

Код МРНТИ 52.01.83:55.22.29

\*В.В. Поветкин<sup>1</sup>, А.З. Нурмуханова<sup>1</sup>, А.З. Букаева<sup>2</sup>, М.Ф. Керимжанова<sup>3</sup><sup>1</sup>НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби» (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>НАО «Каспийский университет технологии и инженеринга имени Ш. Есенова» (г. Актау, Казахстан),<sup>3</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТОВОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы эксплуатации грунтовых насосов, используемых в обогащительных производствах для транспортировки горной измельченной массы в жидкой среде (вода). До настоящего времени существует многообразие конструкций грунтовых насосов, которые претерпели конструктивные изменения, позволяющие повысить срок службы деталей проточной части. Однако, эксплуатационный срок службы грунтовых насосов все еще недостаточен, поэтому конструкторами интенсивно проводятся исследования по повышению износостойкости насосов. В данной статье рассмотрены процессы и технология газопламенной наплавки металлических порошков на износостойкости поверхности рабочего колеса насоса, что позволяет создать упрочненный поверхностный слой. На базе проведенных исследований газотермического способа нанесения износостойких покрытий разработана новая конструкция рабочего колеса центробежного грунтового насоса. В результате технико-экономического обоснования применения газотермической наплавки установлена эффективность использования плазменных струй электродуговых плазмотронов мощностью от 10 до 60 кВт, обеспечивающих прочность сцепления до 500 МПа и коэффициента экономической эффективности 0,56.

**Ключевые слова:** износ, газотермическое напыление, центробежный грунтовой насос, наплавка, металлические порошки.

### Топырақтан тепкіш сорғы бөлшектерінің тозуға төзімділігін арттырудың технологиялық әдістері

**Аннотация.** Мақалада тау-кен ұсақталған массаны сұйық ортада (су) тасымалдау үшін байыту өндірістерінде қолданылатын топырақ сорғыларын пайдалану мәселелері қарастырылған. Осы уақытқа дейін жер сорғыларының әртүрлі конструкциялары бар олар ағынды бөліктің бөлшектерінің қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік беретін құрылымдық өзгерістерге ұшырады. Алайда, топырақ сорғыларының қызмет ету мерзімі әлі де жеткіліксіз, сондықтан конструкторлар сорғылардың тозуға төзімділігін арттыру бойынша қарқынды зерттеулер жүргізуде. Бұл мақалада металл ұнтақтарын сорғы дөңгелегінің тозуға төзімді беттеріне газ жалынымен балқыту процесстері мен технологиясы қарастырылады, бұл қатайтылған беткі қабатты жасауға мүмкіндік береді. Тозуға төзімді жабындарды қолданудың газотермиялық әдісін зерттеу негізінде центрифугалық топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегінің жаңа дизайны жасалды. Газотермиялық балқытуды қолданудың техникалық-экономикалық негіздемесінің нәтижесінде қуаты 10-нан 60 кВт-қа дейінгі электр доғалы плазмотрондардың плазмалық ағындарын пайдаланудың тиімділігі анықталды, олар 500 МПа-ға дейін адгезия беріктігін және 0,56 экономикалық тиімділік коэффициентін қамтамасыз етеді.

**Түйінді сөздер:** тозу, газотермиялық бұрқу, центрифугалық топырақ сорғысы, балқыту, металл ұнтақтары.

### Process methods for increasing wear resistance of parts of soil centrifugal pump

**Annotation.** The article deals with the issues of groundwater pumps operation, used in enrichment plants for transportation of crushed rock mass in liquid medium (water). Up to the present time there is a variety of designs of groundwater pumps which have undergone structural changes to increase the service life of parts of the flowing part. However, the service life of groundwater pumps is still insufficient, therefore designers intensively carry out researches on increase of wear resistance of pumps. In the given article processes and technology of gas-flame hard-facing of metal powders on wear-resistant surfaces of impeller of the pump are considered, that allows to create a hardened surface layer. On the basis of the carried out researches of gas-thermal method of wear-resistant coatings deposition the new construction of a centrifugal pump impeller was developed. As a result of feasibility study of gas-thermal surfacing application, efficiency of electric arc plasmatrons' plasma jets with capacity from 10 to 60 kW that provide friction strength up to 500 MPa and coefficient of economic efficiency 0.56 have been established.

**Key words:** wear, gas-thermal spraying, centrifugal ground pump, surfacing, metal powders.

### Введение

Казахстан располагает огромными запасами полезных ископаемых, для разработки которых сформированы целые отрасли по добыче и переработке минерального сырья и, как правило, располагает большим парком машин по добыче и его переработке. Эти машины работают в тяжелых условиях при больших ударных нагрузках и коррозионном воздействии [1-4].

В этих условиях детали машин имеют интенсивный износ и быстро выходят из строя, нарушая технологический процесс предприятия. Перед инженерами этих предприятий стоят задачи – повысить ресурс работы машин и оборудования.

Поэтому в Казахстане сформировалась целая отрасль по ремонту деталей тяжело нагруженных машин и агрегатов. Предприятия по добыче и переработке минерального сырья имеют большой парк оборудования, машин и механизмов, подвергающихся интенсивному износу. Так, в горной промышленности при добыче и переработке горной породы используются грунтовые насосы для транспортировки минерального сырья по технологическому циклу измельчения породы и добычи из них полезного ископаемого (медь, свинец, железо, алюминий и т. д.).

Детали грунтового насоса при работе подвергаются интенсивному износу, так как транспортируемая водная среда имеет в составе твердые частицы горной массы с концентрацией до 45 процентов [5].

На рисунке 1, 2, 3 показаны фрагменты деталей грунтового насоса после полного цикла работы.

В таблице 1 представлены данные о сроке службы грунтовых насосов [6].

Как видно из таблицы 1, срок работы грунтовых насосов в условиях агрессивного износа очень небольшой и требует внедрения новых технологий по созданию стойких к износу поверхностей, что достигается нанесением износостойких металлов на рабочие поверхности [6, 7].

Следовательно, грунтовые насосы являются объектом наших исследований. Поэтому, создание деталей насосов, имеющих изнашиваемую поверхность с высокими свойствами по прочности, коррозионной стойкости и кислотоустойчивости, является нашей основной задачей.

### Методы/исследования

Для повышения ресурса работы тяжело нагруженных деталей в условиях интенсивного износа имеется ряд



а) б)



б)

Рис. 1. Рабочее колесо грунтового насоса 8Гр-8: а – новое рабочее колесо; б, в – изношенное рабочее колесо.

Сурет 1. Топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегі 8Гр-8: а – жаңа жұмыс дөңгелегі; б, в – тозған жұмыс дөңгелегі.

Figure 1. Impeller of the soil pump 8Gr-8: а – new impeller; б, в – worn impeller.



а)



б)

Рис. 2. Бронедиск насоса 8Гр-8: а – после эксплуатации; б – новый.

Сурет 2. Сорғының бронедісі 8Гр-8: а – пайдаланудан кейін; б – жаңа.

Figure 2. 8Gr-8 pump armor plate: а – after operation; б – new.

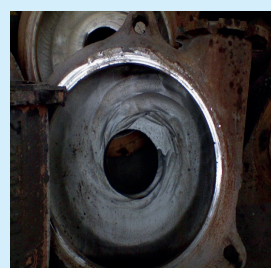


Рис. 3. Износ корпуса грунтового насоса 8Гр-8. Сурет 3. 8Гр-8 топырақ сорғысы корпусының тозуы.

Figure 3. Wear of the 8Gr-8 ground pump housing.

Таблица 1

Сроки службы деталей грунтовых насосов из сплава ИЧХ28Н2, сутки

Кесте 1

ИЧХ28Н2 қорытпасынан жасалған топырақ сорғылары бөлшектерінің қызмет ету мерзімі, тәулік

Table 1

Service life of parts of ground pumps made of alloy ICHN28N2, day

| Фабрики                | Стадия измельчения, продукт и его плотность | Тип насоса | Детали         |                         |               |                    |
|------------------------|---|------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------|
|                        |   |            | рабочее колесо | улитка или ее футеровка | защитный диск | подшипники качения |
| Тяжелые условия работы |   |            |                |                         |               |                    |
| Жезказганская          | I, до 50% твердого                          | 8Гр-8      | 15             | 45                      | 30            | 65-70              |
| Жезказганская          | II, до 65% твердого                         | 8Гр-8      | 25             | 75                      | 50            | 80-90              |
| Жезказганская          | Концентрат, до 65% твердого                 | 5Гр-8СС    | 90             | 90                      | 90            | 120-130            |
| Жезказганская          | Хвосты, до 28% твердого                     | 28Гр-8     | 150            | 80                      | 30-40         | 110-120            |
| Риддерская             | Хвосты, до 25% твердого                     | 20Гр-8     | 80-85          | 55-60                   | 55-60         | 220                |

способов нанесения на них покрытий, стойких к износу, одним из которых является газотермическая наплавка или напыление сверхтвердых порошков [7].

На базе проведенных исследований газотермического способа нанесения износостойких покрытий, а также анализа износостойкости деталей разработана конструкция

рабочего колеса центробежного грунтового насоса новой конструкции [8].

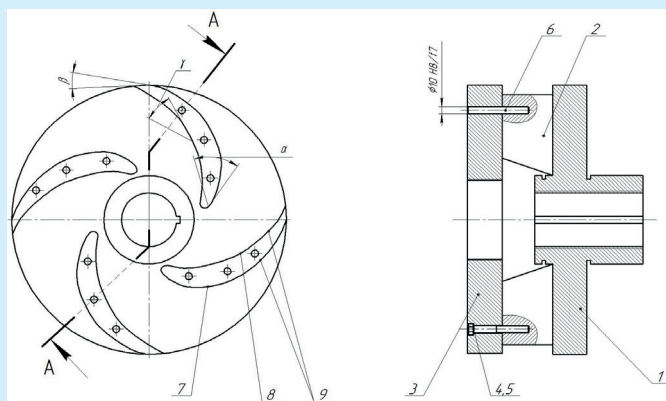
Для повышения износостойкости рабочего колеса грунтового центробежного насоса и уменьшения интенсивного ударного воздействия твердых частиц на выходе с рабочей стороны лопасти, конструкция рабочего колеса выполнена

разборным, что позволяет легко наплавить на рабочие поверхности лопаток износостойкого металла.

### Результаты

Новым конструктивным решением является то, что лопасти рабочего колеса профилированы от входа до выхода по брахистохроне, а с тыльной профилированы по логарифмической спирали, причем лопасти выполнены заодно с ведущим диском, на рабочей поверхности которых наносятся износостойкие покрытия.

На рисунке 4 изображено рабочее колесо – продольный разрез и вид его сверху.



**Рис. 4. Рабочее колесо центробежного грунтового насоса:**

**1 – ведущий диск; 2 – лопасти (крылчатка);**

**3 – ведомый диск; 4 – стяжной винт;**

**5 – подпружиненная шайба; 6 – штифты; 7 – рабочая сторона лопатки;**

**8 – тыльная сторона лопатки; 9 – наплавленный слой.**

**Сурет 4. Орталықтан жүгіретін топырақ сорғысының жұмыс дөңгелегі:**

**1 – жетекші диск; 2 – қалақ (қанатша); 3 – тізгінді**

**диск; 4 – тартқыш бұрам; 5 – тиелген шайба;**

**6 – штифт; 7 – күректің жұмыс жағы; 8 – күректің артқы жағы; 9 – балқытылған қабат.**

**Figure 4. Impeller of centrifugal soil pump:**

**1 – drive disk; 2 – blades (wing); 3 – driven disk;**

**4 – tightening screw; 5 – spring-loaded washer; 6 – pins;**

**7 – working side of blade; 8 – rear side of the blade;**

**9 – build-up layer.**

Рабочее колесо центробежного насоса содержит ведущий диск 1 с выполненными на нем лопастями (крылчатка) 2, ведомый диск 3, соединенный с крылчаткой при помощи штифтов 6 и, для закрепления ведомого диска, в нем выполнены винты 4, подпружиненными шайбами 5.

Для повышения износостойкости рабочего колеса и грунтового насоса в целом, на рабочих и тыльных поверхностях лопастей, наплавляются износостойкие покрытия, при снятом (разобранном) ведомом диске 3. После газотермической обработки рабочее колесо собирается с ведомым диском 3, посредством штифтов 6 и стяжных винтов 4 с подпружиненной шайбой 5 в заранее просверленные в нем и лопатках отверстия.

Износостойкие покрытия 8 на рабочих и тыльных сторонах лопаток, полученные газотермическим способом,

представляют сплав из легирующих элементов сталей с железом, на основе стандартного сплава ПГ-Ж40 с включением в него для повышения прочности наплавленного слоя, в шихту лигатуры бориды хрома  $\text{CrB}_2$ . Оптимальный состав лигатуры бориды хрома  $\text{CrB}_2$ , вводимого в состав нового наплавочного сплава ПГ-Ж40, установлен, что для получения твердости наплавленного металла равной в пределах 450-600 НВ, необходимо ввести ее в состав покрытия в пределах 10%, от общей массы, %.

Рабочее колесо центробежного грунтового насоса работает следующим образом.

Угол  $\alpha$  входа лопастей с рабочей стороны 7 составляет  $35-45^\circ$ , угол  $\beta$  выхода с этой стороны равен  $12-17^\circ$ , а угол  $\gamma$  установки лопастей с тыльной стороны 8 выполнен постоянным по длине лопасти и равным  $20-25^\circ$ , при этом профиль лопастей с рабочей стороны 7 выполнен по брахистохроне, а с тыльной – по логарифмической спирали. Углы  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  определены в результате испытаний, которые показали, что при указанных углах наблюдается минимальный износ при перекачке абразивной среды.

При поступлении твердых частиц в составе гидросмеси в рабочее колесо они движутся по траекториям, зависящим от формы лопастей. Для лопастей с указанным профилем твердая частица соударяется с рабочей стороной на начальном участке и после отскока от поверхности движется в межлопаточном канале к выходу, постепенно снижая скорость. Так как точка соударения лежит на малом радиусе колеса, где окружные скорости малы, сила удара и разрушительное воздействие на лопасть незначительны. Далее частица гидросмеси проходит колесо без повторных соударений с лопастью.

Спрофилированная в соответствии с указанными углами лопасть характеризуется увеличенной радиальной направленностью проточных межлопаточных каналов на входе и уменьшенной на выходе. При увеличении угла  $\alpha$  свыше  $35^\circ$  входной участок оказывается на пути потока твердых частиц, что вызывает неизбежное столкновение частиц с лопастью в области малых скоростей. Уменьшение угла  $\beta$  менее  $17^\circ$  способствует свободному, без повторных соударений с лопастью, прохождению твердых частиц через межлопаточный канал после их отскока от лопасти на входном участке.

Брахистохронная форма рабочей стороны 7 лопасти обеспечивает плавность сопряжения входной и выходной частей лопасти с указанными углами входа и выхода. Лопасть рабочей поверхности 7 выполнена по форме брахистохроны, иначе можно сказать, что это кривая «быстрого спуска».

Лопасть, образованная в результате сочетания логарифмической спирали и брахистохроны, имеет крылообразную форму, что повышает КПД благодаря созданию гидродинамической подъемной силы.

На рабочие поверхности лопаток, с рабочей стороны, выполненных по брахистохроне и с тыльной стороны, по логарифмической спирали, газотермическим способом наносятся износостойкие покрытия из самофлюсующегося сплава ПГ-Ж40, с введением в состав упрочняющих добавок бориды хрома  $\text{CrB}_2$ , что позволяет значительно увеличить ресурс работы грунтовых центробежных насосов.

Оригинальность технического решения заключается в том, что на рабочей, профилированной по брахистохроне стороне лопасти, обеспечивается повышение износостойкости насоса, благодаря плавному слиянию гидравлических потоков с рабочей и тыльной сторон, что ликвидирует или существенно снижает срывные кромочные явления за лопастями колеса с уменьшением не только потерь в насосе, но и практического устранения контактного разрушения рабочей стороны при соударении с твердыми частицами после отскока их от лопасти на входном участке и по мере движения к выходу.

Кроме того наблюдается повышение надежности работы насоса за счет снижения интенсивности вибрационных явлений, так как уменьшаются пульсации статического давления. При этом, рабочее колесо насоса выполнено разборным. После снятия ведомого диска с крыльчаткой производится нанесение износостойкого покрытия газотермическим способом. Следовательно, ввиду открытости лопаток сложной формы нанесение газотермического покрытия становится легкодоступным.

Применение самофлюсующегося сплава ПГ-Ж40 с введением в состав упрочняющих добавок бориды хрома  $\text{CrB}_2$  позволяет создать наплавленный слой высокой твердости и коррозионной устойчивости.

При напылении плазменная струя служит источником нагрева, плавления и ускорения частиц покрытия. Электрическая энергия, потребляемая дугой, превращаясь в тепловую, расходуется на нагрев плазмообразующего газа, плавление и частичное испарение напыляемого материала. Эффективность использования энергии плазмы при нанесении покрытий порошком во многом определяется конструкцией плазмотрона.

Наибольшей эффективности можно достигнуть, вводя частицы порошка в столб дугового разряда. Однако такой ввод затруднен из-за большой подвижности при анодной области разряда. Физическая картина взаимодействия твердой частицы со столбом дугового разряда, в настоящее время, недостаточно ясна. Однако наблюдения показывают, что в случае ввода порошка около катода, частицы движутся не по оси сопла и плазменного потока, а располагаются между центральной частью потока и стенками канала сопла.

В аргоновой плазме массовый расход газа и его теплоемкость по сечению потока распределены крайне неравномерно, причем основной перенос энергии происходит не по оси сопла. Таким образом, можно предполагать, что движение порошка при его подаче вблизи катода происходит в наиболее высокоэнтальпийной области плазмы, что улучшает его нагрев. Последнее особенно существенно для маломощных плазменных потоков. При подаче порошка через одно отверстие, он занимает только часть высокоэнтальпийной зоны плазменной струи.

### Обсуждение результатов

Дальнейшее повышение эффективности процесса распыления может быть достигнуто путем более равномерного заполнения поперечного сечения плазменной струи порошком. Сопоставим данные, показывающие, как меняется эффективный КПД (отнесенный к полной мощности дуги без вычета потерь в электродах) для ряда плазменных процессов (таблица 2).

Таблица 2  
Эффективный КПД для газопламенных процессов  
Кесте 2  
Газ жалын процестеріне арналган тиімді ПӘК  
Table 2  
Effective efficiency for gas-flame processes

| Вид нагрева  | Эффективный КПД, % |
|--|--------------------|
| Нагрев газа в плазмотроне<br>аргона<br>водорода                              | 10-70<br>30-80     |
| Нагрев массивного тела<br>плазменной струей<br>плазменной дугой              | 10-50<br>30-75     |
| Нагрев проволоки при распылении:<br>плазменной струей<br>плазменной дугой    | 2-5<br>10          |
| Нагрев порошка<br>при подаче на срез сопла<br>в столбе дуги, а затем в струе | 2-4<br>20          |

При подаче порошка в дугу КПД нагрева возрастает с 4 до 20%.

Технико-экономические показатели рассматриваемых способов наплавки представлены в таблице 3, где даны показатели для покрытий толщиной 1-2 мм [12].

Использование конкретного способа наплавки обусловлено условиями производства, количеством, формой и размерами наплавляемых деталей, допустимой долей участия основного металла и величиной износа.

Из сравнительного анализа рассмотренных методов, очевидно преимущество процесса плазменной наплавки вследствие его высокой производительности, незначительного припуска на механическую обработку и минимальной доли основного металла в наплавленном.

Особенно эффективен процесс плазменно-порошковой наплавки, позволяющий обеспечить точно заданную глубину проплавления и толщину покрытия. А также, возможность обеспечения необходимого состава, структуры и свойств уже в первом слое металла наплавки, высокую степень автоматизации, малые остаточные напряжения и деформации.

Экономическая эффективность внедрения газотермической наплавки на лопатки рабочего колеса грунтовых насосов самофлюсующих сплавов ПГ-Ж40 с введением в состав упрочняющих добавок – бориды хрома  $\text{CrB}_2$ , позволяет за счет увеличения срока работы деталей насоса получить значительный экономический эффект.

Увеличение ресурса работы деталей насоса влечет уменьшение потребности в деталях повышенной долговечности за срок службы (или межремонтный период) комплектующей машины; сокращение затрат на ремонт, т. е. на разборочно-сборочные работы, связанные с заменой деталей и узлов; уменьшение (или полная ликвидация) убытков от простоев техники, обусловленных выходом из строя отдельных деталей; прирост прибыли от эксплуатации машин в результате увеличения ее годовой производительности

Таблица 3

Технико-экономические показатели методов наплавки

Кесте 3

Балқыту әдістерінің техникалық-экономикалық көрсеткіштері

Table 3

Technical and economic indicators of deposition methods

| Методы наплавки         | Производительность |                      | Толщина покрытия | Припуск на обработку | Доля основного металла в наплавленном | Прочность сцепления | Снижение сопротивления усталости | Коэффициент производительности, Кп | Коэффициент технико-экономической эффективности, Кэ |
|-------------------------|--------------------|----------------------|------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|
|                         | кг/ч               | см <sup>2</sup> /мин |                  |                      |                                       |                     |                                  |                                    |   |
| Газопламенный           | 0,15-2,0           | 1-3                  | 0,5-3,5          | 0,4-0,8              | 5-30                                  | 480                 | 25                               | 0,7-0,6                            | 0,14  |
| В среде CO <sub>2</sub> | 1,5-4,5            | 18-36                | 0,5-3,5          | 0,7-1,3              | 12-45                                 | 550                 | 15                               | 1,8-1,7                            | 0,40  |
| В среде Ar              | 0,3-3,6            | 12-26                | 0,5-2,5          | 0,4-0,9              | 6-25                                  | 450                 | 25                               | 2,1-1,7                            | 0,17  |
| Плазменный              | 1-12               | 45-72                | 0,5-5,0          | 0,4-0,9              | 0,30                                  | 490                 | 12                               | 2,2-1,9                            | 0,56  |

как следствие улучшения эксплуатационно-технических характеристик; относительная экономия капитальных вложений в эксплуатации в связи с уменьшением потребности в машинах повышенной надежности.

Для расчета экономической эффективности применения самофлюсующегося сплава ПГ-Ж40 с введением в состав упрочняющих добавок бориды хрома CrB<sub>2</sub> для центробежного грунтового насоса – бронедиска, рабочего

колеса и корпуса приводятся исходные данные для расчета себестоимости [13, 14].

В таблице 4 представлены основные стоимостные показатели и ресурс работы находящихся в эксплуатации грунтовых насосов 8Гр-8 и 28Гр-8 и их деталей.

Экономическая эффективность от внедрения самофлюсующегося сплава ПГ-Ж40 с введением в состав упрочняющих добавок бориды хрома CrB<sub>2</sub> при плазменной наплав-

Таблица 4

Стоимостные и эксплуатационные показатели грунтовых насосов 28Гр-8, 8Гр-8 и 5Гр-8

Кесте 4

28Гр-8, 8Гр-8 және 5Гр-8 топырақ сорғыларының құндық және пайдалану көрсеткіштері

Table 4

Cost and operating indicators of soil pumps 28Gr-8, 8Gr-8 and 5Gr-8

| Наименование          | Стоимость, тг | Срок службы, сутки | Количество | Количество запчастей в год |
|-----------------------|---------------|--------------------|------------|----------------------------|
| 5Гр-8                 |               |                    |            |                            |
| Корпус насоса (улиты) | 202 515       | 90                 | 49         | 196                        |
| Рабочее колесо        | 1 064 315     | 45                 | 49         | 392                        |
| Бронедиск             | 128 825       | 60                 | 49         | 294                        |
| 8Гр-8                 |               |                    |            |                            |
| Корпус насоса (улиты) | 303 035       | 75                 | 114        | 456                        |
| Рабочее колесо        | 1 113 085     | 25                 | 114        | 1596                       |
| Бронедиск             | 134 460       | 50                 | 114        | 798                        |
| 28Гр-8                |               |                    |            |                            |
| Корпус насоса (улиты) | 3 199 960     | 80                 | 11         | 44                         |
| Рабочее колесо        | 2 298 735     | 150                | 11         | 22                         |
| Бронедиск             | 1 102 875     | 40                 | 11         | 99                         |

Таблица 5

*Калькуляция затрат по внедрению газотермического способа наплавки*

Кесте 5

*Балқытудың газотермиялық тәсілін енгізу бойынша шығындарды калькуляциялау*

Table 5

*Cost calculation for implementation of gas thermal deposition method*

|  | Корпус насоса | Рабочее колесо | Бронедиск  |
|--|---------------|----------------|------------|
| Стоимость, тг  | 303035        | 1 113 085      | 134 460    |
| Количество   | 114           | 114            | 114        |
| Срок службы, сутки   | 75            | 25             | 50         |
| Количество капитальных ремонтов  |               |                |            |
| - по старой технологии   | 4             | 10             | 5          |
| - по новой технологии  | 2             | 5              | 3          |
| Стоимость капитального ремонта, кг                                     |               |                |            |
| - по старой технологии   | 138 000000    | 1 268 916 900  | 76 642 200 |
| - по новой технологии  | 69 0000000    | 634 000 000    | 45 985 320 |
| Потребное количества порошка на одну установку, кг                     | 10            | 20             | 20         |
| Стоимость порошка, кг  | 11 400 000    | 22 800 000     | 22 800 000 |
| Стоимость рабочего колеса, тг  | 34 545 990    | 126 891 690    | 15 328 440 |
| Суммарные капитальные затраты, тг                                      | 77 713 670    | 181 000 000    | 69 896 120 |
| Удельные капитальные затраты, тг                                       | 11 000 000    | 27 150 000     | 10 400 000 |
| Срок окупаемость, месяц  | 5             | 6              | 6          |
| Экономическая эффективность, тг<br>$\Xi = (S_{с.т} - S_{н.т})$         | 69 000 000    | 634 000 000    | 30 600 000 |
| Прибыль предприятия, тг<br>$\Xi = (S_{с.т} - S_{н.т}) - 0,15 * S_{уз}$ | 58 000 000    | 606 850 000    | 20 120 000 |

ке складывается из стоимости корпуса насоса, рабочего колеса, бронедиска, за счет увеличения ресурса их работы.

Сокращение непроизводительных простоев машин в эксплуатации в результате применения газотермической наплавки поверхности деталей насосов сказывается, в конечном итоге, в уменьшении капитальных затрат на приобретение оборудования, а также в экономии условно-постоянных расходов, прежде всего амортизационных отчислений по оборудованию.

Внедрение газотермического способа наплавки позволяет увеличить ресурс работы насоса в два раза, то есть срок службы, естественно увеличится ресурс работы корпуса насоса, рабочего колеса и бронедиска. Также уменьшится в два раза приобретение запасных частей. Расчет ведем по насосу 8Гр-8, следовательно, затраты на приобретение запасных частей представлены в таблице 5.

Ожидаемая годовая экономическая эффективность газотермического способа плазменной наплавки деталей грунтового насоса самофлюсующимся сплавом ПГ-Ж40 с введением в состав упрочняющих добавок бориды хрома  $CrB_2$  составит 733 600 000 тг, прибыль предприятия – 684 805 000 тг.

### Закключение

1. Рассмотрены процессы и технология газопламенной наплавки металлических порошков, установлены перспективные методы наплавки и создания упрочненного поверхностного слоя деталей машин.

2. На базе проведенных исследований газотермического способа нанесения износостойких покрытий предложена новая конструкция рабочего колеса центробежного грунтового насоса.

3. В результате технико-экономического обоснования применения газотермической наплавки установлена эффективность использования плазменных струй электродуговых плазмотронов мощностью от 10 до 60 кВт, обеспечивающих прочность сцепления до 500 МПа и коэффициента экономической эффективности 0,56.

4. Ожидаемая годовая экономическая эффективность от внедрения газотермического способа плазменной наплавки деталей грунтового насоса самофлюсующимся сплавом ПГ-Ж40 с введением в состав упрочняющих добавок бориды хрома  $CrB_2$  составит 733 600 000 тг.

### Благодарность

*Авторы статьи выражают благодарность коллективу редакции и рецензентам за их решение о опубликовании в открытой печати. Разрешите от всей души выразить Вам благодарность и признательность за вашу добросовестную работу. Оперативность, с которой редакция реагирует на присланные материалы, свидетельствует не только о вашей высокой ответственности за свою работу, но и о чутком отношении к авторам, ожидающих вашего вердикта.*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тополянский П.А., Тополянский А.П. Прогрессивные технологии нанесения покрытий – наплавка, напыление, осаждение. // Технологии обработки поверхности. – 2011. – №4(73). – С. 79-84 (на русском языке)
2. Farah Elida Selamat, Wan Hariz Iskandar, Bakhtiar Saffuan. Проектирование и анализ рабочего колеса центробежного насоса для повышения производительности. // Журнал машиностроения. – 2018. – Т. 5(2). – С. 36-53 (на английском языке)
3. Ragoth Singh R., Nataraj M. Проектирование и анализ рабочего колеса насоса с использованием SWFS. // Всемирный журнал моделирования. – 2014. – Т. 10. – №2. – С. 152-160 (на английском языке)
4. Seitkhanov A., Povetkin V., Vektibay B., Tatybayev M., Vikayeva A. Совершенствование конструкции гидравлических транспортных устройств для транспортировки гидробразивных сред в обогащательной промышленности. // Восточноевропейский журнал корпоративных технологий. – 2019. – №5/1(101). – С. 6-16. – ISSN 1729-3774 (на английском языке)
5. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Orlova Y.P., Vikayeva A.Z. Совершенствование оборудования для транспортировки шлама в производстве по переработке полезных ископаемых. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва, 2018. – №6. – С. 161-169. – ISSN 0236-1493 (на английском языке)
6. Yao Z., Wang F., Qu L., Xiao R., He C., Wang M. Экспериментальное исследование частотно-временных характеристик колебаний давления в центробежном насосе с двойным всасыванием. // Журнал жидкостной инженерии. – 2011. – Т. 133(10). – С. 1-10 (на английском языке)
7. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского политехн. ун-та. – 2008. – С. 406 (на русском языке)
8. Полезная модель РК №6718. Поветкин В.В., Ермаков Д.К., Сейтханов А.М., Букаева А.З. Рабочее колесо центробежного грунтового насоса. Оpubл. 12.08.2021. – С. 3 (на русском языке)
9. Муслина Г.Р. Методы оценки экономической эффективности новой техники и технологий: учебное пособие. // Муслина Г.Р., Правиков Ю.М. – Ульяновск: УлГТУ. – 2017. – С. 100 (на русском языке)
10. Бабичева И.В., Болдовская Т.Е. Справочник по математике (в формулах, таблицах, рисунках): учебное пособие. // Бабичева И.В., Болдовская Т.Е. – 2-е изд., исп. и доп. – Омск: СибАДИ. – 2010. – С. 148 (на русском языке)
11. Кондратьева М.Н. Экономика, организация производства и управление промышленным предприятием: учебное пособие. // Кондратьева М.Н., Пинков А.П., Рогова Т.Н. – Ульяновск: УлГТУ. – 2015. – С. 235 (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тополянский П.А., Тополянский А.П. Жабындарды жағудың прогрессивті технологиялары – балқыту, тозаңдандыру, тұндыру. // Бетті өңдеу технологиялары. – 2011. – №4(73). – Б. – 79-84 (орыс тілінде)
2. Farah Elida Selamat, Wan Hariz Iskandar, Bakhtiar Saffuan. Өнімділікті арттыру үшін орталықтан жүгіру сорғысының жұмыс доңғалағын жобалау және талдау. // Машина жасау журналы. – Көл. SI 5(2). – 2018. – Б. 36-53 (ағылшын тілінде)
3. Ragoth Singh R., Nataraj M. SWFS көмегімен сорғының жұмыс доңғалегін жобалау және талдау. // Дүниежүзілік модельдеу журналы. – Көл. 10. – 2014. – №2. – Б. 152-160 (ағылшын тілінде)
4. Seitkhanov A., Povetkin V., Vektibay B., Tatybayev M., Vikayeva A. Байыту өнеркәсібінде гидравликалық ортаны тасымалдауға арналған гидравликалық көлік құрылғыларының құрылымын жетілдіру. // Шығыс Еуропа корпоративтік технологиялар журналы. – 2019. – №5/1(101). – Б. 6-16. – ISSN 1729-3774 (ағылшын тілінде)
5. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Orlova Y.P., Vikayeva A.Z. Пайдалы қазбаларды өндіру кезінде шлам тасымалдауға арналған жабдықтарды жетілдіру. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – Москва, 2018. – №6. – Б. 161-169. – ISSN 0236-1493 (ағылшын тілінде)
6. Yao Z., Wang F., Qu L., Xiao R., He C., Wang M. Екі рет сорылатын ортадан жүгіру сорғысындағы қысым ауытқуының жиілік-уақыт сипаттамаларын эксперименттік зерттеу. Сұйықтықтарды жобалау журналы. – 2011. – Т. 133(10). – Б. 1-10 (ағылшын тілінде)
7. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазмалық технологиялар. – Санкт-Петербург политехникасы ун-та. – 2008. – Б. 406 (орыс тілінде)
8. Пайдалы модель ҚР. Поветкин В.В., Ермаков Д.К., Сейтханов А.М., Букаева А.З. Орталықтан тепкіш топырақ сорғысының жұмыс доңғалегі. Жариял. 12.08.2021. – Б. 3 (орыс тілінде)

9. Муслина Г.Р. Жаңа техника мен технологиялардың экономикалық тиімділігін бағалау әдістері: оқу құралы. // Г.Р. Муслина, Ю.М. Правиков. – Ульяновск: УлГТУ. – 2017. – Б. 100 (орыс тілінде)
10. Бабичева И.В., Болдовская Т.Е. Математика бойынша анықтамалық (формулаларда, кестелерде, суреттерде) оқу құралы. // И.В. Бабичева, Т.Е. Болдовская. – 2-ші бас., және қосымша. – Омск: СибАДИ, 2010. – Б. 148 (орыс тілінде)
11. Кондратьева М.Н. Экономика, өндірісті ұйымдастыру және өнеркәсіптік кәсіпорынды басқару: оқу құралы. // М.Н. Кондратьева, А.П. Пинков, Т.Н. Рогова. – Ульяновск: УлГТУ. – 2015. – Б. 235 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Topoljanskij P.A., Topoljanskij A.P. Progressivnye tehnologii nanesenija pokrytij – naplavka, napylenie, osazhdenie [Advanced coating technologies – surfacing, spraying, deposition]. // Tehnologii obrabotki poverhnosti. = Surface Treatment Technologies. – 2011. – №4(73). – P. – 79-84 (in Russian)
2. Farah Elida Selamat, Wan Hariz Iskandar, Bakhtiar Saffuan. Design and Analysis of Centrifugal Pump Impeller for Performance Enhancement. // Journal of Mechanical Engineering. – 2018. – Vol. SI 5(2). – P. 36-53 (in English)
3. Ragoth Singh R., Nataraj M. Design and analysis of pump impeller using SWFS. // World Journal of Modelling and Simulation. – 2014. – Vol. 10. – No.2. – P. 152-160 (in English)
4. Seitkhanov A., Povetkin V., Bektibay B., Tatybayev M., Bukayeva A. Improvement of the design of hydraulic transport devices for the transport of hydroabrasive media in the enrichment industry. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – No.5/1(101). – P. 6-16. – ISSN 1729-3774 (in English)
5. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Orlova Ye.P., Bukayeva A.Z. Improvement of equipment for transport of slurry in mineral processing production. // Mining Informational and Analytical Bulletin. – Moscow. – 2018. – No.6. – P. 161-169. – ISSN 0236-1493 (in English)
6. Yao Z., Wang F., Qu L., Xiao R., He C., Wang M. Experimental investigation of time-frequency characteristics of pressure fluctuations in a double-suction centrifugal pump. Journal of Fluids Engineering. – 2011. – Vol. 133(10). – P. 1-10 (in English)
7. Sosnin N.A., Ermakov S.A., Topoljanskij P.A. Plazmennye tehnologii [Plasma technologies]. – SPb.: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo politehn. un-ta, 2008. – P. 406 (in Russian)
8. Poleznaja model' RK No.6718. Povetkin V.V., Ermekov D.K., Sejthanov A.M., Bukaeva A.Z. Rabochee koleso centrobezhnogo gruntovogo nasosa [The impeller of the centrifugal ground pump]. Opubl. 12.08.2021. – P. 3 (in Russian)
9. Muslina G.R. Metody ocenki jekonomicheskoy jeffektivnosti novej tehniki i tehnologij: uchebnoe posobie [Methods of assessing the economic efficiency of new equipment and technologies: textbook]. // G. R. Muslina, Ju. M. Pravikov. – Ul'janovsk: UIGTU, 2017. – P. 100 (in Russian)
10. Babicheva I.V., Boldovskaja T.E. Spravochnik po matematike (v formulah, tablicah, risunkah): uchebnoe posobie [Handbook of Mathematics (in formulas, tables, figures): study guide]. // I.V. Babicheva, T.E. Boldovskaja. – 2-e izd., isp. i dop. – Омск: SibADI. – 2010. – P.148 (in Russian)
11. Kondrat'eva, M.N. Jekonomika, organizacija proizvodstva i upravlenie promyshlennym predpriatiem: uchebnoe posobie [Economics, organization of production and management of an industrial enterprise: textbook]. // M.N. Kondrat'eva, A.P. Pinkov, T.N. Rogova. – Ul'janovsk: UIGTU. – 2015. – P. 235 (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Поветкин В.В.**, доктор техн. наук, профессор кафедры «Теплофизика и техническая физика» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный университет имени аль-Фараби» (г. Алматы, Казахстан), [vv1940\\_povetkin@mail.ru](mailto:vv1940_povetkin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

**Нурмуханова А.З.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплофизика и техническая физика» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный университет имени аль-Фараби» (г. Алматы, Казахстан), [alfiya.nurmuhanova777@gmail.com](mailto:alfiya.nurmuhanova777@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-0289-3610>

**Букаева А.З.**, PhD, ассистент профессора кафедры «Машиностроение и транспорт» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова» (г. Актау, Казахстан), [amina\\_bukaeva@mail.ru](mailto:amina_bukaeva@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

**Керимжанова М.Ф.**, канд. техн. наук, профессор кафедры «Машиностроение» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [cafsstm@mail.ru](mailto:cafsstm@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9475-8239>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Поветкин В.В.**, техника ғылымдарының докторы «Жылуфизика және техникалық физика» кафедрасының профессоры, «Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан)



**Нурмуханова А.З.**, техника ғылымдарының кандидаты «Жылуфизика және техникалық физика» кафедрасының доценті, «Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан)

**Букаева А.З.**, PhD, «Машина жасау және көлік» кафедрасы профессорының ассистенті, «Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Ақтау қ., Қазақстан)

**Керімжанова М.Ф.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Машина жасау» кафедрасының профессоры, «К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

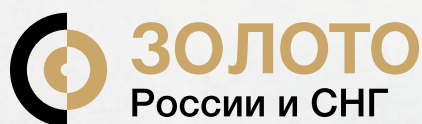
**Povetkin V.V.**, doctor of technical sciences, professor of the department of «Thermophysics and technical physics», non-profit joint stock company «Al-Farabi kazakh national university» (Almaty, Kazakhstan)

**Nurmukhanova A.Z.**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of «Thermophysics and technical physics», non-profit joint stock company «Al-Farabi kazakh national university» (Almaty, Kazakhstan)

**Bukayeva A.Z.**, PhD, assistant professor of the department of «Mechanical engineering and transport» of the non-profit joint stock Company «Caspian university of technology and engineering named after Sh. Yessenov» (Aktau, Kazakhstan)

**Kerimzhanova M.F.**, candidate of technical sciences, professor of the department of «Mechanical engineering», Non-profit joint stock company kazakh national research technical university named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

2-й международный конгресс и выставка



VOSTOCK CAPITAL  
— 21 год динамичного успеха —

+7 (495) 109 9 509 (Москва)  
events@vostockcapital.com

26-27 сентября 2023, Москва

При поддержке 2022:



Золотой спонсор 2022:



Бронзовый спонсор 2022:



Бронзовый спонсор 2022:



Бронзовый спонсор 2022:



Логистический партнер 2022:



150+

руководителей золотодобывающей отрасли России и СНГ, инициаторы инвестиционных проектов, компании-разработчики и производители оборудования и технологий для предприятий, российские и международные инвесторы

25+

инвестиционных проектов по добыче золота и строительству объектов сопутствующей инфраструктуры

40+

докладчиков и участников дискуссий: представители проектов, регуляторные органы, ведущие эксперты отрасли

30+

часов делового и неформального общения: встречи один-на-один по заранее согласованному графику, приветственный коктейль, деловые обеды, кофе-брейки, интерактивные дискуссии и многое другое

GOLDMININGRUS.COM

+7 (495) 109 9 509 (Москва) events@vostockcapital.com