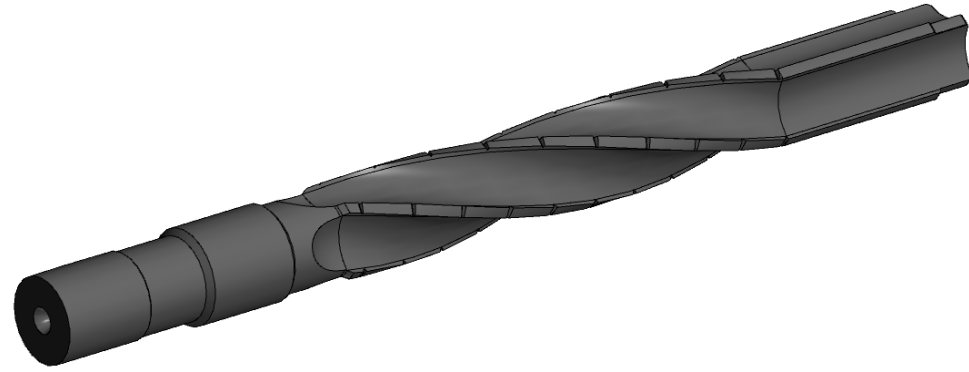


Figure 1 – 3D model of the sweep-broach

In cross-section, the profile of the helical teeth of the sweep-broach can be of the following versions: the standard profile of the teeth of the sweep, the equi-wide profile of the teeth, like a broach with a helical equi-wide tooth, cutting-deforming [13].

The use of an equidistant profile of teeth allows you to increase the durability of the sweep-broach, the number of overflows, and, consequently, to increase the service life due to overflowing along the back surface, unlike broaching with circular teeth, and recreate the state of the back surface after overflowing to the state of a new tool, which improves the quality of processing.

The use of a cutting-deforming profile allows for the cutting process and surface plastic deformation. The formation of the treated surface of the cylinder is carried out by the smoothing tape  $f$ , however, a sharp transition from a deformed to a non-deformable state can cause a deterioration in the quality of the treated surface. To eliminate this phenomenon, an angle of  $\xi \leq 10^\circ$  was introduced after the ribbon, providing a smooth transition from the deformed to the undeformed state of the treated surface to improve its quality.

The material of the cutting part of the sweep-broach can be both high-speed steel R6M5 and others, and soldered plates of a hard alloy.

The sweep-broach makes it possible to increase the efficiency of hole processing compared to stretching and unfolding by combining in one tool the signs of the sweep and broach: increasing durability, the total resource of the tool, the possibility of re-drawing the sweep-broach along the back surface and improving the quality of the surface to be processed, reducing the temperature and specific load on the cutting edges in the cutting zone; execution with cutting and deforming teeth provides an increase in the quality of processing.

The processing of the holes of machine parts with a sweep-broach is carried out on a lathe in the following ways: by fixing the sweep-broach in the chuck and on the lathe support with the left or right direction of the screw chip grooves [14].

The sweep-broach processing scheme when installing the workpiece on the lathe support is more acceptable, because the error from the clamping forces of the lathe chuck is excluded, which affects the shape of the hole being processed.

To exclude the influence of geometric errors of the machine (radial runout of the spindle, wear of the frame guides, etc.), a floating chuck has been developed, installed in the chuck of the machine, and a device for installing the workpiece in the tool holder on the caliper has also been developed.

Figure 2 shows the scheme of processing by a sweep-broach of a cylindrical hole on a screw-cutting machine, where 1 is a sweep-broach, 2 is the workpiece, 3 is the chuck of a screw-cutting machine, 4 is a device for installing the workpiece, 5 is a floating chuck,  $V$  is the direction of rotation of the sweep-broach,  $S$  – the feed direction of the workpiece.

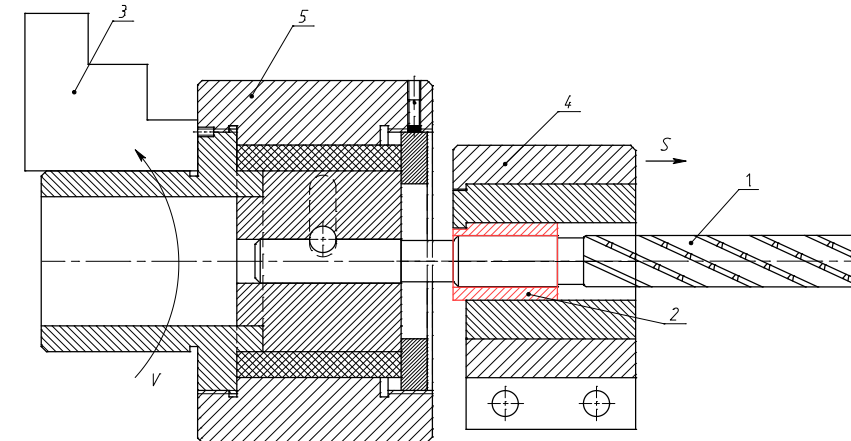


Figure 2 – The scheme of processing by a sweep-broach

When equipping mass production, a simpler special aggregate machine can be used for this operation.

Prototypes of the sweep-broach were manufactured at the machine-building enterprise of the city of Pavlodar «FormatMachCompany» LLP and tested in the educational and production workshops of the Faculty of Engineering at the Department of «Mechanical Engineering and Standardization» (Figure 3).



Figure 3 – Prototypes of the sweep-broach

Production tests were carried out at «The Plant of Non-Standardized Equipment» LLP by comparing the results of hole processing with a machine standard sweep and - sweep-broach.

#### Conclusions

The results of production tests of samples processed with metal-cutting tools - machine standard sweep and sweep-broach are respectively as follows:

- 1) the accuracy of the diametrical dimensions of the holes according to 7–8 quality, the roughness of the surface of the holes corresponds to grades 9 and 10.
- 2) the accuracy of the diametrical dimensions of the holes according to the 6–7 accuracy quality, the roughness of the surface of the holes corresponds to the 10 and 11 roughness classes.

The analysis of the results shows that the accuracy of the diametrical dimensions of the holes after processing by the sweep-broach increased by 1–2 quality compared to the machine standard sweep; the roughness decreased by 1–2 classes.

#### Funding

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

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Булошников, В. Основы теории резания – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2016. – 60 с. – ISBN 978-5-7038-4456-4.

2 Справочник технолога-машиностроителя / А. М. Дальский, А. Г. Суслов, А. Г. Косилова и др. – 5-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Издательство «Машиностроение-1», 2001. – 944 с. – ISBN 5-94275-015-7.

3 Игнатов, М. Н., Игнатова, А. М. Металлорежущий инструмент и назначение режимов резания при токарной обработке – Пермь, 2005. – 42 с.

4 Дускараев, Н., Умирзаков, Д. У., Алижонов, М. М. Стабильность режущего инструмента и скорость резания // Современные инновации, системы и технологии. – 2022. – Т. 2. – № 2. – С. 409-416. – DOI 10.47813/2782-2818-2022-2-2-0409-0416.

5 Развитие теории и технологии проектирования машин, агрегатов и инструмента в процессах обработки давлением и резания / С. И. Платов, Н. Н. Огарков, Д. В. Терентьев и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 112–114.

6 Протяжки для цилиндрических и шлицевых отверстий / А. Ж. Касенов, К. К. Абишев, А. В. Маздубай и др. // Вестник машиностроения. – 2022. – № 4. – С. 78-81. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-4-78-81.

7 Власов, С. Н. Баландина, Т. В., Власова, А. С. Повышение периода стойкости режущего инструмента при прерывистом резании // Парадигма. – 2019. – № 2. – С. 109–113.

8 Муканов, Р. Б., Мендебасев, Т. М., Касенов А. Ж. Усовершенствование конструкций инструментов // Инновационные технологии в машиностроении : Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Юрга, 24–26 мая 2018 года. – Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018. – С. 151–154.

9 Торцовое точение отверстий / Р. Б. Муканов, А. Ж. Касенов, Г. Т. Итыбаева и др. // СТИН. – 2018. – № 8. – С. 23–27.

10 Новые режущие инструменты для работы на токарных, расточных, сверлильных и протяжных станках для повышения качества обработки деталей / Н. С. Дудак, Г. Т. Итыбаева, Ж. К. Мусина и др. // Наука и техника Казахстана. – 2006. – № 2. – С. 5–9.

11 Касенов, А. Ж. Формирование шероховатости поверхности отверстия обработанного развёрткой-протяжкой // Наука и техника Казахстана. – 2011. – № 3-4. – С. 46–49.

12 Касенов, А. Ж. Обработка отверстий развёрткой-протяжкой // Труды университета. – 2010. – № 1(38). – С. 25–28.

13 Развёртка-протяжка для обработки цилиндрических отверстий/ Дудак Н. С. Касенов А. Ж. // Заключение о выдаче предварительного патента на изобретение №3066/02 от 03.02.2009г. по заявке № 2006/0747.1 от 30.06.2006г.

14 Способ обработки цилиндрических отверстий развёрткой-протяжкой/ Дудак Н. С. Касенов А. Ж. // Инновационный патент Республики Казахстан № 20811 на изобретение. Оpubл. 16.02.2009, Бюл. № 2. – 14 с: ил.

## REFERENCES

- 1 **Buloshnikov, V.** Osnovy teorii rezaniya [Fundamentals of cutting theory] - Moscow: Moscow State Technical University. N. E. Bauman, 2016. – 60 p. – ISBN 978-5-7038-4456-4.
- 2 Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya [Handbook of technologist-machine builder] / A. M. Dalsky, A. G. Suslov, A. G. Kosilova and others - 5th edition, revised and supplemented. – Moscow: Mashinostroenie-1 Publishing House, 2001. – 944 p. – ISBN 5-94275-015-7.
- 3 **Ignatov, M. N., Ignatova, A. M.** Metallorezhushchiy instrument i naznachenie rezhimov rezaniya pri tokarnoy obrabotke [Metal-cutting tool and the purpose of cutting conditions in turning] - Perm, 2005. – 42 p.
- 4 **Duskaraev, N., Umirzakov, D. U., Alizhonova, M. M.** Stabil'nost' rezhushchego instrumenta i skorost' rezaniya [Stability of the cutting tool and cutting speed] // Modern innovations, systems and technologies. – 2022. – Т. 2. – № 2. – S. 409–416. – DOI 10.47813/2782-2818-2022-2-2-0409-0416.
- 5 Razvitiye teorii i tekhnologii proyektirovaniya mashin, agregatov i instrumenta v protsessakh obrabotki davleniyem i rezaniya [Development of the theory and technology of designing machines, aggregates and tools in the processes of pressure treatment and cutting] / Platov S. I., Ogarkov N. N., Terentyev D. V. et al. // Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University. G. I. Nosov. – 2014. – № 1 (45). – P. 112–114.
- 6 Protyazhki dlya tsilindricheskikh i shlitsevykh otverstiy [Broaches for cylindrical and slotted holes] / A. Zh. Kasenov, K. K. Abishev, A. V. Mazdubai et al. // Vestnik mashinostroeniya. – 2022. – № 4. – P. 78–81. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-4-78-81.
- 7 **Vlasov, S. N., Balandina, T. V., Vlasova, A. S.** Povysheniye perioda stoykosti rezhushchego instrumenta pri preryvistom rezanii [Increasing the period of cutting tool life with interrupted cutting] // Paradigm. – 2019. №. 2. – P. 109–113.
- 8 **Mukanov, R. B., Mendebaev, T. M., Kasenov A. Zh.** Uovershenstvovaniye konstruktsiy instrumentov [Improvement of tool designs] // Innovative technologies in mechanical engineering: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference, Yurga, May 24–26, 2018. – Yurga: National Research Tomsk Polytechnic University, 2018. – P. 151–154.
- 9 Tortsovoye tocheniye otverstiy [Face turning of holes] / R. B. Mukanov, A. Zh. Kasenov, G. T. Itybaeva et al. // STIN. – 2018. – № 8. – P. 23–27.
- 10 Novyye rezhushchiye instrumenty dlya raboty na tokarnykh, rastochnykh, sverlil'nykh i protyazhnykh stankakh dlya povysheniya kachestva obrabotki detaley [New cutting tools for work on turning, boring, drilling and broaching machines to improve the quality of processing parts] / N. S. Dudak, G. T. Itybaeva, Zh. K. Musina et al. // Science and technology of Kazakhstan. – 2006. – № 2. – S. 5–9.
- 11 **Kasenov, A. Zh.** Formirovaniye sherokhovatosti poverkhnosti otverstiya obrabotannogo razvortkoy-protyazhkoy [Formation of the surface roughness of a hole processed by a reamer-broach] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2011. – № 3–4. – P. 46–49.

- 12 **Kasenov, A. Zh.** Obrabotka otverstiy razvortkoy-protyazhkoy [Processing holes with a reamer-broach] // Proceedings of the University. – 2010. – № 1 (38). – P. 25–28.
- 13 Razvortka-protyazhka dlya obrabotki tsilindricheskikh otverstiy [Reamer-broaching for processing cylindrical holes] / Dudak N. S. Kasenov A. Zh. // Conclusion on the issuance of a preliminary patent for the invention No. 3066/02 dated 03.02.2009. according to the application No. 2006/0747.1 dated 06/30/2006.
- 14 Sposob obrabotki tsilindricheskikh otverstiy razvortkoy-protyazhkoy [The method of processing cylindrical holes with a reamer-broaching] / Dudak N. S. Kasenov A. Zh. // Innovative patent of the Republic of Kazakhstan № 20811 for an invention. Published 02/16/2009, Bull. № 2. – 14 p. : ill.

Material received on 02.02.23

**А. Ж. Касенов**

Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы  
Материал 02.02.23. баспаға түсті

**ТЕСІКТЕРДІ ҰҢҒЫЛАҒЫШ-ТАРТАЖОНҒЫШПЕН ӨНДЕУ ДӘЛДІГІ**

*Төлкелердегі, ернемектердегі, тегерлердегі және басқа да ұқсас бөліктердегі тесіктерді өңдеу үшін металл кесетін құралдардың әрқандай түрлері қолданылады: бұрғылар, үңгілер, с ұңғылағыштар, тартажонғыштар және басқалар. Осы немесе басқа құралды қолдану қажетті дәлдікке, кедір-бұдырлыққа және өндіріс түріне байланысты.*

*Кесудің қолайсыз жағдайлары кескіш құралдың жүзінің учаскесінде механикалық жүктеменің жоғарылауына әкеледі, онда материалдың негізгі қабаттынан бөлініп, оның деформациясы пайда болады, бұл айтарлықтай жылу шығарумен және құралдың төмен тұрақтылығымен бірге жүреді.*

*Бұл мақалада жоғары дәлдіктегі тесіктерді өңдеу ұсынылады – ұңғылағыш-тартажонғыш, оның дизайны ҚР патенттерімен расталған және ұңғылау мен тартажонудың белгілерін конструктивті түрде біріктіреді. Бұл конструкция кесудің қолайлы жағдайларын қамтамасыз етеді, бұл өңдеудің жоғары дәлдігіне және бетінің кедір-бұдырлығына ықпал етеді.*

*Көлденең қимада ұңғылағыш-тартажонғыш бұрандалы тістерінің профилі келесі жасауында болуы мүмкін: ұңғылағыш тістерінің стандартты профилі, бұрандалы тең тісті тартажонғыш сияқты тістердің эквивалентті профилі, кесу-деформациялау.*

*Үлгілерді өндірістік сынау нәтижелері келтірілген, талдау көрсеткендей, саңылаулардың диаметрлік өлшемдерінің дәлдігі ұңғылағыш-тартажонғышпен өңдеуден кейін машиналық стандартты ұңғылағышпен салыстырғанда 1, 2 қалыптасқанға өсті; кедір-бұдырлық 1, 2 сыныпқа азайды.*

*Кілтті сөздер: өңдеу, тесік, дәлдік, қалыптасу, кедір-бұдыр, ұңғылағыш, тартажонғыш.*

**А. Ж. Касенов**

Торайгыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан

Материал поступил в редакцию 02.02.23.

**ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ РАЗВЁРТКОЙ-ПРОТЯЖКОЙ**

*Для обработки отверстий во втулках, фланцах, шкивах и других подобных деталях применяются различные типы металлорежущих инструментов: свёрла, зенкеры, развёртки, протяжки и другие. Применение того или иного инструмента зависит от требуемой точности, шероховатости и типа производства.*

*Неблагоприятные условия резания вызывают повышение механической нагрузки на участке лезвия, на котором происходит отделение стружки от основного слоя материала и его деформации, что сопровождается значительным тепловыделением и низкой стойкости инструмента.*

*В данной статье предлагается обработка высокоточных отверстий – развёрткой-протяжкой, конструкция которой подтверждена патентами РК, и конструктивно сочетает в себе признаки развёртки и протяжки. Данная конструкция обеспечивает благоприятные условия резания, что способствует высокой точности обработки и низкой шероховатости поверхности.*

*В поперечном сечении профиль винтовых зубьев развёртки-протяжки может быть следующих исполнений: стандартный профиль зубьев развёртки, равноширокий профиль зубьев, как у протяжки с винтовым равношироким зубом, режущие-деформирующий.*

*Приведены результаты производственных испытаний образцов, анализ показывает, что точность диаметральных размеров отверстий после обработки развёрткой-протяжкой увеличилась на 1, 2 качества по сравнению с машинной стандартной развёрткой; шероховатость уменьшилась на 1, 2 класса.*

*Ключевые слова: обработка, отверстие, точность, качество, шероховатость, развёртка, протяжка.*

FTAMP 55.33.99

DOI

**Ж. Н. Абілқайыр<sup>1</sup>, \*А. Т. Турдалиев<sup>2</sup>, А. Т. Альпеисов<sup>3</sup>**<sup>1,3</sup>Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,<sup>2</sup>Қазақ жолдар қатынастар университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.**МЕТАЛЛ БҰЙЫМДАРЫНЫҢ ЭКСПЛУАТАЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ҚАЛДЫҚ КЕРНЕУЛЕРДІҢ ӘСЕРІ**

*Бұл мақалада қалдық кернеулердің мәні, қалдық кернеулердің металл бұйымдарының пайдалану қасиеттеріне әсері және қалдық кернеулердің зиянды әсерлері қарастырылды. Тәжірибелік зерттеулер мен практикалық тәжірибе негізінде қысу қалдық кернеулері шаршау беріктігін арттырады, ал созылу қалдық кернеулері қолайсыз әсер ететіні анықталды. Қалдық кернеулердің төзімділікке әсері материалдың механикалық қасиеттеріне және кернеу күйінің сипатына байланысты. Машина жасау-бұл кез-келген объект үшін жобалаудан өндіріске дейінгі мәселелерді шешудің әдістері мен принциптерін қолдану. Машина жасау саласындағы мамандар құрылымдардың сенімді, қауіпсіз және тиімді, сонымен қатар бәсекеге қабілетті бағамен жұмыс істейтініне кепілдік бере отырып, өз жұмысына физика принциптерін қолданумен талдау жасайды.*

*Өнеркәсіптің негізгі салаларының бірі –машина жасау, ол барлық өнімдердің шамамен 35 % үлесіне ие. Машина жасаудың даму деңгейі халық шаруашылығының барлық салаларындағы ғылыми-техникалық прогресс (ФТП) деңгейін айқындайды. Машина жасау барлық салаларды машиналармен, технологиялық жабдықтармен және құралдармен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Станок жасау –қазіргі әлемдегі ФТП-ны анықтайтын және біліктілігі жоғары мамандарды және негізінен елдегі дамыған өнеркәсіпті қажет ететін машина жасаудың негізгі саласы.*

*Беріктік пен тозуға төзімділік мәселелері машина жасаудағы ресурсты қамтамасыз етудің негізгі мәселесі болып табылады. Сондықтан беріктікті, тозуға төзімділікті және сенімділікті есептеудің заманауи әдістері туралы терең білім қажет.*

*Өнімнің беріктігі мен сенімділігі жобалау кезеңінде белгіленеді. Конструкциясы, дайындау технологиясы, ТҚК жүргізу және пайдаланылатын материалдар өзара байланысты және шарттас болуы тиіс. Бұл жаңа бөліктер мен машиналарды жасау процесінің бүкіл тізбегін құрудың негізі. Машиналарды модернизациялау кезінде тек материалды, құрылымды немесе технологияны ғана ерікті түрде өзгертуге жол берілмейді. Бұл шарттарды орындамау машиналардың сапасына қойылатын барлық басқа талаптар мен өлшемшарттарды автоматты түрде мәнсіз етеді. Бөліктер материалдарының беткі қабатының сипаттамалары өнім бөліктерінің пайдалану қасиеттеріне шешуші әсер етеді.*

*Кілтті сөздер: кернеулер, қалдық кернеулер, тозу, өңдеу, деформация, иілу, жарықшақ, болат, созылу.*

**Кіріспе**

Қалдық кернеулер (ҚК) – сыртқы күштер болмаған кезде дененің ішінде теңдестірілген серпімді деформация және оған сәйкес кернеулер. ҚК уақыт бойынша сақталады.

Локализация дәрежесіне байланысты қалдық кернеудің мынадай түрлері ажыратылады:

– бүкіл дененің өлшемдерімен бір ретті көлемде теңестірілетін 1-ші түрдегі қалдық кернеулер (макроскопиялық); қолданыстағы әдістер негізінен 1-ші түрдегі қалдық кернеулерді бағалайды;

– түйіршік өлшемдерімен бір ретті көлемде теңестірілетін 2-ші типтегі (микроскопиялық) қалдық кернеулер; рентгенографиялық әдістермен айқындалады;

– атомдық-кристалдық тордың өлшемдерімен бір ретті көлемде теңестірілетін 3-ші типтегі қалдық кернеулер (субмикроскопиялық бұрмаланулар).

ҚК пайда болуының негізгі себебі – дененің әртүрлі аймақтарындағы ұзындықтың (көлемнің) әртүрлі дәрежеде өзгеруіне байланысты деформацияланған күйдің әртектілігі. Бұл әртектіліктің себебі мыналар болуы мүмкін: температура градиенті, мысалы, қатты қыздыру немесе салқындату кезінде (термиялық немесе температуралық кернеулер); дененің әртүрлі құрылымдық немесе конструктивті компоненттерінің (гетерогенді құрылымдар, биметалдар және т.б.) жылулық кеңеюінің әртектілігі; фазалық түрленулер (фазалық кернеулер); пластикалық деформацияның әртектілігі (беткі қабаттан кейінгі қалдық кернеу).

Қалдық кернеулердің әсерінен қисаю, мөлшердің өзгеруі, тіпті жойылу сияқты салдары болуы мүмкін.

Қалдық кернеулер өзара тепе-теңдікте болуы, ал олар тудыратын деформациялар рұқсат етілетін мөлшерден аспауы тиіс.

Қалдық кернеулер өңдеу, пайдалану және тіпті сақтау кезінде өнімнің мінез-құлқына әсер етеді. Қалдық кернеулер алгебралық түрде жұмысшы, сыртқы қолданылған кернеулермен қосылып, оларды күшейтуі немесе әлсіретуі мүмкін. Әдетте, созылу кезіндегі қалдық кернеулер ең қауіпті болып табылады, өйткені олар сыртқы жүктемелерден болатын созылу кернеулерімен біріктірілгенде, бұл жүктемелер аз болуы мүмкін болса да, жойылуға әкеледі.

Үш осьтік керілудегі созылу кернеулері әсіресе қауіпті. Белгілі болғандай, үш осьтік кернеудегі кернеу күйі ең «қатаң» болып табылады, өйткені пластикалық ағынды тудыратын ығысу кернеулері өте аз немесе нөлге тең, нәтижесінде сынғыш сыну үшін қолайлы жағдайлар жасалады. Қалдық кернеулер икемділігі төмен қорытпалардан жасалған бұйымдарда және температураның төмендеуімен сынғыш болып кететін бұйымдарда да ерекше қауіпті.

Жоғары қалдық кернеулер кезінде деструкция көбінесе шамалы шамадағы жүктемелерден (әсіресе соққы жүктемелерінде) орын алады. Мәселен, мысалы, болат құймаларындағы жарықтар оларды пневматикалық балғамен және тіпті қыста тартылудан тазартқанда пайда болуы мүмкін (қалдықтарға термиялық кернеулердің қосылуына байланысты). Иілгіштігі төмен алюминий

қорытпаларынан жасалған жартылай үздіксіз құймалардың ірі құймалары, құю аяқталғаннан кейін біраз уақыттан кейін кездейсоқ шағын соққылардан немесе соққылардан жойылуы мүмкін; Деструкция кезінде бөлінетін серпімді энергияның үлкендігі соншалық, салмағы жүздеген килограмм құйманың бір бөлігі күшті жарықшақпен үзіліп, бірнеше метр қашықтыққа ұшып кетеді.

Дәнекерленген конструкциялардағы қалдық созылу кернеулері кейде ауыр апаттарға әкеледі. Дәнекерленген көпірлердің және толық дәнекерленген кемелердің бұзылуы көбінесе істен шығуға жақын үлкен қалдық кернеулердің көрінісімен байланысты. Толық дәнекерленген кемелер, қалдық созылу кернеулерінен, болмашы сыртқы факторлардың әсерінен, мысалы, палубаны мұздан тазарту кезінде ломға соғудан құлаған жағдайлар бар.

Беттік қабаттардағы созылу қалдық кернеулері, әсіресе, ауыспалы жүктемеде жұмыс істейтін бөлшектер үшін зиянды, өйткені мұндай кернеулер шаршаудың бұзылуына ықпал етеді.

Қалдық кернеулердің зиянды әсері металдың жалпы химиялық белсенділігінің жоғарылауынан көрінеді. Созылу кезіндегі қалдық кернеулердің әсерінен түйір аралық коррозияның күшеюі (жездің маусымдық крекингі) әсіресе зиянды.

Қалдық кернеулері бар металда әртүрлі белгілердегі серпімді деформация аймақтары болады. Егер сіз өнімді кесіп тастасаңыз немесе оның беткі қабатын кесіп алсаңыз (сонымен қатар қан ағызсаңыз), макростресстерді серпімді түрде жеңілдетуге болады. Қалдық кернеулердің шамасы мен белгісін анықтаудың механикалық әдістері алынған серпімді деформацияларды өлшеуге негізделген (кернеулер деформациялардан есептеледі).

Қалдық кернеулер өнімді өңдеу, пайдалану немесе қоймада сақтау кезінде пішіннің бұзылуына (бүгілуіне) және өлшемдерінің өзгеруіне әкелуі мүмкін. Металл бұйымдарының деформациясы ішкі күштер мен моменттердің тепе-теңдігі бұзылған кезде металда пайда болатын иілу және бұралу деформациясының нәтижесінде пайда болады. Кесу кезінде әсіресе жиі және күшті бұрмаланулар пайда болады, өйткені металл қабатын жою қалдық кернеулердің тепе-теңдігін бұзады.

**Материалдар мен әдістер**

Бөлшектерді сақтау кезінде өлшемдердің өздігінен өзгеруі және деформациясы олардың босаңсуы кезіндегі қалдық кернеулердің бірте-бірте қайта бөлінуіне байланысты болады. Кернеулердің релаксация (азайту) жылдамдығы олардың бастапқы деңгейіне байланысты: ол неғұрлым жоғары болса, релаксация соғұрлым тезірек жүреді. Бұйым қимасының әртүрлі бөліктерінде қалдық кернеулердің шамасы әртүрлі болғандықтан, бөлме температурасында олардың босаңсу жылдамдығының тең емес болуына байланысты ішкі күштер мен моменттердің бастапқы тепе-теңдігі бұзылады. Бұл жағдайда қалдық кернеулер қайта бөлінеді, жаңа тепе-теңдік күйі орнатылады. Соғылу шамасы неғұрлым үлкен болса, секцияның әртүрлі учаскелеріндегі қалдық кернеулердің босаңсу дәрежесінің айырмашылығы соғұрлым көп және иілу кезінде бұйымның қаттылығы төмен болады. кейде, машиналарды жинағаннан кейін, бұрын бір-біріне дәл орнатылған түйісетін бөліктерде рұқсат етілмейтін бос орындар немесе тығыздық пайда болады.

Жұмыс кернеулерінен алынып тасталған бақыланатын қалдық кернеулерді құру арқылы металдың өнімділік қасиеттерін арттыруға болады. Көбінесе беткі қабатта сығымдаушы қалдық кернеулер әдейі жасалады, бұл қауіпті созылу жұмыс кернеулерін азайтады. Осы мақсатта металдарды өңдеу, азоттау және басқа да беттерді өңдеу түрлері қолданылады.

Тәжірибелік зерттеулер мен практикалық тәжірибе негізінде қысу қалдық кернеулері шаршау беріктігін арттырады, ал созылу қалдық кернеулері қолайсыз әсер ететіні анықталды.

Қалдық кернеулердің төзімділікке әсері материалдың механикалық қасиеттеріне және кернеу күйінің сипатына байланысты. Беткі қабаттағы айтарлықтай қысу кернеулері кезінде шаршау беріктігінің жоғарылауы аз пластикалық материалдар үшін және кернеу концентрациясында көбірек көрінеді. Кейбір өңдеу түрлеріне тән беттік қабаттардағы қалдық кернеулердің шамасы мен белгісінің күрт өзгеруімен, әдетте беттің қажу беріктігін анықтайтын фактор 10 тереңдіктегі беттік қабаттағы қалдық кернеулер болып табылады. ... 20 микрон.

Сондай-ақ, егер жүктеме кезінде қалдық кернеулерді жеңілдететін пластикалық деформациялар пайда болатын кернеудің жоғарылауының кем дегенде бірнеше циклі болса, қалдық кернеулердің төзімділікке әсері көрінбеуі мүмкін екенін есте ұстаған жөн [1].

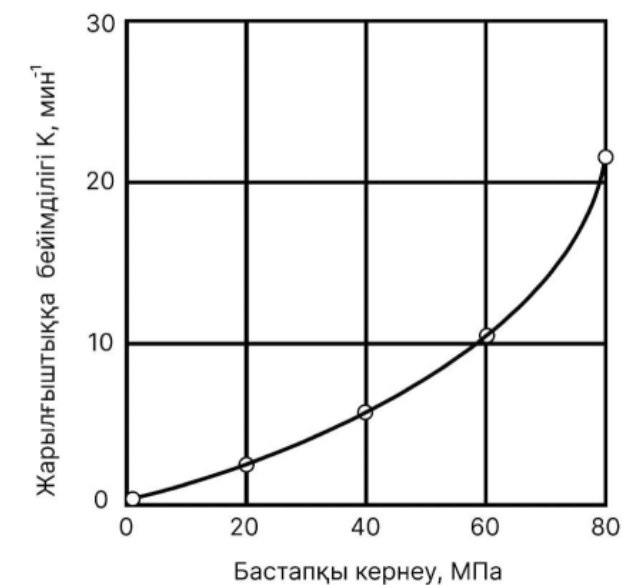
Кейбір жағдайларда, әсіресе беріктігі жоғары немесе қиын дәнекерленген материалдарды біртекті немесе гетерогенді комбинацияда дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу кернеулері қосылыстардың соңғы қасиеттеріне теріс әсер етеді. Олар дәнекерленген жік пен жылу әсер ететін аймақтың құрылымының нашарлауы және пластикасының жоғалуы сияқты, жарықтарға, ал басқа қолайсыз факторлар (төмен температуралар, кернеуді концентраторлар) болған жағдайда - құрылымның сынғыш сынуына әкеледі. Пісіру ақаулары (кеуектер, шлак қосындылары және т.б.) кернеуді концентраторлар ретінде қызмет етеді. Олар қалдық кернеулердің зиянды әсерін күшейтеді, әсіресе ауыспалы жүктемелермен. Қалдық кернеулер конструкцияның қаттылығын төмендетуі мүмкін, сонымен қатар жұмыс жүктемелері болмаған кезде де кешіктірілген сынуға айтарлықтай әсер етеді (мысалы, титан мен цирконий негізіндегі қорытпалардан жасалған дәнекерленген қосылыстардағы гидридті түрлендірулер кезінде). Қалдық кернеулер болған жағдайда дәнекерленген қосылыстардың коррозияға төзімділігі төмендеуі мүмкін (мысалы, OT4 қорытпасында және т.б.) [2, 3]

Беттік созылу қалдық кернеулері түйіршік аралық коррозияның дамуының маңызды факторы ретінде қарастырылады, мысалы, коррозияға төзімді болаттарда және жездегі кернеулі коррозия крекингінде.

Жұмыстарда [4, 5] жездің крекинг құбылысы жеткілікті түрде жан-жақты қарастырылған. Жасанды зертханалық ортада немесе ашық ауада жезді крекингке сынау кезінде жарықтар әрқашан созылу кернеулері әсер ететін беттің сол жерлерінде басталады. Керісінше, қысу кернеулері бар учаскелер крекингке төзімді болды. Демек, жездің коррозиялық крекингі кезінде жарықтардың пайда болуы үшін бұйымдардың бетінде бірінші текті созылу кернеулері қажет.

Созылу кернеулерінің жоғарылауы жез үлгілерінде жарықтар пайда болғанша немесе олар істен шыққанға дейін сынау уақытының қысқаруына әкеледі.

Бұл фактіні алғаш рет 1880 жылы А. В. Рутковский анықтады және жариялады, ол ашық ауада бірнеше жүздеген снарядтардың жарылуын сынай отырып, «зақым металда зиянды кернеулер сақталатын қабықшаларда болады» деп тапты және «зақымдану неғұрлым маңызды болса, соғұрлым шиеленіс күшейеді. Жүргізілген тәжірибелер созылу кернеуінің жоғарылауымен сынақ ұзақтығының азаюын растады. Сынақтың бастапқы сәтінде 80 МПа созылу кернеуін тудыратын қолданылған күштің әсерінен күйдірілген жезден жасалған жолақтар 20 МПа-ға қарағанда 11 есе жылдам істен шықты. Суретте. 1-суретте жездің созылу үрдісінің коэффициентінің созылу кернеуіне тәуелділігі көрсетілген. Күйдірген жез жолақтар сыналған, 10 % NH<sub>3</sub> құрамындағы Cu (OH) 2 қаныққан ерітіндісіне салынып, керілуге ұшыраған.



Сурет 1 – Жезді жарып жіберуге бейімділік созылу кернеуінің шамасына байланысты

1-Суретте, сынау ұзақтығының кері шамасы жездің жарылып кету бейімділігінің критерийі ретінде пайдаланылады. Крекингке сезімталдық коэффициенті деп аталатын бұл мән үлгілердің бетінде алғашқы жарықтар пайда болғанша 100-ді сынақ ұзақтығына (минутпен) бөлу арқылы анықталады. Бобылев А.В. және басқа ғалымдар созылу кернеулері болмаған кезде жездің крекингі мүмкін емес деген тұжырым жасайды [5–7]. Тіпті «созылу кернеуінсіз жезді крекинг» жағдайларын мұқият қарастырғанның өзінде, мұндай әсердің шынымен болғаны анықталды. Мәселен, мысалы, толық қайта кристалдандырылған күйдіруге ұшыраған жез таспасының жарылуы және оның орамдарының қолайсыз жағдайларда кейіннен сақталуы оның брошинг пештерінде күйдіруінен және бүктеу кезінде ондағы кернеулердің пайда болуынан туындаған. Дәл сол себепті күйдірілген

жез жолақтардан оралған сақиналар жарылып кетуге бейім болды. Орамдарда күйдірілген жез сымның жарылуы катушкалардың осьтері көлденеңінен жауын-шашыннан қорғалмаған сарайда сақталуынан және өз салмағымен орамда созылу кернеулерінің пайда болуынан болды.

Көлденең деформация бағытында жарықшақтық үрдісі бойлық бағыттағыға қарағанда жоғары: салқын илектелген жездің көлденең жолақтары бойлық жолақтарға қарағанда аз төзімді.

Жезден жасалған бөлшектерді немесе бұйымдарды сенімді қосылу үшін «кедергі бар» басқа бөлшектермен біріктіру өте үлкен қауіп болып табылады, өйткені бұл, мысалы, патрондардың мойындарында немесе электрлік құрылғылардың жезден жасалған «терминалдарында» созылу кернеуіне әкеледі. қарсылық.

Жезден жасалған жартылай фабрикаттарды (түтіктер, жолақтар, сымдар) серіппелер және серпімді сезгіш элементтер ретінде пайдалану кезінде де созылу кернеулері пайда болады.

Металл бұйымдарындағы қалдық кернеулердің деңгейін және таралуын тиімді бақылау түйіршікті аралық коррозияға (ТБК) төзімді коррозияға төзімді аустенитті болаттан жасалған құбырлар мен сымдарды өндірудің өзекті мәселесі болып табылады. Белгілі болғандай, НТМТ циклінде ыстық деформациядан кейін шұңқырға және түйіршік аралық коррозияға төзімділікті арттырудың ең үлкен әсері бастапқы шихтадан балқытылған 0,05 % С болатта байқалады [8].

#### Нәтижелер және талқылау

Әртүрлі әдістермен алынған нәтижелерді салыстыру келесі қорытындыға әкеледі. Аустенитті хром-никельді болаттарды жоғары таза шихтадан балқытқанда, ХҚҚ-ға төзімділікті арттыру үшін көміртегінің мөлшерін азайту қажет. Егер тот баспайтын хром-никельді болаттарды алудың арзан әдісіне жүгінсек – кәдімгі шихтадан балқыту, онда ХТТ циклінде болаттың реттелетін ыстық деформациясын қолдану арқылы ХҚҚ-ға төзімділіктің бірдей жоғарылауына қол жеткізуге болады.

Қоспалар бойынша кәдімгі таза НТМТ болатты пайдаланған кезде болаттың ИСС-ге бейімділігін төмендету әсеріне көміртегінің мөлшері 0,1 % дейін жоғарылағанда да қол жеткізуге болады, бұл біріншіден, осы кластағы болаттарды өндіруді жеңілдетеді, екіншіден, олардың күшінің жоғары деңгейін анықтайды.

Аустенитті болаттардың кернеулі коррозияға төзімділігі INK-1 қондырғысы арқылы қайнаған 42 % MgCl<sub>2</sub> ерітіндісінде ( $t_p = 154^{\circ}\text{C}$ ) зерттелді [6]. Сынақтар LIM-4 V үлгілерінің бір осьтік керілу схемасы және тұрақты жүктемені қолдану бойынша жүргізілді. Кернеу мөлшері бөлме температурасында алдын ала созылу сынақтарының нәтижелері бойынша анықталды, бұл ретте  $\sigma_0$   $\sigma_{0,2}$  белгілі бір бөлігі болып табылады. Жүктеме  $\pm 10$  Н дәлдікпен орнатылды.  $\sigma_t$  істен шығу уақыты жазылды; кернеулі коррозия крекингіне төзімділік сипаттамасы стандартты ауытқуды ескере отырып, осы өңдеуден кейін үш үлгі үшін  $\sigma_p$  орташа мәні ретінде қабылданды. Осылайша, 264 МПа (0,7  $\sigma_{0,2}$ ) тең кернеу болған жағдайда көміртегі мөлшері 0,1% болатын кәдімгі шихтадан балқытылған термомеханикалық қатайтылған Kh18 N12 T болатының кернеулі коррозия крекингіне (СКК) сынақтар

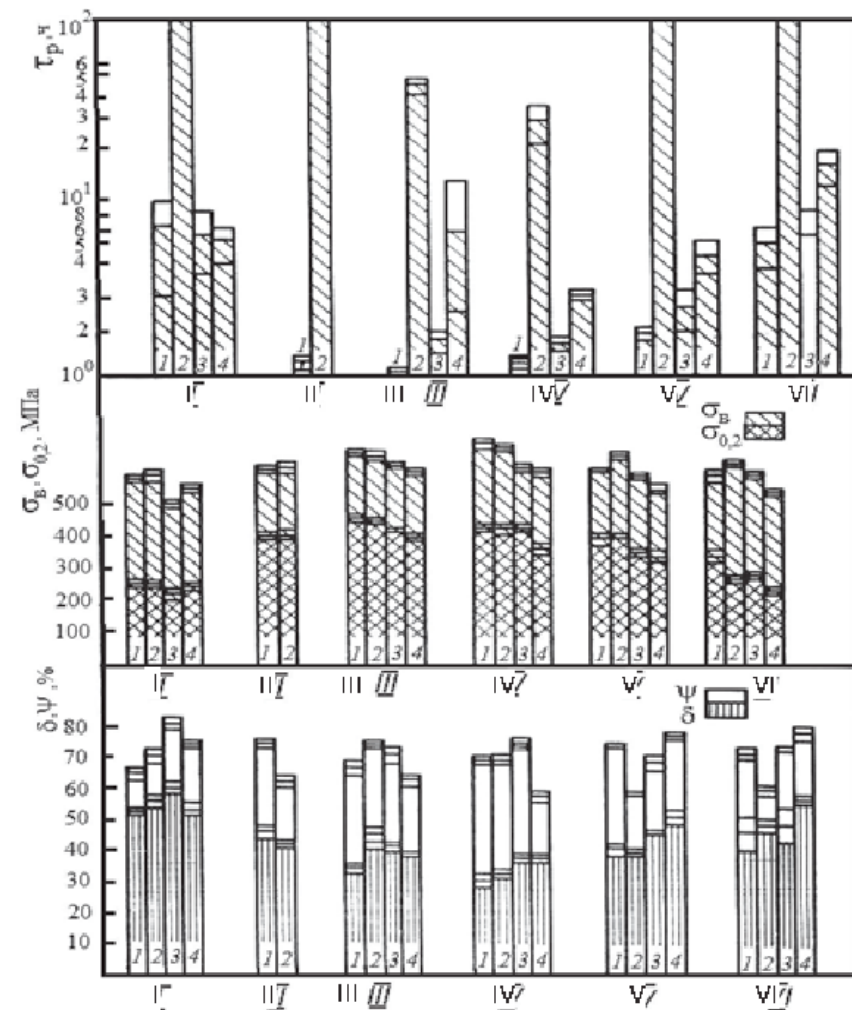
кезінде сыну уақыты. ) қалыпты шындалған күймен салыстырғанда 2,5 есе өсті (264 МПа шындалған болат үшін 1,2  $\sigma_{0,2}$ ).

Қолданылатын кернеу деңгейінде, мысалы, 1,2  $\sigma_{0,2}$  ( $\sigma = 450$  МПа) дейін, СКК кедергісінің мұндай өсуі байқалмады. Ыстық өңделген болаттың істен шығу уақыты шындалған болатқа қарағанда қысқа болды. Өйткені 1,2  $\sigma_{0,2}$  кернеу кезінде болаттың механикалық қасиеттерін анықтайтын НТМТ кезінде бұрын жасалған ішкі құрылымның бұзылуына әкелетін пластикалық ағын процестері дамиды.

Сондықтан SCC кедергісін басқа механикалық қасиеттермен, атап айтқанда, деформацияға төзімділік сипаттамаларымен бірге қарастыру керек.

Шындалған және ыстық деформацияланған Kh18 N12 T болатының кернеулі коррозияға крекингке төзімділігін зерттеу нәтижелерін салыстыру графикалық түрде суретте көрсетілген 2.

Тұрақты қолданылатын кернеулердің әрекеті аустениттік хром-никельді болаттардың коррозиялық крекингі кезінде трансгранулярлық сынуды анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Жарықтың пайда болу сатысында кернеулер жергілікті пластикалық деформацияның деңгейін және сонымен бірге үлгі бетіндегі қорғаныс қабықшасының жергілікті бұзылуын анықтайды. Коррозия сызатының таралуы оның ұшының алдындағы пластикалық релаксация процестерімен байланысты.



2-сурет – Шындалған және ыстық өңделген болат X18 N12 T кернеулі коррозия крекингіне төзімділігі:

I – стандартты катаю 1060 °C, 1 сағ, суда салқындату;

II – ВТМО:  $t_{\text{деф}} = 900\text{ °C}$ ,  $\varepsilon = 20\%$ ;

III – ВТМО:  $t_{\text{деф}} = 900\text{ °C}$ ,  $\varepsilon = 60\%$ ;

IV – ВТМО: салқындату с 1115 °C до  $t_{\text{деф}} = 900\text{ °C}$ ,  $\varepsilon = 60\%$ ;

V – ВТМО:  $t_{\text{деф}} = 1050\text{ °C}$ ,  $\varepsilon = 60\%$ ;

VI — ВТМО:  $t_{\text{деф}} = 1050\text{ °C}$ ,  $\varepsilon = 60\%$

Жалпы жағдайда, кернеу деңгейінің жоғарылауымен және агрессивті ортаның бір мезгілде әрекет етуімен белсенді орталықтардың саны артып, металл бетіндегі коррозиялық жарықтардың пайда болуына және дамуына ықпал етеді.

Пайда болған жарықшақ дәннің тереңдігіне қандай қарқындылықпен таралатыны оның ұшына іргелес көлемдегі пластикалық релаксация ағынымен анықталады.

#### Қорытындылар

Жүргізілген зерттеулерге сүйене отырып, [9–14] авторлары аустениттік хром-никельді болаттардың кернеулі коррозия крекингіне төзімділігі беріктік пен иілгіштіктің қолайлы үйлесімімен анықталады деген қорытындыға келді. Осылайша, берілген агрессивті орта үшін кернеулі коррозия крекингі болаттың коррозиялық қасиеттеріне қарағанда механикалық сипаттама болып табылады.

Болат құбырлардың сапасына қалдық кернеулердің болуының, шамасы мен таралуының әсерін авторлар егжей-тегжейлі зерттеген [3]. Қалдық кернеулерді есепке алу және бақылау металл бұйымдарының сапасының қалыптасуының жалпы құрылымында қандай орын алатыны көрсетілген.

Жалпы металл бұйымдарының сапасы (нөлдік деңгей) механикалық қасиеттерімен, сыртқы бетінің сапасымен және прокаттың өлшемдерімен (бірінші деңгей) сипатталады.

Қасиеттердің ең көп санына әдетте химиялық құрамымен, механикалық қасиеттерімен, құрылымымен және ішкі ақауларымен сипатталатын металдың сапасы жатады, кейде арнайы қасиеттер қосымша көрсетіледі (екінші деңгей). Өз кезегінде, бұл қасиеттердің әрқайсысы қасиеттерді сандық сипаттайтын жеке қарапайым сапа көрсеткіштеріне ыдырауы мүмкін. Пластикалық немесе термиялық өндеудің әртүрлі процестерінен кейін металда қалдық кернеулердің пайда болуы бұрыннан белгілі, алайда қалдық кернеулер сапа көрсеткіштерінде көрсетілмеген.

Өнімнің өмірлік циклінің әртүрлі кезеңдеріндегі құрылымдық-технологиялық факторлардың және жүктеме тарихының беріктік сипаттамаларына әсерін ескере отырып, КДС және қалдық кернеулерді есептеу схемасы әзірленді, бұл әртүрлі технологиялық операциялар процесінде туындайтын кернеулердің таралу диаграммаларын алуға мүмкіндік береді (өтпелі екпелермен қосылыстар алу, қорғаныс жабындарын иондық-плазмалық бүрку, металдарды қысыммен өңдеу процестері және т. б.). Конструктивті факторларды ескере отырып, ауыспалы қондыру кезінде КДК есептеулері орындалды.  $t/d_k$  арақатынасы жоғарылаған сайын, сақинадағы салыстырмалы кернеулердің мәні төмендейтіні анықталды. Пластинада салыстырмалы кернеулер жоғарылайды  $t/d_k = (0,15 \div 0,27)$  8,6-дан 10,5 % - ға дейін, содан кейін төмендеу байқалады.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Чернышев, Г. Н., Попов, А. Л., Козинцев, В. М., Пономарев, И. И. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. М.: Наука. Физматлит, 1996 – 240 с.

2 Большаков, А. Н. Теория резания для краевых зон. 5. Модель резания для зоны входа // Справочник. Инженерный журнал. – 2017. – № 12(249). – С. 43–47. – DOI 10.14489/hb.2017.12.pp.043-047.

3 **Чудина, А. А.** Влияние технологических факторов на характер распределения остаточных напряжений на поверхности заготовки в процессе резания // Главный механик. – 2021. – № 2. – С. 34-43. – DOI 10.33920/pro-2-2102-04.

4 Влияние элементов режимов резания на формирование остаточных напряжений при точении жаропрочных сплавов / Л. Р. Кильметова, С. Х. Хадиуллин, А. И. Дубин [и др.] // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2020. – Т. 24. – № 2(88). – С. 29–35.

5 **Определение остаточных** напряжений и коэффициентов интенсивности напряжений на основе локального удаления материала / С. И. Елеонский, И. Н. Одинцев, В. С. Писарев, С. М. Усов // Ученые записки ЦАГИ. – 2017. – Т. 48. – № 4. – С. 57–80.

6 **Ткачев, И. В., Иванов А. В.** Влияние способов гибки на остаточное напряжение обечаек // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – № 3. – С. 10-12.

7 **Гринченко, М. И.** Метод определения механических остаточных напряжений и его перспективы для создания эталона единицы механического остаточного напряжения // Вестник метролога. – 2016. – № 4. – С. 19–23.

8 **Чернышев, Г. Н., Попов, А. Л., Козинцев, В. М.** Полезные и опасные остаточные напряжения // Природа. – 2002. – № 10. – С. 56–62.

9 **Третьяков, И. П.** Количественные характеристики напряженного и деформированного состояния в зоне резания // Вестник машиностроения. 1971. – № 4. – С. 35–47 с.

10 **Масленников, И. А.** Определение остаточных напряжений на обработанной поверхности после токарной обработки пластичных материалов лезвийным инструментом // Металлообработка. – 2016. – № 4(94). – С. 2–10.

11 **Задворкин, С. М., Горулева, Л. С.** Оценка остаточных напряжений в стальных изделиях магнитными методами // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2021. – № 2. – С. 33-51.

12 Методика оценки прочности железнодорожных колес / Р. Ю. Зарипов, Н. С. Сембаев, К. Б. Адильбекова, Ж. Т. Аубакирова // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 3. – С. 48–63.

13 Проблемы выбора технологии обработки нововнедренных материалов в производство / Д. Т. Ходжибергенов, К. Т. Шеров, А. Ж. Касенов, У. Д. Хожибергенова // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 2. – С. 111–117.

14 Вероятностная модель распределения дефектов при последовательном двукратном технологическом воздействии с учетом фактора технологической наследственности / А. И. Денчик, Ж. К. Мусина, А. Ж. Касенов [и др.] // Наука и техника Казахстана. – 2022. – № 3. – С. 22–36. – DOI 10.48081/GIJE7083.

## REFERENCES

1 **Chernyshev, G. N., Popov, A. L., Kozintsev, V. M., Ponomarev, I. I.** Ostatochnyye napryazheniya v deformiruyemykh tverdykh telakh [Residual stresses in deformable solids]. M. : Science. Fizmatlit, 1996 – 240 p.

2 **Bol'shakov, A. N.** Teoriya rezaniya dlya krayevykh zon. 5. Model' rezaniya dlya zony vkhoda [Theory of cutting for edge zones. 5. Cutting model for the entry zone] // Handbook. Engineering Journal. – 2017. – № 12(249). – P. 43–47. – DOI 10.14489/hb.2017.12.pp.043-047.

3 **Chudina, A. A.** Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na kharakter raspredeleniya ostatochnykh napryazheniy na poverkhnosti zagotovki v protsesse rezaniya [Influence of technological factors on the nature of the distribution of residual stresses on the surface of the workpiece during cutting] // Chief Mechanic. – 2021. – № 2. – P. 34–43. – DOI 10.33920/pro-2-2102-04.

4 **Vliyaniye elementov rezhimov rezaniya na formirovaniye ostatochnykh napryazheniy pri tochenii zharoprochnykh splavov** [Influence of elements of cutting modes on the formation of residual stresses when turning heat-resistant alloys] / L. R. Kilmetova, S. Kh. Khadiullin, A. I. Dubin [et al.] // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. – 2020. – Т. 24. – № 2 (88). – P. 29–35.

5 **Opredeleniye ostatochnykh napryazheniy i koeffitsiyentov intensivnosti napryazheniy na osnove lokal'nogo udaleniya materiala** [Determination of residual stresses and stress intensity factors based on local material removal] / S. I. Eleonsky, I. N. Odintsev, V. S. Pisarev, S. M. Usov // Uchenye zapiski TsAGI. – 2017. – Т. 48. – № 4. – P. 57–80.

6 **Tkachev, I. V., Ivanov A. V.** Vliyaniye sposobov gibki na ostatochnoye napryazheniye obechayek [Influence of bending methods on the residual stress of shells] // Forging and stamping production. – 1995. – №. 3. – P. 10–12.

7 **Grinchenko, M. I.** Metod opredeleniya mekhanicheskikh ostatochnykh napryazheniy i yego perspektivy dlya sozdaniya etalona yedinitsey mekhanicheskogo ostatochnogo napryazheniya [Method for determining mechanical residual stresses and its prospects for creating a standard unit of mechanical residual stress] // Vestnik metrologa. – 2016. – № 4. – P. 19–23.

8 **Chernyshev, G. N., Popov, A. L., Kozintsev, V. M.** Poleznyye i opasnyye ostatochnyye napryazheniya [Useful and dangerous residual stresses] // Priroda. – 2002. – № 10. – P. 56–62.

9 **Tretyakov, I. P.** Kolichestvennyye kharakteristiki napryazhennogo i deformirovannogo sostoyaniya v zone rezaniya [Quantitative characteristics of the stress and strain state in the cutting zone] // Bulletin of mechanical engineering. 1971. – № 4. – P. 35–47 p.

10 **Maslenikov, I. A.** Opredeleniye ostatochnykh napryazheniy na obrabotannoy poverkhnosti posle tokarnoy obrabotki plastichnykh materialov lezviynym instrumentom [Determination of residual stresses on the machined surface after turning plastic materials with a blade tool] // Metallobrabotka. – 2016. – № 4 (94). – P. 2–10.

11 **Zadvorkin, S. M., Goruleva, L. S.** Otsenka ostatochnykh napryazheniy v stal'nykh izdeliyakh magnitnymi metodami [Evaluation of residual stresses in steel products by magnetic methods] // Problems of mechanical engineering and reliability of machines. – 2021. – № 2. – P. 33–51.

12 **Metodika otsenki** prochnosti zhelezodorozhnykh koles [Methods for assessing the strength of railway wheels] / R. Yu. Zaripov, N. S. Sembaev, K. B. Adilbekova, Zh. T. Aubakirova // Science and technology of Kazakhstan. – 2018. – № 3. – P. 48–63.

13 **Problemy vybora** tekhnologii obrabotki novovnedrennykh materialov v proizvodstvo [Problems of choosing a technology for processing newly introduced materials into production] / D. T. Khodzhibergerov, K. T. Sherov, A. Zh. Kasenov, U. D. Khozhibergerova // Science and technology of Kazakhstan. – 2018. – № 2. – P. 111–117.

14 **Denchik A. I., Musina Zh. K., Kasenov A. Zh. [et al.]** Veroyatnostnaya model' raspredeleniya defektov pri posledovatel'nom dvukratnom tekhnologicheskom vozdeystvii s uchetom faktora tekhnologicheskoy nasledstvennosti [Probabilistic model of defect distribution under sequential double technological impact taking into account the factor of technological heredity] // Science and technology of Kazakhstan. – 2022. – № 3. – P. 22–36. – DOI 10.48081/GIJE7083.

Материал 02.02.23 баспаға түсті.

**Ж. Н. Абілқайыр<sup>1</sup>, \*А. Т. Турдалиев<sup>2</sup>, А. Т. Альпеисов<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Казахский университет путей сообщения, Республика Казахстан, г. Алматы

Материал поступил в редакцию 02.02.23

## ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В данной статье рассмотрены значения остаточных напряжений, влияние остаточных напряжений на эксплуатационные свойства металлических изделий и вредное воздействие остаточных напряжений. На основе экспериментальных исследований и практического опыта было обнаружено, что остаточные напряжения сжатия увеличивают усталостную прочность, а остаточные напряжения растяжения оказывают неблагоприятное воздействие. Влияние остаточных напряжений на сопротивление зависит от механических свойств материала и характера напряженного состояния. Машиностроение – это применение методов и принципов решения задач от проектирования до производства для любого объекта. Специалисты в области машиностроения анализируют свою работу с применением принципов физики, гарантируя, что конструкции будут работать надежно, безопасно и эффективно, а также по конкурентоспособным ценам.

Одной из основных отраслей промышленности является машиностроение, на долю которого приходится около 35 % всей продукции. Уровень развития машиностроения определяет уровень научно-технического прогресса (НТП) во всех отраслях народного хозяйства. Машиностроение позволяет обеспечить

все отрасли машинами, технологическим оборудованием и инструментами. Станкостроение – основная отрасль машиностроения, определяющая НТП в современном мире и требующая высококвалифицированных специалистов и преимущественно развитой промышленности страны. Вопросы прочности и износостойкости являются основными проблемами ресурсобеспечения в машиностроении. Поэтому необходимы глубокие знания современных методов расчета прочности, износостойкости и надежности.

Прочность и надежность изделия устанавливаются на этапе проектирования. Конструкция, технология изготовления, проведение ТО и используемые материалы должны быть взаимосвязаны и обусловлены. Это основа построения всей цепочки процесса создания новых деталей и машин. При модернизации машин не допускается произвольное изменение только материала, конструкции или технологии. Невыполнение этих условий автоматически сделает все остальные требования и критерии к качеству машин несущественными. Характеристики поверхностного слоя материалов деталей оказывают решающее влияние на эксплуатационные свойства деталей изделия.

Ключевые слова: напряжения, остаточные напряжения, износ, обработка, деформация, изгиб, трещина, сталь, растяжение.

**Zh. N. Abilkair<sup>1</sup>, \*A. T. Turdaliev<sup>2</sup>, A. T. Alpeisov<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Kazakh Railway University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Material received on 02.02.23.

## THE EFFECT OF RESIDUAL STRESSES ON THE OPERATIONAL PROPERTIES OF METAL PRODUCT

This article discusses the values of residual stresses, the effect of residual stresses on the operational properties of metal products and the harmful effects of residual stresses. Based on experimental studies and practical experience, it was found that residual compression stresses increase fatigue strength, and residual tensile stresses have an adverse effect. The effect of residual stresses on resistance depends on the mechanical properties of the material and the nature of the stress state. Mechanical engineering is the application of methods and principles for solving problems from design to production for any object. Specialists in the field of mechanical engineering analyze their work using the principles of physics, ensuring that the structures will work reliably, safely and efficiently, as well as at competitive prices.

One of the main industries is mechanical engineering, which accounts for about 35 % of all production. The level of development of mechanical engineering determines the level of scientific and technological progress (STP) in all sectors of the national economy. Mechanical engineering makes it possible to provide all industries with machines, technological equipment and tools. Machine tool construction is the main branch of mechanical engineering that defines the scientific and technological progress in the modern world and requires highly qualified specialists and a predominantly developed industry of the country. The issues of strength and wear resistance are the main problems of resource supply in mechanical

engineering. Therefore, deep knowledge of modern methods of calculating strength, wear resistance and reliability is necessary.

One of the main industries is mechanical engineering, which accounts for about 35% of all production. The level of development of mechanical engineering determines the level of scientific and technological progress (STP) in all sectors of the national economy. Mechanical engineering makes it possible to provide all industries with machines, technological equipment and tools. Machine tool construction is the main branch of mechanical engineering that defines the scientific and technological progress in the modern world and requires highly qualified specialists and a predominantly developed industry of the country. The issues of strength and wear resistance are the main problems of resource supply in mechanical engineering. Therefore, deep knowledge of modern methods of calculating strength, wear resistance and reliability is necessary.

The strength and reliability of the product are established at the design stage. The design, manufacturing technology, maintenance and materials used must be interconnected and conditioned. This is the basis for building the entire chain of the process of creating new parts and machines. During the modernization of machines, arbitrary changes in only the material, design or technology are not allowed. Failure to comply with these conditions will automatically make all other requirements and criteria for the quality of machines irrelevant. The characteristics of the surface layer of the materials of the parts have a decisive influence on the operational properties of the parts of the product.

Keywords: stresses, residual stresses, wear, processing, deformation, bending, crack, steel, stretching.

SRSTI 55.35.99

DOIxxxxxxx

**\*R. Tyulyubayev<sup>1</sup>, A. Mustafin<sup>2</sup>, A. Kuandykov<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Toraigrov University, Faculty of engineering, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

## **STRENGTHENING THE DESIGN OF SCREW DEVICES IN HORIZONTAL MACHINES**

*Methods of reducing the metal consumption and increasing the structural strength of screw devices through the use of tubular shafts with amplifiers in dangerous sections are proposed. The review of the study shows that the modernization of the design of horizontal machines with screw devices was previously carried out and there is a positive experience in the development of such structures. The configuration of the shafts of mechanical gears usually provides the necessary rigidity of the structure. The load part of such shafts is thickened, less loaded on the shank has a thinned configuration with a smaller volume of material assigned to it. Due to the use of a special annular bandage pressed onto the screw shaft, the composite shaft is reinforced, representing a solid structure of hollow cylinders interconnected by guaranteed tension. The reduction of metal consumption is ensured by reducing the mass of the shaft, only dangerous sections are reinforced with bandages, which makes it possible to significantly facilitate the design of screw devices and increase the energy efficiency of the machine as a whole.*

Keywords: horizontal machine, screw device, shaft, annular insert, fit, strength, rigidity.

### **Introduction**

The configuration of mechanical transmission shafts usually provides the necessary structural rigidity. The loading part of such shafts is thickened, the less loaded part on the shank has a thinned configuration with a smaller volume of material assigned to it [1,2]. In horizontal machines, shafts of a solid or tubular section are used in the form of smooth cylindrical bodies with parts of a screw or blade type fixed to them [3]. Due to the large length and dimensions, the weight of screw devices can be significant, and taking into account external loads, the shaft can deform more than the permissible values [4]. Normal stress amplitudes during rotation also contribute to the occurrence of fatigue damage to the shaft. To reduce deflections, the diameter of the shaft and the thickness of the walls in the tubular section are increased, however, in this case, the weight loads acting on the shaft increase [5,6]. In this regard, this paper discusses methods for reducing the metal consumption of shafts in long horizontal machines while maintaining stiffness and strength parameters. This reduces energy and material consumption, and reduces the load on the shaft supports. Machines with large longitudinal dimensions include horizontal agitated reactors; transport pipes; screw conveyors; horizontal mixers; drum machines, etc.

A method for reducing stresses and, as a result, increasing the strength of thick-walled cylinders by replacing a solid cylinder with a composite one connected with an interference fit was proposed back in the last century by Academician A. V. Gadolin [5]

. In accordance with this idea, in [7] for a horizontal reactor with a stirrer, during the operation of which problems arose due to insufficient rigidity of a hollow shaft 9 meters long, it was proposed to strengthen its design with an external short annular insert. It is installed in the zone of the most dangerous section of the shaft, i.e. between the supports in the place of its greatest deflection. The effect of stress concentration that occurs on the stepped sections of the shaft is eliminated by the use of smooth transition sections. After the pressing and welding work, the residual stresses in the pipe are removed due to the tempering process of the part.

#### Materials and methods

Taking into account the results of the above studies, in order to reduce the metal consumption of screw conveyors, it is proposed to carry out a similar modernization of the design of screw devices. Horizontal conveyor shown in Figure 1 for transporting raw sand with bulk density  $\rho=1,6 \text{ t/m}^3$ , performance 40 t/h, conveyor length 20 m, screw speed 40 rpm, screw diameter 500 mm according to calculations [7, 8] has a torque on the screw shaft  $T_0=2107 \text{ Nm}$ . For the investigated screw conveyor with a total length  $L=20 \text{ m}$ , the chute is divided by means of intermediate outboard bearings into five sections, each of which has a length of 4m. The propeller shaft is considered as a split shaft and is calculated for twisting torque  $T_0$ , bending from a transverse load distributed along the length  $F_{accr}$  and bending under its own weight.

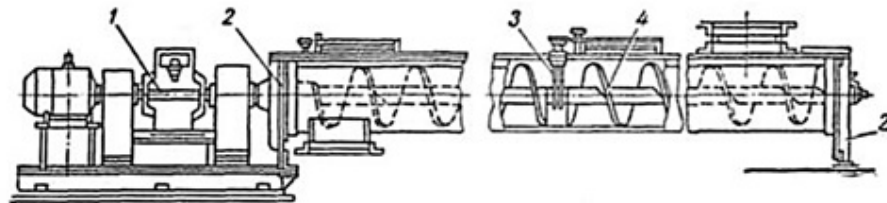


Figure 1 – General view of the horizontal screw conveyor

1 – drive; 2 – end supports (head and tail); 3 – suspension supports; 4 – screw.

According to the recommendations, the deflection of the screw should not exceed 40 % of the gap between the screw and the groove, which is usually 8–10mm. Therefore, the allowable deflection value is assumed to be no more than  $v_{max} = 3-4 \text{ mm}$ . The load from the transverse force distributed along the length of the shaft  $F/L = 2T_0/kLD = 2 \cdot 2107/0.7 \cdot 20 \cdot 0,5=602 \text{ N/m}$ , per section of the shaft  $602/5=120,4 \text{ N/m}$ .

For the input data, the calculation was made according to the program of the service of building structures Build All Rights Reserved, the results of which are presented in table 1.

Table 1 – Results of the calculation of shafts of solid and annular cross-section for strength and rigidity

| S, mm | d/d <sub>1</sub> , mm/mm | I <sub>x</sub> , mm <sup>3</sup> /mm <sup>4</sup> | m, kg  | v <sub>max</sub> , mm | q, N/mm | 6, MPa | M <sub>x</sub> , Nm |
|-------|--------------------------|---------------------------------------------------|--------|-----------------------|---------|--------|---------------------|
| 8,5   | 80/63                    | 1236720                                           | 59,9   | 3,64                  | 0,150   | 17,47  | 540                 |
| 13,5  | 90/63                    | 2446111                                           | 101,74 | 2,55                  | 0,255   | 31,53  | 1714                |
| 15,5  | 94/63                    | 3057632                                           | 120    | 2,29                  | 0,300   | 27,73  | 1804                |
| 18,5  | 100 /63                  | 4133370                                           | 148,7  | 1,98                  | 0,372   | 23,56  | 1948                |
| 0     | 90                       | 3218991                                           | 199,7  | 3,2                   | 0,499   | 17,31  | 1238                |

It should be noted that, in terms of strength, the considered shafts have sufficient safety margins, both in terms of torsional and bending stresses. However, the rigidity criteria for them are not so unambiguous. According to the above data for the shaft in the conveyor chute, the allowable deflection should not exceed 3mm. For a solid section shaft with a diameter of 90 mm, the maximum deflection is 3,2 mm, the load from its own weight is 0,499 N/mm. In order to reduce the metal consumption of the structure, it is recommended to use tubular shafts instead of solid section shafts. According to the calculations from the profiles submitted for consideration, the smallest deflection  $v=1,98 \text{ mm}$  has a hollow shaft with an outer diameter of  $d=100 \text{ mm}$ , however, it corresponds to an increase in weight.

As shown in Figure 2, to reduce the weight of the screw, it is proposed to use a hollow shaft with a diameter of  $d=80 \text{ mm}$ . To strengthen the structure of shaft 1, a bushing 2 with an outer diameter of  $d=100 \text{ mm}$  is pressed in the middle. The width of the female insert is assumed to be equal to the screw pitch  $H=0.4m$ .

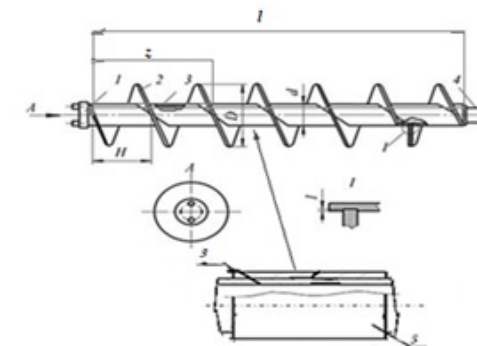


Figure 2 – Hollow Shaft Auger

1 - support pin; 2 - coil; 3 - hollow shaft; 4 - leading pin; 5-sleeve.

When the screw deflects, the diagram of the bending moment  $M_x$  is superimposed on the uniform diagram of the landing pressure (Figure 3).

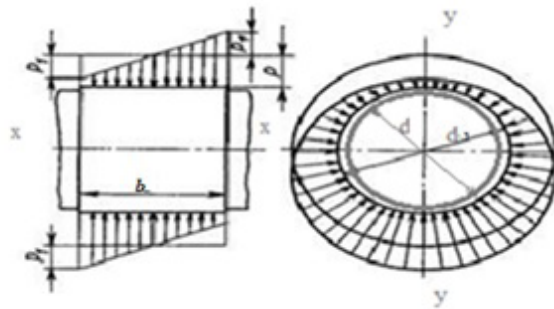


Figure 3 – Diagram of pressures in the connection during bending

The diagram of pressure  $p_1$  from the moment of bending changes according to a linear law, the highest pressure in the joint

$$p_1 = 4M_x / 2W_y \cdot \pi \quad [1]$$

where  $4/\pi$  – multiplier that takes into account the crescent shape of the pressure change;

$W_y = b^2(d-d_1)/6$  – moment of resistance to bending of the diameter section of the bushing;

$b$  – the length of the shaft section for landing, equal to the pitch of the screw 0.4 m.

$$W_y = (0,10 - 0,08) \cdot 0,4^2 / 6 = 0,00053 \text{ m}^3$$

Then, according to the calculated data of table 1 for a pipe 80/63 with  $M_x = 540 \text{ Nm}$

$$p_1 = 4 \cdot 540 / (2 \cdot 0,00053 \cdot 3,14) = 648960 \text{ Pa}$$

The pressure diagram  $p_1$  from the moment of bending, changing according to a linear law, has a negative value on one of the sides of the sleeve and contributes to a decrease in the total pressure [9, 10]. On the seating surface, it decreases to  $0,25p$  ( $p_1 \approx 0,25p$ ) and tightness in the pipe connection will not be guaranteed. Based on this condition, the preload pressure must be at least  $p = p_1 / 0,25 = 648960 / 0,25 = 2595841 \text{ Pa}$ . According to this pressure, according to the method known in engineering calculations [11], the interference is determined and the fit is selected. The section of the shaft under the bushing perceives the pressure from the bending moment, the pressure is redistributed - on one side of the bushing it is added with the preload pressure, on the other side it is

taken away. The pressure difference must guarantee the impossibility of opening the joint of the parts to be joined.

Refined calculations of the stepped shaft according to the Vereshchagin rule for rods of variable cross section [11] showed that the deformation of the shaft axis takes place along its edges, i.e. on the sections of the shaft up to the bushing, and in the middle part, reinforced by the cross section of the bushing, it practically does not deform. In this regard, the proposed design should have a shaft deflection to the bushing not exceeding the allowable value (Figure 2), in this case  $[v] = 3,0 \text{ mm}$ . The  $z$ -coordinate of the shaft to the bushing can be determined by the formula

$$v = q(2lz^3 - z^4 - l^3z) / 24EI_x \leq [v] \quad [2]$$

According to calculations using this formula,  $z = 1,8 \text{ m}$ , for a symmetrical location of the sleeve relative to the middle of the shaft, its width is determined by the formula  $b = l - 2z = 0,4 \text{ m}$ .

### Results and discussion

According to the results of the refined calculation of the hollow shaft and bushing, carried out for the load and unit diagrams for shaft sections with two values of the moments of inertia, the deflection was determined on both sides of the shaft to the bushing, which is  $v = 2,8 \text{ mm}$ , and in the middle of the shaft  $3.0 \text{ mm}$ . Thus, the bending deformation of the structure is less than for a smooth shaft with parameters 80/63, where it is  $3.64 \text{ mm}$ . Pipe weight  $d/d_1 = 80/63$  with an insert 100/80 and a width of  $0.4 \text{ m}$  is  $599 + 0.222 \cdot 400 = 687,8 \text{ N}$ , which is less than the weight of the pipe closest to it with parameters  $d/d_1 = 90/63$  (table 1), which is equal to  $1017 \text{ N}$ . The weight difference is  $329 \text{ N}$ , for a conveyor with five sections, the savings in the weight of the pipe material will be  $1645 \text{ N}$ . In addition to saving material, a decrease in the energy load of engines and a decrease in loads in bearing assemblies are expected.

### Conclusions

Thus, according to this technique, it is possible to strengthen tubular shafts in horizontal machines, and with small transverse loads from external forces, to replace shafts of a solid section with shafts with an annular section.

### REFERENCES

- 1 Дунаев, П. Ф., Леликов, О. П. Конструирование узлов и деталей машин. – М. : Академия, 2008. – 496 с.
- 2 Попиков, П. И. Малюков С. В., Поздняков А. К. Анализ исследований рабочих процессов шнековых рабочих органов технологических машин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2020. – Т. 8. – № 3(50). – С. 342-348. – EDN LIAACV.
- 3 Chen, H. X., Tan Z. Y., Tan F., Yin, G. F. Dynamic performance analysis and optimization method of the horizontal machining center based on contact theory,

international journal of advanced manufacturing technology, Volume 108, Issue 9–10, PP 3055–3073 (2020), DOI10.1007/s00170-020-05597-z

4 Справочник конструктора-машиностроителя / под. ред. Анурьев В. И. М. : Машиностроение, 2001. – Т.2 – 897 с.

5 Расчет на прочность тонкостенных оболочек вращения и толстостенных цилиндров: Метод. пособ. / сост.: В. Ф. Першин, Ю. Т. Селиванов. Тамбов : Т ГТУ, 2002. – 20 с.

6 **Мустафин, А. Х.** Популярная механика в инженерии. – Павлодар : Toraighyrov University, 2021. – 96 с.

7 **Марон, Ф. Л., Кузьмин, А. В.** Справочник по расчетам подъемно-транспортных машин. Минск: Высшая школа, 1977. – 156 с.

8 **Иванов, А. С., Ермолаев, М. М.** Работа соединения с натягом при передаче соединением изгибающего момента // Вестник машиностроения. – 2009. – № 5. С. 45 – 48.

9 **Сырокоренский, И. С.** Анализ конструкций современных экструдеров российского производства // Молодой ученый. – 2018. – № 31(217). – С. 36–40.

10 **Lebedev, V., Serga, G. Chunakhova, L., Selemenev, M.** Processing Equipment on the Basis of Operative Parts in the Form of Screw Rotors with Profiled Perimeter, 10th International Scientific and Practical Conference on Innovations in Mechanical Engineering (ISPCIME), Volume 297, 2019, DOI10.1051/mateconf/201929702004.

11 Расчеты на прочность деталей. Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. В. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1993. – 702 с.

#### REFERENCES

1 **Dunaev, P. F., Lelikov, O. P.** Konstruirovaniye uzlov i detalej mashin [Construction of machine components and parts]. – М. : Akademiya, 2008. – 496 p.

2 **Popikov, P. I., Malyukov, S. V., Pozdnyakov, A. K.** Analiz issledovaniy rabochih processov shnekovyh rabochih organov tekhnologicheskikh mashin [Analysis of studies of working processes of screw working bodies of technological machines] // Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. – 2020. – Т. 8. – № 3(50). – P. 342–348.

3 **Chen, H. X., Tan, Z. Y., Tan, F., Yin, G. F.** Dynamic performance analysis and optimization method of the horizontal machining center based on contact theory, international journal of advanced manufacturing technology, Volume 108, Issue 9–10, PP 3055–3073 (2020), DOI10.1007/s00170-020-05597-z

4 Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya [Handbook of a mechanical engineer designer] / Pod. red. V.I Anur'ev V.I. M. : Mashinostroenie, 2001. – Т.2 – 897 p.

5 Raschet na prochnost' tonkostennykh obolochek vrashcheniya i tolstostennykh cilindrov [Calculation of the strength of thin-walled shells of rotation and thick-walled cylinders]: Metod. posob. / Sost.: V. F. Pershin, Yu. T. Selivanov. Tambov. : T GTU, 2002., – 20 p.

6 **Mustafin, A. H.** Populyarnaya mekhanika v inzhenerii [Popular mechanics in Engineering]. – Pavlodar : Toraighyrov University, 2021. – 96 p.

7 **Maron, F. L., Kuz'min, A.V.** Spravochnik po raschetam pod'emno-transportnyh mashin [Handbook of calculations of lifting and transport machines]. Minsk : Vysshaya shkola, 1977. – 156 p.

8 **Ivanov, A. S., Ermolaev, M. M.** Rabota soedineniya s natyagom pri peredache soedineniem izgibayushchego momenta [Operation of the connection with tension during transmission of the bending moment by the connection] // Bulletin of Mechanical Engineering. – 2009. – № 5. P. 45–48.

9 **Syrokorenskiy, I. S.** Analiz konstrukcij sovremennykh ekstrudirov rossijskogo proizvodstva [Analysis of designs of modern extruders of Russian production] // Young scientist. – 2018. – № 31(217). – P. 36-40.

10 **Lebedev, V., Serga, G. Chunakhova, L., Selemenev, M.** Processing Equipment on the Basis of Operative Parts in the Form of Screw Rotors with Profiled Perimeter, 10th International Scientific and Practical Conference on Innovations in Mechanical Engineering (ISPCIME), Volume 297, 2019, DOI10.1051/mateconf/201929702004.

11 Raschety na prochnost' detalej. Spravochnik [Calculations for the strength of parts. Handbook] / I. A. Birger, B. F. SHorr, G. V. Iosilevich. – Moscow : Mashinostroenie, 1993. – 702 p.

Material received on 02.02.23

*\*Р. А. Тюлюбаев<sup>1</sup>, А. Х. Мустафин<sup>2</sup>, А. Б. Куандыков<sup>3</sup>*

Торайғыров университеті, Инженерия факультеті,

Павлодар қ., Қазақстан Республикасы

Материал баспаға түсті 02.02.23

#### КӨЛДЕНЕҢ МАШИНАЛАРДА БҰРАНДАЛЫ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН КҮШЕЙТУ

*Металл үнемділігін арттыру және қауіпті қималарда күшейткіштер арқылы құбырлы біліктерді қолдану арқылы бұрандалы құрылғылардың құрылымдық беріктігін арттыру әдістері ұсынылған. Бұрандалы құрылғылары бар көлденең машиналардың конструкциясын жаңғырту бұрын жүргізілгенін және осындай конструкцияларды әзірлеуде оң тәжірибесі бар екенін көрсетті. Механикалық беріліс біліктерінің конфигурациясы, әдетте, құрылымның қажетті қаттылығын қамтамасыз етеді. Мұндай біліктердің жүктеме бөлігі қалыңдатылған, білікке аз жүктелген, оған берілген материалдың аз көлемімен жіңішке конфигурацияға ие. Бұранданың білігіне басылған арнайы сақиналы таңғышты қолдануға байланысты Құрама білік күшейтіліп, бір-біріне кепілдендірілген тарту арқылы қосылған қуыс цилиндрлердің тұтас құрылымы болып табылады.*

*Металл сыйымдылығының төмендеуі білік массасының азаюымен қамтамасыз етіледі, тек қауіпті бөлімдер таңғыштармен күшейтіледі, бұл бұрандалы құрылғылардың дизайнын едәуір жеңілдетеді және тұтастай алғанда машинаның энергия тиімділігін арттырады.*

*Түйінді сөздер: көлденең машина, бұрандалы құрылғы, білік, сақиналы кірістіру, сәйкестік, беріктік, қаттылық.*

**\*Р. А. Тюлюбаев<sup>1</sup>, А. Х. Мустафин<sup>2</sup>, А. Б. Қуандыков<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университет», Факультет инженерии,

г. Павлодар, Республика Казахстан

Материал поступил в редакци. 02.02.23.

### УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШНЕКОВЫХ УСТРОЙСТВ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ МАШИНАХ

*Снижение металлоемкости при сохранении прочности шнековых устройств можно обеспечить применением трубчатых валов с усилителями в опасных сечениях. Модернизация конструкции шнековых устройств в горизонтальных машинах с длинными пустотелыми валами ранее проводилась и имеется положительный опыт в применение таких конструкции. Конфигурация валов механических передач, обычно, обеспечивает необходимую жесткость конструкции. Нагрузочная часть таких валов утолщена, менее нагруженная на хвостовике имеет утонченную конфигурацию с меньшим объемом отнесенного на нее материала. Усиленный вал представляет собой цельную конструкцию пустотелых цилиндров, соединенных между собой гарантированным натягом. Снижение металлоемкости обеспечивается уменьшением массы вала, бандажами на них усиливаются опасные сечения, что позволяет значительно облегчить конструкции шнековых устройств и повысить энергетическую эффективность машины в целом.*

*Ключевые слова: горизонтальная машина, шнековое устройство, вал, кольцевая вставка, посадка, прочность, жесткость.*

МРНТИ 55.13.15

DOI

**\*Г. С. Гумаров<sup>1</sup>, С. Г. Митин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский государственный университет имени

М. Утемисова, Уральск, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет имени

Ю. А. Гагарина, Саратов, Российская Федерация

\*e-mail:

### РАЗРАБОТКА МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*При традиционных методах изготовления заданные точностные параметры продукции достигаются усложнением технологического оборудования и использованием информационных и измерительных технологий. Однако в настоящее время функциональная точность высокоточных изделий превзошла точность обрабатывающего и сборочного оборудования почти на порядок. Это привело к возникновению проблемы достижения заданных эксплуатационных характеристик высокоточных изделий.*

*Именно поэтому необходимо проведения исследований по созданию подходов к проектированию рациональных технологических процессов изготовления деталей, которые при последующей сборке обеспечат максимально возможное количество сборочных комплектов, что в свою очередь положительно скажется на снижении незавершенного производства.*

*Предлагается проектирование многономенклатурных технологических процессов механообрабатывающих производств для высокоточных изделий используя возможности современных систем автоматизированного проектирования.*

*На основе полученной связи сформирована структура системы автоматизированного проектирования с учетом требований к сборке в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать из множества технологических процессов механической обработки рациональные варианты. Что, в свою очередь, позволяет снизить трудоемкость, время изготовления и себестоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, сократить время и трудоемкость при технологической подготовки производства.*

*Ключевые слова: технологический процесс, разработка, система автоматизированного проектирования, трудоёмкость, себестоимость.*

### Введение

Перед машиностроительным производством стоит задача выпуска в короткий срок небольшими партиями продукции высокой функциональной точности. При традиционных методах изготовления заданные точностные параметры продукции

достигаются усложнением технологического оборудования и использованием информационных и измерительных технологий. Однако в настоящее время функциональная точность высокоточных изделий (приборов и машин) превзошла точность обрабатывающего и сборочного оборудования почти на порядок. Это привело к возникновению проблемы достижения заданных эксплуатационных характеристик высокоточных изделий [1].

На рисунке 1 представлены существующие методы достижения точности сборки (точности замыкающего звена).

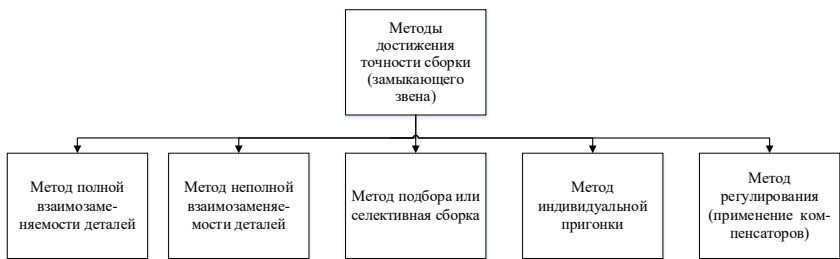


Рисунок 1 – Методы достижения точности сборки (точности замыкающего звена)

Данные методы достижения точности сборки не являются универсальными, зависят от типа производства и конструктивных особенностей изготавливаемых изделий. Наиболее рациональными методами достижения точности сборки высокоточных изделий являются сборка с неполной взаимозаменяемостью и групповой взаимозаменяемостью (селективная сборка). Это связано с тем, что применение методов пригонки и регулировки приводит к значительному увеличению сложности изготовления и себестоимости изделий.

Кроме того, при изготовлении подобных изделий, в основном, в их конструкции отсутствует возможность предусмотреть использование пригонки и регулировки, в связи, с чем применяются производственные приемы достижения точности, связанные с доводочными работами, что негативно сказывается на длительности и стоимости сборочного цикла. Но применение метода неполной взаимозаменяемости и селективной сборки может привести к увеличению количества некомплектных деталей, а, следовательно, и к увеличению незавершенного производства, что также негативно может сказаться на себестоимости конечного изделия.

Именно поэтому необходимо проведения исследований по созданию подходов к проектированию рациональных технологических процессов (ТП) изготовления деталей, которые при последующей сборке обеспечат максимально возможное количество сборочных комплектов, что в свою очередь положительно скажется на снижении незавершенного производства.

Кроме того, на эксплуатационные характеристики конечного изделия влияют разработанные ТП изготовления его элементов (деталей). На рисунке 2 представлены этапы проектирования ТП механической обработки деталей и сборки изделий при традиционной последовательности разработки.

**Материалы и методы**

Как видно из приведенных последовательностей, традиционное проектирование ТП механической обработки и сборки носит субъективный характер и во многом зависит от личностных типовых подходов к решению поставленных задач.

Технолог не способен рассмотреть все возможные варианты изготовления деталей и сборки изделий и выбрать из них наиболее рациональные. Прежде всего, это связано с временными ограничениями и физиологическими особенностями, которые не позволяют человеку конкурировать с современной вычислительной техникой по быстродействию принятия решений и объему обрабатываемой информации.

Здесь стоит пояснить, что же следует понимать под рациональными ТП в данной работе. Рациональные ТП механической обработки – это такие ТП, которые обеспечивают требуемые точность и качество изготовления деталей и при этом обладают минимальной технологической себестоимостью.

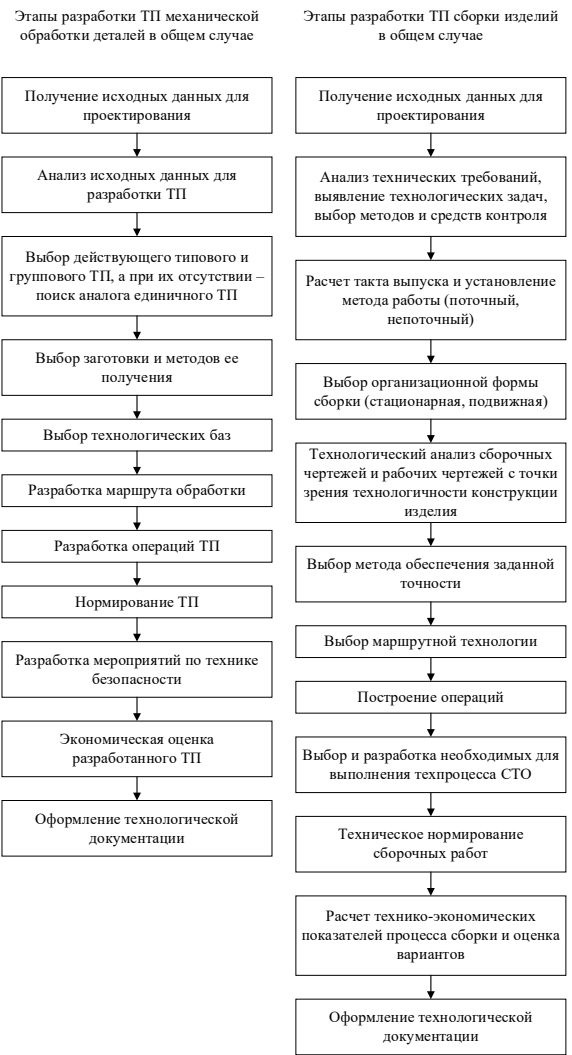


Рисунок 2 – Этапы разработки ТП механической обработки деталей и сборки изделий в общем случае

Технологическая себестоимость – это себестоимость ТП механической обработки деталей. Любая технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  складывается из нескольких параметров [2, 3].

$$C_{\text{тех}} = MЗ + ОТ + РСЭО,$$

где МЗ – материальные затраты, непосредственно связанные с производством продукции (в нашем случае с механической обработкой деталей).

К ним относятся:

- основные материалы, сырье, полуфабрикаты и т.п.;
- ОТ – расходы, связанные с оплатой труда основных производственных рабочих;
- РСЭО – это комплексный параметр, который включает в себя амортизацию оборудования, расход материалов, необходимых для ухода за оборудованием, заработная плата рабочих, обслуживающих данное технологическое оборудование, расходы на топливо и энергию для оборудования.

Влияние материальных затрат, непосредственно связанные с производством продукции, на технологическую себестоимость в данной работе рассмотрено не будет, т.к. на данный параметр в большей степени влияет себестоимость материала, из которого изготавливается изделие и способ получения исходной заготовки. Основной материал и материалы-заменители для изготовления изделия, как правило, строго регламентированы требованиями конструкторской документации. Способ получения исходной заготовки во многом зависит от конструктивных особенностей изготавливаемого изделия и технологических возможностей предприятия.

На два других параметра во многом оказывает влияние время реализации ТП (например, влияет на оплату труда производственных рабочих, расходы на топливо и энергию для оборудования и т.д.) и количество технологического оборудования, задействованного для реализации ТП [3–5]

$$t_{\text{шт.к}} = \frac{T_{\text{пз}}}{n + (t_{\text{от}} + t_{\text{вс}} + t_{\text{об}} + t_{\text{н}})},$$

где  $t_{\text{от}}$  – основное технологическое время;

$n$  – количество предметов труда в партии;

$T_{\text{пз}}$  – подготовительно-заключительное время;

$t_{\text{вс}}$  – вспомогательное время;

$t_{\text{об}}$  – время обслуживания рабочего места;

$T_{\text{н}}$  – время перерывов и отдыха.

Как видно из формулы, снизить временные затраты на реализацию ТП можно за счет уменьшения количества технологических операций внутри ТП и технологических переходов внутри технологических операций.

Количество технологического оборудования, задействованного для реализации ТП, может быть отражено таким параметром, как коэффициент однородности технологического оборудования ( $W_{\text{отд}}$ ) [2-5]. Данный коэффициент представляет собой отношение количества однородного технологического оборудования к общему количеству оборудования, задействованному при реализации ТП

$$W_{\text{отд}} = \frac{N_{\text{ото}}}{N_{\text{общ.}}}$$

Данные критерии: количество операций ТП изготовления деталей ( $W_{\text{оп}}$ ); общее количество технологических переходов для каждого из ТП изготовления деталей ( $W_{\text{пер}}$ ); однородность технологического оборудования ( $W_{\text{отд}}$ ) в дальнейшем будут применены для выбора рациональных ТП.

Кроме того, необходимо отметить, что при традиционном проектировании ТП механической обработки и сборки невозможен учет реального состояния производственной системы на момент изготовления деталей или сборки изделий. Это связано с тем, что ТП механической обработки или сборки проектируются на этапе ТПП.

Также стоит отметить, что при традиционном проектировании ТП механической обработки деталей отсутствует учет требований последующей сборки, а вопросы, связанные с точностью собираемого изделия, решаются в ходе проектирования ТП сборки. Это приводит к необходимости применения различных производственных приемов, например, доводочных работ, что негативно сказывается на времени изготовления и стоимости конечного изделия.

Также при рассмотрении вопроса проектирования ТП механической обработки деталей для высокоточных изделий необходимо изучить возможности современных систем автоматизированного проектирования ТП (САПР-ТП). Все существующие САПР-ТП можно условно разделить на три группы:

- многофункциональные среды для совместной разработки ТП;
- системы с элементами автоматического проектирования ТП;
- система автоматизированного планирования многономенклатурных ТП.

Отдельные представители данных групп представлены на рисунке 3, а анализ их преимуществ и недостатков сведен в таблицу 1 [4-10].

Данный анализ показывает, что уровень автоматизации большинства САПР-ТП остается крайне низким. Только САПР-ТП обеспечивает многовариантное проектирование технологических операций и ТП в автоматическом режиме с учетом реального состояния производственной системы. Однако во всех рассмотренных системах отсутствует учет требований сборки при проектировании технологических операций и ТП механической обработки деталей.

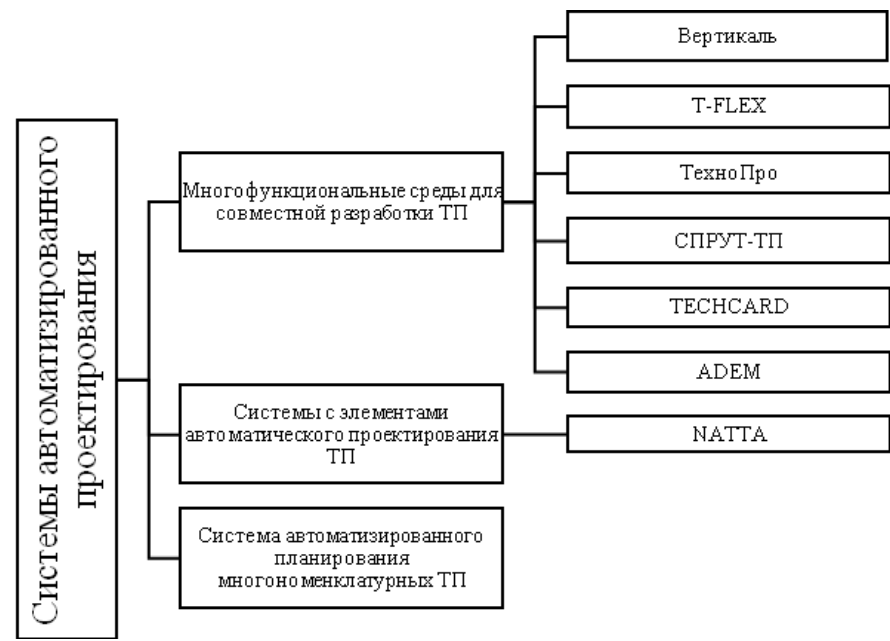


Рисунок 3 – Примеры отдельных представителей САПР-ТП по группам

Результаты и обсуждения

На основе выполненного анализа методов достижения точности (таблица 1) при сборке, этапов разработки ТП при традиционном проектировании и возможностей современных САПлТП можно сделать вывод, что необходимо проведение исследований по созданию подходов к проектированию рациональных ТП механической обработки деталей для высокоточных изделий, обеспечивающих выполнение требований последующей сборки и учитывающих реальное состояние производственной системы.

Таблица 1 – Анализ преимуществ и недостатков, отдельных САПР-ТП по группам

| Группа | САПР-ТП                                                         | Преимущества                                                                                           | Недостатки                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Вертикаль<br>T-FLEX<br>ТехноПро<br>СПРУТ-ТП<br>TECHCARD<br>ADEM | - обеспечение автоматизации работ со справочной документацией и базами данных оборудования и оснастки. | - отсутствие возможности проектирования ТП в автоматическом режиме;<br>- отсутствие учета реального состояния производственной системы;<br>- отсутствие учета требований сборки.                                                                                                      |
| 2      | NATTA                                                           | - возможность проектирования технологическими операциями и ТП в автоматическом режиме.                 | - сложное установление взаимосвязей между конструкторскими и технологическими элементами;<br>- отсутствие многовариантного проектирования технологических операций и ТП;<br>- отсутствие учета реального состояния производственной системы;<br>- отсутствие учета требований сборки. |

|   |        |                                                                                                                                                              |                                       |
|---|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 3 | САПлТП | - возможность многовариантного проектирования технологических операций и ТП в автоматическом режиме;<br>- учет реального состояния производственной системы. | - отсутствие учета требований сборки. |
|---|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|

Предлагается комплексный подход (комплекс проектных процедур), который основывается на установлении связи между технологической подготовкой механообрабатывающего и сборочного производств, с учетом ограничений, накладываемых требованиями сборки, и реально складывающейся производственной ситуации [11-19]. В общем виде связь представлена на рисунке 4.

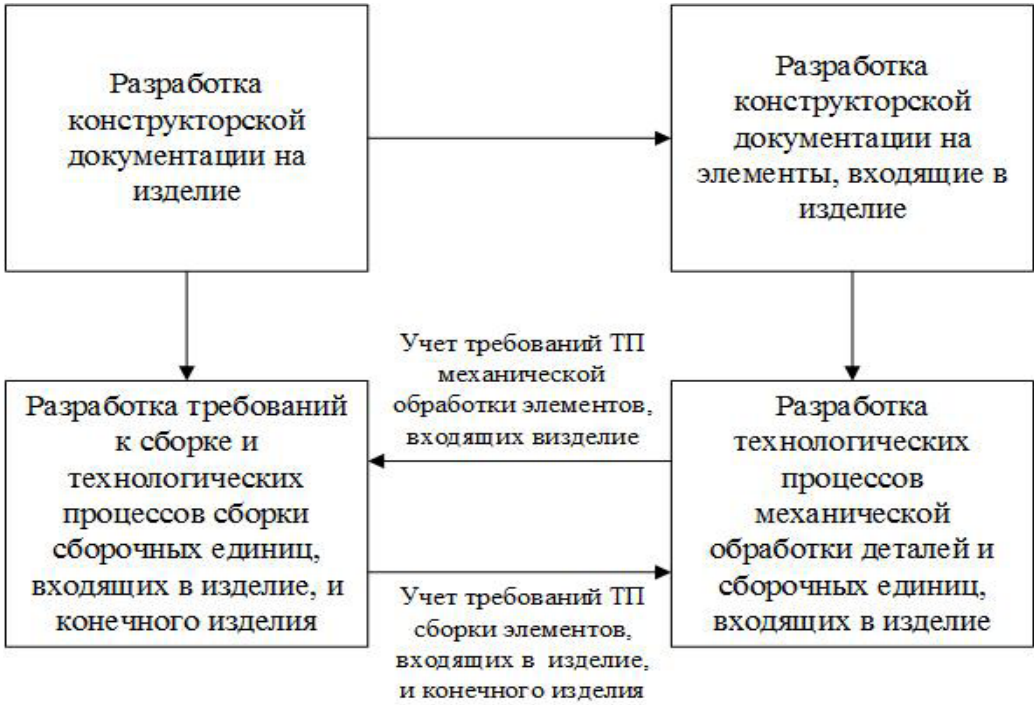


Рисунок 4 – Связь между технологической подготовкой механообрабатывающего и сборочного производств

На основе полученной связи сформирована структура системы учета требований к сборке при проектировании ТП механической обработки (СТСТПМ). Данная система позволяет в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать из множества ТП механической обработки деталей, полученных в САПлТП, рациональные варианты, учитывающие требования последующей сборки. Что, в свою очередь, позволяет снизить трудоемкость,

время изготовления и себестоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, сократить время и трудоемкость при ТПП.

На рисунке 5 нами обозначено место, которое занимает СТСТПМ в структуре САПЛТП.



Рисунок 5 – Структура САПЛТП и место, которое в ней занимает СТСТПМ

Структура СТСТПМ (в общем виде представлена на рисунке 6) включает в себя три укрупненных блока проектных процедур:

- анализ требований к сборке высокоточных изделий;
- анализ возможных ТП обработки деталей, входящих в высокоточные изделия;
- выбор рациональных ТП, обеспечивающих выполнение требований сборки.

Для каждого блока проектных процедур были сформированы этапы их реализации, представленные далее.



Рисунок 6 – Структура СТСТПМ, сформированная на основе связи между ТПП механообрабатывающего и сборочного производств

### Выводы

Проведенный анализ методов достижения точности при сборке, этапов разработки ТП при традиционном проектировании и возможностей современных САПЛТП показал, что необходимо проведение исследований по созданию подходов к проектированию рациональных ТП механической обработки деталей для высокоточных изделий, обеспечивающих выполнение требований последующей сборки и учитывающих реальное состояние производственной системы.

На основе установленной связи между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий сформирована структура системы учета требований к сборке при проектировании ТП механической обработки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Падун, Б. С. Взаимодействие процессов механического и сборочного производства // Приборостроение. – 2014. – №8. – С.12–15.
- 2 Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения : учебник. – М. : Машиностроение, 2005. – 736 с.
- 3 Суслов, А. Г., Дальский, А. М. Научные основы технологии машиностроения. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.
- 4 Аверченков, В. И., Казаков, Ю. М. Автоматизация проектирования технологических процессов: учебное пособие для вузов. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2012. – 228 с.
- 5 Базров, Б. М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.

6 Система автоматизированного проектирования технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ. – Режим доступа URL: <https://ascon.ru/products/420/review/> (дата обращения 29.01.2022).

7 Система ТехноПро – описание. – Режим доступа URL: <http://www.tehno.pro.com/abouttehno.pro/> (дата обращения 29.01.2022).

8 **Kasenov, A. Zh. Zhanbulatova, L. D., Aidarkhanov, D. A.** Applications in engineering // Science and Technology of Kazakhstan. – 2016. – No 3-4. – P. 75-81.

9 **Lee, H. C., Jhee, W. C., Park, H. S.** Generative CAPP through projective feature recognition. Computers and Industrial Engineering, 2007. 53 (2), 241–246.

10 T-FLEX Технология – программа для технологической подготовки производства и проектирования техпроцессов. – Режим доступа URL: <http://www.tflex.ru/products/tehnolog/tehnolog/> (дата обращения 29.01.2022).

11 **Бочкарев, П. Ю., Назарьев, А. В.** Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий машиностроения и приборостроения // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – Т. 1. – № 12. – С. 28–34.

12 **Назарьев, А. В., Бочкарев П. Ю.** Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 5. – С. 195–201.

13 **Назарьев, А. В., Бочкарев П. Ю.** Организация эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий авиационно-космической техники // Вестник РГТУ имени П. А. Соловьева. – 2017. – № 1 (40). – С. 227–235.

14 **Назарьев, А. В., Бочкарев П. Ю.** Технологическое обеспечение изготовления высокоточных сборочных узлов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2017. – № 3 (41). – С. 84–89.

15 **Назарьев, А. В., Бочкарев П. Ю.** Формирование структуры комплекса проектных процедур для автоматизации технологической подготовки производства высокоточных изделий // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – № 9 (204). – С. 128–132.

16 **Назарьев, А. В., Бочкарев, П. Ю., Гумаров, Г. С.** Модель подсистемы проектирования технологических операций механообработки // Наука и техника Казахстана. – 2021. – № 4. – С. 30-39. – DOI 10.48081/AYHS4279.

17 **Назарьев, А. В., Бочкарев, П. Ю., Гумаров, Г. С.** Развитие требований к сборке звеньев высокоточных изделий // Наука и техника Казахстана. – 2021. – № 3. – С. 18-26. – DOI 10.48081/DWZV1848

18 **Бочкарев, П. Ю., Королев, Р. Д., Бокова, Л. Г.** Формирование исходных данных для оценки производственной технологичности деталей // Справочник. Инженерный журнал. – 2022. – № 9(306). – С. 32–38. – DOI 10.14489/hb.2022.09.pp.032-038.

19 **Бочкарев, П. Ю., Митин, С. Г., Назарьев, А. В., Гумаров, Г. С.** Формирование организационных уровней системы планирования технологических процессов // Наука и техника Казахстана. – 2022. – № 2. – С. 26-40. – DOI 10.48081/EVLY2870.

## REFERENCES

1 **Padun, B. S.** Vzaimodeystviye protsessov mekhanicheskogo i sborochnogo proizvodstva [Interaction of processes of mechanical and assembly production] // Instrumentation. – 2014. – No. 8. – pp. 12–15.

2 **Bazrov, B. M.** Osnovy tekhnologii mashinostroyeniya [Fundamentals of mechanical engineering technology]: textbook. – Moscow : Mashinostroenie, 2005. – 736 p.

3 **Suslov, A. G., Dalsky, A. M.** Nauchnyye osnovy tekhnologii mashinostroyeniya [Scientific foundations of engineering technology]. – M. : Mashinostroenie, 2002. – 684 p.

4 **Averchenkov, V. I., Kazakov, Yu. M.** Avtomatizatsiya proyektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov [Automation of the design of technological processes]: a textbook for universities. – Bryansk: Bryansk State Technical University, 2012. – 228 p.

5 **Bazrov, B. M.** Modul'naya tekhnologiya v mashinostroyenii [Modular technology in mechanical engineering]. – Moscow : Mashinostroenie, 2001. – 368 p.

6 Sistema avtomatizirovannogo proyektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov VERTIKAL' [Computer-aided design of technological processes VERTICAL]. – Access mode URL: <https://ascon.ru/products/420/review/> (accessed 29.01.2022).

7 Sistema TekhnoPro – opisaniye [TechnoPro system – description]. – Access mode URL: <http://www.tehno.pro.com/abouttehno.pro/> (accessed 29.01.2022).

8 **Kasenov, A. Zh. Zhanbulatova, L. D., Aidarkhanov, D. A.** Applications in engineering // Science and Technology of Kazakhstan. – 2016. – No 3-4. – P. 75–81.

9 **Lee, H. C., Jhee, W. C., Park, H. S.** Generative CAPP through projective feature recognition. Computers and Industrial Engineering, 2007. 53 (2), 241–246.

10 T-FLEX Tekhnologiya – programma dlya tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva i proyektirovaniya tekhnoprotsessov [T-FLEX Technology – a program for technological preparation of production and design of technical processes]. – Access mode URL: <http://www.tflex.ru/products/tehnolog/tehnolog/> (accessed 29.01.2022).

11 **Bochkarev, P. Yu., Nazaryev, A. V.** Obespecheniye effektivnogo vypolneniya sborochnykh operatsiy vysokotochnykh izdeliy mashinostroyeniya i priborostroyeniya [Ensuring the effective performance of assembly operations of high-precision products of mechanical engineering and instrumentation] // Science-intensive technologies in mechanical engineering. – 2016. – Vol. 1. – № 12. – P. 28–34.

12 **Nazaryev, A. V., Bochkarev P. Yu.** Obespecheniye effektivnogo vypolneniya sborochnykh operatsiy vysokotochnykh izdeliy [Ensuring the effective performance of assembly operations of high-precision products] // Assembly in mechanical engineering, instrument making. – 2017. – № 5. – P. 195–201.

13 **Nazaryev, A. V., Bochkarev P. Yu.** Organizatsiya effektivnogo vypolneniya sborochnykh operatsiy vysokotochnykh izdeliy aviatsionno-kosmicheskoy tekhniki [Organization of the effective performance of assembly operations of high-precision products of aerospace equipment] // Vestnik RGATU named after P. A. Solovyov. – 2017. – № 1 (40). – P. 227–235.

14 Nazaryev, A. V., Bochkarev P. Yu. Tekhnologicheskoye obespecheniye izgotovleniya vysokotochnykh sborochnykh uzlov [Technological support for the manufacture of high-precision assembly units] // Vector of Science of Togliatti State University. – 2017. – № 3 (41). – P. 84–89.

15 **Nazaryev, A. V., Bochkarev P. Yu.** Formirovaniye struktury kompleksa proyektnykh protsedur dlya avtomatizatsii tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva vysokotochnykh izdeliy [Formation of the structure of the complex of design procedures for automating the technological preparation of the production of high-precision products]// Bulletin of the Volgograd State Technical University. – 2017. – № 9 (204). – P. 128–132.

16 **Nazaryev, A. V., Bochkarev, P. Yu., Gumarov, G. S.** Model' podsystemy proyektirovaniya tekhnologicheskikh operatsiy mekhanooobrabotki [Model of the subsystem for designing technological operations of machining] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2021. – № 4. – P. 30–39. – DOI 10.48081/AYHS4279.

17 **Nazaryev, A. V., Bochkarev, P. Yu., Gumarov, G. S.** Razvitiye trebovaniy k sborke zven'ye vysokotochnykh izdeliy [Development of requirements for the assembly of links of high-precision products] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2021. – № 3. – P. 18–26. – DOI 10.48081/DWZV1848.

18 Bochkarev, P. Yu., Korolev, R. D., Bokova, L. G. Formirovaniye iskhodnykh dannykh dlya otsenki proizvodstvennoy tekhnologichnosti detaley [Formation of initial data for assessing the production manufacturability of parts] // Handbook. Engineering Journal. – 2022. – № 9 (306). – P. 32–38. – DOI 10.14489/hb.2022.09.pp.032-038.

19 Bochkarev, P. Yu., Mitin, S. G., Nazaryev, A. V., Gumarov, G. S. Formirovaniye organizatsionnykh urovney sistemy planirovaniya tekhnologicheskikh protsessov [Formation of organizational levels of the planning system of technological processes] // Science and technology of Kazakhstan. – 2022. – № 2. – P. 26–40. – DOI 10.48081/EVLY2870.

Материал поступил в редакцию в 02.02.23

**Г. С. Гумаров<sup>1\*</sup>, С. Г. Митин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан мемлекеттік университеті, Орал, Қазақстан Республикасы

<sup>2</sup>Ю. А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Саратов, Ресей Федерациясы  
Материал 02.02.23 баспаға түсті.

### АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖОБАЛАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, КӨП МЕНКЛАТУРАЛЫ МЕХАНИКАЛЫҚ ӨНДЕУ ӨНДІРІСТЕРІН ӨЗІРЛЕУ

Өндірістің дәстүрлі әдістерімен өнімнің берілген дәлдік параметрлеріне технологиялық жабдықтың күрделенуі және ақпараттық және өміше технологияларын қолдану арқылы қол жеткізіледі. Дегенмен, қазіргі уақытта жоғары дәлдіктегі өнімдердің функционалдық дәлдігі өңдеу және құрастыру

жабдықтарының дәлдігінен дерлік асып түсті. Бұл жоғары дәлдіктегі өнімдердің берілген пайдалану сипаттамаларына қол жеткізу проблемасына әкелді.

Сондықтан бөліктерді өндірудің ұтымды технологиялық процестерін жобалау тәсілдерін құру бойынша зерттеулер жүргізу қажет, олар кейінгі құрастыру кезінде құрастыру жиынтықтарының ең көп санын қамтамасыз етеді, бұл өз кезегінде аяқталмаған өндірістің төмендеуіне оң әсер етеді.

Заманауи автоматтандырылған жобалау жүйелерінің мүмкіндіктерін пайдалана отырып, дәлдігі жоғары өнімдерге арналған Механикалық өңдеу өндірістерінің көпмәдениетті технологиялық процестерін жобалау ұсынылады.

Алынған байланыс негізінде құрастыруға қойылатын талаптарды ескере отырып, автоматтандырылған жобалау жүйесінің құрылымы қалыптасқан өндірістік жағдайға байланысты механикалық өңдеудің көптеген технологиялық процестерінен ұтымды нұсқаларды таңдау керек. Бұл өз кезегінде еңбек сыйымдылығын, өндіріс уақыты мен құнын төмендетуге, жоғары дәлдіктегі өнімдердің сапасы мен дәлдігін арттыруға, өндірісті технологиялық дайындау кезінде Уақыт пен еңбек сыйымдылығын азайтуға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: технологиялық процесс, әзірлеу, автоматтандырылған жобалау жүйесі, еңбек сыйымдылығы, өзіндік құны.

**\*G. S. Gumarov<sup>1</sup>, S. G. Mitin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>West Kazakhstan state University named after M. Utemisov, Uralsk, Kazakhstan of Republic

<sup>2</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

### DEVELOPMENT OF MULTIPLE MECHANCLATURE MACHINING PRODUCTIONS USING AUTOMATED DESIGN SYSTEMS

With traditional manufacturing methods, the specified accuracy parameters of products are achieved by the complication of technological equipment and the use of information and measurement technologies. However, at present, the functional accuracy of high-precision products has surpassed the accuracy of processing and assembly equipment by almost an order of magnitude. This led to the problem of achieving the specified performance characteristics of high-precision products.

That is why it is necessary to conduct research on the creation of approaches to the design of rational technological processes for the manufacture of parts, which, during subsequent assembly, will provide the maximum possible number of assembly kits, which in turn will have a positive impact on reducing work-in-progress.

It is proposed to design multi-nomenclature technological processes of machining industries for high-precision products using the capabilities of modern computer-aided design systems.

Based on the obtained connection, the structure of the computer-aided design system is formed, taking into account the assembly requirements, depending on the current production situation, rational options are chosen from a variety of

*technological processes of mechanical processing. This, in turn, reduces the labor intensity, manufacturing time and cost, improves the quality and accuracy of high-precision products, reduces the time and labor intensity during technological preparation of production.*

*Keywords: technological process, development, computer-aided design system, labor intensity, cost.*

МРНТИ 55.19.13; 87.53.13

DOI

**\*О. Т. Каурбай<sup>1</sup>, А. В. Маздубай<sup>2</sup>, С. И. Деревягин<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ**

После сравнительного анализа различных оборудований переработки твёрдых отходов, конструкций инструментов, наблюдение за их рабочими процессами привело к выводу о том, что они имеют низкий уровень ресурсосбережения и изнашиваются нерационально. В процессе литературного обзора был выявлен достаточно высокий спрос на разборный инструмент для оборудования по переработке твёрдых отходов. Разработан рабочий проект разборного инструмента для оборудования по переработке твёрдых отходов. Затем была разработана методика экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивных параметров инструмента для оборудования по переработке твёрдых отходов, изготовлены и испытаны 3д модели инструментов для оборудования по переработке твёрдых отходов в различных вариациях. Испытания показали устойчивую работу разборного инструмента при переработке металлической стружки стали 45. В данной статье представлен рабочий проект разборного инструмента для оборудования по переработке твёрдых отходов и разработанный алгоритм расчета конструктивных параметров инструмента, который внесён в программу проектирования инструмента для оборудования по переработке твёрдых отходов в Microsoft Office Excel. Эта программа позволяет сконструировать модель инструмента в соответствии с конструктивными параметрами, техническими характеристиками оборудования, потребностями и возможностями деятельности.

Ключевые слова: переработка ТБО, утилизация, ТБО, твёрдые отходы, инструмент.

#### **Введение**

В мире предлагаются и разрабатываются всевозможные стратегии вторичной переработки. В реальное время большой прогресс достигнут в механической и химической переработке, но они отличаются по степени распространенности, по собственным плюсам и дефектам. Механическая переработка с поддержкой надлежащих установок гарантирует несложное вторичное внедрение тех же самых материалов с учетом кое-каких утрат в их свойствах.

В Казахстане скопилось столько ТБО, что с 2019 года власти не разрешили захоронение на мусорных полигонах пластмассы, бумаги и стекла без подготовительной сортировки. Данной мерой министерство энергетики пробует увеличить степень переработки отходов и ввести отдельный сбор мусора населения.

Каждый год в Казахстане появляется 5-6 млн. тонн ТБО. В ближайшие годы стоит ждать наращивания размеров образования ТБО за счет увеличения номенклатуры продовольственных и непродовольственных продуктов, ассортимента и обличов упаковки для них, подъема уровня жизни населения.

По итогам проведенных исследований ТОО «Оператор РОП» определен морфологический состав ТБО [1]:

- 1) Пищевые отходы – 31.1 %;
- 2) Макулатура – 25.2 %;
- 3) Полимер (пластмасса) – 11.2 %;
- 4) Стекло – 6.1 %;
- 5) Металлы – 3.4 %;
- 6) Прочие – 23 %.

В работе [2] проанализированы применяемые устройства, оборудования для дробления твёрдых отходов и существующие конструкции инструментов для переработки ТБО.

В качестве основной для исследования была выбрана конструкция двухвального shreddера серии DB производства ООО «ИНФЕЛКО» [3].

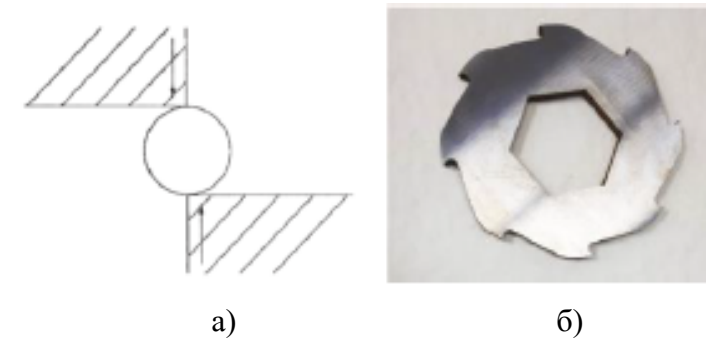


а) б)

Рисунок 1 – Двухвальный shreddер DB-5: а – вид спереди; б – вид сзади

#### Материалы и методы

Так как, принцип резки осуществляется под углом  $90^\circ$ , углы между поверхностями лезвий и горизонталью, вертикалью – прямые (рисунок 2, а) [4].

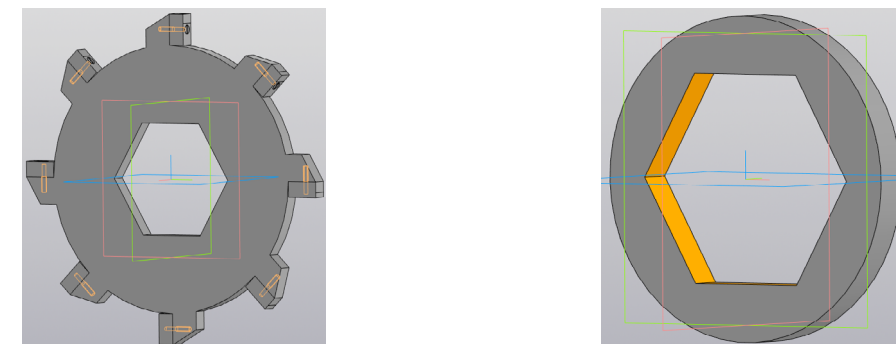


а) б)  
Рисунок 2 – Крюкообразный нож для shreddера

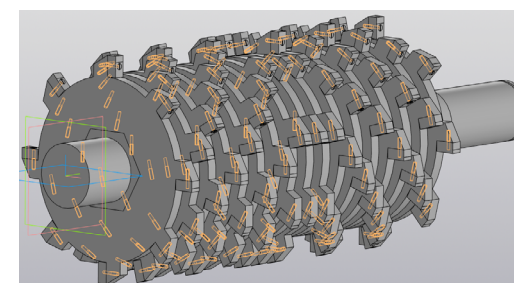
а - принцип резки; б - распространенный крюкообразный

Для разработки ножа был взят за основу крюкообразный нож с 6-ти угольным посадочным отверстием (рисунок 2, б).

Лезвия имеют твёрдость 58HRC, высокую износостойчивость кромок.



а) б)



в)

Рисунок 3 – 3D модели ножа

а - нож со сменными лезвиями; б - кольцо; в - ножи и кольца на роторе;

Между ножами устанавливаются дистанционные кольца меньшего диаметра, которые при сборке двух роторов создают определенное перекрытие между ножами ротора (рисунок 3, б).

Благодаря многогранному сердечнику ротора ножи крепятся в определенном порядке, который позволяет каждому последующему ножу в наборе иметь радиальное угловое смещение относительно предыдущего. Что обеспечивает более надежную фиксацию и необходимый размер дробления (рисунок 3, в).

Результаты и обсуждение

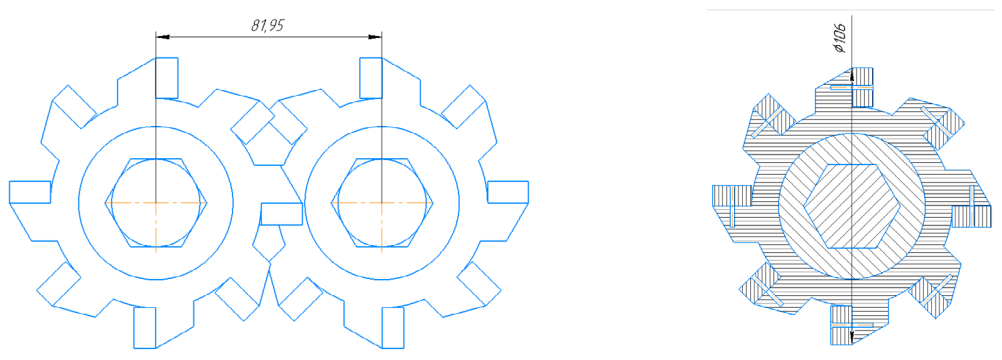
Программа проектирования инструмента для оборудования по переработке твёрдых отходов представлена на рисунке 4, где числовые ячейки с толстыми внешними границами – вводные данные; прочие числовые ячейки имеют функцию

|                                    |          |    |  |                                      |   |             |
|------------------------------------|----------|----|--|--------------------------------------|---|-------------|
| Исходные данные                    |          |    |  | Высота лезвия                        |   | 14,8 мм     |
| Расстояние между центрами валов    | 81,95    | мм |  | Ширина лезвия                        |   | 5,0 мм      |
| Диаметр вписанного круга           | 32       | мм |  | Толщина лезвия                       |   | 8,000235 мм |
| Длина грани 6-угольника            | 18,47521 | мм |  | Диаметр дистанционного кольца        |   | 55,9 мм     |
| Расчет параметров инструмента:     |          |    |  | Ширина дистанционного кольца         |   | 6,0 мм      |
| Наружный диаметр корпуса ножа      | 106,0    | мм |  | Максимальный диаметр головки винта   |   | 3,0 мм      |
| Внутренний диаметр корпуса ножа    | 76,4     | мм |  | Диаметр головки винта                | 3 | мм          |
| Мин. Ширина корпуса ножа           | 5,0      | мм |  | Максимальная высота головки винта    |   | 0,96 мм     |
| Ширина корпуса ножа                | 5        | мм |  | Диаметр винта                        |   | M1.6 мм     |
| Остаточная длина после винта       | 4,618803 | мм |  | Длина резьбы винта                   |   | 9 мм        |
| Длина ребра крепления (гипотенуза) | 16       | мм |  | Максимальная длина винта             |   | 17,00023 мм |
| Ребро крепления (катет)            | 8        | мм |  | Длина винта                          |   | 14 мм       |
| Длина крепления                    | 13,85641 | мм |  | Глубина резьбового отверстия корпуса |   | 7,999765 мм |

Рисунок 4 – Программа проектирования инструмента для оборудования по переработке твёрдых отходов

Исходные данные:

- расстояние между центрами валов  $a$  ;
- посадочное отверстие ножа и кольца (диаметр вписанного круга)  $d_n$  ;
- длина грани 6-гранника (посадочного отверстия)  $l_{гр}$  .



а) б)  
Рисунок 5 – Расчет наружного диаметра корпуса ножа

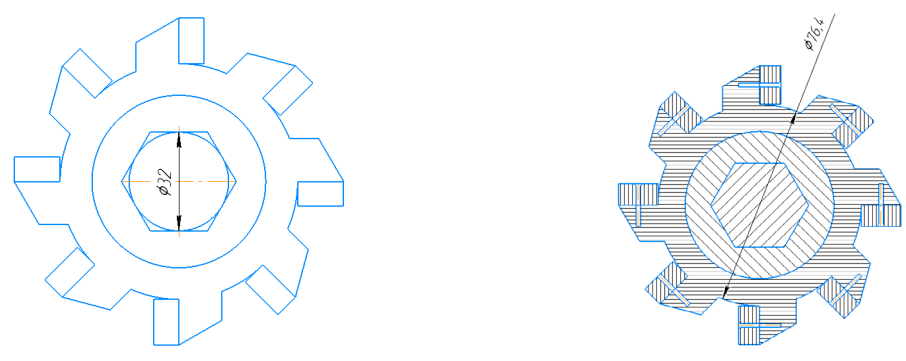
а - расстояние между центрами валов; б - наружный диаметр корпуса ножа

Расчет наружного диаметра корпуса ножа  $D_n$

$$\frac{a}{D_n} \approx 0,773$$

Отсюда

$$D_n \approx \frac{a}{0,773}$$



а) б)  
Рисунок 6 – Расчет внутреннего диаметра корпуса ножа

а - диаметр вписанного круга; б - внутренний диаметр корпуса ножа

Расчет внутреннего диаметра корпуса ножа  $D_s$

$$\frac{d_n}{D_e} \approx 0,4186$$

Отсюда

$$D_e \approx \frac{d_n}{0,4186}$$

Расчет минимальной ширины корпуса ножа  $b_{min}$

$$\frac{b_{min}}{D_n} \approx 0,047$$

Отсюда

$$b_{min} \approx D_n \times 0,047$$

Ширина корпуса ножа подбирается с учетом минимальной ширины корпуса ножа.

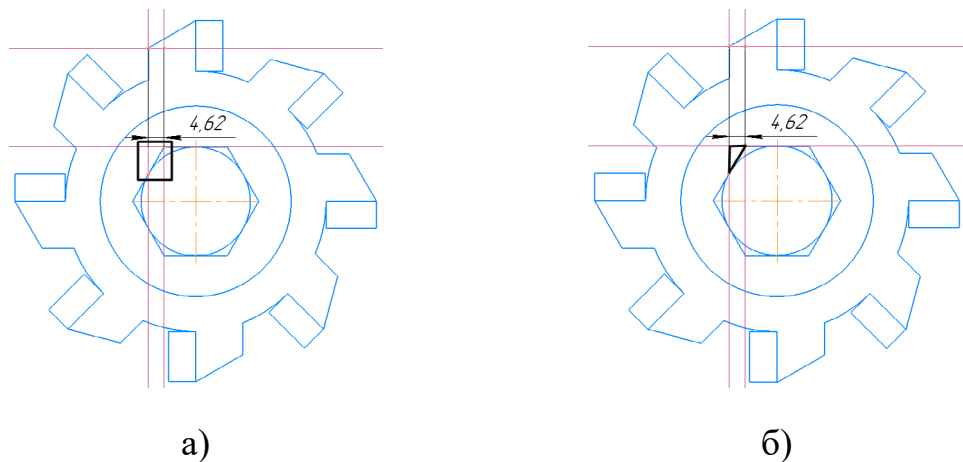


Рисунок 7 - Расчет остаточной длины после винта

а - расчет; б - треугольник расчета остаточной длины после винта

Расчет остаточной длины после винта  $l_{ост}$

$$l_{ост} = \sqrt{\left(\frac{l_{р.к.}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_n}{4}\right)^2}$$

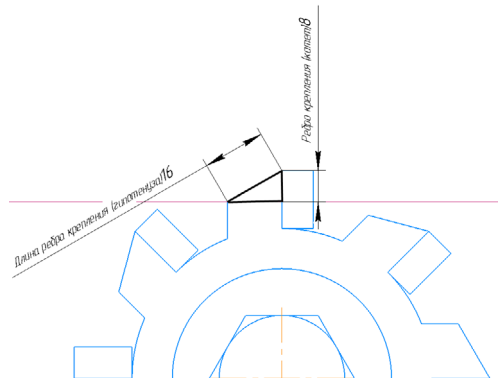


Рисунок 8 – Треугольник расчета длины крепления

Расчет длины крепления  $l_k$

$$l_k = \sqrt{l_{р.к.}^2 - l_{реб}^2}$$

где  $l_{р.к.}$  - длина ребра крепления (гипотенуза);  
 $l_{реб}$  - ребро крепления (катет).

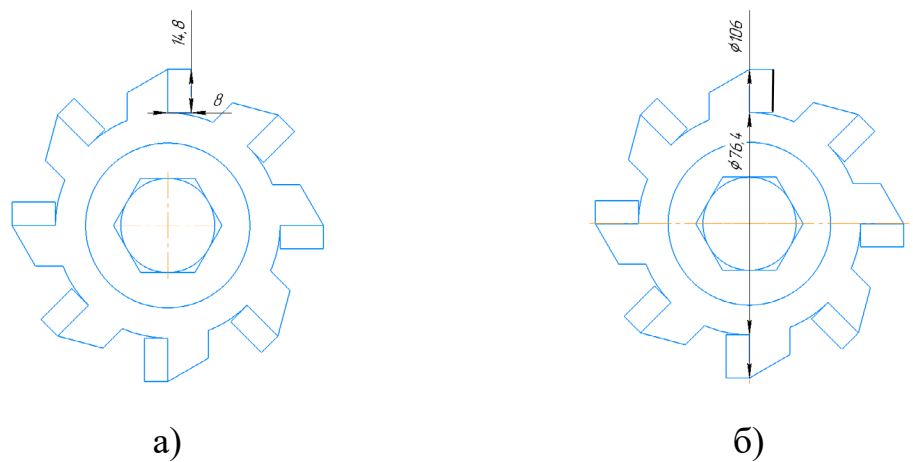


Рисунок 9 – Расчет высоты лезвия

а - габаритные размеры лезвия; б - расчетные

Расчет высоты лезвия  $h_n$

$$h_n = \frac{D_n}{2} - \frac{D_s}{2}$$

Расчет ширины лезвия  $b_n$

$$b_n = b_n$$

где  $b_n$  - ширина ножа.

Расчет толщины лезвия  $s_n$

$$\frac{l_k}{s_n} \approx 1,732$$

Отсюда

$$s_n \approx \frac{l_k}{1,732}$$

где  $l_k$  - длина крепления.

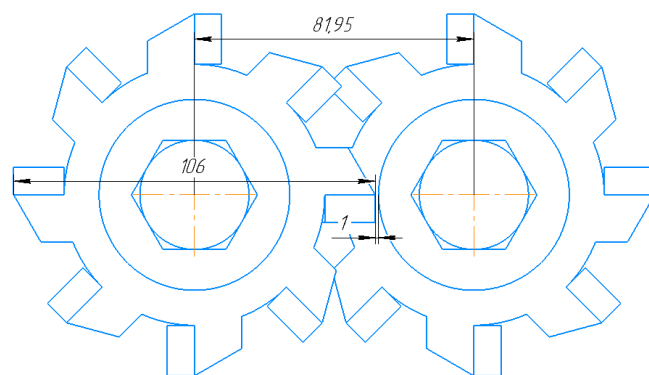


Рисунок 10 – Расчет диаметра дистанционного кольца

Расчет диаметра дистанционного кольца  $D_k$

$$D_k = (a - \frac{D_n}{2} - 1) \times 2$$

Расчет ширины дистанционного кольца  $b_k$

$$b_k = b_n + 1$$

Диаметр головки винта подбирается с учетом максимального диаметра головки винта и ГОСТ 17475-80 (Винты с потайной головкой классов точности А и В). Максимальная высота головки винта подбирается из ГОСТ 17475-80 (Винты с потайной головкой классов точности А и В) в соответствии с выбранным диаметром винта. Диаметр винта подбирается из ГОСТ 17475-80 (Винты с потайной головкой классов точности А и В) в соответствии с выбранной максимальной высотой головки винта. Длина резьбы винта подбирается из ГОСТ 17475-80 (Винты с потайной головкой классов точности А и В) в соответствии с выбранным диаметром винта.

Расчет максимальной длины винта  $l_{\epsilon}^{\max}$

$$l_{\epsilon}^{\max} = s_n + l_{рез}$$

где  $l_{рез}$  - длина резьбы винта.

Длина винта подбирается с учетом максимальной длины винта и из ГОСТ 17475-80 (Винты с потайной головкой классов точности А и В) в соответствии с выбранным диаметром винта.

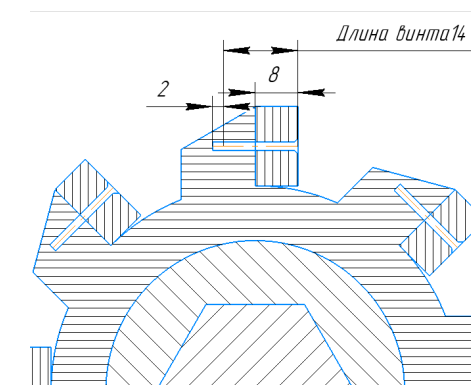


Рисунок 11 – Расчет глубины резьбового отверстия корпуса

Расчет глубины резьбового отверстия корпуса  $h_p$

$$h_p = l_{\epsilon} - s_n + 2$$

где  $l_{\epsilon}$  - длина винта.

### Выводы

После разработки модели инструмента, появилась проблема проектирования инструментов в зависимости от конструктивных параметров и технических характеристик оборудования. Для решения этой проблемы была создана

программа проектирования инструмента для оборудования по переработке твёрдых отходов в Microsoft Office Excel. Перед расчетом в программе необходимо знать следующие исходные данные оборудования:

- расстояние между центрами валов;
- посадочное отверстие ножа и кольца (диаметр вписанного круга);
- длина грани 6-гранника (посадочного отверстия).

Далее система рассчитывает все конструктивные параметры и выдает оптимальные конструктивные характеристики. Определенные параметры пользователю необходимо указать с учетом данных, предоставленных системой, они – числовые ячейки с толстыми внешними границами. А прочие числовые ячейки – функций.

Таким образом, программа позволяет сконструировать оптимальные модели инструментов для разных размеров оборудования по переработке отходов, подстраивая свои параметры под любые потребности и возможности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Сбор и переработка отходов упаковки // АО «Жасыл даму»: [сайт]. – 2021. – URL: <https://recycle.kz/ru/sbori> (дата обращения: 08.02.2023).
- 2 **Каирбай, О. Т.** Анализ конструкций инструментов для переработки ТБО / О. Т. Каирбай // Международная научно-практическая конференция «XIV Торайгыровские чтения». – Павлодар, 2022. – С. 306–313.
- 3 ООО «ИНФЕЛКО»: официальный сайт. – Челябинск. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://infelko.ru/> (дата обращения: 08.02.2023).
- 4 Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под. ред. Заиков Г. Е. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под. ред. Г. Е. Заикова ; Профессия. – Санкт-Петербург : Изд-во Профессия, 2006. – 400 с. – ISBN 5-93913-116-6.
- 5 Информация о сокращении, переработке и вторичном использовании отходов // Электронное правительство Республики Казахстан [сайт]. – 2023. – URL: [https://egov.kz/cms/ru/articles/ecology/waste\\_reduction\\_recycling\\_and\\_reuse](https://egov.kz/cms/ru/articles/ecology/waste_reduction_recycling_and_reuse) (дата обращения: 08.02.2023).
- 6 Ножи для роторных shredderov и дробилок // Samaks : [сайт]. – 2021. – URL: <https://samaks.ru/nozhi-dlya-rotornyh-shrederov-i-drobilok.html> (дата обращения: 08.02.2023).
- 7 Design of a Plastic Shredding Machine to Obtain Small Plastic Waste / A. D. Witman, C. M. Jason, M. C. Brian, N. T. Luis // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2021. – Vol. 12, №6. – P. 478-483.
- 8 **Дьяконов, О. М.** Исследование физико-химических и механических свойств стальной и чугуновой стружки / О. М. Дьяконов // Литье и металлургия. – 2009. №4 (53). – С. 161–173.
- 9 Под ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р. К. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с.

10 Виды стружек // ООО «ВТ-МЕТАЛЛ»: [сайт]. – 2022. – URL: <https://vt-metall.ru/articles/882-vidy-struzhek> (дата обращения: 08.02.2023).

#### REFERENCES

- 1 Sbor i pererabotka othodov upakovki [Collection and recycling of packaging waste] // JSC «Jasil damu»: [website]. – 2021. – URL: <https://recycle.kz/ru/sbori> (date of application: 08.02.2023).
  - 2 Kairbay, O. T. Analiz konstrukcii instrumentov dlya pererabotki TBO [Analysis of tool designs for MSW recycling] / O. T. Kairbay // Mejdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «XIV Toraigirovskie chteniya». – Pavlodar, 2022. – P. 306–313.
  - 3 «INFELKO» LLC: official website. – Chelyabinsk. – Updated during the day. – URL: <https://infelko.ru/> (date of application: 08.02.2023).
  - 4 F. La Mantiya (red.); per. s angl. pod. red. Zaikov G. E. Vtorichnaya pererabotka plastmass [Recycling of plastics] / F. La Mantiya (red.); per. s angl. pod. red. G. E. Zaikova ; Professiya. – Saint-Petersburg : Professiya publisher, 2006. – 400 p. – ISBN 5-93913-116-6.
  - 5 Information on waste reduction, recycling and reuse // Electronic government of the Republic of Kazakhstan [website]. – 2023. – URL: [https://egov.kz/cms/ru/articles/ecology/waste\\_reduction\\_recycling\\_and\\_reuse](https://egov.kz/cms/ru/articles/ecology/waste_reduction_recycling_and_reuse) (date of application: 08.02.2023).
  - 6 Noji dlya rotnih shredderov i drobilok [Knives for rotary shredders and crushers] // Samaks : [website]. – 2021. – URL: <https://samaks.ru/nozhi-dlya-rotornyh-shrederov-i-drobilok.html> (date of application: 08.02.2023).
  - 7 Design of a Plastic Shredding Machine to Obtain Small Plastic Waste / A. D. Witman, C. M. Jason, M. C. Brian, N. T. Luis // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2021. – Vol. 12, № 6. – P. 478–483.
  - 8 **Dyakonov, O. M.** Issledovanie fiziko-himicheskikh i mehanicheskikh svoystv stalnoi i chugunnoi strujki [Investigation of physico-chemical and mechanical properties of steel and cast iron shavings] / O. M. Dyakonov // Casting and metallurgy. – 2009. № 4 (53). – P. 161–173.
  - 9 Pod red. Kosilovoi A. G. i Mescheryakova R. K. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelya [Handbook of a machine-building technologist]. In 2 t. T. 2. / Pod red. A. G. Kosilovoi i R. K. Mescheryakova. – M. : Mashinostroenie, 1986. – 496 p.
  - 10 Vidi strujek [Types of shavings] // «VT-METALL» LLC: [website]. – 2022. – URL: <https://vt-metall.ru/articles/882-vidy-struzhek> (date of application: 08.02.2023).
- Материал поступил в редакцию 02.02.23

**\*О. Т. Каурбай<sup>1</sup>, А. В. Маздубай<sup>2</sup>, С. И. Деревягин<sup>3</sup>**

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға түсті 02.02.23

**ҚАТТЫ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ҚАЙТА ӨңДЕУ ЖАБДЫҒЫНА  
АРНАЛҒАН ҚҰРАЛДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ӘЗІРЛЕУ**

Қатты қалдықтарды қайта өңдеудің әртүрлі жабдықтарын, құрал-саймандардың конструкцияларын салыстырмалы талдаудан кейін олардың жұмыс процестерін бақылау олардың ресурс үнемдеу деңгейі төмен және ұтымды тозбайды деген қорытындыға келді. Әдеби шолу барысында қатты тұрмыстық қалдықтарды қайта өңдеу жабдықтарына арналған жиналмалы құралға сұраныс айтарлықтай жоғары болды. Қатты қалдықтарды қайта өңдеу жабдығына арналған жиналмалы құралдың жұмыс жобасы әзірленді. Содан кейін қатты тұрмыстық қалдықтарды қайта өңдеу жабдықтары үшін құралдың оңтайлы құрылымдық параметрлерін анықтау үшін эксперименттік зерттеу әдістемесі жасалды, әр түрлі вариацияларда қатты тұрмыстық қалдықтарды қайта өңдеу жабдықтарына арналған құралдардың 3D модельдері жасалды және сыналды. Сынақтар 45 болаттан жасалған металл жоңқасын қайта өңдеу кезінде жиналмалы құралдың тұрақты жұмысын көрсетті. Бұл мақалада қатты қалдықтарды қайта өңдеуге арналған жабдыққа арналған жиналмалы құралдың жұмыс жобасы және Microsoft Office Excel-де қатты қалдықтарды қайта өңдеуге арналған жабдықты жобалау бағдарламасына енгізілген құралдың дизайн параметрлерін есептеу алгоритмі ұсынылған. Бұл бағдарлама құралдың моделін дизайн параметрлеріне, жабдықтың техникалық сипаттамаларына, қызметтің қажеттіліктері мен мүмкіндіктеріне сәйкес жасауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: ҚТҚ өңдеу, кәдеге жарату, ҚТҚ, қатты қалдықтар, құрал.

**O. T. Kairbay\*, A. V. Mazdubay, S. I. Derevyagin**

Toraighyrov university, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 02.02.23

**DESIGN DEVELOPMENT OF A TOOL FOR SOLID  
WASTE PROCESSING EQUIPMENT**

After a comparative analysis of various solid waste processing equipment, tool designs, monitoring of their work processes led to the conclusion that they have a low level of resource conservation and do not wear out rationally. In the course of the literature review, a sufficiently high demand for a collapsible tool for solid waste processing equipment was revealed. A working draft of a collapsible tool for solid waste processing equipment has been developed. Then a method of experimental research was developed to determine the optimal design parameters of a tool for solid waste processing equipment, 3D models of tools for solid waste processing equipment in various variations were manufactured and tested. Tests have shown the stable operation of the collapsible tool during the processing of metal shavings of steel 45. This article presents a working draft of a collapsible tool for solid waste processing equipment and a developed algorithm for calculating the design parameters of the tool, which is included in the tool design program for solid waste processing equipment in Microsoft Office Excel. This program allows you to design a tool model in accordance with the design parameters, technical characteristics of the equipment, needs and capabilities of the activity.

Keywords: MSW recycling, utilization, MSW, solid waste, tool.

МРНТИ 53.31.21

DOI xxxxxxxx

**Д. А. Есенгалиев<sup>1</sup>, \*Е. Көбеген<sup>2</sup>, Б. С. Келаманов<sup>3</sup>**

Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,  
Республика Казахстан, г. Актобе

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО  
ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМОВОЙ РУДЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УГЛЯ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУБАРКОЛЬ**

*Накопленные к настоящему времени данные о термодинамике и кинетике восстановления твердых оксидов металлов углеродсодержащими материалами свидетельствуют о чрезвычайной сложности этого процесса. Процесс восстановления является совокупностью многих взаимосвязанных стадий, в зависимости от свойств вещества и условий (давление, температура, концентрации газов и конденсированных растворов; наличие промежуточных веществ, продуктов восстановления; полноты восстановления; пористости, крупности кусков; движения газов и др.). Ведущая роль стадий может меняться, что не позволяет сформировать единого механизма восстановления, справедливого во всех случаях.*

*Статья посвящена изучению процессов твердофазного восстановления хромовой руды с использованием для восстановления угля месторождения Шубарколь. В пояснительной записке приводится описание методики проведения лабораторных исследований, расчет шихтовых материалов и результаты исследований в виде таблиц и наглядных рисунков. Представлены результаты твердофазного восстановления хрома из хроморудного концентрата ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - 52,8 %) при температурах 1450 °C, 1500 °C и 1600 °C. Представлены данные по влиянию времени выдержки на степень восстановления хрома. Материалы статьи может использоваться инженерами-металлургами и научными работниками занимающимися процессами улучшения технологии производства феррохрома.*

*Ключевые слова: хром, восстановления, время выдержки, хроморудный концентрат, расчет шихты*

**Введение**

Восстановление элементов из оксидов относится к числу наиболее распространенных и сложных видов металлургических процессов. От глубины понимания этих процессов во многом зависят интенсификация и создание новых эффективных технологий переработки рудного сырья. Знакомство и анализ значительного количества работ по термодинамике, кинетике и механизму восстановления элементов из хромсодержащих материалов показали, что существуют разные взгляды по этим вопросам. Накопленные к настоящему

времени данные о термодинамике и кинетике восстановления твердых оксидов металлов углеродсодержащими материалами свидетельствуют о чрезвычайной сложности этого процесса. Процесс восстановления является совокупностью многих взаимосвязанных стадий, в зависимости от свойств вещества и условий. Ведущая роль стадий может меняться, что не позволяет сформировать единого механизма восстановления, справедливого во всех случаях.

Вопросами использования металлизированных хромитовых материалов (окатышей, брикетов) многие годы занимались различные исследователи [1-10]. Наиболее вероятный механизм восстановления хрома и железа из хромитовых руд твердым углеродистым восстановителем описывается газофазно-твердофазной схемой с участием неустойчивых газообразных частиц. Непосредственным восстановителем оксидов являются атомы углерода, которые доставляются к поверхности зерен хромита по трещинам в зернах и порам вмещающей породы газообразными углеродсодержащими молекулами. Переносчиками углерода могут быть неустойчивые молекулы и радикалы:  $\text{C}_3\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}$  и др., которые в результате многократного повторения актов распада и соединения являются эстафетным механизмом, доставляющим химически активные атомы углерода в глубь куска руды. Вторая часть данной схемы предполагает, что восстановление элементов доставленным к оксидам углеродом, происходит за счет диффузии катионов и анионов в решетке хромита по направлению к поверхности зерна, т. е. является твердофазным и может иметь электрохимическую природу.

**Материалы и методы**

Описана методика проведения экспериментов с характеристикой лабораторно-исследовательского оборудования. В таблицах 1 и 2 представлены химический состав рудных материалов и технический состав восстановителей.

Расчет расхода восстановителей разного типа

Расчет состава шихты выполняем на 100г хромового сырья.

Таблица 1 – Химический состав рудных материалов (ИХЛ АктЗФ), %

| Наименование<br>рудного<br>материала             | Содержание компонентов  |                |              |              |                         |              |      |      |      |
|--------------------------------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|------|------|------|
|                                                  | $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{FeO}$ | C    | S    | W    |
| Хромовый<br>концентрат<br>ДОФ-1 ДГОК<br>(0-3 мм) | 52,8                    | 6,4            | 0,3          | 19,6         | 7,5                     | 12,3         | 0,05 | 0,01 | 0,24 |

Технический анализ восстановителей и анализ зольной части представлен в таблице 2. При расчетах приняты следующие условия:

Степень восстановления хрома в расчете не закладывается, свыше стехиометрически необходимого для восстановителя коэффициент принимается 1,2. Степень восстановления железа, % – 100.

Таблица 2 – Технический анализ восстановителей, химический состав зольной части, %

| Наименование материала  | Технический анализ |      |     |       |       | Химический состав золы         |                                |                  |                  |     |     |  |
|-------------------------|--------------------|------|-----|-------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-----|-----|--|
|                         | W                  | V    | A   | S     | P     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | MgO | CaO |  |
| У г о л ь Шубаркольский | 7,6                | 42,3 | 4,1 | 0,225 | 0,008 | 18,3                           | 6,4                            | 46,7             | –                | 4,7 | 5,9 |  |

Методика расчета. Методика расчета стехиометрически необходимого количества восстановителя показана на примере хромового концентрата (таблица 1).

Потребность в углероде для восстановления 100г хромового концентрата составит:

| Реакция                    | Расчет                             | Количество С, кг |
|----------------------------|------------------------------------|------------------|
| $Cr_2O_3 + 3C = 2Cr + 3CO$ | $(52,8 \cdot 0,85) \cdot 36/152 =$ | 10,63            |
| $FeO + C = Fe + CO$        | $(12,3) \cdot 12/72 =$             | 2,05             |
| Итого                      |                                    | 12,68            |

Часть углерода восстановителя пойдет на восстановление оксидов золы. Поэтому содержание активного углерода будет ниже. Однако, учитывая специфику процесса, отличающейся от электропечной плавки отсутствием жидкой фазы и крайне малым содержанием оксидов железа в зольной части восстановителя коэффициент избытка ( $K_{изб}$ ) в расчетах с учетом угара принят равным 1,2. Тогда с учетом  $K_{изб}$  количество необходимого твердого углерода составит 15,22кг. В пересчете на Шубаркольского угля это значение составит, г:  $15,22 \cdot 100/45,77 = 33,24$ , где, значение 45,77 –  $C_{тв}$  в угле ( $C_{тв} = 100 - A - V - S - P - W$ ).

Полученное значение расхода кокса на 100г концентрата заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Соотношение материалов в брикете для полного восстановления хрома, г

| Вариант | Материал                                                           | Вес   |
|---------|--------------------------------------------------------------------|-------|
| 1       | Концентрат ( $Cr_2O_3$ -52,8%) ДГОК фракция исходная 0-3 мм        | 100   |
|         | уголь Шубаркольский                                                | 33,24 |
| 2       | Концентрат ( $Cr_2O_3$ -52,8%) ДГОК фракция молотая менее 0,074 мм | 100   |
|         | уголь Шубаркольский                                                | 33,24 |

Изготовление опытных брикетов для полного восстановления хрома из руды

Общие условия - все восстановители имеют фракцию менее 0,074 мм; – соотношение восстановителя и руды не зависит от фракционного состава исходных материалов; – по каждому варианту изготовили 4 брикета (ориентировочный вес одного брикета 150 г.); - общее количество образцов – 16; - подбор влажности смеси устанавливается опытным путем; – сушка брикетов на воздухе в естественных условиях не менее 1 суток; – после полной сушки брикеты загружаются в печь для обработки. Изготовление брикетов производилось на промышленном прессе П-50.

Размеры формы для прессования образцов - 100×100×30 мм. Режим предварительного восстановления для всех вариантов шихтовок: - температура обжига 1450, 1500 и 1600 °С; - длительность обжига при рабочей температуре - 10 минут, 20 минут, 30 минут, 60 минут, 90 минут, 120 минут; - образцы загружались в печь с момента ее включения; - для опытов использовались алундовые тигли, закрытые крышкой из легковесного шамота для уменьшения окисления; - длительность нагрева печи с образцами всех вариантов до рабочей температуры 1 час; - охлаждение до комнатной температуры вместе с печью во всех вариантах опытов.

Химический анализ всех образцов проводили на следующие компоненты:  $Cr_{мет}$ ,  $Cr_2O_3$ . Химический анализ образцов в опытах с максимальным восстановлением хрома проводили на следующие компоненты:  $Cr_{мет}$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_{мет}$ ,  $FeO$ ,  $C$ ,  $P$ ,  $S$ . Оценку степени восстановления производили сравнительным образом по содержанию  $Cr_{мет}$  на основе результатов химического анализа с хромом, введенным с рудным материалом.

Результаты и обсуждение

В таблицах 4, 5 и 6 представлены результаты твердофазного восстановления хрома из хроморудного концентрата ( $Cr_2O_3$  – 52,8 %) при температурах 1450 °С, 1500 °С и 1600 °С. В таблице 9 представлены данные по влиянию времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1450 °С при разных фракциях концентрата и видах восстановителя.

Таблица 4 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата ( $Cr_2O_3$  – 52,8 %) при температуре 1450 °С, %

| Выдержка, минут | Массовая доля и степень восстановления хрома | Варианты шихтовок                   |                                             |
|-----------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
|                 |                                              | Концентрат 0-3 мм и уголь Шубарколь | Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь |
| 10              | $Cr_2O_3$ общ                                | 44,8                                | 48,4                                        |
|                 | $Cr_{мет}$                                   | 6,8                                 | 13,7                                        |
|                 | С т е п е н ь восстановления                 | 22,2                                | 41,4                                        |
| 20              | $Cr_2O_3$ общ                                | 52,8                                | 49,5                                        |
|                 | $Cr_{мет}$                                   | 13,1                                | 15,7                                        |
|                 | С т е п е н ь восстановления                 | 36,3                                | 46,4                                        |
| 30              | $Cr_2O_3$ общ                                | 48,5                                | 51,7                                        |
|                 | $Cr_{мет}$                                   | 13,0                                | 20,2                                        |
|                 | С т е п е н ь восстановления                 | 39,2                                | 57,1                                        |
| 60              | $Cr_2O_3$ общ                                | 48,5                                | 52,6                                        |
|                 | $Cr_{мет}$                                   | 14,2                                | 21,5                                        |
|                 | С т е п е н ь восстановления                 | 42,8                                | 59,7                                        |
| 90              | $Cr_2O_3$ общ                                | 51,5                                | 53,4                                        |
|                 | $Cr_{мет}$                                   | 19,0                                | 21,6                                        |
|                 | С т е п е н ь восстановления                 | 53,9                                | 59,1                                        |

|     |                                    |      |      |
|-----|------------------------------------|------|------|
| 120 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ | 53,7 | 54,3 |
|     | Сг мет                             | 23,5 | 25,0 |
|     | С т е п е н ь<br>восстановления    | 64,0 | 67,3 |

Таблица 5 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температуре 1500°С, %

| Выдержка,<br>минут | М а с с о в а я<br>доля и степень<br>восстановления<br>хрома | Варианты шихтовых                      |                                                |
|--------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
|                    |                                                              | Концентрат 0-3 мм и уголь<br>Шубарколь | Концентрат менее 0,074 мм и<br>уголь Шубарколь |
| 10                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 47,3                                   | 50,8                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 10,2                                   | 18,0                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 31,5                                   | 51,8                                           |
| 20                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 48,5                                   | 51,8                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 14,6                                   | 19,6                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 44,0                                   | 55,3                                           |
| 30                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 52,4                                   | 54,5                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 20,6                                   | 25,4                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 57,5                                   | 68,1                                           |
| 60                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 55,3                                   | 56,3                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 22,0                                   | 28,5                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 58,1                                   | 74,0                                           |
| 90                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 53,0                                   | 54,5                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 22,3                                   | 27,4                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 61,5                                   | 73,5                                           |
| 120                | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 55,4                                   | 56,2                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 25,0                                   | 25,5                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 66,0                                   | 66,3                                           |

Таблица 6 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 52,8 %) при температуре 1600°С, %

| Выдержка,<br>минут | М а с с о в а я<br>доля и степень<br>восстановления<br>хрома | Варианты шихтовых                      |                                                |
|--------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
|                    |                                                              | Концентрат 0-3 мм и уголь<br>Шубарколь | Концентрат менее 0,074 мм и<br>уголь Шубарколь |
| 10                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 53,2                                   | 56,5                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 20,0                                   | 27,8                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 54,9                                   | 71,9                                           |
| 20                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 55,2                                   | 56,9                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 22,3                                   | 23,6                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 59,0                                   | 60,6                                           |
| 30                 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ                           | 55,5                                   | 57,2                                           |
|                    | Сг мет                                                       | 20,0                                   | 27,0                                           |
|                    | С т е п е н ь<br>восстановления                              | 52,7                                   | 69,0                                           |

|     |                                    |       |       |
|-----|------------------------------------|-------|-------|
| 60  | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ | 58,2  | 59,7  |
|     | Сг мет                             | 20,9  | 24,0  |
|     | С т е п е н ь<br>восстановления    | 52,5  | 58,7  |
| 90  | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ | 59,1  | 62,6  |
|     | Сг мет                             | 23,8  | 26,6  |
|     | С т е п е н ь<br>восстановления    | 58,86 | 62,10 |
| 120 | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ | 58,6  | 62,8  |
|     | Сг мет                             | 23,0  | 26,6  |
|     | С т е п е н ь<br>восстановления    | 57,4  | 61,9  |

Таблица 7 – Влияние времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1450 °С при разных фракциях концентрата и типа восстановителя, %

| Время выдержки,<br>минут | Концентрат<br>0-3 мм и уголь Шубарколь | Концентрат менее 0,074 мм и уголь<br>Шубарколь |
|--------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
|                          | Степень восстановления, %              |                                                |
| 10                       | 22,2                                   | 41,4                                           |
| 20                       | 36,3                                   | 46,4                                           |
| 30                       | 39,2                                   | 57,1                                           |
| 60                       | 42,8                                   | 59,7                                           |
| 90                       | 53,9                                   | 59,1                                           |
| 120                      | 64,0                                   | 67,3                                           |

На рисунке 1 показано зависимости степени восстановления хрома от фракции хроморудного концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 52,8 %) при температуре 1450 °С с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля. Преимущества молотого концентрата для восстановителей не вызывает сомнений, особенно при длительности выдержки менее 90 минут. При выдержках более 90 минут преимущества молотого концентрата сохраняются, но с меньшей разницей в степени восстановления.

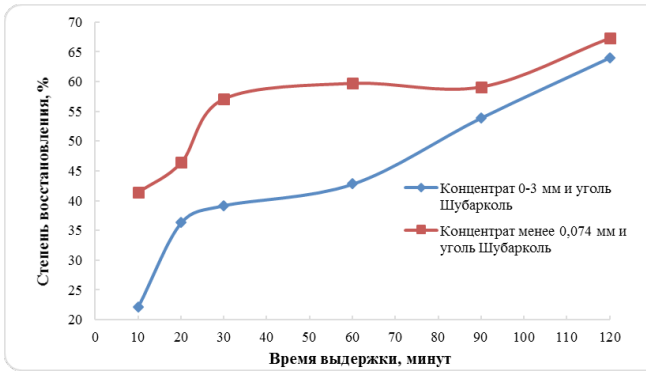


Рисунок 1 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хроморудного концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 52,8 %) при температуре 1450 °С с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля

Совсем другая картина при рассмотрении восстановительных процессов для молотого концентрата при температуре опытов 1500 °С. В таблице 8 показаны зависимости степени восстановления хроморудного концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) фракции менее 0,074 мм и 0–3 мм от времени выдержки при температуре 1500 °С.

Таблица 8 – Влияние времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1500 °С при разных фракциях концентрата и типа восстановителя, %

| В р е м я<br>в ы д е р ж к и ,<br>минут | Концентрат<br>0-3 мм и уголь Шубарколь | Концентрат менее 0,074 мм и уголь<br>Шубарколь |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                         | Степень восстановления                 |                                                |
| 10                                      | 31,5                                   | 51,8                                           |
| 20                                      | 44                                     | 55,3                                           |
| 30                                      | 57,5                                   | 68,1                                           |
| 60                                      | 58,1                                   | 74,0                                           |
| 90                                      | 61,5                                   | 73,5                                           |
| 120                                     | 66,0                                   | 66,3                                           |

На рисунке 2 представлена зависимость степени восстановления хрома от фракции хроморудного концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температуре 1500 °С с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля. Зависимости по характеру такие же, как при температуре 1450 °С. Необходимо отдать предпочтение молотому материалу для улучшения восстановительных процессов.

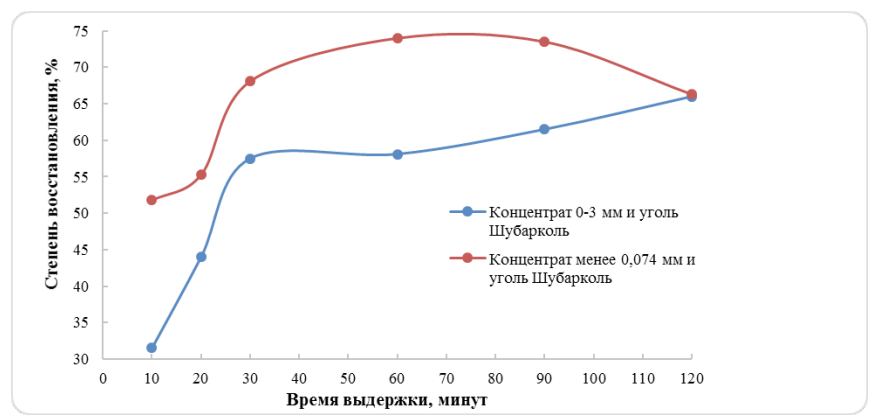


Рисунок 2 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хроморудного концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температуре 1500 °С с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля

В таблице 9 представлены данные по влиянию времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1600 °С при разных фракциях концентрата и видах восстановителя.

Таблица 9 – Влияние времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1600 °С при разных фракциях концентрата и типа восстановителя, %

| В р е м я<br>в ы д е р ж к и ,<br>минут | Концентрат<br>0-3 мм и уголь Шубарколь | Концентрат менее 0,074 мм и уголь<br>Шубарколь |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                         | Степень восстановления                 |                                                |
| 10                                      | 54,9                                   | 71,9                                           |
| 20                                      | 59,0                                   | 60,6                                           |
| 30                                      | 52,7                                   | 69,0                                           |
| 60                                      | 52,5                                   | 58,7                                           |
| 90                                      | 58,8                                   | 62,1                                           |
| 120                                     | 57,4                                   | 61,9                                           |

На рисунке 3 показано зависимость степени восстановления хрома от фракции хроморудного концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температуре 1600 °С с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля. Преимущества молотого Шубаркольского концентрата не вызывает сомнений. На рисунке 4 и в таблице 10 показаны зависимости степени восстановления хрома для концентрата фракции менее 0,074 мм от температуры и времени выдержки. Эти зависимости подтверждают преимущества угля Шубарколь.

Таблица 10 – Влияние температуры и времени выдержки на степень восстановления хрома для концентрата фракции менее 0,074мм при разных типах восстановителя, %

| Время выдержки,<br>минут | Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь |         |         |
|--------------------------|---------------------------------------------|---------|---------|
|                          | Степень восстановления                      |         |         |
|                          | 1450 °С                                     | 1500 °С | 1600 °С |
| 10                       | 41,4                                        | 51,8    | 71,9    |
| 20                       | 46,4                                        | 55,3    | 60,6    |
| 30                       | 57,1                                        | 68,1    | 69,0    |
| 60                       | 59,7                                        | 74,0    | 58,7    |
| 90                       | 59,1                                        | 73,5    | 62,1    |
| 120                      | 67,3                                        | 66,3    | 61,9    |

В целом, при температуре 1500 °С преимущества угля Шубарколь проявляются более рельефно.

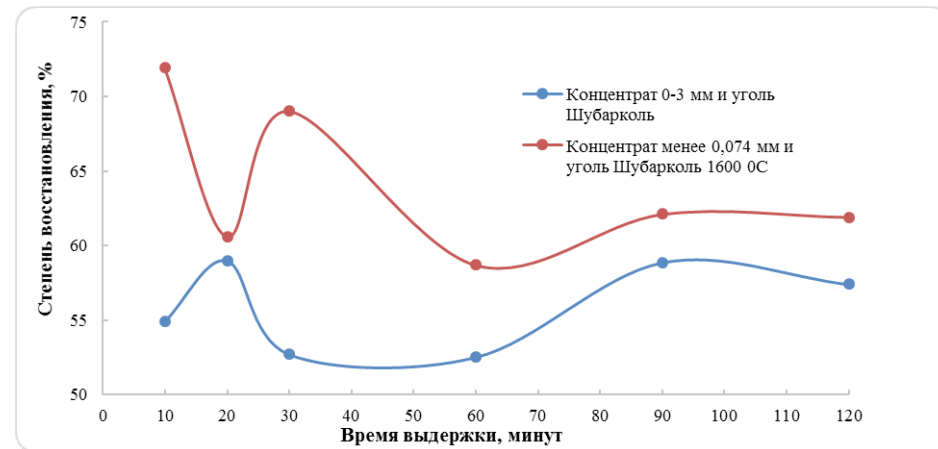


Рисунок 3 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 52,8 %) при температуре 1600 °C с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля

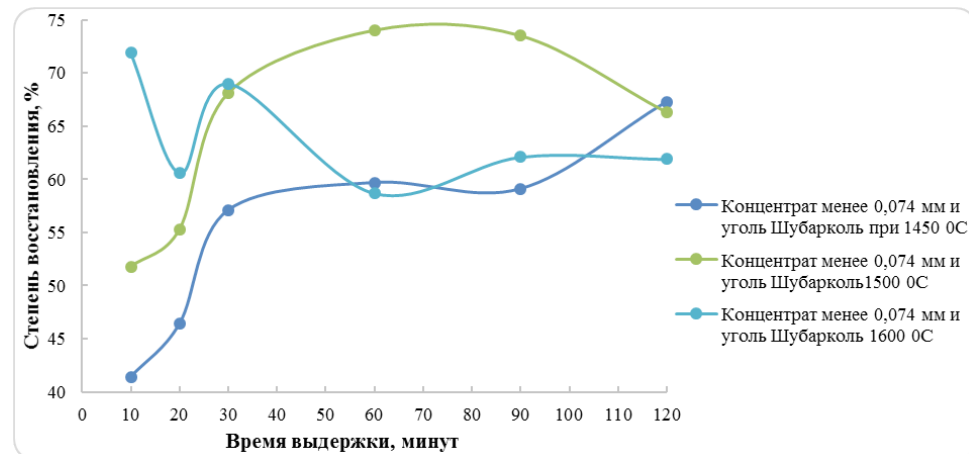


Рисунок 4 – Зависимость степени восстановления хрома для концентрата фракции менее 0,074 мм от температуры и времени выдержки при разных типах восстановителя

### Выводы

Общие выводы по результатам исследований:

1 Целесообразно применять концентрат и уголь месторождения Шубарколь в молотом состоянии до фракции менее 0,074 мм;

2 Оптимальная температура восстановления 1500 °C с использованием угля месторождения Шубарколь с выдержкой около 60 минут. При этих параметрах достигается максимальная степень восстановления хрома, равной 74 %.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Топильский, С. П., Козин, А. И., Есаулов, С. Н. Исследования процессов металлизации хромитовых окатышей / Проблемы научно-технического прогресса электротермии неорганических материалов: тезисы докл. конф. – Днепропетровск: ДМетИ, 1989. – 55 с.

2 Кудрявцев, В. С. Фазовые превращения при восстановлении хромитоугольных окатышей // Металлы, 1975., № 6 – С. 3–9.

3 Кадарметов, Х. Н., Поволоцкий, В. Д. Образование зародышей металла и шлака при твердофазном углетермическом восстановлении хромовых руд // Металлы, 1987., № 3 – С. 19–21.

4 Невраева, К. И., Пашкеев, И. Ю., Михайлов, Г. Г. Исследование углетермического твердофазного восстановления хромовых руд массива Рай-Из // Сталь, 2009., № 3 – С. 35–37.

5 Жучков, В. И. Окускование хромосодержащего сырья // Электрометаллургия, 2003., № 9 – С. 35–42.

6 Жучков, В. И. Методы окускования хромитовых руд // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: тр. конф. – Екатеринбург, 2003., – С. 266–269.

7 Zhunusov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov P. Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan // Metallurgija 60 (2021) 1–2, P. 101–103.

8 Tolymbekova, L. B., Kim, A. S., Zhunusov, A. K., Babenko, A. A. Thermal transformations in manganese ores in the zapadnyi kamys deposit and in charge materials used to produce pellets in an air flow under nonisothermal conditions // Metallurgist, 2013. – 56(11–12), P. 919–924

9 Шабанов, Е. Ж. Разработка технологии выплавки алюмосиликохрома из высокозольных углей карагандинского бассейна и отсеков высокоуглеродистого феррохрома. Дисс. на соиск. уч. степени доктора философии PhD, Караганда, 2016. – 117 с.

10 Кобеген, Е., Есенгалиев, Д. А., Келаманов, Б. С. Исследования процессов высокотемпературного твердофазного восстановления хромовой руды с использованием для восстановления кокса КНР // Наука и техника Казахстана. – 2022. – № 4. – С. 68–79. – DOI 10.48081/ХМОК1552.

## REFERENCES

- 1 **Topilsky, S. P., Kozin, A. I., Esaulov, S. N.** Issledovaniya processov metallizatsii xromitovy`x okaty`shej [Studies of the processes of metallization of chromite pellets] / Problems of scientific and technological progress in the electrothermy of inorganic materials: abstracts of reports. conf. – Dnepropetrovsk: DmetI, 1989. – 55 p.
- 2 **Kudryavtsev, V. S.** Fazovy`e prevrashheniya pri vosstanovlenii xromitougol`ny`x okaty`shej [Phase transformations during the reduction of chromite-coal pellets] // Metals, 1975., № 6. – P. 3–9.
- 3 **Kadarmetov, Kh. N., Povolotsky, V. D.** Obrazovanie zarody`shej metalla i shlaka pri tverdogaznom uglermicheskom vosstanovlenii xromovy`x rud [Formation of nuclei of metal and slag during solid-phase carbon-thermal reduction of chromium ores] // Metals. – 1987. – № 3. – P. 19–21.
- 4 **Nevraeva, K. I., Pashkeev, I. Yu., Mikhailov, G. G.** Issledovanie uglermicheskogo tverdogaznogo vosstanovleniya xromovy`x rud massiva Raj-Iz [Study of carbon-thermal solid-phase reduction of chrome ores of the Rai-Iz massif] // Steel. – 2009. – № 3. – P. 35–37.
- 5 **Zhuchkov, V. I.** Okuskovanie xromsoderzhashhego sy`r`ya [Agglomeration of chromium-containing raw materials] // Electrometallurgy. – 2003. – № 9. – P. 35–42.
- 6 **Zhuchkov, V. I.** Metody` okuskovaniya xromitovy`x rud [Methods of agglomeration of chromite ores] // Scientific bases and practice of processing ores and technogenic raw materials: tr. conf. – Yekaterinburg. – 2003. – P. 266–269.
- 7 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulbekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan // Metalurgija 60 (2021). – 1–2. – P. 101–103.
- 8 **Tolymbekova, L. B., Kim, A. S., Zhunosov, A. K., Babenko, A. A.** Thermal transformations in manganese ores in the zapadnyi kamys deposit and in charge materials used to produce pellets in an air flow under nonisothermal conditions // Metallurgist. – 2013. – 56(11–12). – P. 919–924.
- 9 **Shabanov, Ye. Zh.** Razrabotka tekhnologii vyplavki aliumosilikokhroma iz vysokozolnykh uglei karagandinskogo basseina i otsevvov vysokouglerodistogo ferrokroma [Development of a technology for smelting aluminosilicochromium from high-ash coals of the Karaganda basin and screenings of high-carbon ferrochrome.]. Diss.na soisk. uch. stepeni doktora filosofii PhD, Karaganda. – 2016. – 117 P.
- 10 **Kobegen, E., Yesengaliev, D. A., Kelamanov, B. S.** Issledovaniya protsessov vysokotemperaturnogo tverdogaznogo vosstanovleniya khromovoy rudy s ispol`zovaniyem dlya vosstanovleniya koksa KNR [Studies of the processes of high-temperature solid-phase reduction of chromium ore using PRC coke for reduction] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – № 4. – P. 68–79. – DOI 10.48081/XMOK1552.

**Д. А. Есенгалиев<sup>1</sup>, \*Е. Кобеген<sup>2</sup>, Б. С. Келаманов<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

Материал 02.02.23 баспаға түсті

### ШҰБАРКӨЛ КЕН ОРНЫНЫҢ КӨМІРІН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҮШІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ХРОМ КЕНІН ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ҚАТТЫ ФАЗАЛЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Көміртегі бар материалдармен металдардың қатты оксидтерін тотықсыздандырудың термодинамикасы мен кинетикасы туралы осы уақытқа дейін жинақталған деректер бұл процестің өте күрделілігін көрсетеді. Қалпына келтіру процесі заттың қасиеттері мен жағдайларына байланысты көптеген өзара байланысты кезеңдердің жиынтығы болып табылады (қысым, температура, газдар мен конденсацияланған ерітінділердің концентрациясы; аралық заттардың, қалпына келтіру өнімдерінің болуы; қалпына келтірудің толықтығы; кеуектілік, кесектердің мөлшері; газдардың қозғалысы және т.б.). Кезеңдердің жетекші рөлі өзгеруі мүмкін, бұл барлық жағдайларда әділетті қалпына келтірудің бірыңғай механизмін құруға мүмкіндік бермейді.*

*Мақала Шұбаркөл кен орнындағы көмірді қалпына келтіру үшін хром кенін қатты фазалы қалпына келтіру процестерін зерттеуге арналған. Түсіндірме жазбада зертханалық зерттеулер жүргізу әдістемесінің сипаттамасы, шихта материалдарының есебі және кестелер мен көрнекі суреттер түріндегі зерттеу нәтижелері келтіріледі. 1450 °C, 1500 °C және 1600 °C температурада хром концентратынан (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) хромның қатты фазалы тотықсыздану нәтижелері ұсынылған. Мақаланың материалдарын феррохром өндірісінің технологиясын жақсарту процестерімен айналысатын металлургия мен ғылыми қызметкерлер қолдана алады.*

*Кілтті сөздер: хром, қалпына келтіру, ұстау уақыты, хроморуд концентраты, Шихтаны есептеу.*

**D. A. Esengaliyev<sup>1</sup>, \*E. Kobegen<sup>2</sup>, B. S. Kelamanov<sup>3</sup>**<sup>1,2,3</sup> Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,

Republic of Kazakhstan, Aktobe

Material received on 02.02.22.

**RESEARCH OF PROCESSES OF HIGH-TEMPERATURE SOLID-PHASE  
REDUCTION OF CHROMIUM ORE USING COAL OF SHUBARKOL  
DEPOSIT FOR REDUCTION**

*The data accumulated to date on the thermodynamics and kinetics of the reduction of solid metal oxides by carbon-containing materials indicate the extreme complexity of this process. The reduction process is a combination of many interrelated stages, depending on the properties of the substance and conditions (pressure, temperature, concentrations of gases and condensed solutions; the presence of intermediate substances, reduction products; completeness of reduction; porosity, size of pieces; movement of gases, etc.). The leading role of the stages can change, which does not allow the formation of a single recovery mechanism that is fair in all cases.*

*The article is devoted to the study of the processes of solid-phase reduction of chromium ore using coal from the Shubarkol deposit for reduction. The explanatory note provides a description of the methodology for conducting laboratory studies, the calculation of charge materials and the results of studies in the form of tables and illustrative drawings. The results of solid-phase reduction of chromium from chromium ore concentrate ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 52.8 %) at temperatures of 1450 °C, 1500 °C and 1600 °C are presented. Data on the effect of holding time on the degree of chromium reduction are presented. The materials of the article can be used by metallurgical engineers and scientists involved in the processes of improving the technology of ferrochromium production.*

*Keywords: chromium, recovery, holding time, chromium ore concentrate, charge calculation.*

SRSTI 55.15.17

DOI xxxxxxxx

**Ю. И. Шадрин<sup>1</sup>, \*А. В. Богомолов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ТОО «Вектор», Республика Казахстан, г. Павлодар<sup>2</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ  
ПРИ ПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ  
В УСЛОВИЯХ ТОО «ВЕКТОР».**

*Представлены особенности технологии приготовления сплава для литых алюминиевых дисков в условиях ТОО «Вектор». Подробно описан процесс подготовки шихты и состав шихтовых материалов для плавки алюминиевых сплавов в индукционных тигельных печах.*

*Приведены результаты проведенных промышленных экспериментов по нейтрализации простоев печи, связанных с ожиданием слива металла. Была поставлена задача определения оптимальной технологии шихтовки и выплавки металла. По результатам эксперимента разработана технология непрерывной и эффективной работы индукционных тигельных печей.*

*Проведена также серия экспериментальных плавов с целью выявления разницы производительности печей по разным технологиям шихтовки и плавления.*

*В условиях производства предприятия ТОО «Вектор» с помощью внесения изменения в технологию шихтовки и выплавки металла в индукционных печах было достигнуто повышение производительности на 1.2 тонн за сутки. Также были сведены к минимуму простои печей по причине ожидания слива металла. При работе, согласно штатной технологии, производительность двух индукционных печей не превышала 28 тонн. После внедрения экспериментальной технологии производительность двух индукционных тигельных печей за сутки повысилась до 30 тонн жидкого металла.*

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

**Введение**

На некоторых металлургических производствах лимитирующим звеном производственных мощностей является плавильный участок, который не всегда может обеспечить литейный участок требуемым количеством жидкого сплава. Причиной могут служить несколько факторов: относительно малый объем плавильных печей; увеличенное время приготовления сплава; выход из строя плавильных агрегатов по причине износа футеровки и др.

Время, затрачиваемое на приготовления сплава, зависит от характеристик плавильных агрегатов, а также от вида шихтовых материалов. Важными являются следующие характеристики шихтовых материалов: плотность и химический состав.

Плотность шихты напрямую влияет на скорость плавления, а химический состав способен в значительной мере повлиять на длительность приготовления сплава. Если использовать шихту, химический состав которой полностью совпадает с требуемым сплавом, то длительность приготовления сплава будет минимальной, а если химический состав подразумевает полное несоответствие требуемому составу, то длительность приготовления сплава возрастает в разы.

Существует множество способов повысить производительность плавильных агрегатов за счёт внесения изменений в технологию приготовления сплава. Далее представлены несколько экспериментально подтверждённых способов повышения производительности индукционных печей в условиях предприятия ТОО «Вектор».

**Материалы и методы**

На данный момент в работе используются две индукционные тигельные печи ёмкостью 600 кг [1]. При стандартной шихтовке (180 кг стружки и 420 кг бракованных автомобильных дисков) длительность плавки составляет 1 час и 15 минут, без необходимости корректировки химического состава. При таком режиме работы печи способны обеспечивать металлом три литейные машины ёмкостью 700 кг с периодичностью заливки один раз в два часа. При этом, если запустить в работу четвёртую литейную машину, то металла будет недостаточно в виду того, что в среднем каждая литейная машина вырабатывает около 200-350 кг (в зависимости от диаметра и исполнения диска) жидкого сплава за один час. Учитывая особенности строения литейных машин низкого давления, в нагревательных камерах всегда должен поддерживаться неснижаемый уровень металла, составляющий около 250 кг, что предотвращает оголение металлоподающей трубы и последующий забор воздуха [2].

При внесении изменений в режим работы плавильных печей и корректировки шихтовки можно значительно повысить производительность, которая позволит одновременно запустить в работу четыре литейных машины.

В первую очередь необходимо увеличить количество шихты с повышенной плотностью, загружаемой в начале и середине плавки [3]. В роли такой шихты выступает измельчённая и просушенная алюминиевая стружка, которая является результатом отходов обрабатывающих станков. Оптимальным будет увеличение доли стружки от общего объёма шихты в два раза, а именно со 180 кг до 360 кг [4]. Связано это с тем, что до уровня выше половины тигеля печи, вихревые токи, создаваемые индуктором, имеют максимальную эффективность [5]. За счёт этого более плотная шихта будет расплавляться максимально эффективно. Выше этого уровня вихревые токи теряют свою мощность и плавление происходит уже за счёт нагрева жидкого металла в тигеле печи, тогда производится загрузка менее плотной шихты для предотвращения замерзания зеркала металла. В качестве менее плотной шихты прекрасно подходит бракованная продукция автомобильных дисков [6].

После наполнения печи и достижения температуры в 710-720°C производится отбор пробы с целью определения химического состава сплава. После отбора пробы металл в печи продолжает нагреваться до температуры 800-850°C.

Данная температура необходима для ликвидации тепловых потерь в следствии последующих манипуляций, связанных с повышением производительности.

При следовании данной технологии выплавки, металл готов к выпуску в разливочный ковш уже через 60–65 минут, однако в связи с необходимостью нагрева до температур 800–850°C сэкономленные 10–15 минут затрачиваются на нагрев металла.

**Результаты и обсуждение**

Перед началом экспериментальной плавки в разливочный ковш были помещены бракованные диски общей массой 50 кг. На момент выпуска металла из печи температура дисков и футеровки внутри ковша составляла около 110–130 °C [7]. Выпуск металла производился в следующем порядке:

Производится выпуск металла массой 306 кг с индукционной печи №1 в разливочный ковш, где находились бракованные диски массой 50 кг. После выпуска металла, в первую печь было дополнительно загружено 100 кг бракованных дисков, после чего печь была включена на полную мощность. Сразу после выпуска разливочный ковш переставляется под печь № 2, после чего операции повторяются. Заливщик при помощи вилочного погрузчика транспортирует разливочный ковш с металлом (656 кг) на участок дегазации сплава.

Через 15 минут заливщик заканчивает дегазацию металла и отправляется на литейный участок для наполнения литейных печей. В течении всего этого времени на плавильном участке производится расплав дополнительных 100 кг в каждой печи и нагрев металла до температуры 740–750 °C. Заливка литейных печей в среднем занимает от 10 до 15 минут. По окончании разливки металла по литейным печам, заливщик вновь загружает в ковш 50 кг дисков и устанавливает ковш под печь №1 для выпуска металла. Второй выпуск производится «насухо» с обеих печей.

Таким образом общая масса жидкого сплава составила 1,5 тонны при максимальной ёмкости двух печей всего 1,2 тонны. Данные эксперимента на момент первого выпуска представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные эксперимента первого выпуска металла

| Масса слива, кг        | Масса в ковше, кг | Температура слива, °C   | Температура в ковше, °C | Потери тепла, °C |
|------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| Слив металла с печи №1 |                   |                         |                         |                  |
| 306                    | 50                | 850                     | 110                     | 180              |
| Слив металла с печи №2 |                   |                         |                         |                  |
| 300                    | 356               | 850                     | 670                     | 98               |
| Итого                  |                   |                         |                         |                  |
| Масса в ковше, кг      | 656               | Температура в ковше, °C | 752                     |                  |

После обработки металла на участке дегазации конечная температура составила 707 °C, что является оптимальной температурой для литья, так как диапазон рекомендуемых температур составляет 695–705 °C.

За счёт высокой температуры в печах (850 °С) расплавление дополнительно загруженных 100 кг дисков и нагрев до температур 750–760 °С займёт 25–30 минут. После загрузки дополнительных 100 кг в печь температура понизится с 850 °С до 646 °С, однако за счёт индукции металл будет постоянно нагреваться со скоростью около 4-6 °с/мин. Таким образом за 25–30 минут температура металла составит 740–750 °С, что позволит произвести повторный выпуск металла с двух печей. Данные на момент второго выпуска представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные эксперимента второго выпуска металла

| Масса слива, кг        | Масса в ковше, кг | Температура слива, °С   | Температура в ковше, °С | Потери тепла, °С |
|------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| Слив металла с печи №1 |                   |                         |                         |                  |
| 394                    | 50                | 742                     | 312                     | 11               |
| Слив металла с печи №2 |                   |                         |                         |                  |
| 400                    | 444               | 740                     | 729                     | 6                |
| Итого                  |                   |                         |                         |                  |
| Масса в ковше, кг      | 794               | Температура в ковше, °С | 734                     |                  |

Учитывая то, что ковш хорошо прогрет металлом, потери тепла существенно сократились по сравнению с первым выпуском металла. После обработки металла на участке дегазации температура сплава составила 699 °С. Таким образом, получена увеличенную производительность печей за счёт их непрерывной работы. По старой технологии, печи поочерёдно сливались «насухо», в результате чего печь № 2 простаивала в ожидании всё то время, которое было затрачено на заливку литейных машин.

Согласно полученным данным, за 6 часов 45 минут по новой и старой технологии достигнута разная производительность. За данный промежуток времени по старой технологии было выплавлено 6 плавов с общей массой металла равной 7200 кг. Производительность новой технологии превосходит старую технологию на 300 кг жидкого сплава за пять плавов. Несмотря на несущественный прирост производительности, этого достаточно для запуска одновременно четырёх литейных машин [8–10].

Выводы

1 Приведены результаты проведенных экспериментальных плавов алюминиевых сплавов в индукционных печах по усовершенствованной технологии.

2 Использование изменённой технологии эксплуатации индукционных печей позволяет повысить общую производительность плавильных агрегатов путём ликвидации простоев печей, связанных с ожиданием выпуска металла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Галевский, Г. В.** *Металлургия алюминия: мировое и отечеств. пр-во: оценка, тенденции, прогнозы* [Текст] // учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Металлургия» / Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин, М. Я. Минцис. – Москва: Флинта, 2004. – 277 с.

2 **Денисов, В. М.** / *Алюминий и его сплавы в жидком состоянии* [Текст] // В. М. Денисов [и др.; отв. ред. Э. А. Пастухов]; Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ин-т металлургии. – Екатеринбург: [УрО РАН], 2005. – 224 с.

3 **Абалымов, В. Р.** *Безотходное производство автомобильных дисков из алюминиевых сплавов* / В. Р. Абалымов, В. П. Жереб, Ю. А. Клейменов [Текст] // Цветные металлы и минералы – 2017 : Сборник докладов Девятого международного конгресса, Красноярск, 11–15 сентября 2017 года. – Красноярск: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инновационный центр», 2017. – с. 561–564.

4 **Goulart, P. R., Spinelli J. E., Osorio W. R. and Garcia A.** *Mechanical properties as a function of microstructure and solidification thermal variables of Al—Si castings.* [Text]. // *Materials Science and Engineering A*, 2006, v. 421, p. 245–253.

5 **Фролов, Р. А.** *Формирование структуры и свойств литых деталей из сплава АК7ч с использованием комплексной обработки* / Р. А. Фролов, И. П. Волчок, А. А. Митяев, В. В. Лукинов [Текст] // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2019. – № 2(85). – с. 62–66. – DOI 10.30838/J.PMNTM.2413.230419.61.295.

6 **Ferguson, J. B.** *Correlation vs. Causation: The Effects of Ultrasonic Melt Treatment on Cast Metal Grain Size* / J. B. Ferguson, Benjamin F. Schultz, Kyu Cho, Pradeep K. Rohatgi [Text]. // *Metals.* – 2014. – № 4. – P. 477–489.

7 **Волчок, И. П., Митяев А. А., Фролов Р. А.** *Комплексная технология повышения качества вторичных алюминиевых сплавов* / И. П. Волчок, А. А. Митяев, Р. А. Фролов [Текст] // *Литьё и металлургия.* – 2018. – № 4 (93). – с. 19–23.

8 **Богданова Т. А.** *Современные технологии изготовления дисков автомобильных колес* / Т. А. Богданова, Н. Н. Довженко, Т. Р. Гильманшина [и др.] [Текст] // *Современные проблемы науки и образования.* – 2014. – № 5. – с. 226.

9 **Shadrin, Yu. I.** *Features of aluminum disc production technology* / Yu. I. Shadrin [Текст] // *Наука и техника Казахстана.* – 2021. – № 3. – с. 50-56.

10 **Bykov, P. O.** *Prospects for the development of production of aluminum castings*/ Bykov P. O., Yelyubayev Zh. B., Mukhamdyarov B. T. [Текст] // *Наука и техника Казахстана.* – 2014. – № 3–4. – с. 8–13.

REFERENCES

1 **Galevskij, G. V.** *Metallurgiya alyuminiya: mirovoe i otechestv. pr-vo: ocenka, tendencii, prognozy`* [Aluminum metallurgy: global and domestic production: assessment, trends, forecasts] // G. V. Galevskij, N. M. Kulagin, M. Ya. Mincis. [Text]. – Moscow : Flinta, 2004. – 277 p.

2 **Denisov, V. M.** / Alyuminiy i ego splavy` v zhidkom sostoyanii [Aluminum and its alloys in liquid state] // V. M. Denisov. [Text]. – Ekaterinburg: [UrO RAN], 2005. – 224 p.

3 **Abaly`mov, V. R.** Bezotxodnoe proizvodstvo avtomobil`ny`x diskov iz alyuminiyevy`x splavov [Waste-free production of automobile discs made of aluminum alloys] / V. R. Abaly`mov, V. P. Zhereb, Yu. A. Klejmenov [Text] // Czvetny`e metally` i mineraly` - 2017: Sbornik dokladov Devyatogo mezhdunarodnogo kongressa, – Krasnoyarsk : «Nauchno-innovacionny`j centr», 2017. – p. 561–564.

4 **Goulart, P. R., Spinelli, J. E., Osorio, W. R. and Garcia, A.** Mechanical properties as a function of microstructure and solidification thermal variables of Al—Si castings. [Text]. // Materials Science and Engineering A, 2006, v. 421, p. 245–253.

5 **Frolov, R. A.** Formirovanie struktury` i svojstv lity`x detalej iz splava AK7ch s ispol`zovaniem kompleksnoj obrabotki [Formation of the structure and properties of cast parts made of AK7ch alloy using complex treatment] / R. A. Frolov, I. P. Volchok, A. A. Mityaev, V. V. Lukinov [Text] // Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv. – DOI 10.30838/J.PMHTM.2413.230419.61.295. 2019. – № 2(85). – p1. 62–66.

6 **Ferguson, J. B.** Correlation vs. Causation: The Effects of Ultrasonic Melt Treatment on Cast Metal Grain Size / J. B. Ferguson, Benjamin F. Schultz, Kyu Cho, Pradeep K. Rohatgi [Text]. // Metals. – 2014. – № 4. – p. 477–489.

7 **Volchok, I. P., Mityaev A. A., Frolov R. A.** Kompleksnaya texnologiya povы`sheniya kachestva vtorichny`x alyuminiyevy`x splavov [Comprehensive technology for improving the quality of secondary aluminum alloys]. / I. P. Volchok, A. A. Mityaev, R. A. Frolov [Text] // Lit`yo i metallurgiya. – 2018. – № 4 (93). – p. 19–23.

8 **Bogdanova, T. A.** Sovremenny`e texnologii izgotovleniya diskov avtomobil`ny`x koles [Modern technologies for the manufacture of automobile wheel discs] / T. A. Bogdanova, N. N. Dovzhenko, T. R. Gil`manshina [Text] // Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 5. – P. 226.

9 **Shadrin, Yu. I.** Features of aluminum disc production technology / Yu. I. Shadrin [Text] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2021. – № 3. – p. 50–56.

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

Материал поступил в редакцию 02.02.23.

**Ю. И. Шадрин<sup>1</sup>, \*А. В. Богомолов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>«Вектор» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 02.02.23.баспаға түсті.

### «ВЕКТОР» ЖШС ЖАҒДАЙЫНДА АЛЮМИНИЙ ҚОРЫТПАЛАРЫН БАЛҚЫТУ КЕЗІНДЕ ИНДУКЦИЯЛЫҚ ПЕШТЕРДІҢ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

*«Вектор» ЖШС жағдайында құйылған алюминий дискілері үшін қорытпаны дайындау технологиясының ерекшеліктері ұсынылған. Құйылған дискілерді өндіру үшін индукциялық тигель пештерін шихталау процесі толық сипатталған. Шихтаны дайындау процесі және алюминий қорытпаларын балқытуға арналған шихта материалдарының құрамы егжей тегжейлі сипатталған*

*Металды төгуді күтуге байланысты пештің тоқтап қалуын бейтараптандыру бойынша жүргізілген өнеркәсіптік эксперименттердің нәтижелері келтірілген. Бастапқыда металды балқыту мен шихталаудың оңтайлы технологиясын анықтау міндеті қойылды. Эксперимент нәтижелері бойынша индукциялық тигель пештерінің үздіксіз және тиімді жұмыс істеу технологиясы жасалды.*

*Сондай-ақ, әртүрлі шихталау және балқыту технологиялары бойынша пештер өнімділігінің айырмашылығын анықтау мақсатында эксперименттік балқытулар сериясы жүргізілді.*

*«Вектор» ЖШС кәсіпорнының өндіріс жағдайында индукциялық пештерде металды балқыту мен шихталау технологиясына өзгерістер енгізу арқылы тәулігіне қосымша 1,2 тонна көлемінде өнімділікті арттыруға қол жеткізілді. Сондай-ақ, металл төгілуін күту себебінен пештердің тоқтап қалуы азайтылды. Штаттық технологияға сәйкес жұмыс істеген кезде екі индукциялық пештің өнімділігі тәулігіне 28 тоннадан аспады. Эксперименттік технологияны енгізгеннен кейін екі индукциялық тигель пешінің өнімділігі тәулігіне 30 тонна сұйық металға дейін өсті.*

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

*Yu. I. Shadrin<sup>1</sup>, \*A. V. Bogomolov<sup>2</sup>*<sup>1</sup>Vector LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar<sup>2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 02.02.23.

### INDUCTION FURNACES PRODUCTIVITY INCREASING DURING MELTING ALUMINUM ALLOYS IN THE CONDITIONS OF VECTOR LLP

*The features alloy preparation technology for cast aluminium discs in the conditions of Vector LLP are presented. Mixing induction crucible furnaces process for the production of cast discs is described in detail.*

*Industrial experiments results of conducted to neutralize furnace downtime associated with the expectation of metal discharge are presented. The task was set to determine the optimal technology for mixing and smelting metal. Based on experiment results, the technology of continuous and efficient induction crucible furnaces operation has been developed.*

*A series of experimental melts was also carried out in order to identify the difference in furnace performance according to different charging and melting technologies. By making changes to the technology of charging and smelting metal in induction furnaces in the production conditions of the enterprise “Vector” LLP an increase in productivity by 1.2 tons per day was achieved.*

*Furnace downtime was also minimized due to the expectation of metal draining. When working according to standard technology, the productivity of two induction furnaces did not exceed 28 tons. After experimental technology introduction, the two induction crucible furnaces productivity increased to 30 tons of liquid metal per day.*

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

MPHTI 53.37.01

DOI xxxxxxxx

**\*L. B. Tolymbekova<sup>1</sup>, A. M. Aubakirov<sup>2</sup>, Kh. B. Temirtas<sup>3</sup>**<sup>1,2,3</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

### THE USAGE OF PETROLEUM COKE AS A REDUCING AGENT IN THE SINTERING BRANCH IN THE PRODUCTION OF ALUMINA

*This article presents the results of studies on the possibility of using an alternative type of reducing agent used in the sintering branch instead of a reducing mixture of Kuznetsk anthracite and Shubarkol coke.*

*The given comparative characteristics of the reducing mixture currently used at Aluminum of Kazakhstan JSC and the proposed alternative – petroleum coke, show the possibility of the latter in its application: petroleum coke, in comparison with the used reducing agents, is characterized by a low level of ash content (0.2 % vs. 15.8 %) and reduced working physical moisture (5.0 % vs. 11.2 %), as well as high lower calorific value (7900 kcal/kg vs. 5863 kcal/kg) and high carbon content (88.0 % vs. 75.1 %).*

*Two compositions of the slurry charge were prepared for the experiments using the compared reducing agents: a mixture of Kuznetsk anthracite and Shubarkol coke, as well as petroleum coke.*

*During the experiment, a decrease in the specific consumption of the proposed reducing agent per unit of sinter by 7.4 % was revealed due to the reduced moisture content in the tested petroleum coke in comparison with the reduction mixture used. There is also an increase in the content of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to 88.9 % and Na<sub>2</sub>O to 96.1 %.*

*Keywords: aluminum production, reducing agent, sintering branch, aluminate solution, alumina, red sludge.*

#### Introduction

To date, due to the deterioration of the quality of raw materials in the aluminum industry, special attention is paid to the regulation of the composition of charge materials, in particular, in the sintering branch, for the full extraction of the necessary components Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>O and their transfer to an aluminate solution [1-5].

One of the indicators influencing the quality of the resulting aluminate solution is the selection of a reducing agent that is part of the sintering charge [6-8].

At the moment, a reducing mixture consisting of anthracite from the Kuznetsk coal basin and coke from Shubarkol Komir JSC is used as a reducing agent for the sintering charge [9,10].

#### Materials and methods

As an alternative to the reducing agent, it was proposed to use petroleum coke from UPNK-PV LLP.

The chemical composition of the reducing agents is given in Table 1.

Table 1 – The chemical composition of the reducing agents

| Name           | The chemical composition                  |     |      |     |     |         |       |      |
|----------------|-------------------------------------------|-----|------|-----|-----|---------|-------|------|
|                | Wp                                        | Wa  | Aa   | Va  | S   | Qr      | Qdaf  | Corg |
|                | %                                         |     |      |     |     | kcal/kg |       | %    |
|                | Reducing agents used: anthracite and coke |     |      |     |     |         |       |      |
| Anthracite     | 10.6                                      | 0.9 | 14.7 | 2.9 | 0.2 | 5 863   | 7 953 | 75.1 |
| Coke           | 11.7                                      | 0.3 | 16.8 | 2.9 | 0.4 | 5 496   | 7 761 | 75.1 |
|                | Test petroleum coke                       |     |      |     |     |         |       |      |
| Petroleum coke | 5.0                                       | 0.5 | 0.2  | 8.3 | 1.5 | 7 900   | 8 600 | 88.0 |

For comparison, two compositions of slurry charge were used as feedstock, using as a reducing agent:  
anthracite from the Kuznetsk coal basin and coke from Shubarkol Komir JSC;  
test petroleum coke from UPNK-PV LLP.  
During the laboratory experiment, a charge was prepared from the dry components that make up the sintering charge of the Pavlodar Alumina Plant in the following dosages given in Table 2:

Table 2 – Initial charge

| Name             | Charge №1 | Charge №2 |
|------------------|-----------|-----------|
|                  | gr        | gr        |
| Red sludge       | 75.00     | 75.00     |
| Limestone        | 46.00     | 45.40     |
| Soda ash Achinsk | 8.00      | 7.70      |
| Bauxite          | 9.10      | 9.20      |
| Reductant        | 3.30      | 2.65      |
| Total            | 141.40    | 139.95    |

Charge № 1 was made taking into account the reducing agent used, charge № 2 was made taking into account the tested petroleum coke.  
The raw material was thoroughly crushed and, based on the calculated dosages measured on laboratory scales, mixed in preheated corundum cups.  
Then the resulting charge was placed in a laboratory high-temperature furnace and sintered at a temperature of 1140 °C for two hours.  
The resulting product was slowly cooled in the furnace, and then in the air, to room temperature.  
The products of each experimental sintering were crushed and leached with an alkaline solution at a temperature of 70 °C. The results of sintering of the charge and sludge of standard leaching are presented in Table 3:

Table 3 – Composition of sinter and leaching sludge

| Name      | Sinter                    |                                |                                |                 |                    |                    | Standard leaching sludge |                                |                   |                                |                            |
|-----------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------|
|           | Sieve charac-<br>teristic | Chemical analysis              |                                |                 | Modules            |                    | Content                  |                                | Extraction        |                                |                            |
|           | -1 mm                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | M <sub>caust</sub> | M <sub>silic</sub> | Na <sub>2</sub> O        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | S O <sub>3</sub><br>sludge |
|           | %                         | %                              |                                |                 | ед.                |                    | %                        |                                | %                 |                                |                            |
|           |                           |                                |                                |                 |                    |                    |                          |                                |                   |                                |                            |
| Charge №1 | 39.0                      | 19.3                           | 16.8                           | 3.3             | 1.091              | 2.081              | 1.01                     | 3.87                           | 95.4              | 86.7                           | 7.0                        |
| Charge №2 | 26.6                      | 19.8                           | 16.7                           | 3.3             | 1.110              | 2.100              | 0.98                     | 3.41                           | 96.1              | 88.9                           | 10.1                       |

**Results and discussions.**

During the experiment, a decrease in the specific consumption of the reducing agent was revealed due to the reduced moisture content in the tested petroleum coke in comparison with the reduction mixture used. Data on the specific consumption of the reducing agent per ton of sinter are given in Table 4:

Table 4 – Specific consumption of the reducing agent

| Name                                          | Amount of<br>charge, gram | Amount of<br>sinter, gram | Amount of reducing<br>agent, gram | Specific consumption of<br>reducing agent, gram per gram<br>of sinter |
|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Reducing mixture of Pavlodar<br>Alumina Plant | 141.4                     | 128.55                    | 3.3                               | 0.0257                                                                |
| Petroleum coke                                | 139.95                    | 111.43                    | 2.65                              | 0.0238                                                                |

**Conclusion.**

The use of petroleum coke has a number of advantages over the reducing agents used:  
– petroleum coke, in comparison with the used reducing agents, is characterized by a low ash content (0.2 % vs. 15.8 %) and reduced working physical moisture (5.0 % vs. 11.2 %), as well as a high lower heat of combustion (7900 kcal/kg vs. 5863 kcal/kg) and a high carbon content (88.0 % vs. 75.1 %);  
– the specific consumption of petroleum coke per unit of sinter was reduced by 7.4 % in comparison with the reducing agent used (0.0238 g/g vs. 0.0257 g/g);  
– the results of laboratory standard leaching of sinters indicate an increased extraction of useful components when using petroleum coke for the preparation of the charge: up to 88.9 % for Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; up to 96.1 % for Na<sub>2</sub>O.  
Thus, the use of petroleum coke with UPNK-PV LLP as a reducing agent will improve the technical and economic indicators of the sintering process, as well as increase the degree of extraction of useful components.

## REFERENCES

- 1 **Dubovikov, O. A., Yaskelyainen, E. E.** Processing of low-quality bauxite feedstock by thermochemistry-Bayer method // Journal of Mining Institute. – 2016. Vol. 221, – P. 668–674. <https://doi.org/10.18454/pmi.2016.5.668>
- 2 **Akanova, Z. B., Sharipova, A. K., Absat, Z. B., Kochegina, E. V., Halikova, Z. S.** Primenenie krasnogo shlama kak komponenta povysheniya vyhoda oksida alyuminiya // Modern Science. – 2021. – № 1–2. – P. 18–24.
- 3 **Naumchik A. N., Dubovikov O. A.** Proizvodstvo glinozema iz nizkokachestvennogo syr'ya // Uchebnoe posobie. – L. : Izd. LGI, – 1987. – 99 s.: il.
- 4 **Abdulvaliyev R. A.; Akcil A. ;** (2021). Change in the phase composition of low-quality bauxites as a result of chemical activation // Challenges of Science. Issue IV. – 2021. – P. 67–75. <https://doi.org/10.31643/2021.10>
- 5 **Dyussenova, S., Abdulvaliyev, R., Akcil, A., Gladyshev, S., Ruzakhunova, G.** Processing of Low-Quality Gibbsite-Kaolinite Bauxites Metals. – 2022, 12, 1030. <https://doi.org/10.3390/met12061030>.
- 6 **Medvedev, V. V., Akhmedov, S. N.** Evolution of the Technology for the Production of Alumina from Bauxites // In: Grandfield, J. (eds) Light Metals 2014. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48144-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48144-9_1)
- 7 **Bibanaeva, S. A., Pasechnik, L. A., Skachkov, V. M., Sabirzyanov, N. A., Lebedeva, E. M., Koryukov, V. N.** Fiziko-himicheskie osnovy dovyschelachivaniya krasnyh shlamov glinozemnogo proizvodstva // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. – 2019. – № 1. – P. 99–102.
- 8 **Pei J., Pan X., Zhang Ya., Yu H., Tu G.** A novel process to fully utilize red mud based on low-calcium sintering // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 9. – Is. 6. – <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106754>.
- 9 **Ibragimov, A. T., Budon, S. V.** Razvitie tekhnologii proizvodstva glinozema iz boksitov Kazahstana. – Pavlodar : Dom pechaty. – 2010. – 299 p.
- 10 **Arlyuk, B. I., Shneer, V. E.** Process spekaniya v proizvodstve glinozema / B. I. Arlyuk, V. E. Shneer. – Moscow. – 1970.

Material received on 02.02.23.

**\*Л. Б. Толымбекова<sup>1</sup>, А. М. Аубакиров<sup>2</sup>, Х. Б. Теміртас<sup>3</sup>**

1,2,3Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал 02.02.23. баспаға түсті.

### АЛЮМИНИЙ ТОТЫҒЫН ӨНДІРУДЕ ҚАҚТАУ ТАРМАҒЫНДА ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШ РЕТІНДЕ МҰНАЙ КОКСЫН ПАЙДАЛАНУ

*Бұл мақалада Кузнецк антрациті мен Шұбаркөл кокс тотықсыздандырғыш қоспасының орнына қақтау тармағында қолданылатын тотықсыздандырғыштың балама түрін қолдану мүмкіндігі туралы зерттеу нәтижелері келтірілген.*

*Бүгінгі күні «Қазақстан алюминийі» АҚ-да қолданылатын қалпына келтіру қоспасының және ұсынылатын балама – мұнай коксының келтірілген салыстырмалы сипаттамалары оның қолданылу мүмкіндігін көрсетеді: мұнай коксы пайдаланылатын тотықсыздандырғыштармен салыстырғанда күл құрамының төмен деңгейімен (0,2 % 15,8 %-ға қарсы) және жұмыс физикалық ылғалының төмендеуімен (5,0 % 11,2 %-ға қарсы) сипатталады, сондай-ақ жоғары төмен жану жылуы (7900 ккал/кг 5863 ккал/кг-ға қарсы) және жоғары көміртегі (88,0 % 75,1 %-ға қарсы);*

*Эксперименттер жүргізу үшін салыстырмалы тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, иламды шиктаның екі құрамы дайындалды: Кузнецк антрациті мен Шұбаркөл кокс қоспасы, сондай-ақ мұнай коксы.*

*Эксперимент барысында сыналтын мұнай кокс құрамындағы ылғалдың азаюына байланысты қолданылатын тотықсыздандырғыш қоспамен салыстырғанда ұсынылған тотықсыздандырғыштың күйеженітек бірлігіне шаққандағы үлестік шығынының 7,4 %-ға төмендеуі анықталды. Сондай-ақ, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> құрамының 88,9 %-ға және Na<sub>2</sub>O-ның 96,1 %-ға дейін жоғарылауы байқалады.*

*Кілтті сөздер: алюминий өндірісі, тотықсыздандырғыш, қақтау тармағы, алюминий ерітіндісі, глинозем, қызыл илам.*

**\*Л. Б. Толымбекова<sup>1</sup>, А. М. Аубакиров<sup>2</sup>, Х. Б. Теміртас<sup>3</sup>**

1,2,3Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар  
Материал поступил в редакцию 02.02.23.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЯНОГО КОКСА В КАЧЕСТВЕ ВОССТАНОВИТЕЛЯ В ВЕТВИ СПЕКАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГЛИНОЗЕМА

*В данной статье представлены результаты исследований возможности использования альтернативного вида восстановителя, применяющегося в ветви спекания взамен восстановительной смеси Кузнецкого антрацита и кокса Шубарколь.*

*Приведенные сравнительные характеристики применяющейся на сегодняшний день на АО «Алюминий Казахстана» восстановительной смеси и предлагаемой альтернативы – нефтяного кокса, показывают возможность последнего в его применении: кокс нефтяной в сравнении с используемыми*

восстановителями характеризуется низким уровнем содержания зольности (0,2 % против 15,8 %) и пониженной рабочей физической влажностью (5,0 % против 11,2 %), а также высокой удельной теплотой сгорания (7900 ккал/кг против 5863 ккал/кг) и высоким содержанием углерода (88,0 % против 75,1 %);

Для проведения экспериментов были подготовлены два состава шламовой шихты с применением сравниваемых восстановителей: смесь Кузнецкого антрацита и кокса Шубарколь, а также нефтяного кокса.

В процессе эксперимента было выявлено снижение удельного расхода предлагаемого восстановителя на единицу спека на 7,4 % из-за уменьшенного содержания влаги в испытуемом нефтяном коксе в сравнении с используемой восстановительной смесью. Также отмечается повышение содержания  $Al_2O_3$  до 88,9 % и  $Na_2O$  до 96,1 %.

Ключевые слова: алюминиевое производство, восстановитель, ветвь спекания, алюминатный раствор, глинозем, красный шлам.

МРНТИ 53.31.21

**P. S. Varbanov**

Brno University of Technology, Brno, Czech Republic

### **INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE ELECTRICAL RESISTIVITY OF THE CHARGE DURING FERROSILICON ALUMINIUM SMELTING**

*This paper presents the results of a study on the change in the electrical resistivity of charge mixtures for smelting ferrosilicon aluminum and the possibility of using iron sands in the composition of the charge. Traditionally, iron shavings, a by-product of metal cutting, are a part of the charge mixture for producing ferrosilicon aluminium. In this paper, two charges were selected for comparison. The first charge was a mixture of high-ash coal, quartzite and iron shavings. The second charge was a mixture of high ash coal, quartzite and iron sand. The task set in this study was to compare the resistivity of the components of the experimental mixture consisting of high-ash coal, quartzite and iron shavings and the possibility of obtaining ferrosilicon aluminium from the mixture based on iron shavings. The results of the research have shown the possibility of replacing steel chips with metallized iron ore sinter, which can significantly reduce the consumption of scarce steel chips in the ferroalloy industry. Iron-ore sands, in turn, are an anthropogenic waste of alumina production. Thus, their involvement in processing can also partially solve the environmental problems of Pavlodar region.*

*Keywords: ferroalloy, electrical resistivity, steel shavings, ash, high ash coal.*

#### **Introduction**

The operation of ferroalloy furnaces depends to a large extent on the immersion depth of the electrodes in the charge [1], which improves the technical and economic performance of the processes. At high sitting electrodes the melting zone moves upwards that sharply worsens a course of process: thermal losses with head gases increase, maintenance of the overheated grate becomes difficult, the temperature of the furnace increases that creates additional difficulties at release of metal and slag, extraction of the basic elements reduces because of the raised flight. At a constant secondary voltage, the depth of immersion of electrodes depends on the total resistance of the furnace bath, which in turn depends on the nature of the ores used, the type of their preparation (sintering, pelletising, briquetting) [2], the fractional composition of the materials and the type of reducing agents.

The method of charge materials preparation, the type of pelletised materials, is reflected in the electrical resistance of the charge [3, 4]. The electrical resistance of the charge, when non-isothermal heating to high temperatures, largely depends on the chemical and mineralogical composition of the charge, as well as on the processes of phase transformations in the sample [5].

The efficiency of the furnace depends on the working resistance of the furnace, which also depends on the resistivity of the furnace charge [6]. As a result, it is necessary

to conduct research on the electrical resistance of pellet charge materials. The study of the electrical resistance of charge materials and charges was carried out by the method described in the work of Zhuchkov V. I., which allows determining the electrical resistance of materials and charges at temperatures up to 1800 °C in the bulk layer while recording the degree of their softening (shrinkage). At present, this method is used by many researchers to determine the electrical resistivity of materials and charges [7, 8].

Comparative studies on the variation of resistivity of charge mixtures for the melting of ferrosilicon aluminium were carried out. The electrical resistivity of selected components and the whole charge mixture was measured during the experiment. All factors affecting the charge resistance were monitored: temperature, aggregate state, and degree of reduction of materials. In order to explain the reasons for changes in electrical resistance, the volume of materials was monitored continuously.

When measuring the electrical resistance of the charge materials, the fractional composition of the charge materials was selected in proportion to the coarseness of the components of the charge materials used in the production conditions, the limits of which were reduced by an order of magnitude.

#### Materials and methods of research

The charge materials used were high-ash coal from the Molodezhny Coal Mine (Borly UD), and quartzite was used as charge materials. The difference between the experimental and comparative charge consisted in the use of metallized agglomerate from iron sands in the first case, and in the composition of the comparative mixture traditionally used steel chips. High ash coal in 1-5 mm fractions had the following technical composition: ash content – 56.8 %; volatile components – 17.2 %, humidity – 1.0 %. Ashes were composed of 58.9 % silica and 37.2 % aluminium oxide. The pilot charge mixture consisted of 67.8 % high ash coal, 12.3 % metallised agglomerate and 19.8 % quartzite.

The measurements were carried out on a pilot laboratory setup with the possibility of conducting experiments in the temperature range 22–1600 °C according to the method [3]. The measurements were carried out at DC voltage equal to 5 V with fixing of current values depending on temperature.

#### Results and discussions

The results of comparative studies in the form of resistivity and conductivity vs. temperature are shown in Figures 1 and 2. The plots are presented for the temperature interval 850–1200 °C, which is typical for the upper layers of the charge during melting of ferrosilicon aluminium.

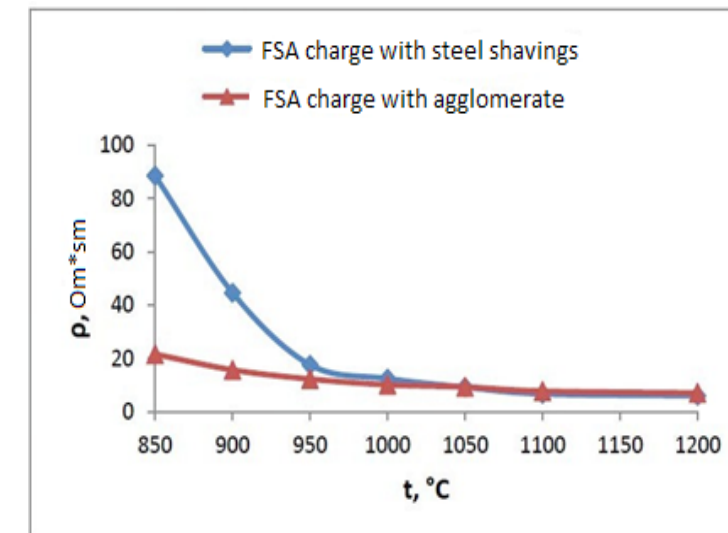


Figure 1 – Temperature dependence of electrical resistivity of comparative and experimental charge mixtures for melting ferrosilicon aluminium

As can be seen from the results of measurements at temperatures up to 950 °C the electrical resistance of experimental charge with sinter is slightly lower than that of traditional charge with steel chips. This is explained by the fact that the composition of metallized sinter contains small amounts of sintered relatively fusible mixtures containing iron compounds, in particular fayalite ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ).

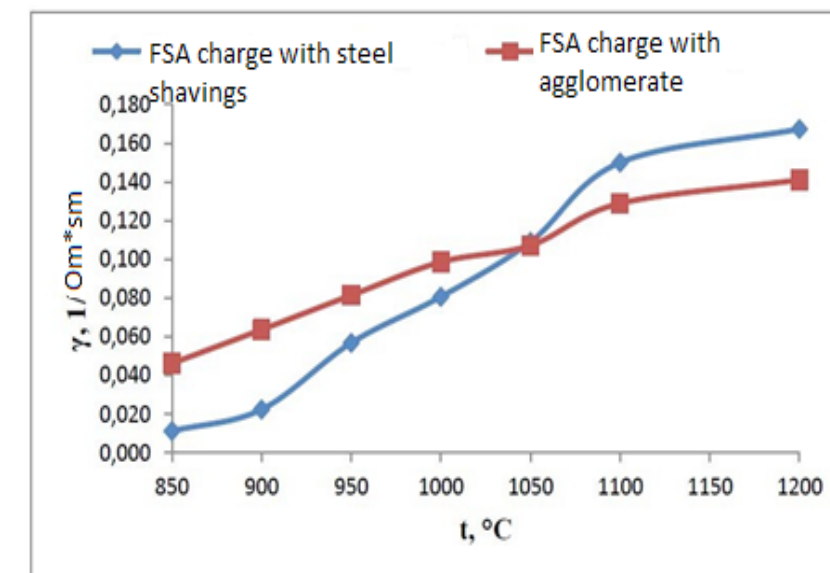


Figure 2 – Temperature dependence of specific conductivity of comparative and experimental charge mixtures for smelting ferrosilicon aluminium

Further after reduction of iron at temperatures above 1000 °C the electrical resistivity of comparative and experimental charge mixtures equalizes. This shows the principal possibility of replacing steel chips with metallized iron sinter, which can significantly reduce the consumption of scarce steel chips in the ferroalloy industry.

The presence of iron sands [4] up to 15–25 % in total oxides of silicon and aluminium in the sinter obtained from waste alumina production [9, 10, 11] will not have a significant negative impact in the smelting of FA, as they are the main components of the charge.

#### Conclusions

It should be noted that steel chips contain 1.5–2.5 % of manganese, chromium and non-ferrous metals which will be completely transferred to the melted FSA. In the pilot agglomerate there are practically no impurities of these elements, so the melted ferrosilicon aluminium will be pure for these impurities.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Dhainaut, M.** Simulation of the electric field in a submerged arc furnace // Proceedings of the Tenth International Ferroalloy Congress. – 2004. – P. 605–613.

2 **Tangstad, M., Leroy, D., Ringdalen, E.** Behavior of agglomerates in ferromanganese production // The Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future 2010. – P. 457–466.

3 **Жучков, В. И., Розенберг, В. Л., Зельберг, Б. И.** Энергетические параметры и конструкции рудовосстановительных электропечей. – Челябинск : Металл, 1994. – 192 с.

4 **Miyauchi, Y., Nischi, T., Saito, K., Kizu, Y.** Improvement of High Temperature Electric Characteristics of Manganese ores, INFACON X, South Africa, 2004, P. 155–162.

5 **Mukhambetgaliyev, Y. E.** Research of electrical resistance and temperature of the beginning of softening of charge mixtures for smelting a complex alloy, Metalurgija, 2022, 61(3-4), P. 781–784.

6 **Magnussen, T. E.** Basic parameters in the operation and design of submerged arc furnaces, with particular reference to production of high-silicon alloys. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2018 – 118(6). – 631–636. <https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n6a11>.

7 **Николайшвили, Г. У., Кекелидзе, М. А.** Электрическое сопротивление и теплопроводность шихт углеродистого ферромарганца и силикомарганца // Сб. науч. тр. «Производство и применение марганцевых ферросплавов». – Тбилиси, 1986. – С. 37–46.

8 **Нурмуханбетов, Ж. У., Ким, В. А., Толымбеков, М. Ж.** Электрическое сопротивление углеродистых восстановителей Ж. У. Нурмуханбетов, // Новости науки Казахстана. – 2005. – № 2. – С. 35–40.

9 **Розен, Я. Б., Синельщикова, Н. В.** Переработка отходов глиноземного производства. – М. : ЦНИИ цветмет экономики и информации, 1981. – 49 с.

10 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.

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

#### REFERENCES

1 **Dhainaut, M.** Simulation of the electric field in a submerged arc furnace // Proceedings of the Tenth International Ferroalloy Congress. – 2004. – P. 605–613.

2 **Tangstad, M., Leroy, D., Ringdalen, E.** Behavior of agglomerates in ferromanganese production// The Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future. – 2010. – P. 457–466.

3 **Zhuchkov, V. I., Rozenberg, V. L., Zelberg, B. I.** Energeticheskie parametry i konstruktii rudovosstanovitelnykh elektropechei [Energy parameters and designs of ore-recovery electric furnaces] – Chelyabinsk : Metal, 1994. – 192 c.

4 **Miyauchi, Y., Nischi, T., Saito, K., Kizu, Y.** Improvement of High Temperature Electric Characteristics of Manganese ores, INFACON X, South Africa, 2004. – P. 155–162.

5 **Mukhambetgaliyev, Y. E.** Research of electrical resistance and temperature of the beginning of softening of charge mixtures for smelting a complex alloy, Metalurgija, 2022. – 61 (3–4). – P. 781–784.

6 **Magnussen, T. E.** Basic parameters in the operation and design of submerged arc furnaces, with particular reference to production of high-silicon alloys. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2018. – 118(6). – 631–636. <https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n6a11>

7 **Nikolaishvili, G. U., Kekelidze, M. A.** Elektricheskoe soprotivlenie i teploprovodnost shikht uglerodistogo ferromargantca i silikomargantca [Electrical resistance and thermal conductivity of carbon ferromanganese and silicomanganese charge] // Collection of scientific papers. «Production and application of manganese ferroalloys». – Tbilisi, 1986. – P. 37–46.

8 **Nurmukhanbetov, Zh. U., Kim, V. A., Tolymbekov, M. Zh.** Elektricheskoe soprotivlenie uglerodistykh vosstanovitelei [Electrical resistance of carbonaceous reducing agents, J. U. Nurmukhanbetov] // Science News of Kazakhstan. – 2005. – № 2. – P. 35–40.

9 **Rozen, Ia. B., Sinelytcikova, N. V.** Pererabotka otkhodov glinozemnogo proizvodstva [Processing of Waste Alumina Production] - Moscow : Central Research Institute of Non-Ferrous Metals Economics and Information. 1981. – 49 p.

10 Pererabotka shlamovykh i tverdykh otkhodov proizvodstva glinozema i aliuminiia [Processing of sludge and solid wastes of alumina and aluminum production] / V. G. Teslya, V. A. Teslya, S. I. Utkov et al. (in Russian) // Non-ferrous Metals. – 1997. – № 4. – P. 87–88.

11 Utkov, V. A., Patcei, A. V., Shmorgunenko, N. S. Pererabotka boksitovykh krasnykh shlamov [Processing of bauxite red sludge] // CNIIZVETSMET economics and information – № 6. – 1988. – 38 p.

Material received on 02.02.23.

**П. С. Варбанов**

Брно технологиялық университеті, Брно қ., Чех Республикасы  
Материал 02.02.23 баспаға түсті.

#### **ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЙДІ БАЛҚЫТУ КЕЗІНДЕ ШИХТАНЫҢ МЕНШІКТІ ЭЛЕКТР КЕДЕРГІСІНЕ ӘРТҮРЛІ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Бұл мақалада ферросиликоалюминийді балқытуға арналған шихта қоспаларының меншікті электр кедергісінің өзгеруін және шихта, құрамында темірлі бар құмдарды қолдану мүмкіндігін зерттеу бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Дәстүрлі әдіспен ферросиликоалюминий алу үшін шихтаның құрамына темір жоңқалары, металды кесіп-жсонып өңдеудің жанама өнімі кіреді. Бұл жұмыста салыстыру үшін екі өлшенді таңдалды. Бірінші жсоғары күлді көмір, кварцит және темір жоңқаларының қоспасы болды. Екінші өлшенді-күлі жсоғары көмір, кварцит және құрамында темірі бар құмдардың қоспасы. Бұл зерттеуде қойылған міндет тапшы темір жоңқаларын алмастыру ретінде ұсынылған күлі жсоғары көмірден, кварциттен және құрамында темірі бар құмдарынан тұратын шихтаның эксперименттік құрамындағы компоненттердің меншікті кедергісін және құрамында темірі бар құмдарына негізделген шихтадан ферросиликоалюминий алу мүмкіндігін салыстыру болды. Зерттеу нәтижелері болат жоңқаларын металдандырылған темір рудалы агломератқа ауыстырудың негізгі мүмкіндігін көрсетті, бұл ферроқорытпа өнеркәсібінде тапшы болат жоңқаларын тұтынуды айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Құрамында темірі бар құмдар, өз кезегінде, алюминий тотығын өндірудің техногендік қалдықтары болып табылады. Осылайша, оларды қайта өңдеуге тарту Павлодар өңірінің экологиялық проблемаларын да ішінара шеше алады.

Кілтті сөздер: ферроқорытпа, электр кедергісі, болат жоңқалары, күл, құрамында күлі жсоғары көмір.

**П. С. Варбанов**

Технологического университета Брно, г. Брно, Чешская Республика  
Материал поступил в редакцию 02.02.23.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ШИХТЫ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ**

В данной статье приводятся результаты исследования по изучению изменения удельного электрического сопротивления шихтовых смесей для выплавки ферросиликоалюминия и возможности применения в составе шихты, железистых песков. Традиционно в состав шихты для получения ферросиликоалюминия входит железная стружка, побочный продукт обработки металла резанием. В данной работе для сравнения были выбраны две навески шихты. Первая навеска представляла собой смесь высокозольного угля, кварцита и железной стружки. Вторая навеска - смесь высокозольного угля, кварцита и железистых песков. Задача, поставленная в данном исследовании, заключалась в сравнении удельного сопротивления компонентов экспериментального состава шихты состоящей из высокозольного угля, кварцита и железистых песков предложенных в качестве замены дефицитной железной стружки, и возможности получения ферросиликоалюминия из шихты на основе железистых песков. Результаты исследований показали принципиальную возможность замены стальной стружки на металлизированный железорудный агломерат, что может существенно снизить потребление дефицитной стальной стружки в ферросплавной отрасли. Железистые пески в свою очередь, являются техногенным отходом производства глинозема. Таким образом, вовлечение их в переработку может также частично решить и экологические проблемы Павлодарского региона.

Ключевые слова: ферросплав, удельное электрическое сопротивление, стальная стружка, зола, высокозольный уголь.

**А. Р. Кульчицкий**АО «Камешковский механический завод»,  
Российская Федерация, г. Камешково**СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ  
С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЕЙ**

*Вредные дисперсные частицы (Particulate Matter - PM), содержащиеся в смеси отработавших газов (ОГ) двигателей внутреннего сгорания и воздуха, в отличие от газообразных вредных веществ, находятся в различном агрегатном состоянии: твёрдом и жидком. Наличие жидких частиц связано с конденсацией части несгоревших углеводородов топлива и смазочного масла вследствие понижения температуры ОГ при их разбавлении воздухом. А наличие твердых веществ определяется выбросом не только сажи, но твердых сульфатов, а также части несгоревших углеводородов топлива и масла вследствие их конденсации. При этом воду, находящуюся в отработавших газах, в состав PM не включают, что обеспечивается термостатированием фильтров, на которых осаждаются PM, до и после испытаний.*

*Однако в ходе стандартизованного (гравиметрического) метода измерения содержания PM в отработавших газах невозможно обеспечить идентификацию этих составляющих. Поэтому часто под дисперсными частицами подразумевают только сажу (твёрдый углерод). Кроме того, влияние режима работы двигателя на различные составляющие не идентично: если концентрация сажи в отработавших газах пропорциональна нагрузке, то наличие жидких составляющих более характерно для режимов малых нагрузок.*

*Подобные упрощения не обеспечат разработку целенаправленных мероприятий по снижению эмиссии PM, поскольку не будут приняты во внимание, с одной стороны, все их основные составляющие, а с другой стороны – влияние режима работы двигателя.*

*Ключевые слова: дизельный двигатель, отработавшие газы, дисперсные частицы, сажа, твёрдые сульфаты, углеводороды.*

**Введение**

До 1989 г. согласно международным и национальным стандартам для любых типов двигателей внутреннего сгорания регламентировали содержание в отработавших газах (ОГ) только газообразных вредных веществ (ВВ): оксидов азота NO<sub>x</sub>, оксида углерода CO и суммарных углеводородов C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>. А для дизелей, кроме того, - еще и такой физический показатель как «непрозрачность ОГ», называемый «дымность ОГ». Однако в 1989 г. в США, в 1992 г. в Европе и Японии, а в 2000 г. и в России дополнительно ввели норму на эмиссию с ОГ

дизелей еще одного ВВ - дисперсных частиц (Particle Matter - PM). Для двигателей с принудительным воспламенением это показатель нормированию пока не подлежит, хотя такая возможность прорабатывается.

Дисперсные частицы часто называют «твердыми частицами», и под этим подразумевают только сажу (твёрдый углерод). На самом деле, составляющими PM кроме сажи являются не только другие твердые вещества, но и жидкие. Наличие жидких веществ связано с конденсацией части несгоревших топлива и смазочного масла (углеводороды с углеродными группами от C<sub>5</sub> до C<sub>17</sub>, т.е. от пентана и выше) вследствие понижения температуры ОГ при их разбавлении воздухом. Воду, находящуюся в ОГ, в состав PM не включают (это обеспечивается посредством выдерживания фильтров в термостате до и после испытаний при постоянной влажности). Наличие же твердых веществ определяется выбросом не только сажи, но твердых сульфатов, а также части несгоревших топлива и масла (углеводороды с углеродными группами от C<sub>18</sub> и выше) вследствие их конденсации. Все указанные жидкие и твердые углеводороды носят название тяжелых углеводородов C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>.

Стандартизованный метод измерения эмиссии PM с ОГ – гравиметрический: согласно ему определяется разница в весе фильтров до и после пропускания через них смеси ОГ и воздуха (т.е. до и после испытаний двигателя). При этом температура смеси не должна превышать 325 К (52 °С), что имитирует процесс разбавления ОГ при их выбросе из выпускного трубопровода двигателя в атмосферу. Благодаря такой методике на фильтрах оседают все негазообразные вещества, содержащиеся в ОГ. Таким образом, дисперсные частицы – это твердые и жидкие вещества, находящиеся в смеси ОГ с воздухом при вышеуказанной температуре смеси.

Источники наличия в ОГ сажи и тяжелых углеводородов – неполностью сгоревшие топливо и смазочное масла, т.е. причина - несовершенство рабочего процесса дизеля, а также наличие масла на стенках цилиндра в зоне выше верхнего поршневого кольца (где оно подвергается воздействию высоких температур вследствие сгорания топлива). При этом площадь контакта поверхности цилиндра с горячими продуктами сгорания зависит от перемещения поршня. Что касается твердых сульфатов, то они образуются при взаимодействии продуктов сгорания серы, содержащейся в топливе, с барием и кальцием, входящими в состав моющих присадок к маслам. Кроме того, в ОГ присутствуют и другие твердые вещества: продукты износа деталей двигателя, зола и кокс топлива и масла; но их содержание по сравнению с вышеперечисленными составляющими незначительно.

Улучшение экологических показателей двигателей, а также объектов, на которых эти двигатели установлены, базируется на анализе влияния различных факторов (конструктивных и регулировочных) на выброс того или иного ВВ. Сложность решения указанной задачи в отношении PM связана, во-первых, с разнообразием физических и химических показателей их составляющих (в отличие от газообразных ВВ); во-вторых, с различным характером влияния режима работы двигателя на эти составляющие; в-третьих, с противоположным реагированием

на различные мероприятия по сравнению с процессом образования и разложения  $\text{NO}_x$ ; и в-четвертых, с невозможностью выявления составляющих РМ при проведении оценки их эмиссии стандартизованным гравиметрическим методом. Последнее обстоятельство можно обойти посредством применения, например, хроматографов и масс-спектрометров, но эти способы очень дорогостоящи и длительны. Оперативность же анализа получаемых результатов во многом определяет затраты времени и средств на проведение исследований.

Оценка эмиссии ВВ с ОГ производится на основании испытаний двигателя по т.н. «испытательным циклам» (ИЦ) – совокупности режимов работы, представляющих собой сочетание различных частот вращения коленчатого вала и нагрузок. Наиболее известны испытания по ИЦ, включающим 8 и 13 режимов: первые – для случая применения двигателей на внедорожной самоходной технике (ВДСТ: тракторы, строительно-дорожные, коммунальные и т.п. машины), вторые – для автомобильного транспорта полной массой более 3,5 т. При проведении доводочных исследований двигателя снимают сотни ИЦ (длительность каждого – 1,5...2,0 часа) при измерении выбросов газообразных ВВ. А при оценке эмиссии РМ добавляется время, необходимое для выдержки фильтров до и после испытаний, для предварительных измерений расхода воздуха (для настройки степени разбавления ОГ на каждом режиме, для проведения самого ИЦ, для взвешивания фильтров до и после испытаний. Таким образом, продолжительность однократного испытания по оценке эмиссии РМ с ОГ по стандартизованному ИЦ не менее 8,0 часов. И в итоге будет получена одно значение – интегральное для всего ИЦ. Это не позволит выявить ни режимы работы двигателя, ни составляющие дисперсных частиц, которые вносят основной вклад в выброс РМ. Соответственно, невозможно будет разработать целенаправленные мероприятия по улучшению экологических характеристик двигателя.

#### Материалы и методы

На основании анализа литературных данных [1...10], а также результатов собственных исследований по оценке степени распада суммарных углеводородов на отдельные группы [11], автором была разработана модель образования дисперсных частиц в потоке ОГ со следующими допущениями [12]:

- дисперсные частицы состоят из трех основных компонентов: сажи  $\text{C}$ , твердых сульфатов  $\text{MSO}_4$  и тяжелых углеводородов  $\text{C}_a\text{H}_b$ ;
- сажесодержание  $\text{C}$  пропорционально значению дымности  $\text{N}$  отработавших газов;
- образование твердых сульфатов  $\text{MSO}_4$  пропорционально расходу топлива  $G_r$ , содержанию серы  $\text{S}$  в топливе и степени конверсии продуктов сгорания серы;
- доля тяжелых углеводородов  $\text{C}_a\text{H}_b$  в суммарных  $\text{C}_n\text{H}_m$  зависит от режима работы дизеля, который идентифицируется температурой отработавших газов  $t_r$ ;
- дифференцирование источников тяжелых углеводородов  $\text{C}_a\text{H}_b$  (от топлива  $\text{CH}_{\text{fuel}}$  и от смазочного масла  $\text{CH}_{\text{oil}}$ ) определяется уровнем расхода масла на угар  $G_m$ ;
- неопределенность разработанной модели обуславливается содержанием в ОГ золы и кокса топлива, механических примесей в маслах, продуктов износа

деталей двигателя, а также принятием 100% конверсии продуктов сгорания серы в твердые сульфаты.

Общий вид зависимости концентрации дисперсных частиц в ОГ от уровня дымности ОГ, массового содержания серы в топливе, концентрации суммарных углеводородов и режима работы двигателя выглядит следующим образом:

$$\text{PM} = f_1(\text{N}) + f_2(\text{S}, G_r) + f_3(\text{CH}_{\text{fuel}}, \text{CH}_{\text{oil}}, t_r, G_m).$$

#### Результаты и обсуждение

В качестве примера ниже приведены результаты испытаний дизеля типа 3ЧН10,5/12,0 номинальной мощностью 36,0 кВт с целью выявления критичных режимов и составляющих РМ на итоговую эмиссию РМ с ОГ (рисунок 1).

На основании расчетной оценки эмиссии РМ по косвенным данным было определено, что основной вклад в эмиссию вносят тяжелые углеводороды от масла  $\text{CH}_{\text{oil}}$  (48,0 % от итогового выброса), влияние твердых сульфатов  $\text{MSO}_4$  почти в 2 раза слабее (25,9 %), еще меньший вклад вносят сажа  $\text{C}$  (16,5%) и тяжелые углеводороды от топлива  $\text{CH}_{\text{fuel}}$  (9,6 %) (рисунок 1, а). Подобная картина указывает на большой расход масла на угар.

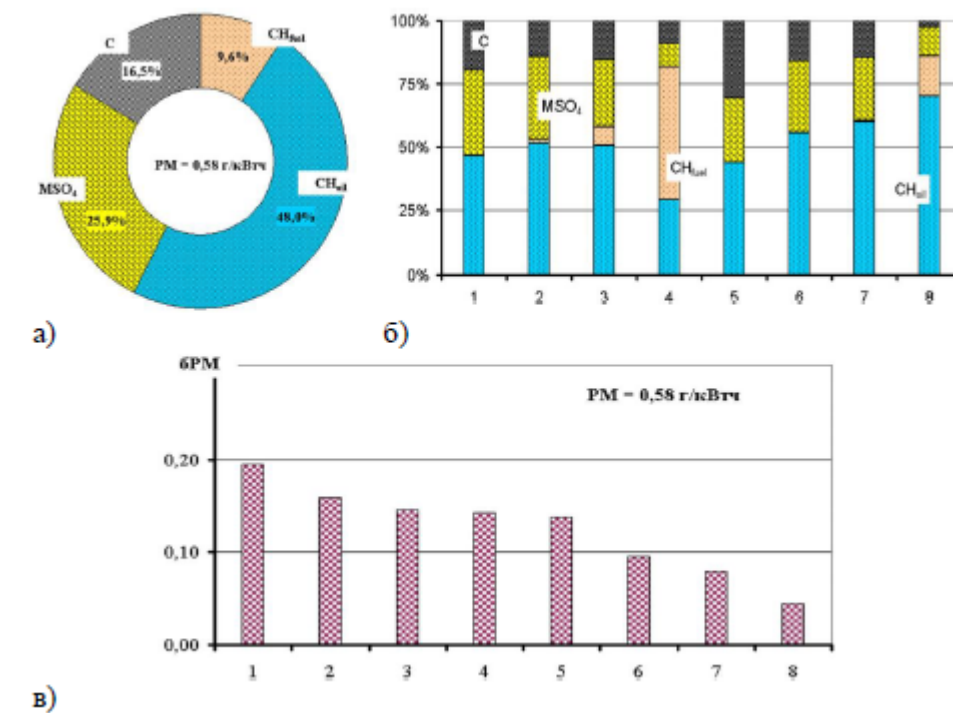


Рисунок 1 – Оценка долевого влияния составляющих РМ (а) и (б) и режима работы двигателя (в) на эмиссию дисперсных частиц при испытаниях по 8-ступенчатому циклу Правил ЕЭК ООН № 96-01.

На рисунке 1, в приведены результаты оценки влияния каждого из восьми режимов испытаний ИЦ; характеристика указанного ИЦ представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Ступенчатый испытательный цикл дизелей ВДСТ по Правилам ЕЭК ООН №96-01

| № режима | Номинальный скоростной режим   | № режима | Промежуточный скоростной режим      |
|----------|--------------------------------|----------|-------------------------------------|
| №1       | номинальная мощность $N_{ном}$ | №5       | наибольший крутящий момент $M_{пр}$ |
| №2       | 75% $N_{ном}$                  | №6       | 75% $M_{пр}$                        |
| №3       | 50% $N_{ном}$                  | №7       | 50% $M_{пр}$                        |
| №4       | 10% $N_{ном}$                  | №8       | минимальные обороты холостого хода  |

Согласно Правилам ЕЭК ООН №96-01, ИЦ включает три скоростных режима: соответствующий номинальной мощности (№ 1...№ 4), промежуточный (№ 5...№ 7) и минимальных оборотов холостого хода (№ 8). Первые два скоростных режима включают в себя несколько различных нагрузочных режимов. При этом промежуточный скоростной режим может совпадать с частотой вращения коленчатого вала, соответствующей максимальному крутящему моменту, в том случае, если последняя лежит в диапазоне от 75 % до 60 % от номинального скоростного режима. В противном случае промежуточная частота принимается равной ближайшему значению границы диапазона (т.е. либо 75 %, либо 60 % от номинальной), в связи с чем режим максимального крутящего момента может учитываться, а может и не учитываться.

Подобное разнообразие режимов работы двигателя предопределяет большой разброс характеристик процессов топливоподачи и газообмена. Все это ведет к неидентичности характера протекания рабочего процесса на каждом из режимов ИЦ, что связано с разными количествами подаваемых топлива и воздушного заряда, давлениями и температурами воздушного заряда (особенно для двигателя с наддувом), продолжительностью и максимальным давлением впрыскиваемого топлива, с большим диапазоном изменения температур продуктов сгорания и т.д. Следствием всего перечисленного будет различное протекание процессов образования и разложения вредных веществ в цилиндре двигателя. Из этого вытекает и необходимость учета особенностей каждого из режимов работы двигателя при разработке мероприятий по снижению выброса ВВ с ОГ.

Согласно полученным данным (см. рис. 1в), наибольшее влияние на итоговый выброс РМ оказал режим номинальной мощности (№ 1) – почти 20 %; режимы № 2...№ 5 оказывают практически одинаковое влияние – по 14...16 % каждый; и только режимы № 6...№ 8 имеют наименьшее влияние – не более 20 % вместе взятые. Эти данные интересны тем, что заметно отличающиеся между собой режимы № 2...№ 5 вносят одинаковый вклад, хотя среди них есть как режим малой нагрузки (№ 4), так и режим наибольшего крутящего момента (№ 5). Подобная картина свидетельствует о постепенном изменении степени влияния каждого из компонентов в зависимости от режима; соответственно и мероприятия по снижению суммарного выброса РМ должны учитывать эти особенности.

Данные рисунка 1, б дополняют анализ: на режимах №3 и, особенно, №4 (по сравнению с № 2 и № 5) проявляется влияние тяжелых углеводородов от топлива, а на режиме № 5 – режиме наибольшего крутящего момента (относительно № 2...№ 4) – сажи. После устранения проблемы повышенного расхода масла на угар (что отмечено выше), были разработаны мероприятия по снижению эмиссии С и  $CH_{fuel}$  с ОГ: несмотря на то, что оба компонента представляют собой продукты неполного сгорания, снижение их эмиссии обеспечивалось различными путями. Что касается твердых сульфатов, то это свидетельствует о неудовлетворительном удельном расходе топлива, поскольку содержание серы в топливе постоянно, то выброс  $MSO_4$  пропорционален расходу топлива.

Следует обратить внимание на то, что в случае отсутствия разбиения эмиссии тяжелых углеводородов по источникам (топливо и масла), весь их выброс был бы отнесен на счет топлива (что характерно для ряда моделей образования РМ в дизелях [1...3]). Хотя вклад неполноты сгорания топлива замечен только на режимах малых нагрузок – № 4 и № 8. Таким образом, учет группового состава углеводородов, содержащихся в отработавших газах позволит обеспечить селективный подбор катализаторов для окислительных нейтрализаторов [13].

Применение разработанной методики оценки эмиссии РМ позволило предложить и реализовать целенаправленные мероприятия по доводке дизеля 3ЧН10,5/12,0, что обеспечило снижение удельного выброса дисперсных частиц с ОГ более чем в 2 раза (с 0,58 до 0,26 г/кВтч). При этом характер влияния отдельных компонентов и режимов на итоговый выброс РМ существенно изменился (рисунок 2).

В первую очередь следует отметить не только снижение долевого влияние тяжелых углеводородов масла на всех режимах ИЦ, но и тяжелых углеводородов топлива на режиме № 4 (с 50 до 10 %). При этом, естественно, возросло относительное влияние эмиссии сажи и, особенно, твердых сульфатов – почти в 2 раза каждый. Однако абсолютные значения эмиссии всех компонентов, кроме выброса  $MSO_4$  (обусловленное увеличением удельного расхода топлива), снизились, что и обеспечило общее улучшение экологических показателей двигателя.

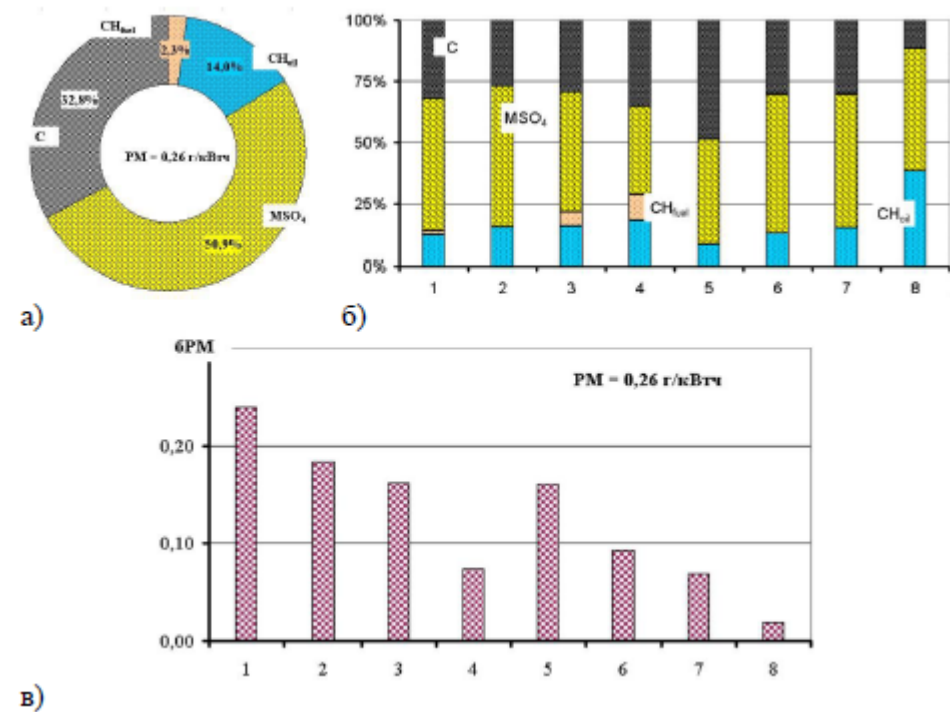


Рисунок 2 – Результат доводки дизеля

### Выводы

Разработка мероприятий по снижению эмиссии дисперсных частиц с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания возможна только при наличии информации об основных составляющих дисперсных частиц, а также о степени влияния каждого из режимов испытательного цикла на эмиссию этих составляющих.

Особенности стандартизованного гравиметрического метода измерения удельного выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей не позволяют выявить лимитирующие режимы - режимы испытаний, вносящие основной вклад в итоговый выброс дисперсных частиц, а также не позволяют оценить долевой вклад составляющих дисперсных частиц в интегральное значение их эмиссии;

Относительный состав дисперсных частиц - содержание тяжелых углеводородов, сажи и твердых сульфатов - изменяется в широких пределах: 20...80 %, 10...50 % и 5...30 %, соответственно, и обусловлено характеристиками систем топливоподачи и газообмена, а также организацией смесеобразования в камере сгорания.

Эмиссия твёрдых сульфатов пропорциональна содержанию в топливе серы, а также содержанию бария и кальция в моющих присадках к маслам;

Снижению эмиссии сажи способствует повышение степени гомогенизации топливовоздушной смеси в ходе процессов топливоподачи и смешения в камере сгорания;

Учет группового состава углеводородов, содержащихся в отработавших газах позволит обеспечить селективный подбор катализаторов для окислительных нейтрализаторов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Басевич, В. Я., Исамухамедов, В. С., Карпов, В. П. Углеводороды C1 – C3 в выхлопе ДВС // Химическая физика, 1992, т.11, №11. – С. 1575–1579.
- 2 Филипосянц, Т. Р., Иванов, А. Г. К вопросу об ускоренных методах контроля и доводки дизелей по экологическим параметрам // Экология двигателя и автомобиля: Сб. науч. тр. НАМИ. – М., 1998. – С. 19–25.
- 3 Парсаданов, И. В. Повышение качества дизелей на основе топливно-экологического критерия. – Харьков: Изд. Центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
- 4 Экология автомобильных двигателей внутреннего сгорания // В. А. Звонов, Л. С. Заиграев, В. И. Черных, А. В. Козлов. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2004. – 268 с.
- 5 Muntean, G. G. The State of the Science in Diesel Particulate Control // 2005 Diesel Engine Emissions Reduction (DEER) Conference Presentations and Posters.
- 6 Greeves, G, Wang, J. T. Origins of Diesel Particulate Mass Emissions // SAE Transactions, 1981, Vol. 90. – P. 1161–1172.
- 7 Heywood, G. B. Образование загрязняющих веществ и борьба с ними в двигателях с искровым зажиганием. – М.: Машиностроение, 1981. – 407 с.
- 8 Alkidas, A. C. Relationship between smoke measurements and particulate measurements // SAE Paper. – 1984. – № 840412. – 9 p.
- 9 Hardenberg, H., Albrecht, H. Grenzen der Rumassnbestimmung aus optischen Transmessungen // MTZ: Motortechn. Z. – 1987. – № 2. – P. 51–54.
- 10 Muntean, G. G. A theoretical model for the correlation of smoke number to dry particulate concentration in diesel exhaust // SAE paper. – 1999. – № 1999-01-0515. – 9 p.
- 11 Кульчицкий, А. Р., Коротнев, А. Г., Петров, В. Л., Честнов, Ю. И. Эмиссия углеводородов с отработавшими газами дизелей. // Двигателестроение, 2000, № 2. – С. 37–39.
- 12 Кульчицкий, А. Р. Расчетно-экспериментальное определение выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей // Двигателестроение, 2005, № 4. – с. 39-44.
- 13 Арендарский, Д. А., Коротнев, А. Г., Немцев, А. Н., Кульчицкий, А. Р., Честнов, Ю. И. Исследование эффективности стеклотканного катализатора в потоке отработавших газов дизеля // Двигателестроение, 2005, №2. – с. 43–46.

## REFERENCES

- 1 **Basevich, V. Ya., Isamukhamedov, V. S., Karpov, V. P.** Uglevodorody` S1 - S3 v vy`xlope DVS [Hydrocarbons C1 - C3 in the exhaust of internal combustion engines] // Chemical Physics, 1992, v.11, № 11. – P. 1575 – 1579.
  - 2 **Filiposyants, T. R., Ivanov, A. G.** K voprosu ob uskorenny`x metodax kontrolya i dovodki dizelej po e`kologicheskim parametram [On the issue of accelerated methods of control and refinement of diesel engines according to environmental parameters] // Ecology of the engine and car : Sat. scientific tr. US. – Moscow, 1998. – P. 19–25.
  - 3 **Parsadanov, I. V.** Povy`shenie kachestva dizelej na osnove toplivno-e`kologicheskogo kriteriya [Improving the quality of diesel engines based on fuel and environmental criteria] – Kharkov : Ed. Center NTU «KhPI», 2003. – 244 p.
  - 4 E`kologiya avtomobil`ny`x dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Ecology of automotive internal combustion engines] // V. A. Zvonov, L. S. Zaigraev, V. I. Chernykh, A. V. Kozlov. – Lugansk : VNU im. V. Dalya, 2004. – 268 p.
  - 5 **Muntean, G. G.** The State of the Science in Diesel Particulate Control // 2005 Diesel Engine Emissions Reduction (DEER) Conference Presentations and Posters.
  - 6 **Greeves, G., Wang, J. T.** [Origins of Diesel Particulate Mass Emissions] // SAE Transactions, Vol. 90. – P. 1161–1172, 1981.
  - 7 **Heywood, G. B.** Obrazovanie zagryaznyayushhix veshhestv i bor`ba s nimi v dvigatelyax s iskrovy`m zazhiganiem [Formation and control of contaminants in spark ignition engines] – Moscow : Mashinostroenie, 1981. – 407 p.
  - 8 **Alkidas A. C.** Relationship between smoke measurements and particulate measurements // SAE Paper. – 1984. – № 840412. – 9 P.
  - 9 **Hardenberg H., Albrecht H.** Grenzen der Rumassnbestimmung aus optischen Transmessung-en // MTZ : Motortech. Z. – 1987. – № 2. – P. 51-54.
  - 10 **Muntean, G. G.** A theoretical model for the correlation of smoke number to dry particulate concentration in diesel exhaust // SAE paper. – 1999. – № 1999-01-0515. – 9 P.
  - 11 **Kulchitsky, A. R., Korotnev, A. G., Petrov, V. L., Chestnov, Yu. I.** E`missiya uglevodorodov s otrabotavshimi gazami dizelej. [Emission of hydrocarbons with exhaust gases of diesel engines] // Dvigatolestroyeniye, 2000, № 2. – P. 37–39.
  - 12 **Kulchitsky, A. R.** Raschetno-e`ksperimental`noe opredelenie vy`broso dispersny`x chasticz s otrabotavshimi gazami dizelej [Calculation and experimental determination of the emission of dispersed particles with exhaust gases of diesel engines] // Dvigatolestroyeniye, 2005, №4. – P. 39–44.
  - 13 **Arendarsky, D. A., Korotnev, A. G., Nemtsev, A. N., Kulchitsky, A. R., Chestnov, Yu. I.** Issledovanie e`ffektivnosti steklotkannogo katalizatora v potoke otrabotavshix gazov dizelya [Investigation of the efficiency of a glass-woven catalyst in the exhaust gas flow of a diesel engine] // Dvigatolestroyeniye, 2005, № 2. – P. 43–46.
- Материал поступил в редакцию 02.02.23.

**А. Р. Кульчицкий**

«Камешково механикалық зауыты» АҚ, Ресей Федерациясы, Камешково қ.  
Материал 02.02.23 баспаға түсті.

## ДИЗЕЛЬДЕ ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ГАЗДАРДЫҢ ДИСПЕРСТІ ІШНАРА ЭМИССИЯСЫН ТӨМЕНДЕТУ

*Іштен жанатын қозғалтқыштардың пайдаланылған газдарының (EG) және ауаның қоспасының құрамындағы зиянды дисперсті бөлшектер (Particulate Matter - PM) газ тәрізді зиянды заттардан айырмашылығы агрегаттық күйде болады: қатты және сұйық. Сұйық бөлшектердің болуы жанар-жағармайдың жанбаған көмірсутектерінің бір бөлігінің конденсациялануымен байланысты, олар ауамен сұйылтылған кезде шығатын газдардың температурасының төмендеуіне байланысты. Ал қатты заттардың болуы күйенің ғана емес, қатты сульфаттардың, сондай-ақ олардың конденсациялануына байланысты жанармай мен мұнайдың жанбаған көмірсутектерінің бөлігінің шығарылуымен анықталады. Бұл ретте пайдаланылған газдардағы су ПМ құрамына кірмейді, бұл сынақтарға дейін және одан кейін ПМ тұндырылатын сүзгілерді термостаттау арқылы қамтамасыз етіледі. Алайда, пайдаланылған газдардағы РМ мазмұнын өлшеудің стандартталған (гравиметриялық) әдісі барысында бұл компоненттерді анықтауды қамтамасыз ету мүмкін емес. Сондықтан көбінесе дисперсті бөлшектер деп тек күйе (қатты көміртегі) түсініледі. Сонымен қатар, қозғалтқыштың жұмыс режимінің әртүрлі компоненттерге әсері бірдей емес: егер пайдаланылған газдардағы күйе концентрациясы жүктемеге пропорционал болса, онда сұйық компоненттердің болуы төмен жүктеме режимдеріне көбірек тән. Мұндай оңайлаулар РМ шығарындыларын азайту бойынша мақсатты шараларды әзірлеуді қамтамасыз етпейді, өйткені, бір жағынан, олардың барлық негізгі компоненттері, ал екінші жағынан, қозғалтқыштың жұмыс режимінің әсері ескерілмейді.*

*Кілтті сөздер: дизельдік қозғалтқыш, пайдаланылған газдар, дисперсті бөлшектер, күйе, қатты сульфаттар, көмірсутектер.*

**A. R. Kulchitskiy**

JSC «Kameshkovo Mechanical Plant»,  
Russian Federation, Kameshkovo.  
Material received on 02.02.23

## REDUCTION OF THE EMISSION OF DISPERSED PARTICLES WITH DIESEL EXHAUST GASES

*Harmful dispersed particles (Particulate Matter - PM) contained in the mixture of exhaust gases of internal combustion engines and air, unlike gaseous harmful substances, are in a different state of aggregation: solid and liquid. The presence of liquid particles is associated with the condensation of part of the unburned hydrocarbons of the fuel and lubricating oil due to a decrease in the temperature*

*of the exhaust gases when they are diluted with air. And the presence of solids is determined by the emission of not only soot, but solid sulfates, as well as part of the unburned hydrocarbons of the fuel and oil due to their condensation. At the same time, the water in the exhaust gases is not included in the composition of the PM, which is ensured by thermostating the filters on which the PM is deposited before and after the tests. However, in the course of a standardized (gravimetric) method for measuring the content of PM in exhaust gases, it is impossible to ensure the identification of these components. Therefore, often only soot (solid carbon) is meant by dispersed particles. In addition, the influence of the engine operating mode on various components is not identical: if the soot concentration in the exhaust gases is proportional to the load, then the presence of liquid components is more typical for low load modes. Such simplifications will not ensure the development of targeted measures to reduce PM emissions, since, on the one hand, all their main components will not be taken into account, and on the other hand, the influence of the engine operating mode.*

*Keywords: diesel engine, exhaust gases, dispersed particles, soot, solid sulfates, hydrocarbons.*

SRSTI 73.49.23

DOI

**\*R. Yu. Zaripov<sup>1</sup>, P. Gavrilovs<sup>2</sup>, R. B. Mukanov<sup>3</sup>, S. A. Miller<sup>4</sup>,  
A. A. Sadykov<sup>5</sup>**

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

<sup>2</sup>Riga Technical university, Institute of railway transport, Latvia, Riga

### **DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF A HYBRID POWER PLANT BASED ON A CAR**

*The article reflects information about the current state of development of car designs with a hybrid power plant. The authors are conducting research work to create a prototype of an energy-efficient hybrid power plant based on a passenger car. The result of the work is an increase in the environmental safety of cars and efficiency. The basic schematic diagrams of hybrid power systems of passenger cars have been studied. Hybrid drive options included a version for rear-wheel drive and all-wheel drive layouts. The power plant of a hybrid car with a parallel, sequential and series-parallel construction scheme is considered. Taking into account the advantages and disadvantages of all types of hybrid car drive schemes, the most suitable one has been selected.*

*A small-sized car «Oka» was chosen as the base for the project. The car is modified to all-wheel drive, the electric motor is installed on the rear axle.*

*The article contains a brief traction and dynamic calculation of an electric vehicle. According to the calculation results, an electric motor was selected.*

*The technical solution is to develop an independent rear suspension with a subframe for mounting a gearbox with an electric motor and using hinges of equal angular velocities, which increases the cost of its design, but is the optimal solution for implementing such a scheme.*

*Keywords: hybrid power plant, drive, electric motor, transmission, generator, car*

### **Introduction**

The transportation sector significantly contributes to the Earths' GHG emissions, which is the primary driver of climate change [1].

The total amount of harmful substances emitted into the atmosphere by automotive equipment is more than three times higher than the emissions of industrial enterprises [2–3].

In recent years, the automotive industry has shown increasing interest in cars with hybrid or electric powerplant. One of the most prominent representatives of hybrid cars of domestic development can be noted the family of concept cars of the brand «E», which are a sequential hybrid car with an electric transmission with combined power from a generator rotated by a gas-gasoline internal combustion engine and a capacitive energy storage [1–3].

Most often, in hybrid cars, the electric motor operates during a period of mixed loads, and at steady loads, the internal combustion engine enters into operation, providing, with

the help of a generator, recharging batteries. At the same time, a hybrid car can be forced to work only on an internal combustion engine or an electric motor, and in modes with the required maximum power, use both power units. This determines the convenience of its operation. However, hybrid cars have their drawbacks, the main of which are the complexity and high cost of the design, which does not justify the efficiency at the output from using such a scheme. Nevertheless, almost every automaker has hybrid versions or individual models using a hybrid powerplant in the line of manufactured cars.

At the Faculty of Engineering of the «Toraigrov University», within the framework of experimental design development, together with students and undergraduates, work is being carried out on the topic «Development of electric drive units for the implementation of the concept of a hybrid power plant based on a car».

#### Materials and methods

There are several schemes for the layout of power drives of hybrid cars, such as: serial, parallel and series-parallel [4].

With a sequential scheme, the drive to the wheels of the car is carried out only with the help of an electric motor, and the internal combustion engine works to generate electricity used by the first. The main advantages of this scheme are: the operation of the internal combustion engine with minimal fuel consumption and ease of control of the power plant. However, such a scheme has too low efficiency and provides for the mandatory use of two traction electric motors. The schematic diagram of a serial hybrid drive is shown in Figure 1 [4].

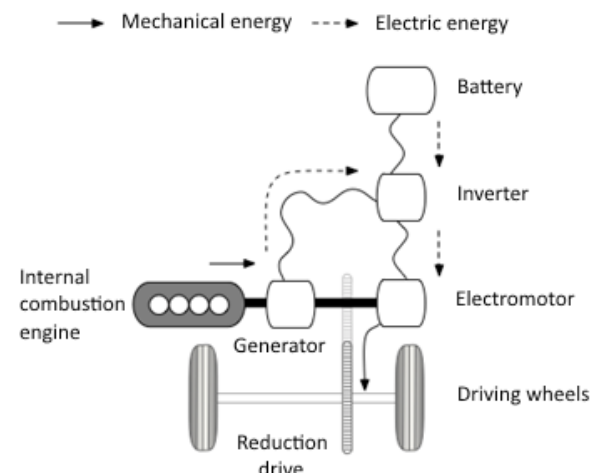


Figure 1 – Schematic diagram of a serial hybrid drive

In the parallel scheme of a hybrid car, the internal combustion engine and the electric motor are connected to the wheels of the car by means of a common transmission. The power supply for the electric motor is provided by a rechargeable battery. The advantages of this scheme are: higher efficiency than in a sequential circuit, as well as the possibility of autonomous operation, both on the internal combustion engine and on the electric motor. The disadvantages are: mandatory use in the transmission drive (sometimes its complication) and the impossibility of continuous operation of the internal combustion

engine in the mode of minimum fuel consumption. The schematic diagram of a parallel hybrid drive is shown in Figure 2 [4].

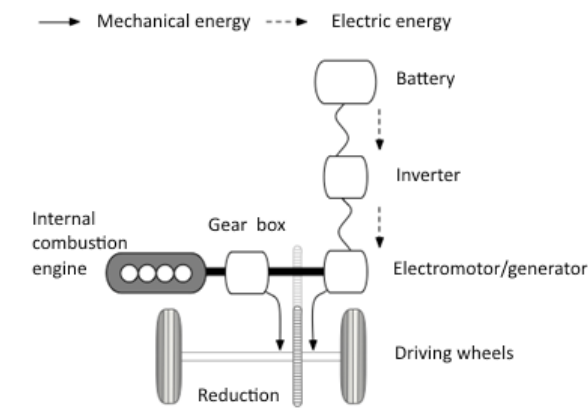


Figure 2 – Schematic diagram of a parallel hybrid drive

In the case of a series-parallel hybrid drive circuit (Figure 3), the internal combustion engine, the generator and the transmission output shaft, which is connected to the drive shafts of the driving wheels and to which the traction motor transmits energy, are connected via a planetary transmission, while the internal combustion engine operates at a constant minimum fuel consumption mode, and the speed of the transmission output shaft is regulated by changing the speed of rotation of the shaft of the traction motor due to the appropriate control, at the same time, it is necessary to synchronously control the power on the generator shaft to ensure constant operation of the internal combustion engine with minimal fuel consumption and minimal toxicity [4].

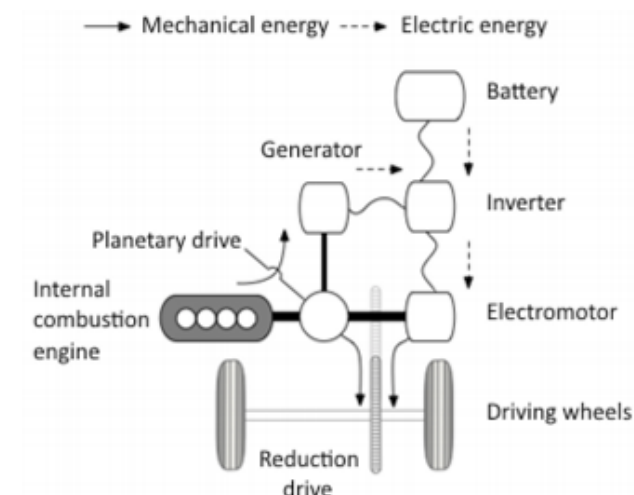


Figure 3 – Schematic diagram of a series-parallel hybrid drive

The advantages of the series-parallel hybrid scheme include high efficiency in the transmission of energy from the internal combustion engine to the drive wheels and the

possibility of its operation in a constant mode of maximum efficiency and environmental friendliness. Disadvantages – a complex transmission with the mandatory introduction of a planetary transmission into its design and a complex control system for the entire drive. The schematic diagram of a series-parallel hybrid drive is shown in Figure 3.

As a base for the prototype, an OKA car was taken (Figure 4) with a VAZ-11113 engine – a 0.7-liter gasoline engine with a capacity of 33 hp.

«Oka» is a representative of an «especially small class» (segment «A» according to European standards): it is 3,200 mm long, 1,420 mm wide, and 1,400 mm high.

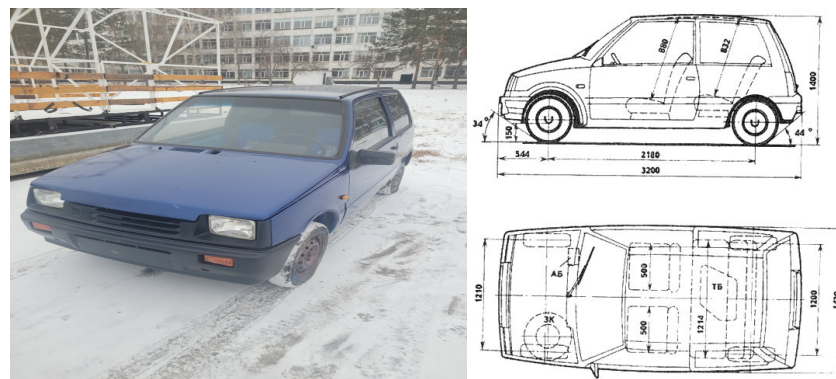


Figure 4 – The appearance of the car body for prototyping

The wheelbase of the car is 2180 mm, and its ground clearance is 150 mm. The machine weighs from 635 to 660 kg, depending on the version, and its gross weight does not exceed one ton.

Taking into account the advantages and disadvantages of all types of hybrid car drive schemes, it is necessary to choose the most suitable one. It is necessary to analyze each scheme for the feasibility of application, based on the requirements of the use of vehicles and compliance with the optimal economic component when introduced into production [5].

You can start the analysis with a serial hybrid drive circuit. The key factor in the application of this scheme is the mandatory use of two high-power electric motors in the drive of the car, as well as batteries of increased energy intensity. To implement such a design, it is necessary to redesign most of the main components of the car. The main disadvantage of using such a scheme on the projected car will be the possibility of its operation on only one type of drive - electric. This causes its unreliability, in case of failure of the drive electric motors. Also, the use of such a scheme requires a significant change in the layout solutions in the car and the development of many nodes from scratch [5–7].

The next circuit is a parallel hybrid drive circuit. This scheme has proven itself well in use on commercial transport. It is possible to leave almost all nodes unchanged and implement the drive in several ways, depending on the purpose of the car.

With the help of the controller, it is necessary to set the algorithm for the operation of this scheme, which will consist in the fact that in transient modes (urban operation at

speeds up to 60 km / h), the wheel drive will be implemented using an electric motor, and the internal combustion engine, in turn, will operate at idle, disconnected from the transmission, providing recharging the battery pack. Under steady-state conditions (operation along the highway with maximum efficiency and environmental friendliness), the internal combustion engine will enter into operation. The electric motor will work in generator mode, recharging the battery. It is also necessary to implement the possibility of regenerative braking and the maximum power mode (joint operation of the internal combustion engine and electric motor), with the possibility of forced activation.

This scheme is suitable for rear-wheel drive layout of the car. The advantages of the scheme are the relative ease of implementation and minimal production costs in comparison with other schemes [8].

The second variation of the parallel circuit application may be suitable for all-wheel drive modification of this car. The rear drive axle of a modified OKA car can be used as the basis for the rear wheel drive. To it, through the angular gearbox, connect an electric motor, the body of which will be fixed on this bridge. The algorithm of operation can be implemented in the same way as in the above scheme with a front-wheel drive layout. However, a significant disadvantage of such a scheme is an increase in the unsprung mass of the front suspension, since it will increase by a mass equal to the connected electric motor. The solution is to develop an independent suspension with a subframe for mounting a gearbox with an electric motor and using hinges of equal angular velocities, which increases the cost of its design, but is the optimal solution for implementing such a scheme. Another disadvantage of using a dependent drive axle is the inevitable increase in the clearance of the car, due to the proximity of the crankcase of the front axle to the engine tray. This, in turn, leads to an undesirable increase in the loading height of the car and an increase in the height of the center of gravity, which will have the worst effect on handling.

The use of a series-parallel circuit, which, although it has the highest efficiency of power use, is impractical in this car, because it requires a radical change in all the components of the car and the development of a planetary gear to combine the drives. In addition, it is difficult to implement in the on-board version of the car and will entail the irrational use of the cargo compartment or will require significant processing of the cabin.

Traction and dynamic calculation of an electric vehicle.

Determination of the traction and speed properties of the car is necessary when designing new models, as well as when choosing types of cars in accordance with different operating conditions [9-10]. This problem is solved by the methods of the theory of the automobile - the science of operational properties, which characterize the possibility of effective use of the car in certain conditions and allow us to assess to what extent its design meets these conditions.

When starting the calculation, you should first study the relevant sections of the theory of the car, master the methods of analyzing such characteristics of the car as power and power balances, dynamic characteristics, etc.

Results and Discussion

To select the required engine power, it is necessary to calculate the dynamic parameters

Initial data

Car type - rear-wheel drive passenger car of the especially small class

Wheel formula - 4x2

Number of people -  $n = 1$  (people)

Length = 3200 mm.

Width = 1420 mm.

Height = 1400 mm.

Curb weight  $= m_0$  650 kg.

Tire dimension : 135/80R12

Air resistance coefficient  $- C_x = 0.3$

Rolling resistance coefficient  $- f_0 = 0.013$

Coefficient depending on the slope of the road  $- a_{max} = 0.25$

Maximum speed  $- V_{max} = 30$  km/h

The maximum speed of the motor shaft  $\omega_e^{max}$  418 s<sup>-1</sup> (4000 rpm)

Transmission efficiency  $- \eta_{tr} = 0.85$

Determination of the total mass of the car

$$M_a = M_0 + (M_{man} \cdot n) + M_b$$

$$M_a = 650 + (75 \cdot 1) + 10 = 735 \text{ kg}$$

$M_0$  – curb weight of the vehicle

$M_{man}$  – weight of a person (75 kg.)

$M_b$  – weight of cargo per person

$n$  – number of people in an electric car

Determination of the static radius of the wheel

$$r_{st} = 0.5 \cdot d + \lambda \cdot H$$

where  $d = 12$  – is the landing diameter, inches (= 0.304 m)

$\lambda = 0.92$  – is the coefficient of vertical deformation of tires, depending on the specifics of the tires used

$H/B = 65$  – is the height of the tire profile relative to its width, %

$B = 65 \cdot 0.175 = 0.114$  – is the height of the tire profile, m

$$r_{st} = 0.5 \cdot 0.304 + 0.8 \cdot 0.114 = 0.243 \text{ m}$$

Determination of the coefficient of streamlining

$$k = \frac{C_x \cdot \rho}{2}$$

$$k = \frac{0.3 \cdot 1.293}{2} = 0.19$$

where  $C_x$  – is the air resistance coefficient

$\rho = 1.293$  – air density under standard conditions

Calculation of rolling resistance coefficient

$$f = f_0 \cdot \left( 1 + \frac{V^2}{2000} \right)$$

$$f = 0.013 \cdot \left( 1 + \frac{40^2}{2000} \right) = 0.023$$

First, the power of the electric motor is determined at the highest speed of the electric vehicle, taking into account the efficiency of the transmission according to the power balance formula

$$N_V = \frac{1}{\eta_{tr}} \left( G_a \cdot \psi V \cdot V_{max} + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot V_{max}^3 \right)$$

$\psi V$  – is the coefficient of road resistance at the maximum speed of the car.

For light cars, the road resistance coefficient is assumed to be equal to the rolling coefficient at maximum speed.

$$\psi V = f = 0.023$$

$G_a = mg$  – is the total weight of the car,

$\rho = 1.293$  – is the air density under normal conditions

$$N_V = \frac{1}{0.85} (735 \cdot 9.81 \cdot 0.023 \cdot 60 + 0.15 \cdot 1.293 \cdot 30^3) = 12.07 \text{ kW}$$

### Conclusion

The basic schematic diagrams of hybrid power systems of passenger cars have been studied. Hybrid drive options included a version for rear-wheel drive and all-wheel drive layouts. The power plant of a hybrid car with a parallel, sequential and series-parallel construction scheme is considered. Taking into account the advantages and disadvantages of all types of hybrid car drive schemes, the most suitable one has been selected.

According to the calculations obtained, an electric motor can be selected. We have selected an electric motor HPM-10KW with liquid cooling. The motor is controlled by a VEC500 sine controller for a 10 kW BLDC motor. This model is designed to control the operation of a BLDC motor, or a 10 kW brushless electric motor. It is equipped with reliable protection against moisture, overload and overheating. It is installed on almost any type of electric transport: bicycles, motorcycles, cars, boats, golf carts and even tricycles.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Council B. E.** World Energy Scenarios. World Energy Council. – 2013.
- 2 **Bajcinovci, B.** Environment Quality: Impact From Traffic, Power Plant and Land Morphology, a Case Study of Prishtina // Environmental and Climate Technologies. – 2017. – P. 65–74.
- 3 **Зарипов, Р. Ю., Гаврилов, П., Карку, А. Д., Серикпаев, Т. М.** Методы снижения токсичности отработавших газов дизеля // Наука и техника Казахстана. – № 1. – 2019. – с. 75–84.
- 4 **Бахмутов, С. В.** Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: учебное пособие / С. В. Бахмутов, А. Л. Карунин, А. В. Круташов и др. – М. : МГТУ «МАМИ», 2007 » 71 с.
- 5 **Pistoia, G.** Electric and hybrid vehicles. Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market / G. Pistoia. – Oxford : Elsiver. – 2010. – 645 p.
- 6 **Kitaoka, K.** Large-sized Nickel-Metal Hydride Battery of Electric Vehicle et al. // Sanyo Tech. Rev. – 1999. – Vol. 31. – P. 69–74.
- 7 **Aharon, I., Kuperman, A.** Topological overview of powertrains for battery-powered vehicles with range extenders / IEEE Transactions on Power Electronics. – 2011. – Vol. 26 (3). – P. 868–876.
- 8 **Bahamonde, J. S., de Servi, C. M., Colonna, P.** Hybrid electric powertrain for long-haul trucks and buses: Preliminary analysis of a new concept based on a combined cycle power plant / Journal of the Global Power and Propulsion Society. – 2020. – Vol. 4. – P. 63–79.
- 9 **Белоусов, Б. Н., Изосимов, Д. Б., Лексин, К. Г.** Автомобили с гибридной трансмиссией и КЭУ // Журнал автомобильной промышленности, 2006, № 6.
- 10 **Бусыгин, Б. П.** Методы расчета систем электромобилей. «Электромобили. Учебник.» МАДИ, 1979, 37 с.

## REFERENCES

- 1 **Council, B. E.** World Energy Scenarios. World Energy Council. – 2013.
- 2 **Bajcinovci, B.** Environment Quality : Impact From Traffic, Power Plant and Land Morphology, a Case Study of Prishtina // Environmental and Climate Technologies. – 2017. – P. 65–74.
- 3 **Zaripov, R. Yu., Gavrilov, P., Karku, A. D., Serikpaev, T. M.** Sposoby snijenia toksichnosti vyhlopnyh gazov dizelnogo topliva [Ways to reduce the toxicity of diesel exhaust gases] [Text] // Nauka i tekhnika Kazakhstana [Science and technology of Kazakhstan]. – 2019. – Vol. 1. – P. 75–84
- 4 **Bahmutov S. V.** Konstruktivnye skhemy avtomobiley s gibridnymi silovymi ustanovkami [Structural schemes of cars with hybrid power plants: study guide] [Text] // Moscow, MGTU «MAMI». – 2007. – 71 p.
- 5 **Pistoia, G.** Electric and hybrid vehicles. Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market / G. Pistoia. – Oxford : Elsiver. – 2010. – 645 p.
- 6 **Kitaoka, K.** Large-sized Nickel-Metal Hydride Battery of Electric Vehicle et al. // Sanyo Tech. Rev. – 1999. – Vol. 31. – P. 69–74.
- 7 **Aharon, I., Kuperman, A.** Topological overview of powertrains for battery-powered vehicles with range extenders / IEEE Transactions on Power Electronics. – 2011. – Vol. 26 (3). – P. 868–876.
- 8 **Bahamonde, J. S., de Servi, C. M., Colonna, P.** Hybrid electric powertrain for long-haul trucks and buses: Preliminary analysis of a new concept based on a combined cycle power plant / Journal of the Global Power and Propulsion Society. – 2020. – Vol. 4. – P. 63–79.
- 9 **Belousov, B. N., Izosimov, D. B., Leksin, K. G.** Avtomobili s gibridnoj transmissiej i KE`U [Cars with hybrid transmission and KEU] // Journal Automotive Industry. – 2006. – Vol. 6.
- 10 **Limbetov, R. Y., Astapenko, A. M.** Development of the assembly scheme combined power plant for trucks with improved environmental performance [Razrabotka komponovochnoy skhemy kombinirovannoy energeticheskoy ustanovki dlya gruzovogo avtomobilya s uluchshennymi ekologicheskimi pokazatelyami], Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya : Mashinostroenie [Bulletin of South Ural State University. Series «Mechanical engineering industry»], 2013. – Vol. 1. – P. 72–79.

Material received on 02.02.23

**\*Р. Ю. Зарипов<sup>1</sup>, П. Гаврилов<sup>2</sup>, Р. Б. Муканов<sup>3</sup>, С. А. Миллер<sup>4</sup>,  
А. А. Садыков<sup>5</sup>**

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

<sup>2</sup>Рига техникалық университеті, Теміржол көлігі институты, Рига, Латвия  
Материал 02.02.23 баспаға түсті.

### АВТОМОБИЛЬ НЕГІЗІНДЕ ГИБРИДТІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫ ТҰЖЫРЫМДАМАСЫН ӘЗІРЛЕУ

Мақалада гибриді электр қондырғысы бар автомобиль құрылымдарының қазіргі даму жағдайы туралы ақпарат берілген. Авторлар жеңіл автомобиль негізінде энергия үнемдейтін гибриді электр қондырғысының прототипін жасау бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізеді. Жұмыстың нәтижесі автомобильдердің экологиялық қауіпсіздігі мен үнемділігін арттыру болып табылады. Жеңіл автомобильдердің гибриді энергетикалық жүйелерінің негізгі схемалары зерттелді. Гибриді автомобиль опциялары артқы Доңғалақты және төрт доңғалақты орналасуды қамтыды. Параллель, сериялық және сериялық параллель орнату схемасы бар гибриді автомобильдің қуат қондырғысы қарастырылған. Гибриді автомобильдердің жетек схемаларының барлық түрлерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере отырып, олардың ішіндегі ең қолайлысы таңдалады.

Жобаның негізі ретінде шағын көлемді «Ока» автокөлігі таңдалды. Автокөлік толық жетекке дейін өзгертілген, электр қозғалтқышы артқы оське орнатылған.

Мақалада электромобильдің тарту және динамикалық есептеулері қысқаша сипатталған. Есептеу нәтижелері бойынша электр қозғалтқышы таңдалды.

Техникалық шешім-беріліс қорабын электр қозғалтқышымен бекітуге арналған қосалқы жақтауы бар тәуелсіз артқы суспензияны әзірлеу және оның құрылымын қымбаттататын, бірақ мұндай схеманы жүзеге асырудың оңтайлы шешімі болып табылатын бұрыштық жылдамдықтары бірдей буындарды қолдану.

Кілтті сөздер: гибриді қуат блогы, жетек, электр қозғалтқышы, беріліс қорабы, генератор, автомобиль.

**\*Р. Ю. Зарипов<sup>1</sup>, П. Гаврилов<sup>2</sup>, Р. Б. Муканов<sup>3</sup>, С. А. Миллер<sup>4</sup>, А. А. Садыков<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4,5</sup>Торайғыров Университет, г. Павлодар, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Рижский технический университет,

Институт железнодорожного транспорта, Рига, Латвия

Материал поступил в редакцию 02.02.23

### РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЯ

В статье отражены сведения о современном состоянии развития конструкций автомобилей с гибридной силовой установкой. Авторами ведется научно-исследовательская работа по созданию прототипа энергоэффективной

гибридной силовой установки на базе легкового автомобиля. Результатом работы является повышение экологической безопасности автомобилей и экономичности. Изучены основные принципиальные схемы работы гибридных энергетических систем легковых автомобилей. Варианты гибридного привода включили в себя версию для заднеприводной и полноприводной компоновок. Рассмотрена силовая установка гибридного автомобиля с параллельной, последовательной и последовательно-параллельной схемой построения. Принимая в расчет достоинства и недостатки всех типов схем привода гибридных автомобилей подобрана наиболее подходящая из них.

В качестве базы для проекта выбран малогабаритный автомобиль «Ока». Автомобиль модифицирован до полного привода, электродвигатель устанавливается на заднюю ось.

Статья содержит краткий тяговый и динамический расчет электромобиля. По результатам расчета подобран электродвигатель.

Техническим решением является разработка независимой задней подвески с подрамником для крепления редуктора с электромотором и применением шарниров равных угловых скоростей, что удорожает ее конструкцию, однако является оптимальным решением для реализации такой схемы.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, привод, электродвигатель, трансмиссия, генератор, автомобиль.

**А. Нуржауов**

Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБЕГА АВТОМОБИЛЯ**

*В статье рассмотрен процесс выбега автомобиля. Составлены уравнения движения, описывающие процесс выбега одиночного автомобиля. Получены уравнения зависимостей между основными параметрами процесса выбега автомобиля, которые позволяют построить скоростные характеристики выбега автомобиля, без использования численных методов. Выведены формулы для аналитического определения значений основных показателей выбега – времени, длины пути и других параметров. Подтверждена правильность проведенных теоретических исследований и корректность выведенных уравнений и формул. Определены окончательные расчетные значения показателей процесса выбега автомобиля, а также построены графики скоростных характеристик данного процесса. Представлены функциональные зависимости между параметрами выбега автомобиля. Полученные уравнения и формулы могут быть применены в проведении теоретических исследований и анализа влияния на процесс выбега автомобиля разных факторов, например, масса автомобиля, дорожные условия и др., а также могут быть использованы для построения графиков скоростной характеристики выбега в функциях не только от времени и пути, но и от других параметров. Кроме того, результаты исследования можно будет применить в предварительном составлении технических характеристик вновь создаваемого автомобиля на этапах расчета, конструирования, проектирования и доводки его конструкции.*

*Ключевые слова: скорость автомобиля, время выбега автомобиля, путь выбега, скоростная характеристика выбега, тяговый баланс.*

**Введение**

Характеристики приемистости относятся к основным оценочным показателям тягово-скоростных свойств автомобилей. Основной характеристикой приемистости автомобиля является характеристика «Разгон – выбег», располагая которой можно оценить процесс выбега, который рассматривается в данной статье.

В ГОСТ 22576-90 (СТ СЭВ 6893-89) – «Автотранспортные средства. Скоростные свойства» [1] приведены методы оценки путем испытаний таких показателей и характеристик скоростных свойств автомобилей, как максимальная скорость, время разгона на заданном пути, время разгона до заданной скорости, скоростная характеристика разгон – выбег и другие. В литературных источниках [2, 3, 4] и других изложены пути теоретического определения показателей тягово-скоростных свойств автомобиля. Однако, в них авторы рекомендуют решать задачи по определению показателей разгона и выбега автомобиля, как правило,

на ЭВМ численным методом. Ниже нами представлены теоретические выкладки по аналитическому определению характеристик выбега автомобиля.

Выбег автомобиля осуществляется после разгона. Разгон осуществляется на ровной поверхности пути с асфальтобетонным покрытием последовательными переходами с низших скоростей на высшие до достижения установленной конечной скорости разгона, после чего для перехода на выбег выключается передача и автомобиль движется по инерции до остановки. Обычно скорость 100 км/час (27,8 м/с) принимается за конечную при разгоне и начальную при выбеге.

**Материалы и методы**

Скоростная характеристика выбега автомобиля представляет собой зависимости между такими параметрами процесса, как скорость автомобиля  $v_b$ , время выбега  $t_b$  и путь выбега  $s_b$ .

Запишем уравнение тягового баланса одиночного автомобиля для общего случая

$$F_k = \psi \delta_k G_a + F_b + \frac{\delta_k G_a}{g}, \quad (1)$$

где  $G_a$  – вес автомобиля;

$F_k$  – касательная (окружная) сила тяги;

$F_b$  – сила сопротивления воздуха;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$t$  – время;

$\delta_k$  – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля при включенной -ой передаче;

$\psi$  – приведенный коэффициент сопротивления дороги;

$v_a$  – скорость движения автомобиля.

При выбеге принимаем  $v_a = v_b$  и автомобиль движется замедленно по инерции. Уравнение движения автомобиля примет вид

$$-\frac{\delta_b G_a}{g} \cdot \frac{dv_b}{dt} = \psi \delta_b G_a + F_b, \quad (2)$$

где  $\delta_b$  – коэффициент учета вращающихся масс при выбеге, т.е. при выключенной коробке передач.

Принимая во внимание то, что уменьшение момента двигателя при неуставившихся режимах (разгоне или выбеге) ничтожно мало, значение коэффициента учета вращающихся масс автомобиля при выбеге определяем по формуле

$$\delta_b = 1 + \sigma_1, \quad (3)$$

где  $\sigma_1$  – коэффициент, значение которого при выбеге автомобиля выбирается в пределах  $\sigma_1 = 0,03 \dots 0,05$  [2].

Из уравнения (2) находим замедление автомобиля при выбеге

$$\frac{dv_b}{dt} = \psi g + \frac{g k_b A v_b^2}{G_a \delta_b}, \quad (4)$$

Скорость  $v_b$  движения автомобиля, время и путь при выбеге определяем из уравнений:

$$v_b = v_{н.б} - \frac{dv_b}{dt} t = v_{н.б} - \psi g t - \frac{g k_b A v_b^2}{G_a \delta_b} t, \quad (5)$$

$$dt_b = \frac{-\delta_b G_a}{g} \cdot \frac{dv_b}{\psi G_a \delta_b + k_b A v_b^2}, \quad (6)$$

$$t_b = \frac{-\delta_b G_a}{g} \int_{v_{н.б}}^{v_{к.б}} \frac{dv_b}{\psi G_a \delta_b + k_b A v_b^2}, \quad (7)$$

$$\frac{ds_b}{dt} = v_b. \quad (8)$$

где индексы «н.б» и «к.б» – соответственно указывают на начальные и конечные значения параметров при выбеге автомобиля.

Из выражений (5-8), произведя необходимые математические операции и интегрирование, учитывая начальные и конечные условия, нами получены в окончательном виде формулы, устанавливающие функциональные зависимости параметров выбега автомобиля от времени и между собой, а также их конечные значения:

$$t_b(v_b) = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{G_a \delta_b}{\psi k_b A}} \left( \arctg v_{н.б} \sqrt{\frac{k_b A}{G_a \delta_b \psi}} - \arctg v_b \sqrt{\frac{k_b A}{G_a \delta_b \psi}} \right), \quad (9)$$

$$s_b(v_b) = \frac{G_a \delta_b}{g k_b A} \ln \frac{\cos(\arctg(v_b \sqrt{\frac{k_b A}{\psi G_a \delta_b}}))}{\cos(\arctg(v_{н.б} \sqrt{\frac{k_b A}{\psi G_a \delta_b}}))}, \quad (10)$$

$$v_b(t) = \sqrt{\frac{G_a \delta_b \psi}{k_b A}} \cdot \operatorname{tg} \left( \arctg \left( v_{н.б} \sqrt{\frac{k_b A}{\psi G_a \delta_b}} \right) - g t \sqrt{\frac{\psi k_b A}{G_a \delta_b}} \right), \quad (11)$$

$$s_b(t) = \frac{G_a \delta_b}{g k_b A} \ln \frac{\cos \left( \arctg \left( v_{н.б} \sqrt{\frac{k_b A}{\psi G_a \delta_b}} \right) - g t \sqrt{\frac{\psi k_b A}{G_a \delta_b}} \right)}{\cos \left( \arctg \left( v_{н.б} \sqrt{\frac{k_b A}{\psi G_a \delta_b}} \right) \right)}, \quad (12)$$

$$t_b = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{G_a \delta_b}{k_b A \psi}} \cdot \arctg \left( v_{н.б} \sqrt{\frac{k_b A}{\psi G_a \delta_b}} \right), \quad (13)$$

$$s_b = -\frac{G_a \delta_b}{g k_b A} \cdot \ln \left( \cos \left( \arctg \left( v_{н.б} \sqrt{\frac{k_b A}{\psi G_a \delta_b}} \right) \right) \right). \quad (14)$$

### Результаты и обсуждение

Таким образом, выведены формулы, по которым можно теоретически исследовать процесс выбега автомобиля, без применения численных методов. Следует отметить, что наряду с этими автором были проведены теоретические исследования разгона автомобиля ВАЗ 21051. Известно, что разгон автомобиля осуществляется с переключением передач. Во время переключения передач движение автомобиля схоже с его выбегом в течение короткого промежутка времени. Поэтому при составлении уравнений и определении параметров движения в периоды переключения передач при разгоне были использованы положения, описанные в данной статье. Подробности и результаты этих исследований в соответствии с названием данной статьи и с учетом ограниченности ее объема здесь не представлены. Сравнение полученных расчетных значений времени разгона автомобиля ВАЗ 21051 при вариировании значений параметров, входящих в полученные уравнения и формулы, с его значениями, приведенными в технических характеристиках автомобилей модели ВАЗ, дало разницу в пределах одного-четырех процентов, что доказывает корректность проведенных теоретических исследований и правильность полученных аналитических формул как для разгона, так и для выбега автомобиля.

Используя эти формулы можно исследовать влияние различных параметров на процесс выбега автомобиля, построить графические зависимости между параметрами, характеризующие процесс выбега, и принять соответствующие решения по улучшению этого процесса.

Ниже определены расчетные значения показателей процесса выбега автомобиля ВАЗ 21051 (таблицы 1–3) и построены некоторые графики характеристик этого процесса (рисунки 1а, 1б, 1в), которые могут быть использованы для анализа процесса выбега автомобиля. В расчетах были приняты следующие значения параметров автомобиля ВАЗ 21051, взятые из технических характеристик автомобиля, и величин, входящих в выведенные формулы: вес снаряженного автомобиля  $G_a = 10600$  Н, лобовая площадь автомобиля  $A = 1,359$  м<sup>2</sup>, коэффициент сопротивления воздуха  $k_b = 0,2$  Н·с<sup>2</sup>·м<sup>-4</sup>, приведенный коэффициент сопротивления дороги  $\psi = 0,013$  (дорога с асфальтобетонным покрытием),  $\sigma_1 = 0,03$ . В таблицах 1–3 приведены определенные расчетным путем значения

параметров выбега автомобиля ВАЗ 21051, на рисунках 1а, 1б, 1в построены графики зависимости между некоторыми параметрами скоростной характеристики выбега.

Таблица 1 – Значения параметров выбега автомобиля ВАЗ 21051 определенные расчетным путем

| $v_{н.б} = 27,1 \text{ мс}^{-1}; \psi = 0,013; G_a = 10,6 \text{ кН}; A = 1,359 \text{ м}^2; k_b = 0,224 \text{ Нс}^2 \text{ м}^{-4}.$ |                       |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| $t_b, \text{с}$                                                                                                                        | $v_b, \text{мс}^{-1}$ | $s_b, \text{м}$ |
| 0                                                                                                                                      | 27,8                  | 0,00            |
| 26,36                                                                                                                                  | 20,31                 | 628,42          |
| 52,72                                                                                                                                  | 14,74                 | 1087            |
| 79,08                                                                                                                                  | 10,25                 | 1415            |
| 105,44                                                                                                                                 | 6,39                  | 1633            |
| 131,81                                                                                                                                 | 2,87                  | 1755            |
| 158,17                                                                                                                                 | -0,51                 | 1786            |

Таблица 2 – Значения параметров выбега автомобиля ВАЗ 21051 определенные расчетным путем

| $v_{н.б} = 27,1 \text{ мс}^{-1}; \psi = 0,013; G_a = 10,6 \text{ кН}; A = 1,359 \text{ м}^2; k_b = 0,224 \text{ Нс}^2 \text{ м}^{-4}.$ |                 |                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| $s_b, \text{м}$                                                                                                                        | $t_b, \text{с}$ | $v_b, \text{мс}^{-1}$ |
| 0,00                                                                                                                                   | 0,00            | 27,8                  |
| 386,48                                                                                                                                 | 15,215          | 23,167                |
| 777,62                                                                                                                                 | 34,05           | 18,53                 |
| 1153                                                                                                                                   | 57,30           | 13,90                 |
| 1478                                                                                                                                   | 85,50           | 9,27                  |
| 1704                                                                                                                                   | 118,35          | 4,64                  |
| 1787                                                                                                                                   | 158,17          | 0,00                  |

Таблица 3 – Значения параметров выбега автомобиля ВАЗ 21051 определенные расчетным путем

| $v_{н.б} = 27,1 \text{ мс}^{-1}; \psi = 0,013; G_a = 10,6 \text{ кН}; A = 1,359 \text{ м}^2; k_b = 0,224 \text{ Нс}^2 \text{ м}^{-4}.$ |                 |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| $v_b, \text{мс}^{-1}$                                                                                                                  | $t_b, \text{с}$ | $s_b, \text{м}$ |
| 27,8                                                                                                                                   | 0,00            | 0,00            |
| 23,167                                                                                                                                 | 15,22           | 386,48          |
| 18,53                                                                                                                                  | 34,05           | 777,62          |
| 13,90                                                                                                                                  | 57,30           | 1153            |
| 9,27                                                                                                                                   | 85,50           | 1478            |
| 4,64                                                                                                                                   | 118,35          | 1704            |
| 0,00                                                                                                                                   | 158,20          | 1786            |

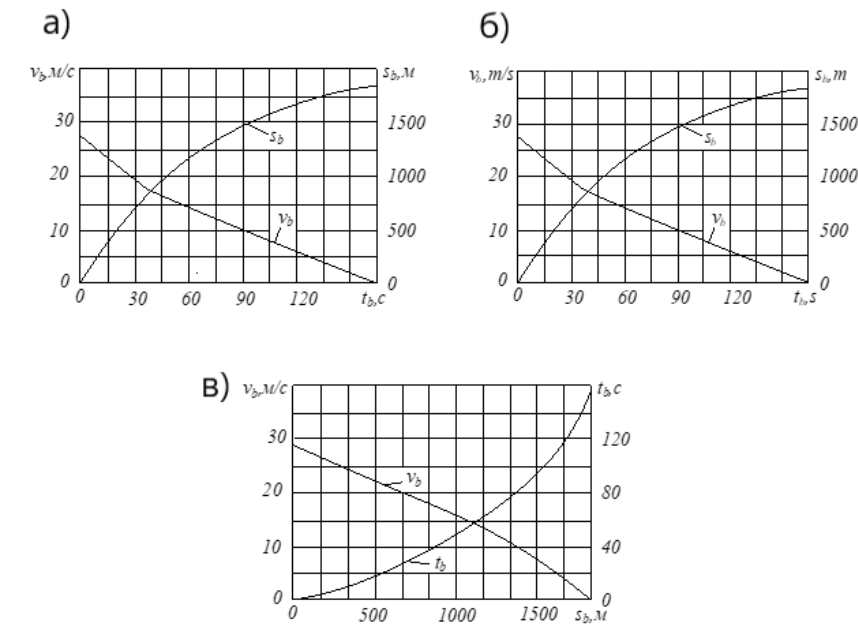


Рисунок 1 – Графики зависимости между некоторыми параметрами скоростной характеристики выбега

### Выводы

Теоретические исследования процесса выбега автомобиля и анализ полученных результатов позволяют сделать следующие выводы:

- составлены уравнения, описывающие процесс выбега автомобиля;
- получены уравнения зависимостей между основными параметрами процесса выбега автомобиля, позволяющие построить скоростные характеристики выбега автомобиля, не прибегая к применению численных методов;
- выведены формулы для аналитического определения без применения численных методов окончательных значений основных показателей выбега – времени, пути и скорости;
- доказана корректность проведенных теоретических исследований и правильность полученных уравнений и формул путем сравнения результатов проведенных расчетов относительно к автомобилю ВАЗ 21051 с данными его технической и скоростной характеристик;
- определены окончательные расчетные значения показателей процесса выбега автомобиля ВАЗ 21051 и построены графики скоростных характеристик этого процесса;
- полученные уравнения и формулы могут быть применены к определению расчетным путем показателей и характеристик скоростных свойств автомобилей, предусмотренных в ГОСТ 22576-90 (СТ СЭВ 6893–89) – «Автотранспортные средства. Скоростные свойства»;

– полученные уравнения и формулы могут быть использованы в проведении теоретических исследований и анализа влияния на процесс выбега автомобиля различных факторов, таких как масса автомобиля, дорожные условия и др., для построения графиков скоростной характеристики выбега в функциях не только от времени и пути, но и от других параметров;

– изложенные положения могут быть использованы в предварительном составлении технических характеристик вновь создаваемого автомобиля на этапах расчета, конструирования, проектирования и доводки его конструкции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Дзюв, Р. Э.** О начальной фазе разгона автомобиля / Р. Э. Дзюв // Вестник машиностроения. 2005. – № 3. – С. 28–31.
- 2 **Нарбут, А. Н. Дзюв, Р. Э.** Метод расчета разгона автомобиля с ГМП // Вестник машиностроения. 2005. – № 1. – С. 32–34
- 3 **Гребнев, В. П.** Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства / В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин. – 3-е издание. – Москва : Компания КноРус, 2018. – 260 с. – (Бакалавриат и магистратура). – ISBN 978-5-406-06240-1.
- 4 **Вахламов В. К.** Автомобили : Теория и конструкция автомобиля и двигателя : Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. К. Вахламов, М. Г. Шатров, А. А. Юрчевский; Под ред. А. А. Юрчевского. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 816 с
- 5 **Драгунов, Г. Д.** Тягово-динамический расчет автомобиля при переключении передач и управлении двигателем / Г. Д. Драгунов, Е. П. Гонтарев, А. А. Юсупов // Технология колесных и гусеничных машин. – 2014. – № 4. – С. 60–64.
- 6 **Нарбут, А. Н.** Интенсивность разгона легкового автомобиля с гидромеханической передачей в начальной фазе / А. Н. Нарбут, Д. М. Денисов // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – № 1. – С. 32–36.
- 7 Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В. П. Тарасик –СПб. : БХВ – Петербург, 2006. – 478 с.
- 8 **Уланов, А. Г.** Оптимизация процесса разгона автомобиля с учетом режимов работы его двигателя / А. Г. Уланов // Известия МГТУ МАМИ. – 2017. – № 3(33). – С. 56–60.
- 9 **Федотов, А. И.** Комплекс для экспериментального исследования динамики разгона автомобиля / А. И. Федотов, Е. М. Портнягин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 1(41). – С. 42–46.
- 10 **Горожанкин, С. А.** Исследование законов изменения ускорений автомобиля в процессе его разгона / С. А. Горожанкин, Н. В. Савенков // Строитель Донбасса. – 2019. – № 4(9). – С. 27–31.

## REFERENCES

- 1 **Dzirov, R. E.** O nachal'noj faze razgona avtomobilya [On the initial phase of car acceleration] / R. E. Dzirov // Vestnik Mashinostroeniya. 2005. – №3. – P. 28–31.
- 2 **Narbut, A. N. Dzirov, R. E.** Metod rascheta razgona avtomobilya s GMP [A method for calculating the acceleration of a car with a GPU] // Vestnik Mashinostroeniya. 2005. – №1. – P. 32–34
- 3 **Grebnev, V. P.** Traktory i avtomobili. Teoriya i ekspluatacionnye svojstva [Tractors and automobiles. Theory and performance] / V. P. Grebnev, O. I. Polivaev, A. V. Vorokhobin. – 3rd edition. – Moscow : Knorus Company, 2018. – 260 p. – (Bachelor's and Master's degrees). – ISBN 978-5-406-06240-1.
- 4 **Vahlamov V. K.** Avtomobili : Teoriya i konstrukciya avtomobilya i dvigatelya: Uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. Obrazovaniya [Automobiles : Theory and Construction of the Car and Engine : Textbook for Students of Secondary Professional Education] / V. K. Vakhlamov, M. G. Shatrov, A. A. Yurchevsky; Edited by A. A. Yurchevsky. – Moscow : Publishing Center «Academy», 2003. – 816 c
- 5 **Dragunov, G. D.** Tyagovo-dinamicheskij raschet avtomobilya pri pereklyuchenii peredach i upravlenii dvigatelem [Traction-dynamic calculation of the car during gear shifting and engine control] / G. Dragunov, E. Gontarev, A. Yusupov // Technology of wheeled and tracked vehicles. – 2014. – № 4. – P. 60–64.
- 6 **Narbut, A. N.** Intensivnost' razgona legkovogo avtomobilya s gidromekhanicheskoy peredachej v nachal'noj faze [Intensity of acceleration of passenger car with hydromechanical transmission in the initial phase] / A. N. Narbut, D. M. Denisov // Technology of wheeled and tracked vehicles. – 2015. – № 1. – P. 32–36.
- 7 Teoriya dvizheniya avtomobilya: uchebnik dlya vuzov [Theory of motion of the car: a textbook for universities] / V. P. Tarasik - SPb. : BHV – St. Petersburg, 2006. – 478 p.
- 8 **Ulanov, A. G.** Optimizaciya processa razgona avtomobilya s uchetom rezhimov raboty ego dvigatelya [Optimization of car acceleration process taking into account modes of its engine] / A. G. Ulanov // Proceedings of MSTU MAMI. – 2017. – № 3(33). – P. 56–60.
- 9 **Fedotov, A. I.** Kompleks dlya eksperimental'nogo issledovaniya dinamiki razgona avtomobilya [Complex for the experimental study of the dynamics of car acceleration] / A. I. Fedotov, E. M. Portnyagin // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. – 2015. – № 1(41). – P. 42–46.
- 10 **Gorozhankin, S. A.** Issledovanie zakonov izmeneniya uskorenij avtomobilya v processe ego razgona [The study of the laws of changes in the acceleration of the car during its acceleration] / S. A. Gorozhankin, N. V. Savenkov // Stroitel Donbass. – 2019. – № 4(9). – P. 27–31.

Материал поступил в редакцию 02.02.23

**Нұржауов А.**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал 02.02.23 баспаға түсті.

### АВТОМОБИЛЬДІҢ МОТОРЫ ӨШІРІЛГЕН СӘТТЕН БАСТАП ТОЛЫҚ ТОҚТАҒАНҒА ДЕЙІН ОНЫҢ ИНЕРЦИЯ БОЙЫНША ҚОЗҒАЛЫС ҮРДІСІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада автомобильдің моторы өшірілген сәттен бастап толық тоқтағанға дейін оның инерция бойынша қозғалыс үрдісі (ары қарай еркін жүрісі) қарастырылады. Бір автомобильдің еркін жүрісі процесін сипаттайтын қозғалыс теңдеулері құрастырылған. Автомобильдің еркін жүрісі процесінің негізгі параметрлері арасындағы тәуелділік теңдеулері алынды, олар сандық әдістерді қолданбай, автомобильдің еркін жүрісі жылдамдығының сипаттамаларын құруға мүмкіндік береді. Формулалар негізгі қорытынды көрсеткіштердің – уақыттың, жолдың ұзындығының және басқа параметрлердің мәндерін аналитикалық анықтау үшін шығарылады. Жүргізілген теориялық зерттеулердің дұрыстығы және алынған теңдеулер мен формулалардың дұрыстығы расталады. Автомобильдің еркін жүрісі процесі көрсеткіштерінің соңғы есептік мәндері анықталады, сонымен қатар осы процестің жылдамдық сипаттамаларының графиктері құрастырылады. Автокөліктің еркін жүрісі параметрлері арасындағы функционалдық тәуелділіктер берілген. Алынған теңдеулер мен формулаларды теориялық зерттеулерде және автомобильдің еркін жүрісі процесіне әртүрлі факторлардың әсерін талдауда қолдануға болады, мысалы, автомобиль массасы, жол жағдайы және т.б., сондай-ақ жылдамдық сипаттамасын салу үшін тек уақыт пен жолдың ғана емес, сонымен қатар басқа параметрлердің функцияларында пайдалануға болады. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелерін есептеу, жобалау және оның құрылымын жасау кезеңдерінде жаңадан жасалған автомобильдің техникалық сипаттамаларын алдын ала дайындауда қолдануға болады.

Кілтті сөздер: автомобиль жылдамдығы, автомобильдің еркін жүріс уақыты, еркін жүріс жолы, еркін жүріс жылдамдығының сипаттамасы, тарту тепе-теңдігі.

**Nurzhauov A.**

Toraighyrov university, Republic of Kazakhstan, Pavlodar  
Material received on 02.02.23

### INVESTIGATION OF THE PROCESS OF VEHICLE RUNNING-OUT

The article considers the process of car run-out. The motion equations describing the run-out process of a single car are composed. Equations of dependencies between the main parameters of the car run-out process are obtained, which allow constructing the speed characteristics of the car run-out without using numerical methods. Formulas are derived for the analytical determination of the values of the main rundown indicators - time, path length and other parameters. The correctness of the conducted theoretical studies and the correctness of the derived equations and formulas are confirmed. The final calculated values of the indicators of the car run-out process are determined, and graphs of the speed characteristics of this process are also constructed. The functional dependencies between the car run-out parameters are presented. The resulting equations and formulas can be used in theoretical studies and analysis of the influence of various factors on the car run-out process, for example, car mass, road conditions, etc., and can also be used to plot the speed characteristic of the run-out in functions not only of time and path, but also on other parameters. In addition, the results of the study can be applied in the preliminary preparation of the technical characteristics of a newly created car at the stages of calculation, design, design and development of its design.

Keywords: vehicle speed, vehicle run-out time, run-out path, run-out speed characteristic, traction balance.

**А. М. Биниязов<sup>1</sup>, А. С. Денисов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Западно Казахстанский инновационно-технологический университет,  
Республика Казахстан, г. Уральск

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А., Россия, г. Саратов

**ТРЕБОВАНИЯ К ДИАГНОСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ  
РАБОТАЮЩЕГО МОТОРНОГО МАСЛА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Проведен анализ соответствия основных диагностических параметров моторных масел, таких как щелочное число, вязкость, плотность, температура вспышки. Определены границы образов неисправностей двигателей по известным в результате эксплуатации зависимостям и нормативам параметров работающего масла. Построены границы образов состояний (неисправностей) по объёму масла в картере, по щелочному числу масла, по вязкости масла, по температуре вспышки масла. По приведённым данным построено образы неисправностей в координатах  $V-C$ , а затем в координатах  $\eta-C$ ,  $\eta-t_v$ . Исходными данными для построения образов послужило предельные значения параметров и исходные. Для первого диагностического параметра – объёма масла сопряжённый параметр – щелочное число, где указаны все соответствующие неисправности. При норме по этой паре диагностических параметров неисправность определяется в паре параметров  $\eta - t_v$  по этой же методике. От этого и строится алгоритм диагностирования. По результатам вычисления параметров диагностирования и среднеквадратического отклонения получены их погрешности. С учётом этого построены графически образы неисправностей с доверительной вероятностью 0,8. Обозначены основные допустимые границы образов диагностических параметров. Все диагностические параметры можно считать информативными и доказано что данные диагностические параметры отвечают основным требованиям.

*Ключевые слова:* автомобильные дизельные двигатели, моторные масла, щелочное число, вязкость, плотность, объем, уровень, образы неисправностей.

**Введение**

Анализ информативности параметров работающего масла (ПРМ) проведен по результатам, выполненных совместно исследований [1]. На рисунке 1 приведены зависимости параметров работающего масла от наработки.

Кривые аппроксимировали полиномом третьей степени, а на участке до точки перегиба можно использовать снижающуюся экспоненту или линейную зависимость. Стабилизация параметров масла наступает при наработке 4000 км. Оптимальная периодичность диагностирования определяется с учётом погрешности измерения и интенсивности изменения параметра масла в процессе эксплуатации.

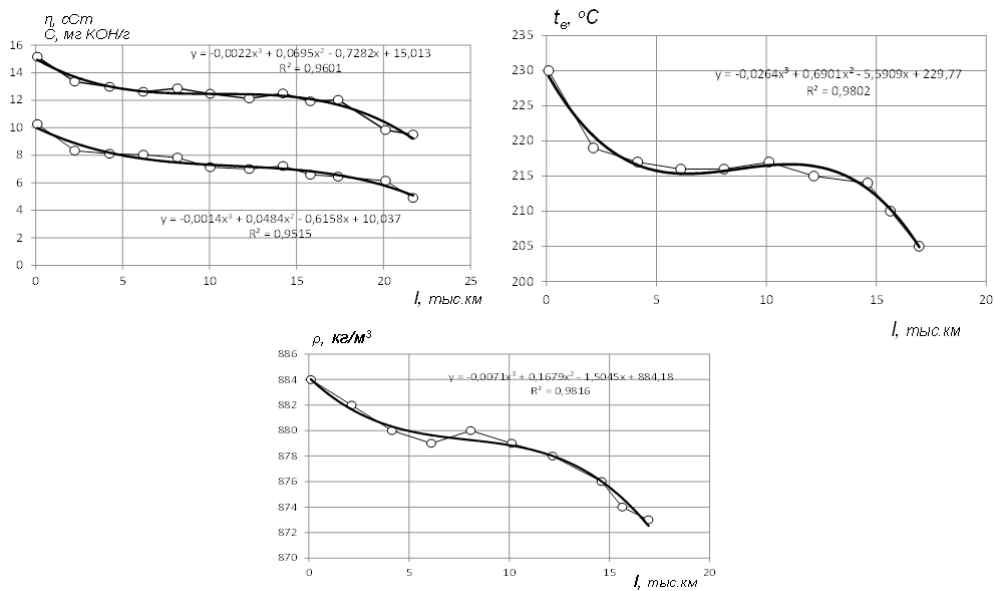


Рисунок 1 – Изменение щелочного числа  $C$ , вязкости  $\eta$ , температуры вспышки  $t_v$ , плотности  $\rho$  в процессе работы моторного масла по автомобилям КАМАЗ-ЕВРО

Информативность параметров оценивали по формуле

$$\Delta S = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $S_0$  – начальное, а  $S_k$  конечное значение ПРМ.

В соответствии с полученными данными (рисунок 1) существенно в процессе эксплуатации изменяются такие показатели, как расход масла, вязкость, щелочное число. Остальные изменяются незначительно (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение ПРМ за 4 тыс. км

| ПРМ                 | $Y_0$ | $Y_k$ | $\Delta Y$ , % |
|---------------------|-------|-------|----------------|
| Объём масла, л      | 34    | 18    | 47,2           |
| Щелочное число      | 15    | 13,2  | 10,4           |
| Плотность           | 884   | 880   | 0,45           |
| Температура вспышки | 230   | 214   | 6,96           |
| Вязкость            | 10,2  | 8,1   | 20,59          |

Из таблицы 1 изменения основных ПРМ в начальный период его использования (до 4 тыс. км) видно, что наиболее значимо изменяются следующие параметры: уровень масла, щелочное число, вязкость, температура вспышки. При известных значениях диагностического параметра в начале использования масла границу образов неисправностей двигателя определяет интенсивность изменения ПРМ в

процессе использования. Она определяет и конечное значение диагностического параметра при обоснованной наработке до диагностирования.

Цель работы – экспериментально доказать, что все диагностические параметры отвечают основным требованиям диагностическим параметрам работающего масла автомобильных дизельных двигателей.

**Методы исследований.** Определим границы образов неисправностей двигателей по известным в результате эксплуатации зависимостям и нормативам ПРМ. По уровню масла в картере (рисунок 2, а) за исходный уровень примем уровень, соответствующей верхней метке на маслоизмерительном щупе. Объем масла в картере при этом составляет 34 л [2] и возрастание его свидетельствует о неисправности топливной аппаратуры (НТА). На рисунке 2, а это область 1. При этом из-за плохого распыливания топлива оно попадает в картер, увеличивая объем масла.

Допустимое снижение уровня масла в картере из-за угара, не более 1% от расхода топлива [2]. При нормативном расходе топлива 40 л/100 км [2] это допустимое снижение к 4 тыс. км составляет 16 л, (область 2 на рисунке 2,а). При большем расходе наблюдаются недопустимые утечки, которые следует устранить при ТО по результатам осмотра (область 3 на рисунке 2,а).

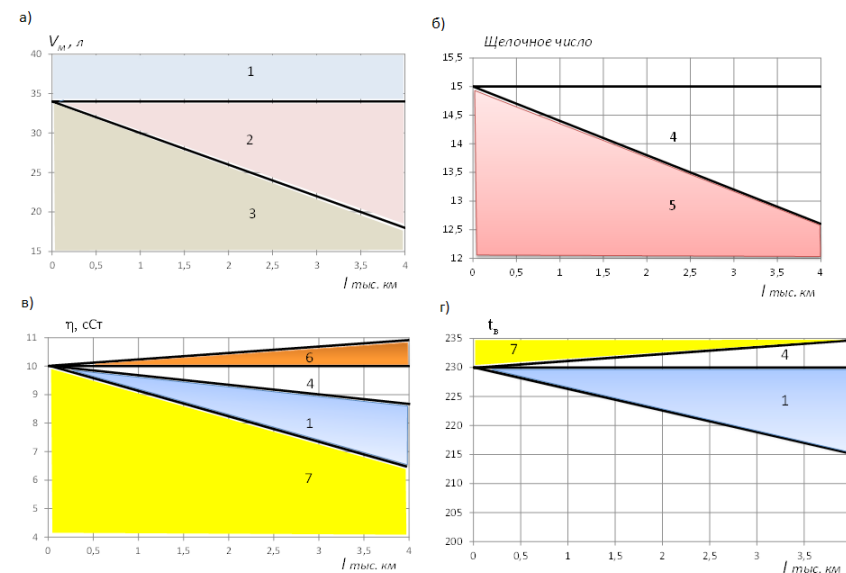


Рисунок 2 – а) Границы образов состояний (неисправностей) по объёму масла в картере; б) Границы образов состояний по щелочному числу масла; в) Границы образов состояний по вязкости масла; г) Границы образов состояний по температуре вспышки масла

1 – неисправность топливной аппаратуры (НТА); 2 – расход масла на угар; 3 – утечки масла; 4 – норма; 5 – перегрев двигателя; 6 – засорение масляных фильтров; 7 – засорение впускного тракта

Второй по значимости изменения параметр это щелочное число, начальное значение которого 15 [1]. Допустимое значение щелочного числа при отсутствии неисправностей при наработке масла 4 тыс. км 12,5 [1], (область 4 на рисунке 2,б). Более интенсивное снижение щелочного числа свидетельствует о перегреве двигателя (область 5 на рисунке 2,б).

Следующий по значимости изменения параметр это вязкость начальное значение которого 10 сСт [2]. Допустимое значение вязкости при отсутствии неисправностей при наработке масла 4 тыс. км 8 сСт [2], (область 4 на рисунке 2,в). Более интенсивное снижение вязкости свидетельствует о НТА (область 1 на рисунке 2,б). Ещё интенсивнее снижается вязкость из-за нарушения герметичности впускного тракта (область 7 на рисунке 2,в). Возрастание вязкости свидетельствует о засорении фильтров смазочной системы (область 6 на рисунке 2,в).

По температуре вспышки также определяется НТА. Если температура вспышки масла не изменяется, то это норма. Если температура вспышки изменилась (снизилась) за время работы с 230 до 215 оС, то это НТА (область 4 на рисунке 2,г). Остальные параметры работающего масла дублируют неисправности двигателя (рисунок 2,г).

По приведённым данным построим образы неисправностей в координатах V–С, а затем в координатах η–С Исходными данными для построения образов служат предельные значения параметров и исходные. Для первого диагностического параметра – объёма масла сопряжённый параметр – щелочное число (рисунок 3а, б), где указаны все соответствующие неисправности. При норме по этой паре диагностических параметров неисправность определяется в паре параметров η–t<sub>b</sub> по этой же методике (рисунок 3в). От этого и строится алгоритм диагностирования.

Данные образы построены по средним значениям, поэтому имеют доверительную вероятность 0,5. Для повышения доверительной вероятности необходимо сократить область неисправностей. Это можно сделать с использованием критерия Стьюдента t. Погрешность диагностических параметров при этом определяется по формуле

$$\varepsilon = t \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

где t – критерий Стьюдента, S – мера рассеивания, N – количество объектов измерений.

По результатам вычисления параметров диагностирования и среднеквадратического отклонения получили их погрешность. С учётом этого на рисунках 3а, 3б, 3в пунктирными линиями обозначены образы неисправностей с доверительной вероятностью 0,8.

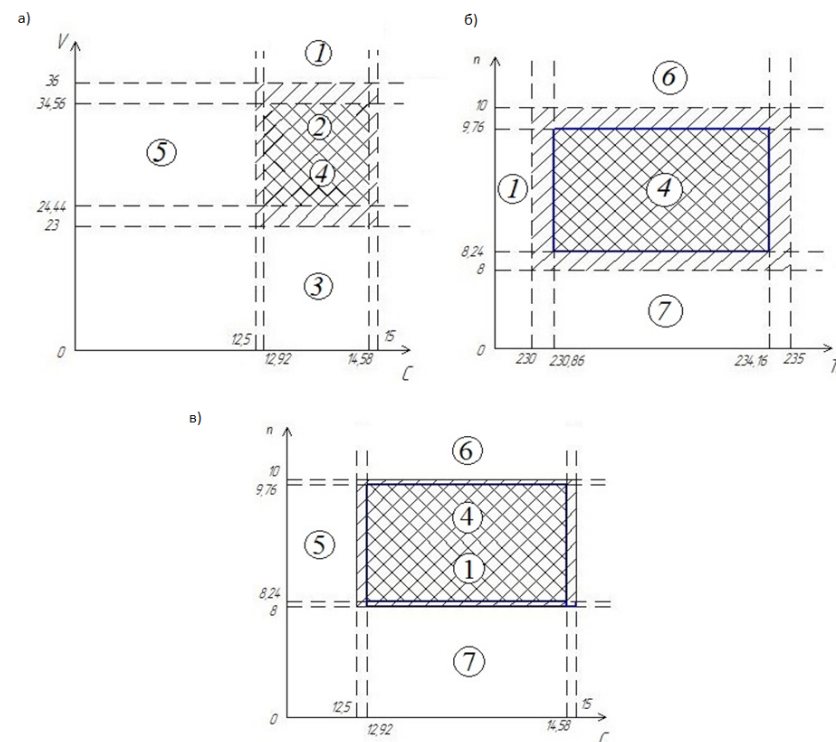


Рисунок 3 – а) Образы неисправностей в координатах V–C; б) Образы неисправностей в координатах  $\eta$ –C; в) Образы неисправностей в координатах  $\eta$ – $t_b$

Требования к диагностическим параметрам: однозначность, чувствительность, стабильность и информативность. Требование однозначности характеризуется отсутствием экстремума в зависимости диагностического параметра от структурного. Такие корреляционные зависимости получены для основных диагностических параметров по собранным статистическим данным (рисунок 4). Из рисунка 4 видно, что все параметры однозначны и имеют высокую чувствительность судя по угловому коэффициенту. Параметр достоверности  $R^2$  свидетельствует о хорошей стабильности диагностических параметров.

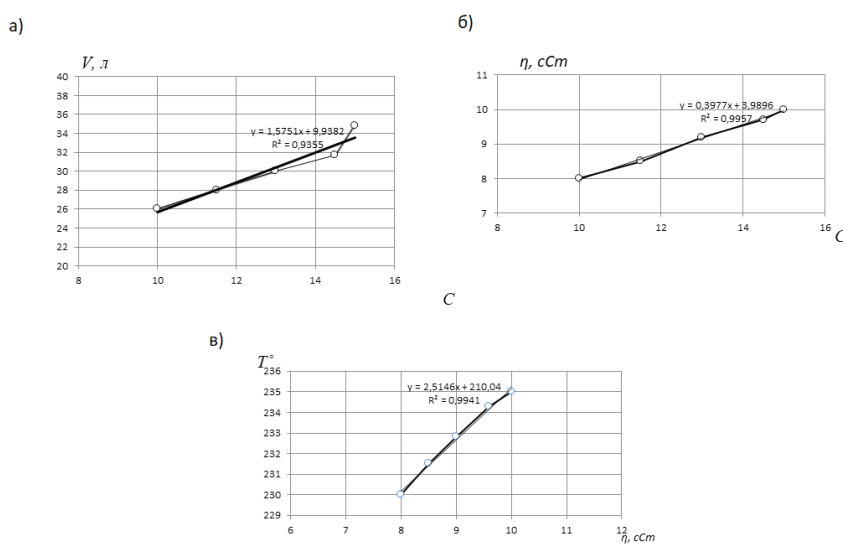


Рисунок 4 – а) Корреляционные зависимости V–C; б) Корреляционные зависимости  $\eta$ –C; в) Корреляционные зависимости T– $\eta$

Результаты и обсуждения. Информативность диагностического параметра оценивается повышением вероятности состояния объекта диагностирования после диагностирования. Его можно оценить по результатам анализа распределений диагностического параметра по исправным и неисправным объектам диагностирования. Такие распределения получены по результатам измерений указанных диагностических параметров по исправным и неисправным двигателям. Для оценки значимости различия средних значений  $s_1$  и  $s_2$ , а, следовательно, информативности параметра S определили критерий Стьюдента [6,7]

$$t = \frac{|\overline{S_2} - \overline{S_1}|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

где  $\sigma$  – средняя величина среднеквадратических отклонений;  
 $n_1, n_2$  – объем выборок.

Таким образом, результаты оценок приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценки информативности диагностических параметров

| Диагностические параметры | $s_1$ | $s_2$ | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $t_p$ | $t_{кр}$ |
|---------------------------|-------|-------|------------|------------|-------|----------|
| Объём масла в картере     | 34,8  | 24,6  | 11,4       | 8,2        | 18,2  | 1,67     |
| Щелочное число            | 14,5  | 12,2  | 4,5        | 3,9        | 16,5  | 1,67     |
| Вязкость                  | 9,7   | 8,1   | 3,2        | 2,6        | 15,8  | 1,67     |

Примечание к таблице 2:  $t$  – расчетный критерий Стьюдента;  $t_{кр}$  – критический критерий Стьюдента при доверительной вероятности 0,9.

**Выводы.** Как видно из таблицы 2, различие  $\bar{S}_1$  и  $\bar{S}_2$  значимо с доверительной вероятностью 0,9 и выше. То есть все эти диагностические параметры можно считать информативными. Таким образом, все диагностические параметры отвечают основным требованиям.

Источник финансирования исследований – автотранспортное предприятие ООО «Газпром трансгаз Саратов» (г. Саратов), Россия.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Биниязов, А. М., Денисов, А. С., Носов, А. О., Кожинская, А. В.** Повышение эффективности использования масел для форсированных автотракторных дизелей. – Уралск : ЗКФ АО «НЦТИ», 2014. – 98 с.
- 2 **Денисов, А. С., Биниязов, А. М.** Совершенствование профилактики смазочной системы форсированных автотракторных дизелей КАМАЗ-ЕВРО // Научный журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2017. – № 1. – С. 267–272.
- 3 **Захаров В. П., Денисов, А. С., Сарсенбаева, Л. Х., Биниязов, А. М. Бралиев, А. Б.** Повышение эффективности эксплуатации форсированных автомобильных дизельных двигателей совершенствованием управления объемом масла в смазочной системе // Научный журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2018. – №2. – С. 106–120
- 4 **Носов, А. О., Кожинская, А. В., Биниязов, А. М., Платонов, В. В.** Анализ параметров смазочной системы двигателя КАМАЗ – 740 // Наука – 21 век. 2015. № 1. С. 3–9.
- 5 **Barysz I., Cillik L.** Zvyšovanie spoľahlivosti a živomosti dynamicky zatazenych klzných ložísk // 8 Vedecká konferencia VSDS, Seccia 3 Dopravná technika. – Zilina, 1988. – P. 21–24.
- 6 **Barwell F. T.** Trilology in production. Product Eng. (Or. Brit). – 1972. № 7. – P. 263–271.
- 7 **Cocks M., Tallian T. E.** Sliding Contacts in Rolling Bearing. – ASLE Trans., vol. 14, – № 1, – 1971. – P. 32.
- 8 **Johnson G.** Failure of components // Automobile Engineers, March, 1996. – P. 108–111.
- 9 **Martin F. A.** Developments in engine bearings. «Tribol Retiprocat.Engines. Proc.9-th Leeds-Lyon Symp. Tribol 7–10 sept. 1982.», P. 9–28
- 10 **Moore D. F.** Principles and Applications of Tribology. Pergamon Inter. Library, 1975. – 272 p.

#### REFERENCES

- 1 **Biniyazov, A. M., Denisov, A. S., Nosov, A. O., Kozhinskaya, A. V.** Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya masel dlya forsirovannyh avtotraktornyh dizelej [Improving the efficiency of oils for forced automotive and tractor diesel engines] – Uralsk : ЗКФ JSC «NCSTI», 2014. – 98 p.
- 2 **Denisov, A. S., Biniyazov, A. M.** Sovershenstvovanie profilaktiki smazochnoj sistemy forsirovannyh avtotraktornyh dizelej KAMAZ-EVRO [Improving the prevention of lubrication system of forced automotive tractor diesel engines KAMAZ-EURO] // Scientific Journal «News of Science of Kazakhstan. – Almaty, 2017. – № 1. – P. 267–272.
- 3 **Zaharov, V. P., Denisov, A. S., Sarsenbaeva, L. H., Biniyazov, A. M. Braliev, A. B.** Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii forsirovannyh avtomobil'nyh dizel'nyh dvigatelej sovershenstvovaniem upravleniya ob'yomom masla v smazochnoj sisteme [Improving the operating efficiency of forced automotive diesel engines by improving the management of oil volume in the lubrication system // Scientific Journal «News of Science of Kazakhstan. – Almaty, 2018. – № 2. – P. 106–120
- 4 **Nosov, A. O., Kozhinskaya, A. V., Biniyazov, A. M., Platonov, V. V.** Analiz parametrov smazochnoj sistemy dvigatelya KAMAZ – 740 [Analysis of the parameters of the lubrication system of the KAMAZ - 740 engine] // Science – 21 century. 2015. № 1. P. 3–9.
- 5 **Barysz I., Cillik L.** Zvyšovanie spoľahlivosti a živomosti dynamicky zatazenych klzných ložísk // 8 Vedecká konferencia VSDS, Seccia 3 Dopravná technika. – Zilina, 1988. – P. 21–24.
- 6 **Barwell F. T.** Trilology in production. Product Eng. (Or. Brit). – 1972. № 7. – P. 263–271.
- 7 **Cocks M., Tallian T. E.** Sliding Contacts in Rolling Bearing. – ASLE Trans., vol. 14, – № 1, – 1971. – P. 32.
- 8 **Johnson G.** Failure of components // Automobile Engineers, March, 1996. – P. 108–111.
- 9 **Martin F. A.** Developments in engine bearings. «Tribol Retiprocat.Engines. Proc.9-th Leeds-Lyon Symp. Tribol 7–10 sept. 1982.», p. 9–28
- 10 **Moore D. F.** Principles and Applications of Tribology. Pergamon Inter. Library, 1975. – 272 p.

Материал поступил в редакцию 02.02.23

*А. М. Биниязов<sup>1</sup>, А. С. Денисов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Орал қ.

<sup>2</sup>Ю. А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік  
техникалық университеті, Ресей, Саратов қ.  
Материал 02.02.23 баспаға түсті.

### ДИЗЕЛЬДІ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН МОТОР МАЙЫНЫҢ ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ҚОЙЫЛАТЫН ТАЛАПТАР

*Мотор майларының негізгі диагностикалық параметрлерінің сілтілік саны, тұтқырлығы, тығыздығы, тұтану температурасы сияқты сәйкестігін талдау жүргізілді. Жұмыс істеп тұрған май параметрлерінің нормативтерімен тәуелділіктерін пайдалану нәтижесінде белгілі қозғалтқыштар ақауларының пайда болу шекараларын анықтау. Картердегі май көлемі бойынша, майдың сілтілі саны бойынша, майдың тұтқырлығы бойынша, майдың тұтану температурасы бойынша күйлер (ақаулар) бейнелерінің шекаралары салынды. Келтірілген деректер бойынша  $V-C$  координаталарында, ал содан кейін  $\eta-C$ ,  $\eta-t_b$  координаталарында ақаулардың бейнелері салынды. Бірінші диагностикалық параметр – май көлемі үшін жұптасқан параметр – сілтілік Сан, онда барлық тиісті ақаулар көрсетілген. Диагностикалық параметрлердің осы жұбы бойынша норма кезінде ақаулық осы әдістеме бойынша  $\eta - t_b$  параметрлерінің жұбы бойынша анықталады. Осыдан диагностика алгоритмі құрылады. Диагностикалық параметрлерді және орташа квадраттық ауытқуды есептеу нәтижелері бойынша олардың қателіктері алынды. Осыны ескере отырып, 0,8 сенімділік ықтималдығы бар ақаулардың графикалық бейнелері салынды. Диагностикалық параметрлер кескіндерінің негізгі рұқсат етілген шекаралары көрсетілген. Барлық диагностикалық параметрлерді ақпараттық деп санауға болады және бұл диагностикалық параметрлер негізгі талаптарға сәйкес келетіндігі дәлелденді.*

*Кілтті сөздер: автомобильдік дизельді қозғалтқыштар, мотор майлары, сілтілік саны, тұтқырлығы, тығыздығы, көлемі, деңгейі, ақаулықтардың пайда болуы.*

*А. М. Biniyazov<sup>1</sup>, A. S. Denisov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>West Kazakhstan Innovation and Technological University,  
Republic of Kazakhstan, Uralsk

<sup>2</sup>Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Russia, Saratov  
Material received on 02.02.23.

### REQUIREMENTS FOR DIAGNOSTIC PARAMETERS OF RUNNING DIESEL ENGINE OIL

*The analysis of compliance of the main diagnostic parameters of motor oils, such as the base number, viscosity, density, flash point, is carried out. The boundaries of the images of engine malfunctions are determined according to the dependencies and standards of the parameters of the working oil known as a result of operation. The boundaries of the images of states (malfunctions) are constructed by the volume of oil in the crankcase, by the alkaline number of oil, by the viscosity of the oil, by the flash point of the oil. Based on the above data, fault images are constructed in coordinates  $V-C$ , and then in coordinates  $n-C$ ,  $n-t$ . The initial data for the construction of images were the limit values of the parameters and the initial ones. For the first diagnostic parameter – the volume of oil, the conjugate parameter is an alkaline number, where all relevant malfunctions are indicated. At the norm for this pair of diagnostic parameters, the malfunction is determined in a pair of parameters  $n - t_b$  by the same method. From this, the diagnostic algorithm is built. Based on the results of calculating the diagnostic parameters and the standard deviation, their errors were obtained. With this in mind, fault images are graphically constructed with a confidence probability of 0.8. The main permissible boundaries of images of diagnostic parameters are indicated. All diagnostic parameters can be considered informative and it is proved that these diagnostic parameters meet the basic requirements.*

*Keywords: automotive diesel engines, engine oils, base number, viscosity, density, volume, level, fault images.*

**\*B. K. Shaimardanova<sup>1</sup>, R. V. Subach<sup>2</sup>, A. D. Kishkunov<sup>3</sup>, T. K. Zhukenov<sup>4</sup>, R. K. Amanzholov<sup>5</sup>**

Higher College of Electronics and Communications, Pavlodar, Kazakhstan

### THE ALGORITHM FOR CALCULATING THE FATIGUE RESISTANCE OF THE GONDOLA WAGON BODY

*In this paper, the issue of performing strength calculations is considered, the object of the study are the bodies of freight railway gondola wagons.*

*An algorithm has been developed for modeling the processes of interaction of gondola wagons to assess the fatigue strength of the structure under the action of longitudinal loading. Controlled operational tests based on constant monitoring of the use and change of the technical condition of gondola wagons; intermediate and annual full-scale survey with measurements of the values characterizing the condition of the basic units and parts of wagons; generalizations, working out the technical conclusion - allow us to solve the issues raised and, first of all, confirm the correctness of the numerical values of the inter-repair standards.*

*The accumulated experience of examining the technical condition of freight gondolas during commission inspections and analyzing the data obtained made it possible to clarify and supplement the instructions for the operation and maintenance of gondolas. The solution of the problem is reduced to determining the calculated values of the stress amplitudes in each interval of the longitudinal forces. This is possible only as a result of solving the problem of dynamic calculation of the body of a freight railway gondola.*

*The presented algorithms make it possible to calculate, and also to design the bodies of gondola wagons, to make changes to the instructions for the production and repair of freight wagons.*

*Keywords: gondola wagon, fatigue, loading, dynamic stress, calculating.*

#### Introduction

Experience in the operation of rolling stock shows that a significant part of the details of wagons is damaged due to stresses that occur during dynamic loads. Therefore, there is a need to study the dynamic loading in the calculation of wagons.

Dynamic loading of wagons is understood in the broad sense of the word, i.e. in the sense of not only determining dynamic stresses, but also all other dynamic characteristics (amplitudes and frequencies of movements and accelerations). In many studies, it has been revealed that if the frequencies and amplitudes of dynamic movements are known, then it is easy to perform calculations to determine the dynamic stresses of parts and assemblies of wagons [1].

As a rule, the absolute majority of wagon designs are designed on the basis of static calculation, taking into account the maximum coefficient of dynamics. With this

approach, the vibration stresses arising in the structure, as well as the frequencies and forms of vibrations of the structural elements remain unexplored.

Analysis of the technical condition of freight wagons shows that the structure of the gondola car body works under conditions of prolonged and intense exposure to dynamic loads. The process of gradual accumulation of damage in the material of parts under the influence of variable stresses, leading to a change in the properties of the material, the formation, development of cracks and destruction of the part is called material fatigue.

#### Materials and methods

Fatigue refers to the property of a material to collapse after repeated exposure to alternating stresses. The ability of the material to withstand repeated exposure to alternating stresses without destruction is called endurance [2].

The norms for calculating wagons [3] recommend calculating fatigue resistance based on the margin coefficient. Figure 1 shows the algorithm for calculating the margin coefficient. This is a rather complicated procedure that can be conditionally divided into two independent calculations (according to the left and right branches of the algorithm).

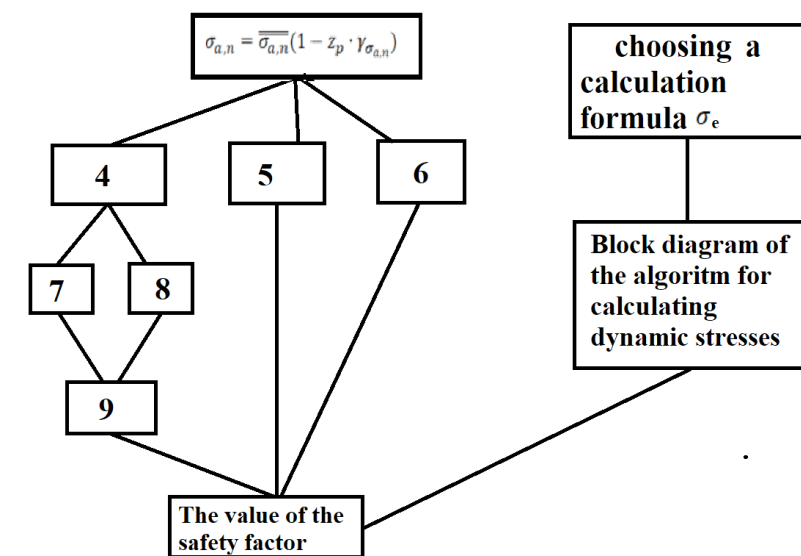


Figure 1 – Procedure for calculating the fatigue margin coefficient

The left branch is the calculation of the endurance limit (by amplitude) the considered part with a symmetrical cycle and steady-state loading mode based on test  $N_0$ . Calculation on this branch does not depend on external influence. The calculated value of the endurance limit of the structure node is determined by the dependence of block 2, which is determined by:

- the average value of the endurance limit of the part (block 4);
- the quantile of the distribution corresponding to the one-sided probability (it is assumed that  $N$  is a random variable having a normal distribution law) (block 5);
- coefficient of variation of the endurance limit (block 6).

For the transverse beams of the gondola frame during automatic (semi-automatic) welding, we obtain:

- for intermediate beams  $\sigma_{a,N} = 122.3$  (117.9) MPa
- for box-section beams  $= 107.37$  (103.5) MPa.

### Results and discussion

The right branch is a procedure for calculating the calculated magnitude of the amplitude of the dynamic voltage of a conditional symmetrical cycle, reduced to the base  $N_0$ , equivalent in damaging effect to the real mode of operational random stresses for the design life of the part.

For a discontinuous distribution function of voltage amplitudes, we have

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^k \sigma_{a,i}^m \cdot P_i} \quad (1)$$

where  $m$  is the exponent in the equation of the fatigue curve in amplitudes;

$N_c$  – the total number of cycles of dynamic stresses over the estimated service life;

$N_0$  – the base number of cycles;

$\sigma_{a,i}$  – voltage amplitude level;

$P_i$  – the probability of occurrence of an amplitude with the level  $\sigma_{a,i}$

In one year of operation, the gondola car receives about 25,000 longitudinal collisions with different intervals of forces [3].

The histogram (Figure 2) shows the interval of forces and the number of cycles of action of longitudinal forces in this interval. In this case, with a service life of 22 years,  $N_c = 550,000 = 0.55 \times 10^6$  cycles, and with a service life of 32 years  $N_c = 800,000 = 0.8 \times 10^6$  cycles. For the base number of cycles for car bodies, it is recommended to take the value  $N_0 = 107$ .

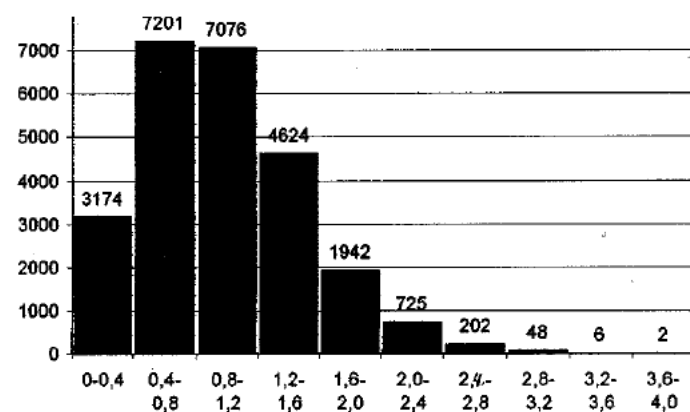


Figure 2 – Numerical indicators of the action of longitudinal forces on the wagon

Figure 3 shows the probability  $P_i$  of the occurrence of forces of this level in the form of a histogram.

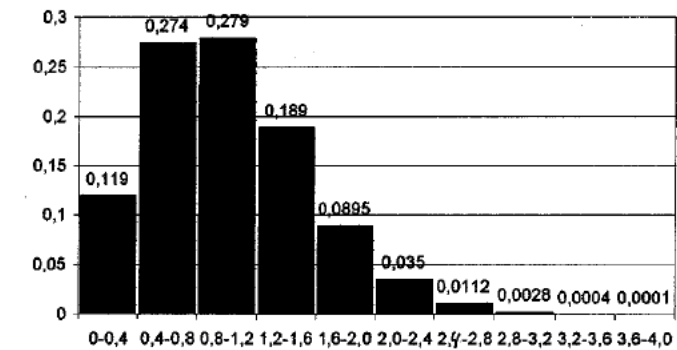


Figure 3 – Probability of occurrence of forces of this level

The further solution of the problem is reduced to determining the calculated values of the stress amplitudes  $\sigma_{a,i}$  in each interval of the action of longitudinal forces. This is possible only as a result of solving the problem of dynamic calculation of the car body. Dynamic transient analysis is used to obtain a system response to the impact of a time-varying forcing load. The right branch of the computational process is shown in Figure 4.

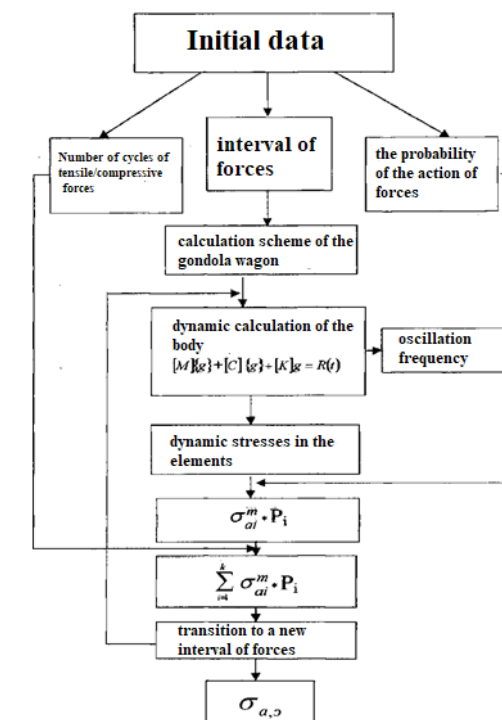


Figure 5 – Algorithm for calculating the calculated magnitude of the dynamic voltage amplitude

**Conclusions**

A methodology has been developed for assessing the reliability of the gondola car body, experimental parts and assemblies for a small number of objects operated in a permanent experimental train.

The accumulated experience of examining the technical condition of gondola wagons during commission inspections and analyzing the data obtained made it possible to clarify and supplement the instructions for the operation of gondola wagons.

The presented algorithms make it possible to calculate and design the bodies of gondola wagons, make changes to the instructions for the production and repair of freight wagons.

Controlled operational tests based on constant monitoring of the use and change of the technical condition of gondola wagons; intermediate and annual full-scale survey with measurements of the values characterizing the condition of the basic units and parts of the wagons; generalizations, working out the technical conclusion - allow us to solve the issues raised and, first of all, confirm the correctness of the numerical values of the inter-repair standards.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Битюцкий, А. А.** Пути повышения эффективности грузовых вагонов, выпускаемых российскими вагоностроительными предприятиями // Тяжелое машиностроение. – 2008. – № 2. – С. 29–33.

2 ГОСТ 27.002—2015 Надежность в технике. Термины и определения. // М.: Стандартинформ. – 2016. – 24 с.

3 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог колеи 1520 мм (несамоходных). // Москва : ГОСНИИВ, – 2016. – 319 с.

4 **Лукин, В. В.** Конструирование и расчет вагонов // – М.: МПС – 2000. – 731 с.

5 Котуранова, В. Н. Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений // М.: Маршрут. – 2005. – 490 с.

6 **Зарипов Р. Ю., Сулейменов А. Д., Каримова Ж. Р.** Исследование надежд цельнометаллических полувагонов // Наука и техника Казахстана. – 2021. – № 4. – С. 119–128

7 **Trejo-Escandon, J. O. Leyva-Diaz, A. Sandoval-Pineda, J. M. Tamayo-Meza, P. A. Flores-Herrera, L. A.** Static and Fatigue Analysis of the Front Draft Lugs of a Railroad Tank-Car Using FEM // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 16. – 2014

8 **Bojović, N. J.** A general system theory approach to rail freight car fleet sizing // European Journal of Operational Research. – 2002. – №1. – P. 136–172

9 **Connolly, D. P.** Assessment of railway vibrations using an efficient scoping model // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2014. – P. 37–47.

10 **Zaripov, R. & Gavrilov, P.** Research opportunities to improve technical and economic performance of freight wagon through the introduction of lightweight materials in their construction. Journal Procedia Engineering. – 2017.– vol. 187. – P. 22–29.

11 **Rizvi, D. R.** Optimisation of Bogie Springs for Higher Axle Load Wagons / D. R. Rizvi, P. K. Bharti // Intern. J. of Engineering Research & Technology. – 2015. – Vol. 4. – Iss. 05. – P. 56–60. doi: 10.17577/ijertv4is050162.

**REFERENCES**

1 **Bitúskii, A. A.** Pýti povysheniya effektivnosti grýzovykh vagonov, vypýskaemykh rossiiskimi vagonostroitel'nymi predpriatiami // Tájeloe mashinostroenie. [Ways to improve the efficiency of freight cars produced by Russian car-building enterprises] [Text] // Tájeloe mashinostroenie [Heavy engineering]. – 2008. – № 2. – P. 29–33.

2 ГОСТ 27.002—2015 Надежность в технике. Термины и определения. [Hope is in technology. Term and definition] [Text] // Moscow : Standartinform. – 2016. – 24 p.

3 Normy dlá rascheta i proektirovaniya vagonov jeleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh). [Norms of calculation and design of railcars of 1520 mm gauge (non-self-propelled)] [Text] // Moscow : GOSNIIV, [Moscow, SRICB] – 2016. – 319 p.

4 **Lýkin, V. V.** Konstrýirovanie i raschet vagonov // [Construction and calculation of wagons] – М.: MPS [Moscow, MR RF] – 2000. – 731 P.

5 **Kotýranova, V. N.** Vagony. Osnovy konstrýirovaniya i ekspertizy tehnikeskikh reshenii // [Railway carriage. Fundamentals of design and expertise of technical solutions] [Text] – Moscow : Marshrýt [Moscow, Route] – 2005. – 490 p.

6 **Zaripov, R. Yu., Sýleimenov, A. D., Karimova, J. R.** Issledovanie nadejnosti selnometallicheskih polývagonov // [Events of the hope of all-metal half wagons] [Text] // Nauka i tekhnika Kazakhstana [Science and technology of Kazakhstan]. – 2021. – № 4. – P. 119–128

7 **Trejo-Escandon, J. O. Leyva-Diaz, A. Sandoval-Pineda, J. M. Tamayo-Meza, P. A. Flores-Herrera, L. A.** Static and Fatigue Analysis of the Front Draft Lugs of a Railroad Tank-Car Using FEM // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Vol. 16. – 2014.

8 **Bojović, N. J.** A general system theory approach to rail freight car fleet sizing // European Journal of Operational Research. – 2002. – №1. – P. 136–172

9 **Connolly, D. P.** Assessment of railway vibrations using an efficient scoping model // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2014. – P. 37–47.

10 **Zaripov, R. & Gavrilov, P.** Research opportunities to improve technical and economic performance of freight wagon through the introduction of lightweight materials in their construction. Journal Procedia Engineering. – 2017.– Vol. 187. – P. 22–29.

11 **Rizvi, D. R.** Optimisation of Bogie Springs for Higher Axle Load Wagons / D. R. Rizvi, P. K. Bharti // Intern. J. of Engineering Research & Technology. – 2015. – Vol. 4. – Iss. 05. – P. 56–60. doi: 10.17577/ijertv4is050162.

Material received on 02.02.23.

*\*Б. К. Шаймарданова<sup>1</sup>, Р. В. Субач<sup>2</sup>, А. Д. Кишкун<sup>3</sup>,  
Т. К. Жукенов<sup>4</sup>, Р. К. Аманжолов<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Жоғары электроника және коммуникация колледжі,  
г. Павлодар, Қазақстан Республикасы  
Материал 02.02.23 баспаға түсті.

### ЖАРТЫЛАЙ ВАГОН КОРПУСЫНЫҢ ШАРШАУ КЕДЕРГІСІН ЕСЕПТЕУ АЛГОРИТМІ

*Бұл жұмыста беріктік есептеулерін жүргізу мәселесі қарастырылады, зерттеу объектісі жүк теміржол жартылай вагондарының шаңақтары болып табылады.*

*Бойлық жүктеме кезінде құрылымның шаршау беріктігін бағалау үшін жартылай вагондардың өзара әрекеттесу процестерін модельдеу алгоритмі жасалды. Жартылай вагондардың пайдаланылуы мен техникалық жай - күйінің өзгеруін ұдайы бақылау негізінде бақылаудағы пайдалану сынақтары; вагондардың базалық тораптары мен бөлшектерінің жай-күйін сипаттайтын шамаларды өлшей отырып, аралық және жыл сайынғы заттай тексеру; техникалық қорытындыны жалпылау, пысықтау-қойылған мәселелерді шешуге және бірінші кезекте жөндеу аралық нормативтердің сандық мәндерінің дұрыстығын растауға мүмкіндік береді.*

*Комиссиялық тексерулер және алынған деректерді талдау кезінде жүк жартылай вагондарының техникалық жай-күйін тексерудің жинақталған тәжірибесі жартылай вагондарды пайдалану және оларға қызмет көрсету жөніндегі нұсқаулықтарды нақтылауға және толықтыруға мүмкіндік берді. Мәселені шешу бойлық күштердің әр әсер ету аралығындағы кернеулер амплитудасының есептік мәндерін анықтауға дейін азаяды. Бұл жүк теміржол жартылай вагонының корпусын динамикалық есептеу мәселесін шешу нәтижесінде ғана мүмкін болады.*

*Ұсынылған Алгоритмдер есептеуге , сондай-ақ жартылай вагондардың корпустарын жобалауға, жүк вагондарын өндіру және жөндеу жөніндегі нұсқаулыққа өзгерістер енгізуге мүмкіндік береді.*

*Түйінді сөздер: жартылай вагон, шаршау, жүктеме, динамикалық кернеу, есептеу*

*\*Б. К. Шаймарданова<sup>1</sup>, Р. В. Субач<sup>2</sup>, А. Д. Кишкун<sup>3</sup>,  
Т. К. Жукенов<sup>4</sup>, Р. К. Аманжолов<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Высший Колледж электроники и коммуникаций,  
г. Павлодар, Республика Казахстан  
Материал поступил в редакцию 02.02.23.

### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА

*В данной работе рассматривается вопрос выполнения прочностных расчетов, объектом исследования выступают кузова грузовых железнодорожных полувагонов.*

*Разработан алгоритм моделирования процессов взаимодействия полувагонов для оценки усталостной прочности конструкции при действии продольного нагружения. Подконтрольные эксплуатационные испытания на основе постоянного слежения за использованием и изменением технического состояния полувагонов; промежуточного и ежегодного натурного обследования с замерами величин, характеризующих состояние базовых узлов и деталей вагонов; обобщения, отработки технического заключения - позволяют решать поставленные вопросы и в первую очередь, подтвердить правильность численных значений межремонтных нормативов.*

*Накопленный опыт обследования технического состояния грузовых полувагонов при комиссионных осмотрах и анализа получаемых данных позволили уточнить и дополнить инструкции по эксплуатации и обслуживанию полувагонов. Решение задачи сводится к определению расчетных значений амплитуд напряжений в каждом интервале действия продольных сил. Это возможно только в результате решения задачи динамического расчета кузова грузового железнодорожного полувагона.*

*Представленные алгоритмы позволяют произвести расчет , а также конструирование кузовов полувагонов, вносить изменения в инструкции по производству и ремонту грузовых вагонов.*

*Ключевые слова: полувагон, усталость, нагруженность, динамическое напряжение, расчет.*

## СВЕДЕНИЯ О АВТОРАХ

**Абілқайыр Жасталап Наурызғали**, PhD, аға оқытушы, Машинажасау кафедрасы, Энергетика және машина жасау институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [z.abilkaiyr@satbayev.university](mailto:z.abilkaiyr@satbayev.university)

**Альпеисов Азамат Турысбекұлы**, т.ғ.к., қауымд. профессор, Технологиялық машиналар және көлік кафедрасы, Энергетика және машина жасау институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.alpeisov@satbayev.university](mailto:a.alpeisov@satbayev.university)

**Аманжолов Расул Канатович**, студент отделения «ПиВХ», г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [Amanzholovrasul7182@icloud.com](mailto:Amanzholovrasul7182@icloud.com)

**Аубакиров Алмат Муқанович**, докторант. «Металлургия» мамандығы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [almat\\_aubakirov@list.ru](mailto:almat_aubakirov@list.ru)

**Ахметов Кайрат Телектесович**, PhD, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [kairat.telektesovich@gmail.com](mailto:kairat.telektesovich@gmail.com)

**Абілқайыр Жасталап Наурызғали**, PhD, ст. преподаватель, кафедра Машиностроение, Институт энергетики и машиностроения, Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: [z.abilkaiyr@satbayev.university](mailto:z.abilkaiyr@satbayev.university)

**Альпеисов Азамат Турысбекович**, к.т.н., ассоц. профессор, кафедра «Технологических машин и транспорта». Институт энергетики и машиностроения. Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: [a.alpeisov@satbayev.university](mailto:a.alpeisov@satbayev.university)

**Аманжолов Расул Канатович**, студент отделения «ПиВХ», Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [Amanzholovrasul7182@icloud.com](mailto:Amanzholovrasul7182@icloud.com)

**Аубакиров Алмат Муқанович**, докторант, специальность, «Металлургия», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [almat\\_aubakirov@list.ru](mailto:almat_aubakirov@list.ru)

**Ахметов Кайрат Телектесович**, PhD, доцент, ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: [kairat.telektesovich@gmail.com](mailto:kairat.telektesovich@gmail.com)

**Abilkaiyr Zhastalap**, PhD, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: [z.abilkaiyr@satbayev.university](mailto:z.abilkaiyr@satbayev.university)

**Alpeisov Azamat Turusbekovich**, Candidate of technical sciences, associate Professor, Department of Technological machines and transport, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.alpeisov@satbayev.university](mailto:a.alpeisov@satbayev.university)

**Amanzholov Rasul Kanatovich**, student of the department of «PiVH», Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Amanzholovrasul7182@icloud.com](mailto:Amanzholovrasul7182@icloud.com)

**Aubakirov Almat Mukanovich**, PhD, student in Metallurgy, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almat\\_aubakirov@list.ru](mailto:almat_aubakirov@list.ru)

**Akhmetov Kairat Telektesovich**, PhD, assistant professor, ENU named after L. N. Gumilyov, Astana, Republic on Kazakhstan, e-mail: [kairat.telektesovich@gmail.com](mailto:kairat.telektesovich@gmail.com)

**Биниязов Абзал Махсотович**, PhD, қауымд. профессор, «Көлік және технология» кафедрасы, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал қ., 410054, Қазақстан Республикасы, e-mail: [abiniyazov@mail.ru](mailto:abiniyazov@mail.ru)

**Богомолов Алексей Витальевич**, т.ғ.к., профессор «Металлургия» кафедрасы, Инженерия факультеті, «Торайғыров университеті» Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Варбанов Петр Сабев**, профессор Dr-Habil, зертхана басшысы, Брно технологиялық университетінің SPIL, машина жасау факультеті, Netme орталығы, Брно қ., 603 00, Чех Республикасы, e-mail: [varbanov@fme.vutbr.cz](mailto:varbanov@fme.vutbr.cz)

**Гаврилов Павел**, PhD, Теміржол машина жасау кафедрасы, Машина жасау, көлік және аэроавтика факультеті, Рига техникалық университеті, Рига қ., Латвия, e-mail: [pavels.gavrilovs@rtu.lv](mailto:pavels.gavrilovs@rtu.lv)

**Гұмаров Ғали Сағинғалиұлы**, т.ғ.д., профессор, Махамбет Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал қ., 090000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ggs65@yandex.ru](mailto:ggs65@yandex.ru)

**Биниязов Абзал Махсотович**, доктор PhD, ассоц. профессор, кафедра «Транспорта и технологии», Западно Казахстанский инновационно-технологический университет, 410054, Республика Казахстан, г. Уральск, e-mail: [abiniyazov@mail.ru](mailto:abiniyazov@mail.ru)

**Богомолов Алексей Витальевич**, к.т.н., профессор, кафедра «Металлургия», Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Варбанов Петр Сабев**, профессор Dr-Habil, Руководитель лаборатории SPIL, Центр NETME, Факультет машиностроения, Технологический университет, г. Брно, 603 00, Чешская Республика, e-mail: [varbanov@fme.vutbr.cz](mailto:varbanov@fme.vutbr.cz)

**Гаврилов Павел**, PhD, Кафедра железнодорожного машиностроения, Факультет машиностроения транспорта и аэроавтики, Рижский технический университет, г. Рига, Латвия, e-mail: [pavels.gavrilovs@rtu.lv](mailto:pavels.gavrilovs@rtu.lv)

**Гумаров Ғали Сағинғалиевич**, д.т.н., профессор, Западно-Казахстанский университет имени Махамбета Утемисова, г. Уральск, 090000, Республика Казахстан, e-mail: [ggs65@yandex.ru](mailto:ggs65@yandex.ru)

**Biniyazov Abzal Makhstotovich**, PhD, Associate Professor of the Department of Transport and Technology, West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, 410054, Kazakhstan, e-mail: [abiniyazov@mail.ru](mailto:abiniyazov@mail.ru)

**Bogomolov Alexey**, Candidate of Engineering, Professor of Metallurgy department, Toraighyrov University, Faculty of Engineering, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan e-mail: [bogomolov71@mail.ru](mailto:bogomolov71@mail.ru)

**Varbanov Petar Sabeв**, Professor Dr-Habil, Head SPIL Laboratory (NETME Centre, Faculty of Mechanical Engineering) at Brno University of Technology, Brno, 603 00, Czech Republic, e-mail: [varbanov@fme.vutbr.cz](mailto:varbanov@fme.vutbr.cz)

**Gavrilov Pavel**, PhD, Department of Railway Engineering, Faculty of mechanical engineering, transport and aeronautics, Riga Technical University, Riga, Latvia, e-mail: [pavels.gavrilovs@rtu.lv](mailto:pavels.gavrilovs@rtu.lv)

**Gumarov Gali Sagingaliyevich**, doctor of technical Sciences, Professor, Makhambet Utemisov West Kazakhstan State University, Uralsk, 090000, Republic on Kazakhstan, e-mail: [ggs65@yandex.ru](mailto:ggs65@yandex.ru)

**Денисов Александр Сергеевич**, т.ғ.д., профессор, «Тасымалдауды, қозғалысты ұйымдастыру және көлік қауіпсіздігі» кафедрасы, Ю. А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Саратов қ., 410054, Ресей Федерациясы, e-mail: [denisov0307@yandex.ru](mailto:denisov0307@yandex.ru)

**Деревягин Сергей Иванович**, т.ғ.к., кауымд. профессор (доцент), «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ser\\_der56@mail.ru](mailto:ser_der56@mail.ru)

**Джундибаев Валерий Ермекбаевич**, к.т.н., профессор, Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [dzhundibayev\\_v@mail.ru](mailto:dzhundibayev_v@mail.ru)

**Есенғалиев Дәурен Амангелдіұлы**, PhD, аға оқытушы, Техникалық факультет, Ақтөбе өңірлік университеті Қ. Жұбанова, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы

**Жукенов Темірлан Қуанышұлы**, студент, «ПивХ» бөлімі, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [tima8281362@gmail.com](mailto:tima8281362@gmail.com)

**Денисов Александр Сергеевич**, д.т.н., профессор, кафедра «Организация перевозок, движения и безопасность транспорта», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., 410054, Российская Федерация, г. Саратов, e-mail: [denisov0307@yandex.ru](mailto:denisov0307@yandex.ru)

**Деревягин Сергей Иванович**, к.т.н., ассоц. профессор (доцент), Кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ser\\_der56@mail.ru](mailto:ser_der56@mail.ru)

**Джундибаев Валерий Ермекбаевич**, к.т.н., профессор, ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: [dzhundibayev\\_v@mail.ru](mailto:dzhundibayev_v@mail.ru)

**Есенғалиев Даурен Амангельдиевич**, PhD, ст. преподаватель, Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, 030000, Республика Казахстан

**Жукенов Темирлан Куанышевич**, студент, отделения «ПивХ», Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [tima8281362@gmail.com](mailto:tima8281362@gmail.com)

**Denisov Alexander Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Organization of Transportation, Traffic and Transport Safety», Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A., Saratov, 410054, Russian Federation, e-mail: [denisov0307@yandex.ru](mailto:denisov0307@yandex.ru)

**Derevyagin Sergey Ivanovich**, Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, [ser\\_der56@mail.ru](mailto:ser_der56@mail.ru)

**Dzhundibaev Valery Ermekbaevich**, Candidate of Technical Sciences, professor, ENU named after L. N. Gumilyov, Astana, Republic on Kazakhstan, e-mail: [dzhundibayev\\_v@mail.ru](mailto:dzhundibayev_v@mail.ru)

**Yesengaliyev Dauren Amangeldievich**, PhD, Senior Lecturer, Faculty of Technology, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, 030000, Aktobe, Republic of Kazakhstan

**Zhukenov Temirlan Kuanyshevich**, student of «Pivh», Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tima8281362@gmail.com](mailto:tima8281362@gmail.com)

**Зарипов Рамис Юрисович**, аға оқытушы, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [ramis.zaripov@mail.ru](mailto:ramis.zaripov@mail.ru)

**Каурбай Олжас Токтарұлы**, магистр, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [oljaskairbaev@mail.ru](mailto:oljaskairbaev@mail.ru)

**Касенов Асылбек Жумабекович**, т.ғ.к., кауымд. профессор, Машина жасау және стандарттау кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru)

**Касымов Умирзак Тажигалиевич**, к.т.н., профессор, Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [kasimov.umirzak@yandex.ru](mailto:kasimov.umirzak@yandex.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**, т.ғ.к., кауымд. профессор, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Зарипов Рамис Юрисович**, ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет инженерии, Торайғыров Университет, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [ramis.zaripov@mail.ru](mailto:ramis.zaripov@mail.ru)

**Каурбай Олжас Токтарұлы**, магистрант, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [oljaskairbaev@mail.ru](mailto:oljaskairbaev@mail.ru)

**Касенов Асылбек Жумабекович**, к.т.н., ассоц. профессор, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Республика Казахстан, e-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru)

**Касымов Умирзак Тажигалиевич**, к.т.н., профессор, ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: [kasimov.umirzak@yandex.ru](mailto:kasimov.umirzak@yandex.ru)

**Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы**, к.т.н., ассоц. профессор, Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, 030000, г. Ақтөбе, Республика Казахстан, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Zaripov Ramis Yurisoich**, Lecturer, Department of Transport Engineering and Logistics, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ramis.zaripov@mail.ru](mailto:ramis.zaripov@mail.ru)

**Каурбай Олжас Токтарұлы**, Master student, Department of mechanical engineering and standartization, Toraighyrov University, Faculty of engineering, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [oljaskairbaev@mail.ru](mailto:oljaskairbaev@mail.ru)

**Kasenov Asylbek Zhumabekovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asylbek\\_kasenov@mail.ru](mailto:asylbek_kasenov@mail.ru)

**Kasymov Umirzak Tazhigalievich**, Candidate of Technical Sciences, professor, ENU named after L. N. Gumilyov, Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kasimov.umirzak@yandex.ru](mailto:kasimov.umirzak@yandex.ru)

**Kelamanov Bauyrzhan Satybaldyuly**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Technology, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, 030000, Aktobe, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kelamanov-b@mail.ru](mailto:kelamanov-b@mail.ru)

**Кишкунев Александр Дмитриевич**, студент, «ПивХ» бөлімшесі Аймауытов Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [kishkunov@internet.ru](mailto:kishkunov@internet.ru)

**Кобеген Ерболат**, т.ғ.м., аға оқытушы, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы

**Қуандыков Алмаз Болатович**, магистр, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Кульчицкий Алексей Рэмович**, т.ғ.д., доцент, аға ғылыми қызметкер, «Камешково механикалық зауыты», Камешково қ., Ресей Федерациясы, e-mail: [ark6975@mail.ru](mailto:ark6975@mail.ru)

**Маздубай Асылхан Владимирович**, PhD, қауымд. профессор, Машина жасау және стандарттау кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asylkhan\\_m@mail.ru](mailto:asylkhan_m@mail.ru)

**Кишкунев Александр Дмитриевич**, студент, отделения «ПивХ», Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [kishkunov@internet.ru](mailto:kishkunov@internet.ru)

**Кобеген Ерболат**, магистр технических наук, ст.преподаватель, Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, 030000, г. Актөбе, Республика Казахстан

**Қуандыков Алмаз Болатович**, магистр, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Кульчицкий Алексей Рэмович**, д.т.н., доцент, ст.научный сотрудник, «Камешковский механический завод», г. Камешково, Российская Федерация, e-mail: [ark6975@mail.ru](mailto:ark6975@mail.ru)

**Маздубай Асылхан Владимирович**, ассоц. профессор, доктор философии (PhD), кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [asylkhan\\_m@mail.ru](mailto:asylkhan_m@mail.ru)

**Kishkunov Alexander Dmitrievich**, student otdelenii «Pivx», Pavlodar, Republic Of Kazakhstan, e-mail: [kishkunov@internet.ru](mailto:kishkunov@internet.ru)

**Kobegen Yerbolat**, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Faculty of Technology, Aktobe Regional University named after K .Zhubanov, 030000, Aktobe, Republic of Kazakhstan

**Kuandykov Almaz**, master, Faculty of Engineering, Senior Lecturer, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [azeka200892@mail.ru](mailto:azeka200892@mail.ru)

**Kulchitskiy Alexey Ramovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, «Kameshkovo Mechanical Plant», Kameshkovo, Russian Federation, e-mail: [ark6975@mail.ru](mailto:ark6975@mail.ru)

**Mazdubay Asylkhan Vladimirovich**, Associate professor, doctor of philosophy (PhD), Department of mechanical engineering and standartization, Faculty of engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asylkhan\\_m@mail.ru](mailto:asylkhan_m@mail.ru)

**Миллер Сергей Андреевич**, оқытушы, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [sergey\\_miller09@mail.ru](mailto:sergey_miller09@mail.ru)

**Митин Сергей Геннадьевич**, т.ғ.д., доцент, Ю. А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Саратов қ., 410033, Ресей, e-mail: [ser\\_gen@inbox.ru](mailto:ser_gen@inbox.ru)

**Молдамурат Хуралай**, т.ғ.к., доцент, Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан Республикасы e-mail: [moldamurat@yandex.kz](mailto:moldamurat@yandex.kz)

**Муканов Руслан Батырбекович**, қауымд. профессор, оқытушы, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [ruslangr82@mail.ru](mailto:ruslangr82@mail.ru)

**Мустафин Адильбек Хамзинович**, т.ғ.к., профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mustafin-51@mail.ru](mailto:mustafin-51@mail.ru)

**Нұржауов Амангелді**, т.ғ.д., профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [amankz@inbox.ru](mailto:amankz@inbox.ru)

**Миллер Сергей Андреевич**, преподаватель, кафедра «Машиностроение и стандартизация», факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [sergey\\_miller09@mail.ru](mailto:sergey_miller09@mail.ru)

**Митин Сергей Геннадьевич**, д.т.н., доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., г. Саратов, 410033, Российская Федерация, e-mail: [ser\\_gen@inbox.ru](mailto:ser_gen@inbox.ru)

**Молдамурат Хуралай**, к.т.н., доцент, ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: [moldamurat@yandex.kz](mailto:moldamurat@yandex.kz)

**Муканов Руслан Батырбекович**, ассоц. профессор, преподаватель, Торайғыров университет, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет Инженерия, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [ruslangr82@mail.ru](mailto:ruslangr82@mail.ru)

**Мустафин Адильбек Хамзинович**, к.т.н., профессор, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [mustafin-51@mail.ru](mailto:mustafin-51@mail.ru)

**Нұржауов Амангельды**, д.т.н., профессор, Факультет Инженерии торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [amankz@inbox.ru](mailto:amankz@inbox.ru)

**Miller Sergey Andreevich**, Lecturer, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sergey\\_miller09@mail.ru](mailto:sergey_miller09@mail.ru)

**Mitin Sergei Gennadyevich**, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, 410033, Russian Federation, e-mail: [ser\\_gen@inbox.ru](mailto:ser_gen@inbox.ru)

**Moldamurat Khuralai**, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, ENU named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: [moldamurat@yandex.kz](mailto:moldamurat@yandex.kz)

**Mazdubay Asylkhan Vladimirovich**, Associate professor, Doctor of philosophy (PhD), Department of mechanical engineering and standartization, Faculty of engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ruslangr82@mail.ru](mailto:ruslangr82@mail.ru)

**Mustafin Adilbek**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mustafin-51@mail.ru](mailto:mustafin-51@mail.ru)

**Nurzauov Amangeldy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [amankz@inbox.ru](mailto:amankz@inbox.ru)

**Садықов Асылхан Анварбекович**, магистрант, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы

**Субач Ростислав Витальевич**, студент, «ПиВХ» бөлімі, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [rostislavsubac@gmail.com](mailto:rostislavsubac@gmail.com)

**Теміртас Хамит Бауржанұлы**, магистр, оқытушы (ассистент), Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [xamit1797@gmail.com](mailto:xamit1797@gmail.com)

**Толымбекова Лязат Байгабыловна**, PhD, қаумд. профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [lyazat-t@mail.ru](mailto:lyazat-t@mail.ru)

**Турдалиев Ауезхан**, т.ғ.д., профессор, Қазақ жолдар қатынастар университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

**Тюлюбаев Ренат Асылбекович**, магистр, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tyulyubaev.r@teachers.tou.edu.kz](mailto:tyulyubaev.r@teachers.tou.edu.kz)

**Садықов Асылхан Анварбекович**, магистрант, кафедра «Транспортная техника и логистика», факультет Инженерия, Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан

**Субач Ростислав Витальевич**, студент, отделения «ПиВХ», г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: [rostislavsubac@gmail.com](mailto:rostislavsubac@gmail.com)

**Теміртас Хамит Бауржанұлы**, магистр, преподаватель (ассистент), Торайғыров университет, Факультет инженерии, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [xamit1797@gmail.com](mailto:xamit1797@gmail.com)

**Толымбекова Лязат Байгабыловна**, PhD, ассоц. профессор, Торайғыров университет, Факультет инженерии, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [lyazat-t@mail.ru](mailto:lyazat-t@mail.ru)

**Турдалиев Ауезхан**, д.т.н., профессор, Казахский университет путей сообщения, Республика Казахстан, г. Алматы

**Тюлюбаев Ренат Асылбекович**, магистр, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [tyulyubaev.r@teachers.tou.edu.kz](mailto:tyulyubaev.r@teachers.tou.edu.kz)

**Sadykov Asyilkhan Anvarbekovich**, Master's student, Department of «Transport Equipment and Logistics», Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

**Subach Rostislav Vitalievich**, student of the department of «PiVH», Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rostislavsubac@gmail.com](mailto:rostislavsubac@gmail.com)

**Temirtas Khamit Baurzhanuly**, master, lecturer (assistant), Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [xamit1797@gmail.com](mailto:xamit1797@gmail.com)

**Tolymbekova Lyazat Baigabylovna**, PhD, Associate Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [lyazat-t@mail.ru](mailto:lyazat-t@mail.ru)

**Turdaliyev Auezkhan**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Railway University, Almaty, Republic of Kazakhstan,

**Tyulyubayev Renat**, master, Senior Lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, [tyulyubaev.r@teachers.tou.edu.kz](mailto:tyulyubaev.r@teachers.tou.edu.kz)

**Шадрин Юрий Иванович**, металлургия бакалавры, түсті металдарды балқытушы «Вектор» ЖШС, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shadrin\\_yura3434@bk.ru](mailto:shadrin_yura3434@bk.ru)

**Шаймарданова Бақытнұр Қайырлыханқызы**, оқытушы, электроника және коммуникация жоғары арнайы пәндер колледжі, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [Shandakbaeva@bk.ru](mailto:Shandakbaeva@bk.ru)

**Шадрин Юрий Иванович**, бакалавр металлургии, плавильщик цветных металлов ТОО «Вектор», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, shadrin\_e-mail: [yura3434@bk.ru](mailto:yura3434@bk.ru)

**Шаймарданова Бақытнұр Қайырлыхановна**, преподаватель специальных дисциплин Высшего колледжа электроники и коммуникации, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: [Shandakbaeva@bk.ru](mailto:Shandakbaeva@bk.ru)

**Shadrin Yuri Ivanovich**, Bachelor of Metallurgy, non-ferrous metals smelter Vector LLP, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [shadrin\\_yura3434@bk.ru](mailto:shadrin_yura3434@bk.ru)

**Shaimardanova Bakytnur Kayyrlykhanovna**, Teacher of Special Disciplines of the Higher College of Electronics and Communication, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Shandakbaeva@bk.ru](mailto:Shandakbaeva@bk.ru)

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА  
«НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

**\*В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

**\*Количество соавторов одной статьи не более 5.**

**\*Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

**\*Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

**\*Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

**\*Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

**\*Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

**\* Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

**Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии  
со следующими правилами:**

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц печатного текста**. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение,

заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество** (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*);

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (*см. образец*);

10 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Кіріспе / Introduction** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

**11 Иллюстрации, перечень рисунков** и подписуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

**12 Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

**На отдельной странице (после статьи)**

**В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются):**

**Сведения об авторах**

| На казахском языке                | На русском языке | На английском языке |
|-----------------------------------|------------------|---------------------|
| Фамилия Имя Отчество (полностью)  |                  |                     |
| Должность, ученая степень, звание |                  |                     |
| Организация                       |                  |                     |
| Город                             |                  |                     |
| Индекс                            |                  |                     |
| Страна                            |                  |                     |
| E-mail                            |                  |                     |
| Телефон                           |                  |                     |

**Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.**

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

**Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.**

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

**Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)**

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

**Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате.** Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

**Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на почту: [nitk.tou.edu.kz](mailto:nitk.tou.edu.kz). Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.**

**140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,**

**НАО «Торайгыров университет»,**

**Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.**

**Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).**

**E-mail: [nitk.tou.edu.kz](mailto:nitk.tou.edu.kz).**

**Наши реквизиты:**

|                                                                                              |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| НАО «Торайгыров университет»<br>РНН 451800030073<br>БИН 990140004654                         | НАО «Торайгыров университет»<br>РНН 451800030073<br>БИН 990140004654                                    | Приложение kasp.kz Платежи –<br>Образование – Оплата за ВУЗы –<br>Заполняете все графы (в графе Факультет<br>укажите «За публикацию в научном<br>журнале, название журнала и серии») |
| АО «Jysan Bank»<br>ИИК KZ57998FTB00 00003310<br>БИК TSESKZK A<br>Кбе 16<br>Код 16<br>КНП 861 | АО «Народный Банк Казахстана»<br>ИИК KZ156010241000003308<br>БИК HSBKZKX<br>Кбе 16<br>Код 16<br>КНП 861 |                                                                                                                                                                                      |

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ**

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxxx

**С. К. Антикеева**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ  
СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ**

*В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.*

*Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.*

**Введение**

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Материалы и методы**

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Результаты и обсуждение**

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Выводы**

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

*Продолжение текста публикуемого материала*

**Список использованных источников**

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 2 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.
- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

**References**

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitanii (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – T. 2 – P. 11–20.
- 8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.
- 9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300-Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.
- 10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

**БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ**

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзыреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeyeva

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

**THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES**

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented

*pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.*

*Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.*

**Сведения об авторах**

| На казахском языке                                                                                                                                                                                                                                       | На русском языке                                                                                                                                                                                                                         | На английском языке                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00 | Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00 | Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00 |

**Публикационная этика научных журналов  
«Вестник Торайгыров университета»,  
«Краеведение», «Наука и техника Казахстана»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегий статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

**Ответственность экспертов (рецензентов)**

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

**Ответственность авторов**

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета

номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегия Журнала.

Теруге 16.09.22 ж. жіберілді. Басуға 30.09.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz