

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Satbayev Universiti

Институт металлургии и промышленной инженерии

УДК 656.073.437:658.78

На правах рукописи

Бекжанбаров Б.С.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра техники и технологий

Название диссертации «Совершенствование конструкции пескового насоса ПНВ-2 с использованием композитных (порошковых) материалов»

Направление подготовки 6М072400 – Технологические машины и оборудование

Научный руководитель,
к.т.н., асс. профессор


Бейсенов Б.С.
" 10 " 10 2019 г.

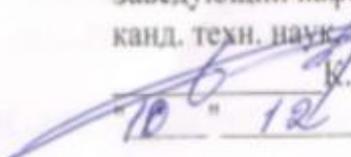
Рецензент

Бейсенов Б.С.
" 10 " 10 2019 г.

Нормоконтроль
канд. техн. наук, сениор лектор

С.А.Бортебаев
" 10 " 12 2019 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазННТУ им. К.И. Сатпаева»
Институт Металлургии и
Промышленной инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ТМиО,
канд. техн. наук, асс. проф.

К.К. Елемесов
" 10 " 12 2019 г.

Алматы 2019 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Satbayev Universiti

Институт металлургии и промышленной инженерии
Кафедра "Технологические машины и оборудование"

6M072400 – Технологические машины и оборудование

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ТМиО
канд. техн. наук, асс. проф.
К.К.Елемесов

2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Бекжанбарову Бекбол Саттарулы

Тема: «Совершенствование конструкции пескового насоса ПНВ-2 с использованием композитных (порошковых) материалов»

Утверждена приказом руководителя университета №1202м
"29" 10 "2018 г.

Срок сдачи законченной диссертации " 15 " 11 2019 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: данные геотехнологического полигона рудников АО «КазАтомПром»

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а. анализ работы погружных вертикальных насосов и их основных частей;

б. изучение влияния химического состава рабочей поверхности погружного центробежного насоса на величину износа и выбор упрочняющего элемента;

в. оценка возможности повышения характеристик литых деталей погружных центробежных насосов;

г. отработка технологии облицовки каркаса рабочего колеса полимербетоном;

е. оценка результатов испытаний облицованных рабочих колес в условиях геотехнологического полигона АО «КазАтомПром».

Рекомендуемая основная литература:

1 Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы. – Москва: Машиностроение, 1966. – 362 с.

2 Лем В.П. Анализ изнашивания поверхностей рабочих деталей грунтовых насосов //Международная научно-практическая конференция. Архитектура и строительство в новом тысячелетии. – Алматы, 2008. – С. 227-231.

3 Поветкин В.В., Лем В.П. Гидроабразивный износ грунтовых и песковых насосов //Вестник КазНТУ. – Алматы, 2008. - №6(69). – С.51-54.

4 Лем В.П., Кабулов А.А. Износ бронедиска грунтового насоса и способ увеличения срока службы бронедиска //Международная конференция. Форсированное индустриально-инновационное развитие в металлургии. – Алматы: КазНТУ, 2010. – С. 182-184.

5 Донченко А.С., Донченко В.А. Справочник механика рудообогатительной фабрики. – М.: Недра, 1975. – 559 с.

6 Поветкин В.В., Лем В.П. Проблема гидроэрозии рабочих деталей грунтовых насосов / Первая международная научно-техническая конференция. Новое в станкостроении, материаловедении и автоматизированном проектировании машиностроительного производства, том 1. – Алматы, 2010. – С.53-55.

7 Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. - М.: Машиностроение, 1977.

8 Носов Э.Ф., Маркевич А.М., Клейменов Н.А. Энциклопедия полимеров. - М.: Советская энциклопедия, 1977. - Т. 3. - 1152 с.

9 Акользин А.П. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями. - М.: Металлургия, 1989. - 192 с.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Анализ конструктивного исполнения и работы погружных вертикальных насосов и их основных частей	1.10.2019	
2 Обзор технологий повышения износостойкости рабочих колес насосов	1.11.2019	
3 Разработка технологии облицовки каркаса рабочего колеса насоса ПВН-2	1.12.2019	

Подписи консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

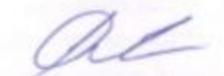
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
1 Анализ конструктивного исполнения и работы погружных вертикальных насосов и их основных частей	К.т.н., асс.проф. Бейсенов Б.С.	1.10.2019	
2 Обзор технологий повышения износостойкости рабочих колес насосов	К.т.н., асс.проф. Бейсенов Б.С.	1.11.2019	
3 Разработка технологии облицовки каркаса рабочего колеса насоса ПВН-2	К.т.н., асс.проф. Бейсенов Б.С.	1.12.2019	
Нормоконтролер	К.т.н., сениор лектор Бортебаев С.А.	10.12.2019	

Научный руководитель


(подпись)

Бейсенов Б.С.
(Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению обучающийся


(подпись)

Бекмамбетов З.С.
(Ф.И.О.)

Дата

" 10 " 12 20 19 г.

АҢДАТПА

Бұл жұмыста магистерлік жұмысты орындау барысында шешілген бірқатар міндеттер қаралды:

суға түсетін тік сорғылардың және олардың негізгі бөліктерінің жұмысына талдау жүргізілді;

батырмалы ортадан тепкіш сорғының жұмыс бетінің химиялық құрамының тозу шамасына әсері және беріктендіргіш элементті таңдау зерттелді;

суға батырылатын ортадан тепкіш сорғылардың құйма бөлшектерінің сипаттамаларын арттыру мүмкіндігін бағалау жүргізілді;

жұмыс доңғалағының қаңқасын полимербетонмен қаптау технологиясы пысықталды;

"Қазатомөнеркәсіп" АҚ геотехнологиялық полигон жағдайында қапталған жұмыс дөңгелектерін сынау нәтижелерін бағалау жүргізілді.

Жұмыс кіріспеден, аналитикалық бөлімнен, эксперименттік бөлімнен, тәжірибелік нәтижелерді талқылаудан, қорытындылардан, Пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады 15 атау. Диссертациялық жұмыс баяндалуы ... беттерінде суреттелген 21 суреттермен.

АННОТАЦИЯ

В этой работе рассмотрены ряд задач, которые были решены в ходе выполнения магистерской работы:

— проведен анализ работы погружных вертикальных насосов и их основных частей;

— изучено влияния химического состава рабочей поверхности погружного центробежного насоса на величину износа и выбор упрочняющего элемента;

— проведена оценка возможности повышения характеристик литых деталей погружных центробежных насосов;

— отработана технология облицовки каркаса рабочего колеса полимербетоном;

— проведена оценка результатов испытаний облицованных рабочих колес в условиях геотехнологического полигона АО «КазАтомПром».

Работа состоит из введения, аналитической части, экспериментальной части, обсуждения экспериментальных результатов, выводов, списка использованных источников из 15 наименований. Диссертационная работа изложена на ... страницах, иллюстрирована 21 рисунком.

Abstract

This paper discusses a number of tasks that have been solved in the course of the master's work:

— the analysis of the operation of the submersible vertical pumps and their basic parts;

— studied the effect of chemical composition of the working surface of a submersible centrifugal pump by the amount of depreciation and the choice of hardening element;

— assessed the ability to improve the performance of castings of submersible centrifugal pumps;

— the technology of facing of a frame of the impeller the polymer;

— the evaluation of test results lined impellers in the geotechnical conditions of the site of JSC "Kazatomprom".

The work consists of introduction, analytical part, experimental part, discussion of experimental results, conclusions, list of used sources from 15 names. Dissertation work is presented at ... pages, illustrated 21 figures.

Термины и определения

Рабочее колесо насоса - вращающаяся часть насоса, в которой механическая энергия передается потоку жидкости посредством динамического действия лопаток.

Корпус насоса - часть насоса, в которой вращается рабочее колесо.
Безопасность насосного оборудования - свойство насоса сохранять безопасное состояние при эксплуатации в соответствии с эксплуатационной документацией.

Корпус, находящийся под давлением - деталь механизма, подвергаемая избыточному давлению и являющаяся барьером между перекачиваемой жидкостью и атмосферой.

Композит - твердый продукт, состоящий из двух или более отличных друг от друга по форме и/или фазовому состоянию и/или химическому составу и/или свойствам материалов, скрепленных, как правило, физической связью, и имеющих границу раздела между связующим (матрицей), армирующими материалами и наполнителями.

Армирующий материал - угле-, базальто-, органо-, стекломатериалы, соединенные с термореактивной смолой до начала процесса отверждения для улучшения физико-механических характеристик полимерного композита.

Наполнитель - относительно инертный дисперсный (нано) материал, введенный в матрицу до начала процесса отверждения, для изменения или придания требуемых свойств композиту.

Ламинирование - послойное нанесение связующего и армирующего материала на твердую поверхность.

Прессование (SMC/BMC) - изготовление композита в закрытых формах методами силового воздействия пуансона на заготовку, помещенную в матрицу.

Условные обозначения

ПСВ - подземное скважинное выщелачивание.

ПБ – полимербетон.

ПВН – погружной вертикальный насос.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1 Анализ конструктивного исполнения и работы погружных вертикальных насосов и их основных частей

1.1 Насос погружной вертикальный

1.2 Рабочие колеса погружных вертикальных насосов

1.2.1 Рабочие колёса закрытого типа в погружных насосах.

1.2.2 Рабочие колёса открытого типа в погружных насосах

1.2.3 Рабочие колеса насосов из полимерных композиций

1.2.4 Изготовление колес прессованием

1.2.5 Колеса из литевых термопластов

1.3 Оценка прочности полимерных рабочих колес

2 Обзор технологий повышения износостойкости рабочих колес насосов

2.1 Анализ проблем эксплуатации грунтовых насосов

2.3 Способы повышения износостойкости

2.3.1 Использование специальных материалов

2.3.2 Химико-термическую обработку

2.3.3 Применение карбида кремния

2.3.4 Применение полимеров. Эластомеры

2.3.5 Статистические данные по повреждаемости насосного оборудования

2.3.6 Повышение экономичности центробежных насосов на основе гидрофобизации поверхностей рабочих колес

3 Разработка технологии облицовки каркаса рабочего колеса насоса ПВН-2

3.1 Обоснование и выбор состава полимербетона

3.2 Разработка формы для облицовки каркаса рабочего колеса

3.2.1 Выбор материала формы для облицовки каркаса рабочего колеса

3.2.2 Каркас формы для облицовки рабочего колеса

3.3 Технология заливки форм полимербетоном

3.4 Технология финишной обработки поверхности облицованного колеса

3.6 Результаты испытания рабочего колеса на геотехническом полигоне КазАтомПром

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Список использованной литературы

ПРИЛОЖЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Разработка месторождений полезных ископаемых ПСВ в подавляющем большинстве случаев сопровождается откачкой больших объемов жидких сред. Известно, что при больших отборах жидкости из скважин, погружные электрические центробежные насосы типа ПНВ наиболее экономичны и менее трудоемки при их обслуживании в сравнении с компрессорными насосами других типов.

Однако, в настоящее время ресурс отечественных насосов существенно ниже, чем у зарубежных аналогов. Сравнительно невысокий ресурс отечественных насосов обусловлен, прежде всего, большой интенсивностью изнашивания поверхностных слоев рабочих колес и их низкой усталостной прочностью. Кроме того, ресурс рабочего колеса в 1.5-2 раза ниже ресурса других деталей насоса (вала, корпуса, цилиндра), что предопределяет их разноресурсность и снижает эффективность эксплуатации. Так на замену наиболее нагруженного рабочего колеса насоса требуется около 500 нормо-часов рабочего времени, что приводит к простоям дорогостоящего оборудования. Поэтому выбор и обоснование методов повышения ресурса насосов является актуальной научной задачей.

Целью работы является установление зависимостей ресурса насоса от износостойкости рабочих поверхностей колеса и его усталостной прочности для разработки методов его повышения, что позволит увеличить эффективность процесса отбора жидкости из скважин.

Идея работы заключается в повышении ресурса насосов путем увеличения износостойкости рабочего колеса применением полимербетона для облицовки стального каркаса.

Задачи исследования:

1. Анализ работы погружных вертикальных насосов и их основных частей
2. Изучение влияния химического состава рабочей поверхности погружного центробежного насоса на величину износа и выбор упрочняющего элемента.
3. Оценка возможности повышения характеристик литых деталей погружных центробежных насосов.
4. Отработка технологии облицовки каркаса рабочего колеса полимербетоном.
5. Оценка результатов испытаний облицованных рабочих колес в условиях геотехнологического полигона АО «КазАтомПром».

Положения, выносимые на защиту, и их новизна:

1. Зависимость ресурса рабочего колеса насоса от износостойкости поверхностного слоя, особенность которая состоит в том, что она позволяет определить твердость и состав облицовочного слоя из полимербетона для повышения ресурса.

2. Технология изготовления форм для облицовки каркаса рабочего колеса.

3. Технология облицовки каркаса рабочего колеса.

Обоснованность и достоверность исследований подтверждается результатами полигонных испытаний.

Практическое значение работы заключается в создании технологии повышения износостойкости деталей погружных насосов облицовкой каркаса полимербетонами.

Результаты исследований используются в учебном процессе Казахского Национального исследовательского технического университета при подготовке студентов по специальности 5В072400 - «Технологические машины и оборудование».

Апробация работы.

.....

Публикации. По теме диссертации опубликовано статья в Вестнике КазНТУ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и одного приложения, содержит 70 страниц, ... рисунок, ... таблиц, список литературы из ... наименований.

ВВЕДЕНИЕ

Насос в вертикальном исполнении характеризуется тем, что его вал или ось рабочего органа расположена в вертикальном положении. Несмотря на ряд сложностей, возникающих вследствие не горизонтального расположения гидравлической машины, такое исполнение насоса позволяет ему выполнять ряд специфических задач, в рамках которых он имеет значительное преимущество перед его горизонтально расположенными аналогами.

Не малое количество типов насосов имеют как варианты с горизонтальным, так и с вертикальным исполнением. Несмотря на то, что от типа к типу насосы могут сильно отличаться по конструкции и области применения, особенности вертикального расположения позволяют выделить общие черты для всех насосов с вертикальным исполнением.

Одним из преимуществ, которое в некоторых случаях может стать определяющим, является снижение занимаемой насосным агрегатом площади. Если речь идет о промышленном помещении, то в этом случае вряд ли возникнет необходимость экономить доступную для размещения насоса площадь, усложняя его конструкцию. Однако случаи, когда насос требуется разместить в условиях дефицита пространства, встречаются часто. К примеру, это может быть трюм корабля или пространство внутри корпуса большого агрегата.

Другой областью, где широко распространены насосы в вертикальном исполнении, является откачка жидкости из резервуаров, бочек или искусственных и природных водоемов. В частности, вертикальными насосами являются погружные и полупогружные насосы, а также бочковые как частный случай полупогружных. Вертикальное исполнение для этих типов насосов позволяет располагать их таким образом, чтобы привод располагался выше уровня жидкости, за счет чего можно избежать необходимости обеспечивать повышенную изоляцию, а рабочий орган – ниже уровня жидкости. Тем самым обеспечиваются условия работы насоса под заливом. В противном случае, при использовании обычного насоса в горизонтальном исполнении, от гидравлической машины потребовалась бы наличие самовсасывания, но такой способностью обладают не все типы насосов, или же обеспечение такой способности сопряжено с дополнительным усложнением, а значит и удорожанием насоса.

Другим примером рационализации за счет использования вертикального исполнения насосов являются инлайнные насосы (от английского inline, то есть встраиваемые в линию). Обычно центробежного типа, у этих насосов оси входного и выходного патрубков совпадают, что позволяет при помощи фланцевых соединений встраивать их напрямую в имеющийся трубопровод, не прибегая к использованию дополнительных труб и соединений. Вертикальное исполнение таких насосов позволяет

оптимизировать имеющееся пространство и облегчить установку и обслуживание.

Вертикальное расположение насоса сопряжено с рядом технических и эксплуатационных проблем, которые, тем не менее, окупаются общей эффективностью насоса. Вертикальное расположение вала в большинстве случаев требует обеспечения дополнительной устойчивости и компенсации осевых усилий, с целью чего применяются упорные или радиально-упорные подшипники вместо радиальных. Так же изменениям подвергается система смазки подшипников. В случае полупогружных насосов их конструкция дополнительно усиливается каркасом, поддерживающим элементы машины и крепящемся на опорной горизонтальной поверхности (крышка бочки, колодезный люк и т.д.).

Главной особенностью изготовления литых деталей является то, что все их свойства (физические, химические, механические и др.) формируются только при одном металлургическом переделе – при заливке жидкого сплава в литейную форму и его кристаллизации в ней. Только термическая обработка отливок в какой-то мере улучшает их механические свойства. Формирование отливки в литейной форме происходит при фазовых превращениях сплава в процессе его охлаждения. Фазовые превращения сопровождаются усадочными явлениями, перекристаллизацией, ликвацией, возникновением внутренних напряжений, газовой выделением и пр. Все эти металлургические явления способствуют образованию различных литейных дефектов, которые в значительной степени снижают свойства отливки и соответственно литой детали.

Другими словами, технология изготовления отливки в значительной мере формирует и определяет ее качество, а значит, и качество литой детали.

В машиностроении одним из путей совершенствования конструкции является переход от стальных и чугунных корпусов к корпусам из легких сплавов (алюминиевых, магниевых), неметаллических или композиционных материалов, что особенно важно в редукторах малой мощности. В таких корпусах толщина стенки, определяемая технологическими возможностями литья, больше толщины стенки, необходимой из условия прочности.

Еще большее снижение массы дает использование неметаллов и композиционных материалов, которые широко используются в бытовой технике.

Эксплуатация полимербетонных изделий и конструкций, в том числе различных емкостей, травильных и электролизных ванн, в производственных условиях при воздействии высокоагрессивных сред показала их высокую надежность и эффективность. Среди наиболее интересных областей применения в зарубежной практике следует отметить использование полимербетонных изделий для изготовления труб, коллекторов, емкостей для хранения агрессивных жидкостей, при строительстве подводных сооружений, ремонте и восстановлении строительных

конструкций. Новым и весьма эффективным является употребление полимербетонов (вместо металла) для изготовления корпусов редукторов, центробежных насосов и тому подобных изделий, а также станин высокоточных станков.

Полимербетоны представляют собой новые эффективные химически стойкие материалы, у которых степень наполнения минеральными наполнителями и заполнителями доходит до 90–95% массы. Эти новые материалы, созданные советскими учеными, стоят вне конкуренции с другими наполненными полимерными композициями по расходу полимерного связующего, которое составляет всего 5–10% общей массы полимербетона; естественно, стоимость такого материала сведена к минимуму. При сравнительно небольшом расходе полимерного связующего на единицу массы полимербетоны обладают высокой плотностью, прочностью, химической стойкостью и многими другими положительными свойствами. При этом высокая степень наполнения позволяет резко снизить усадку, которая становится равной усадке цементных бетонов, и существенно повысить модуль упругости, что позволяет применять такие бетоны в несущих и весьма ответственных конструкциях.

1 Анализ конструктивного исполнения и работы погружных вертикальных насосов и их основных частей

1.1 Насос погружной вертикальный

Насосы ПВН - центробежные, вертикальные, консольные, одноступенчатые, с осевым подводом и тангенциальным отводом рабочей жидкости. Агрегаты изготавливаются на основе унифицированных ходовых стоек.

Насос погружной вертикальный предназначен для перекачивания азотнокислых 30-ти процентных растворов, сернокислых 80-ти процентных, 30-ти процентных растворов соляной кислоты и нейтральных растворов с рабочей температурой +10°С..+60°С. Плотность перекачиваемых растворов до 1400 кг/м³ с содержанием твердых включений до 50% и размерами до 5 мм. Глубина погружения насосов ПНВ-2, ПНВ-2М - до 2 000 мм, ПНВ-2К, ПНВ-3К – до 550 мм.

Рабочая среда - рудная суспензия, представляющая собой гидросмесь частиц перемолотой руды с технической водой и специальными присадками.

Электронасосный агрегат состоит из насоса и электродвигателя, установленных на опорной плите. Крутящий момент от электродвигателя к насосу передается через упругую муфту.

При использовании электронасосных агрегатов типа ПВН для перекачивания химически активных пульп имеются варианты исполнения элементов проточных частей с нанесением износостойких покрытий, обеспечивающих как требуемую абразивную стойкость, так и необходимую стойкость к химически активным элементам.

На переднем и заднем дисках рабочего колеса выполнены отбойные лопатки. Отбойные лопатки защищают области наиболее интенсивного износа, предотвращают попадание абразивных частиц в пазухи между колесом и корпусом, снижают осевые нагрузки на подшипниковые опоры и уменьшают давление перед уплотнением вала. Ротор насоса ПВН вращается в двух подшипниковых опорах качения. Смазка подшипников консистентная. В качестве концевого уплотнения вала применено целевое бесконтактное уплотнение.

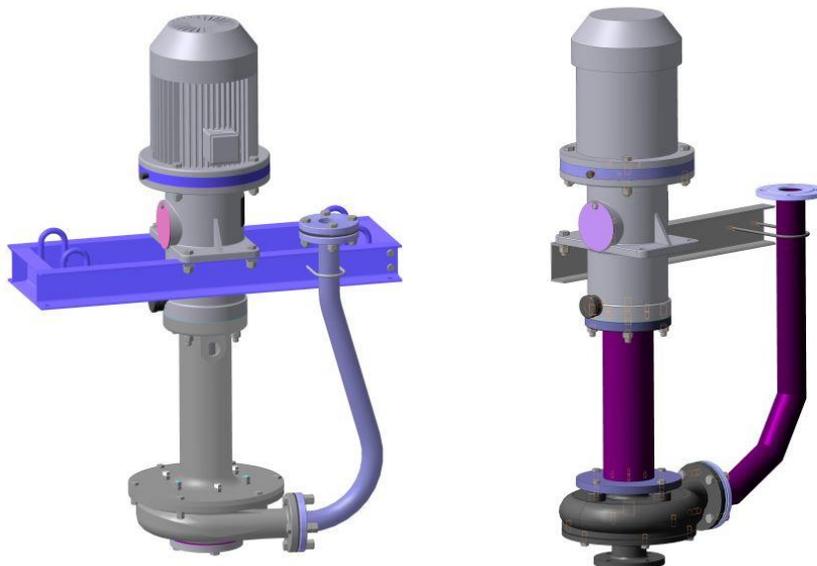
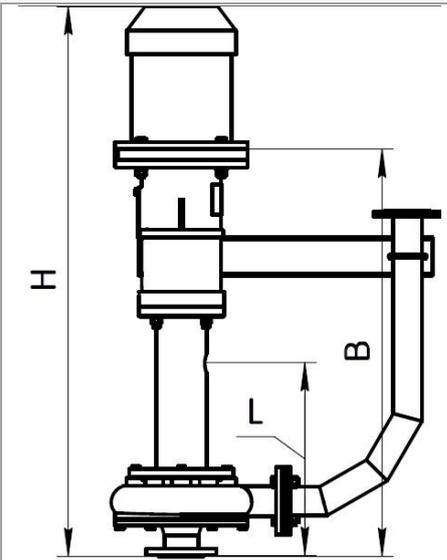


Рисунок 1.1 – Насос погружной вертикальный

Таблица 1.1 – Технические характеристики погружных вертикальных насосов.

Техническая характеристика	Марка насоса			
	ПНВ-2	ПНВ-2М	ПНВ-2К	ПНВ-3К
Производительность, м ³ /ч	30	30	30	60
Напор, м	25	25	30	40
Диаметр рабочего колеса, мм	300	300	280	300
Условный проход всасывающего патрубка, мм	50	50	50	125
Условный проход нагнетающего патрубка, мм	50	50	50	70
Материал рабочей части насоса	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-93	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-93, полипропилен	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-93, гуммированная резиной ТКМЩ	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-94 гуммированная резиной ТКМЩ
Электродвигатель, кВт/об/мин	7,5..15/1500	7,5..11/1440	7,5/1350	15/1450

Таблица 1.2 - Модификации насосов ПНВ-2 (ПНВ-2М)

	№ чертежа	Глубина погружения L, мм	H, мм	B, мм	Масса, кг
		МТНП254.00.00	1200	2150	1770
	-01	1000	1950	1570	396
	-02	1380	2330	1950	410
	-03	2000	2950	2570	432
	-04	800	1750	1370	389
	-05	1500	2450	2070	415
	-06	510	1460	1080	360
	-07	580	1530	1150	381,5

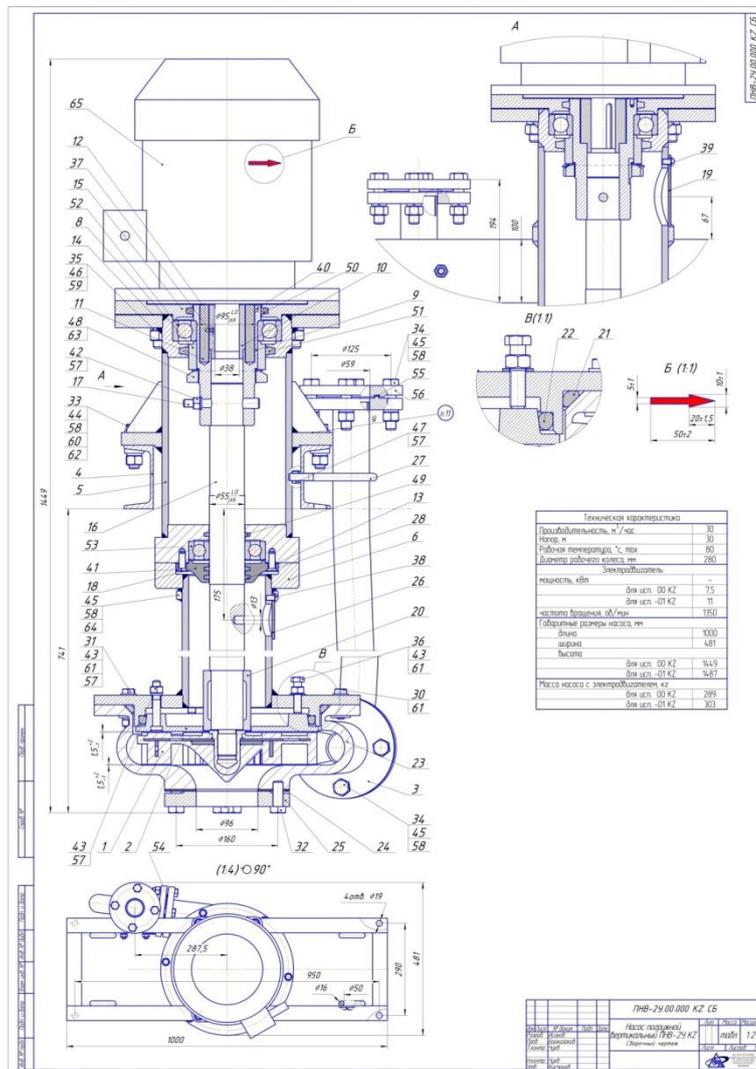


Рисунок 1.2 – Чертеж общего вида

1.2 Рабочие колеса погружных вертикальных насосов

Существует много задач по перекачиванию различных жидкостей, например: чистая вода, дренажные сточные воды, фекальные воды, воды с большим содержанием примесей небольшого размера (1-3 мм), шламовые воды с большим содержанием крупных частиц (до 20-30 мм), воды с содержанием длинноволокнистых включений, жидкости с большим содержанием абразива, различные нефтепродукты, химически активные жидкости. И для решения каждой задачи существует своё оптимальное решение, а именно рабочее колесо определенного вида, позволяющее работать насосу с максимальным КПД. По форм-фактору центробежные рабочие колёса делятся на 2 группы: рабочие колёса открытого типа и рабочие колёса закрытого типа. И каждые, в свою очередь, могут иметь различное количество лопастей.

Колёса закрытого называются так потому, что лопасти у них закрыты диском с обеих сторон. Колёса такого типа имеют максимальный КПД и максимальный напор. Но они не подходят для работы с жидкостями, которые имеют длинные волокна (они наматываются на колесо и забивают его) и для жидкостей, имеющих крупные включения, из-за опасности их застревания в узком внутреннем проходе колеса.

Колёса открытого типа имеют открытые лопасти с одной стороны (существуют и колёса, которые имеют только лопасти, не закрытые диском с обеих сторон, но это экзотика).

Колёса этого типа имеют более низкий КПД, но зато позволяют перекачивать жидкости с волокнистыми включениями и жидкости с крупными частицами.

1.2.1 Рабочие колёса закрытого типа в погружных насосах.

В погружных дренажных и фекальных насосах колёса закрытого типа отличаются от аналогичных колёс в центробежных горизонтальных поверхностных насосах для чистых жидкостей. В погружных насосах используются колёса закрытого типа с большим свободным проходом, чтобы колесо не забивалось крупными частицами (например, фекальными массами и т.п.). В консольных наружных насосах для чистых жидкостей используются закрытые колёса с небольшим свободным проходом, т.к. они обладают максимально возможным КПД и напором, что важно например для водоснабжения.



Рисунок – Рабочее колесо закрытого типа

На рисунке можно увидеть, что большой размер свободного прохода колеса фекального насоса позволяет пропускать крупные частицы. Применение закрытых колёс оправдано в случае необходимости большого напора насоса и перекачки жидкостей с большим содержанием крупных частиц (такое колесо более прочное по сравнению с колесом открытого типа).

Ниже можно посмотреть различные виды закрытых крыльчаток фекальных насосов:

- Закрытая двухканальная крыльчатка.

Используется для перекачки жидкостей с большим содержанием шлама (крупных частиц), там где требуется большой напор. Применяется там, где нужна высокая надежность и тяжелые режимы работы.

- Закрытая одноканальная крыльчатка.

Устанавливается в насосы, которые должны перекачивать жидкости с большим напором и крупными мягкими частицами (например, в фекальные насосы).

1.2.2 Рабочие колёса открытого типа в погружных насосах

Рабочие колёса открытого типа устанавливают как в фекальных, так и в дренажных насосах. Как можно видеть на картинках, колесо такого типа устанавливают как над рабочей камерой насоса (верхний рисунок), так и в рабочей камере (как на рисунке снизу).



Рисунок – Рабочее колесо открытого типа

1.2.3 Рабочие колеса насосов из полимерных композиций

Работоспособность колес центробежных насосов повышается, а прочность обеспечивается, если их изготавливать из износостойких термопластических пластмасс имеющих конечную изотропную структуру, — полиэтилена низкого давления, поликарбоната, стеклонаполненного капрона и др. Закрытая конструкция колес насосов предопределяет технологическую сложность их изготовления из материалов, подобных упомянутым.

В зарубежном и отечественном насосостроении продолжают проводиться исследования по изысканию оптимальных схем технологического процесса изготовления деталей из полимеров, отвечающих необходимым технико-экономическим требованиям. К основным способам переработки изделий из пластмасс относятся прессование, литье под давлением, экструзия, вакуум-формирование, выдувание, штамповка. В некоторых случаях применяется и механическая обработка из блоков материала.

Применение полимерных композиций для изготовления рабочих колес шахтных центробежных насосов связано со значительными технологическими трудностями. Колесо центробежного насоса представляет собой пространственную конструкцию закрытого типа (рис. 11.5): основной 1 и покрывной 3 диски, соединенные спиральными лопатками 2. Закрытое рабочее колесо можно изготавливать из полимерных материалов двумя путями — прессованием и литьем под давлением.

1.2.4 Изготовление колес прессованием

Метод осуществляется прессованием коренного диска колеса с лопатками и отдельно покрывного диска, которые затем соединяются при помощи склеивания, сварки ультразвуком, механическим путем (при помощи соединительных заклепок) или комбинированным способом. Однако раздельное прессование или литьевая штамповка элементов колес —

отдельно покрывного и основного дисков,— разработанные, в частности, ВНИИПТуглемашем, применительно к колесам шахтных насосов оказываются не вполне приемлемыми для массового производства колес, так как такими способами без усложнений не удастся изготовить цельную деталь с внутренними полостями.

Метод прямого прессования был применен в ВИГМе им. М.М. Федорова для изготовления партии крупных колес (диаметром 375 мм) центробежного насоса ЦНС 60-100. Основной и покрывной диски изготавливались из стеклопластика АГ-4В путем горячего прессования и последующего соединения комбинированным способом — склеиванием и склепыванием. Испытания таких колес, проведенные в условиях 420-часовой работы насоса на откачке грунтовых вод из шахты им. Калинина ПО «Донецкуголь», показали высокие гидродинамические качества колес. Несмотря на технологические трудности, процесс раздельного прессования и последующего соединения дисков экономически целесообразнее, чем изготовление металлических колес. Подобным образом выпускают скважинные электронасосы ЭЦВ8-25-195 с закрытыми колесами, ведущий диск которых изготовлен из полиамидной смолы 68-С, а ведомый — из смолы 68-Т20.

1.2.5 Колеса из литевых термопластов

В соответствии с результатами экспериментальных исследований, показавших, что стекло-пресс-материалы имеют невысокую износостойкость, а также нуждаются в механических операциях по соединению дисков, метод раздельного прессования элементов колеса не рекомендован в качестве основного. ВИГМом им. М.М. Федорова решена задача создания цельнолитых колес без необходимости последующего соединения их элементов.

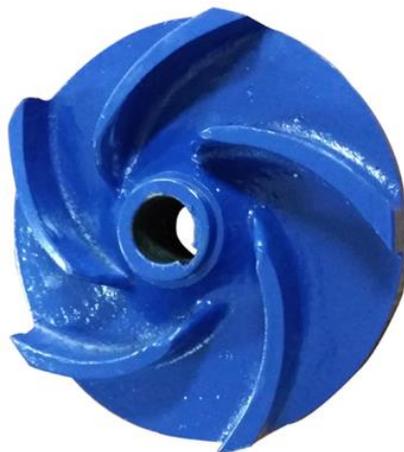


Рисунок – Монолитные пластмассовые колеса

Опыт показал, что монолитные пластмассовые детали необходимой конфигурации из износостойких материалов типа полиолефинов можно изготавливать методом литья под давлением. Для оформления внутренних полостей при таком методе изготовления использован известный в производстве метод выплавляемых моделей: в литьевую форму перед заполнением ее расплавом полимера помещается стержень (знак), отвечающий конфигурации проточных каналов колеса. Стержень изготавливается предварительно из легкорастворимого или легкоплавкого материала (сплава). После заполнения формы пластмассой стержень удаляется из нее путем вымывания или выплавлением. Технологический процесс состоит из отливки внутренних заполнителей (эта операция выполняется в специальной форме, называемой «стержневым ящиком»), литья колес в литьевой форме и выплавлении стержней. Стержневой ящик представляет собой конструкцию, аналогичную форме для изготовления стеклопластиковых рабочих колес и отличающуюся от нее отсутствием плит обогрева и мощных опорных плит. Температура материала стержня, как установлено опытным путем, должна быть на 60—80° С меньше температуры расплава. Расплавленный материал через литниковые отверстия заливается в предварительно разогретый до 70—90° С стержневой ящик. После извлечения из формы, удаления литников и зачистки облоя стержень помещается в литьевую форму, предварительно смонтированную на литьевой машине.

Ввиду большого объема отливки изготовление колеса насоса ЦНМ 60-100 производилось на литьевой машине типа CSE-3150-1. Технологический процесс литья под давлением изделий из термопластов отличается цикличностью и определяется следующими основными параметрами: температурой и количеством материала в инжекционном цилиндре машины, давлением и скоростью инъекции, длительностью цикла литья, температурой формы, термическим КПД инжекционного и пластикационного цилиндров, величиной потери давления в инжекционном цилиндре и пластификационной способностью машины.

В общем виде процесс литья под давлением состоит из объемного или весового дозирования гранулированного материала, загрузки отмеренной дозы материала в обогреваемый инжекционный цилиндр, пластификации материала, смыкания и запираания формы, подвода инжекционного механизма к форме, впрыска пластифицированного материала из сопла инжекционного цилиндра в полость закрытой формы под действием шнека, выдержки под давлением, возвращения инжекционного механизма в исходное положение, охлаждения изделия в форме, размыкания формы и удаления из нее при помощи системы выталкивателей изделия и литника. После извлечения из формы колесо насоса, заполненное стержневой массой, помещается в ванну с нагретым до необходимой температуры глицерином. Эта операция преследует двоякую цель: выплавление стержневой массы и

снятие остаточных напряжений в пластмассовой отливке, что позволяет избежать ее коробления.

Отлитые таким образом колеса для моноблочных насосов ЦНМ 60-100 имели весьма чистую внутреннюю поверхность, которая определяется главным образом чистотой поверхности пресс-формы, практически не требуют дальнейшей механической обработки. Литые полимерные колеса из стеклонаполненного капрона испытаны на насосах участкового водоотлива угольных шахт и показали высокие эксплуатационные качества. Отметим, что рабочие колеса насосов ЦНМ 60-100 по своим размерам в настоящее время являются наибольшими из применяемых в шахтных центробежных насосах. Обоснование возможности изготовления таких крупных цельнолитых колес показывает перспективу метода литья по выплавляемым моделям для насосов любых серий и размеров, в том числе для осваиваемых промышленностью высоконапорных насосов.

1.3 Оценка прочности полимерных рабочих колес

Приведенные выше результаты исследования износостойкости и технологичности изготовления показали преимущества полимерных материалов перед традиционно применяемыми стальным и чугуном литьем. Однако одним из условий успешной замены стали и чугуна полимерными материалами является достаточный запас прочности колеса. Сравнительный анализ напряженного состояния колес из чугуна СЧ-21-40 и пластика типа КС выполнен на примерах двух высокоскоростных ($n=3000$ об/мин) насосов шахтного участкового водоотлива — моноблочного ЦНМ 60-100 и распространенного многосекционного насоса 4МС-10.

Рабочее колесо является сложной для расчета конструкцией, состоящей из двух дисков переменного сечения — основного и покрывного — и расположенных между ними лопаток спирального очертания. Основной диск представляет собой круглую пластину, срединная поверхность которой перпендикулярна оси вращения; покрывающий диск — составную оболочку конического вида; лопатка — незамкнутую цилиндрическую оболочку переменной ширины.

Точное решение задачи по определению напряжений в деталях колес не представляется возможным даже при использовании современных вычислительных методов. Это обусловлено сложностью конфигурации деталей колес и сложным законом их нагружения. В связи с этим за основу принят метод проф. В.Ф. Риса с допущениями о замене очертания поперечных сечений аппроксимирующими ломаными линиями, замене ребер жесточающими каждый диск жесткостями, с пренебрежениями давлениями жидкости и разностями жесткостей обоих дисков. Соответствующие расчеты показали, что в покрывных дисках напряжения ниже, чем в основных.

Сопоставление напряженного состояния чугунного и полимерного колес показывает, что напряжения как радиальные σ_r , так и окружные σ_t в дисках из полимерных материалов в 5—7 раз ниже, чем в чугунных. В частности, в чугунном колесе наибольшие тангенциальные напряжения достигают величины $\sigma_{tmax} = 6,85$ МПа, радиальные $\sigma_{rmax} = 5,42$ МПа. Соответствующие напряжения в полимерных колесах составляют $\sigma_{tmax} = 1$ МПа, $\sigma_{rmax} = 0,61$ МПа. Учитывая пределы прочности σ_B рекомендованных для изготовления колес полимеров (поликарбонат — $\sigma_{Bi} = 70/80$ МПа, полипропилен — 35—60 МПа, капрон — 60—80 МПа), отмечаем, что даже в зоне максимальных напряжений гарантируется достаточно высокий запас прочности, как минимум 30-кратный, т. е. такого порядка, как и для чугунных колес. При таком запасе прочности можно положить, что прочность колеса при расчетной скорости вращения ($n = 3000$ об/мин) гарантирована и не является фактором, сдерживающим возможность широкого использования полимерных материалов для изготовления рабочих колес шахтных центробежных насосов.

2 Обзор технологий повышения износостойкости рабочих колес насосов

2.1 Анализ проблем эксплуатации грунтовых насосов

Грунтовые насосы, выпускаемые заводами-изготовителями, должны удовлетворять определенным техническим требованиям.

Детали насоса, отделяющие перекачиваемую жидкость от внешней среды, должны быть прочными и плотными. У насосов в сборе не допускается просачивание жидкости при всех режимах работы в местах неподвижных соединений [1].

Наличие в гидросмеси твердых абразивных частиц приводит к быстрому изнашиванию уплотнительных поверхностей сальниковых устройств и уплотнения со стороны входа. Для увеличения срока службы в узел сальникового уплотнения насоса подается промывочная вода.

Перемещая в процессе работы абразивную гидросмесь, детали насоса подвергаются интенсивному изнашиванию движущимися в потоке абразивными частицами. По характеру изнашивания все детали можно разбить на две группы. К первой группе относятся рабочее колесо и отвод, проточные каналы которых изнашиваются в наибольшей степени. При перекачивании гидросмесей с крупными твердыми включениями эти детали подвергаются также и ударному воздействию[2].



a)



б)



в)

a – новое рабочее колесо; *б*, *в* – изношенное рабочее колесо

Рисунок 2.1 – Рабочее колесо грунтового насоса 8Гр-8

Наиболее интенсивно изнашиваются лопасти рабочих колес на входе и выходе, внутренние поверхности дисков рабочих колес (рисунок 1,в), поверхности отвода в зоне расчетного сечения, входа в диффузор, а также в зоне языка отвода. Всасывающий патрубок подвержен значительно меньшему изнашиванию.

Катастрофические размеры гидроабразивного разрушения рабочих колес насосов свидетельствуют о большой разрушающей способности потока воды, содержащего абразивные частицы [3]. При наличии в воде большого их количества, разрушенная поверхность металлической детали становится чешуйчатой (рисунок 1,б), при малом количестве разрушение носит кавитационный характер (рисунок 1, а).

Таким образом наибольший износ при работе на гравийной пульпе наблюдается в начале и конце лопасти и несколько меньший – задней стенки. Средняя же часть лопасти остается почти неизношенной. Это указывает на то, что частицы в момент соударения скользят по касательной и износ носит характер истирания. На задней стенке колеса появляются дугообразные борозды, свидетельствующие о том, что частицы в момент соударения скользят по касательной и износ носит характер истирания.

На рисунке 2 показан характер износа рабочего колеса насоса. Задний диск подвергается наибольшему изнашиванию, чем передний. Штриховыми линиями обозначены контуры проточного канала нового, а сплошными – изношенного колеса. Нижняя половина колеса соответствует перекачке – 180, а верхняя – 990 т гравия. Во втором случае количество перекаченного грунта принимали с учетом реставрации заднего диска колеса.



а)



б)

а – наружная поверхность диска рабочего колеса (кавитационный износ);
б – поверхности выходных кромок рабочего колеса (гидроабразивный износ)

Рисунок 2.2 – Характер разрушения рабочего колеса насоса 2Гр 8000/71

На рисунке 3 представлена топография изношенных участков рабочего колеса насоса типа ГрАТ после 610 ч эксплуатации. На меридиональном сечении колеса заштрихованы области износа рабочей стороны лопатки и тыльной стороны. Цифрами 1-4 выделены сечения лопатки в направлении от

входа в рабочее колесо к ведущему диску; *I-III* – сечения лопатки в направлении от входа гидросмеси в межлопаточный канал к выходу из колеса.

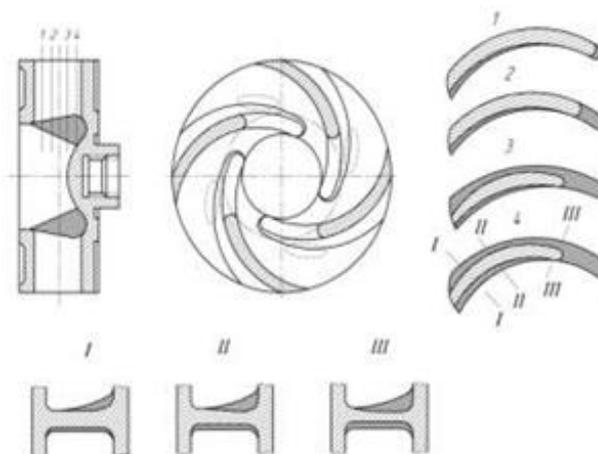


Рисунок 2.3 – Топография изношенных участков рабочего колеса
грунтового насоса типа ГрАТ

Интенсивность изнашивания лопастей рабочего колеса зависит от ряда факторов, основными из которых является гранулометрический состав твердых частиц смеси. Лопастей рабочих колес грунтовых насосов имеют большую толщину. Так как их входные кромки скруглены, обтекание лопастей можно рассматривать как обтекание круглого цилиндра; чем крупнее частицы, движущиеся в потоке смеси, обтекающем цилиндр, тем большее их количество попадает на его поверхность.

Существенное влияние на скорость изнашивания входной кромки лопасти оказывает характер поворота потока смеси при входе в рабочее колесо. Под влиянием центостремительного ускорения, возникающего при повороте потока, твердые частицы в смеси перераспределяются. В сечениях потока на повороте их концентрация становится неравномерной и увеличивается в направлении наружной стенки канала.

Из-за повышенной концентрации твердых частиц у поверхности ведущего диска наблюдается максимальный износ входной кромки в месте её сопряжения с этим диском (рисунок 4). Следует иметь в виду, что вблизи поверхности стенки ведущего диска образуется пограничный слой с малыми скоростями течения потока. Поэтому зона максимального износа входных кромок лопастей оказывается несколько отодвинутой от стенки заднего диска.

Поверхность лицевой стороны лопасти и её выходная кромка могут изнашиваться только теми твердыми частицами, которые движутся вместе с жидкостью или смещаются от линии тока жидкости в направлении лицевой

стороны лопасти. Поэтому интенсивность характера движения твердых частиц в межлопастном канале рабочего колеса [2].

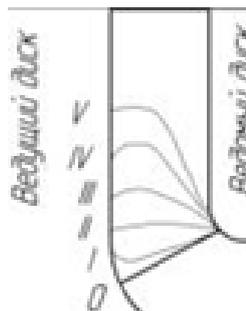
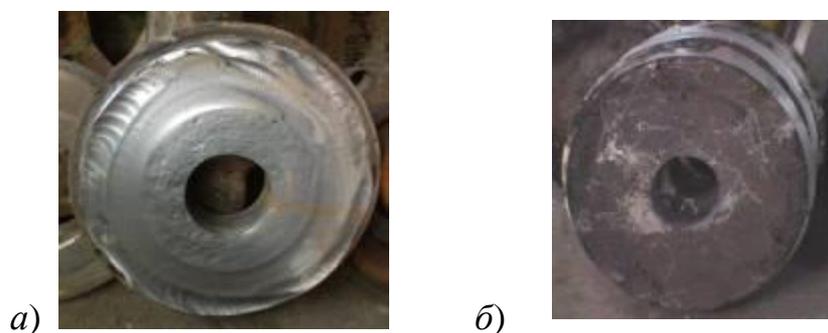


Рисунок 2.4 – Формы входных кромок лопасти до изнашивания (0) и по мере изнашивания (I-V)

В межлопастном канале рабочего колеса происходит непрерывное перераспределение твердых частиц от входа к выходу, с увеличением их количества в направлении от тыльной к лицевой стороне рядом стоящей лопасти, поэтому концентрация частиц у лицевой поверхности лопасти возрастает непрерывно от входной кромки к выходной. Этим и объясняется увеличение износа лицевой стороны лопасти от входной кромки к выходной.

Ко второй группе относятся детали, изнашивающиеся в результате перетока гидросмеси из полости с большим давлением в полость с меньшим давлением: бронедиски (рисунок 5.), наружные диски колес, детали уплотнений как со стороны всасывания, так и узел сальникового уплотнения. Износ этих деталей по сравнению с деталями первой группы возрастает при транспортировании гидросмесей с мелкими твердыми включениями [4].



а – после эксплуатации, б – новый
Рисунок 2.5 – Бронедиск насоса 8Гр-8Гр

В меньшей степени изнашивается корпус насоса (рисунок 5, б). Наибольшему воздействию абразивных частиц подвергаются периферийные стенки, а наименьшему – боковые стенки канала корпуса насоса. Износу здесь подвержены места перед выходом пульпы в трубопровод, где её поток развивает наибольшую скорость. Износ имеет вид сквозных отверстий

(рисунок 6). Изнашивание стенок отвода зависит от распределения в нем скорости течения смеси и концентрации твердых частиц.



Рисунок 2.6 – Износ корпуса грунтового насоса 8Гр-8

Рабочие органы насосов изнашиваются за счет контакта твердых частиц, движущихся в жидкости, со стенками каналов проточной части насоса. В рабочем колесе происходит разделение частиц по крупности. Более крупные частицы, траектории которых круче линий токов жидкости, вообще на рабочую поверхность лопастей не попадают. Лопасть обтекается только потоком с взвешенными в нем твердыми частицами малых размеров [5].

В результате анализа проблем эксплуатации грунтовых насосов на сегодняшний день выявлено, что грунтовые насосы, которыми оснащено горные и обогатительные предприятия, не удовлетворяют современным требованиям по показателям надежности и энергоемкости, возможности регулирования рабочих параметров [6]. Основным недостатком грунтовых насосов является низкий срок службы деталей проточной части насосов в результате действия гидроабразивного и кавитационного износа.

2.3 Способы повышения износостойкости

Известно, что выбор способов повышения износостойкости – трудная задача. Связано это с тем, что износостойкость деталей зависит не только от износостойкости материалов, но и от их конструкции и условий эксплуатации. В настоящее время известны следующие основные способы повышения износостойкости деталей: изготовление деталей из сталей и чугунов специальных марок; применение для них особых видов термообработки и способов упрочнения; нанесение электронаплавочных или химико-термических покрытий; применение гуммирования или защита быстроизнашивающихся поверхностей резиновой футеровкой и т. д. Рассмотрим эти способы применительно к гидроабразивному изнашиванию деталей грунтовых и песковых насосов.

2.3.1 Использование специальных материалов

Выбор материалов для быстроизнашивающихся деталей зависит обычно от конструкций и назначения узла, технологии изготовления детали, условий её эксплуатации, требований к общей прочности и металлоемкости деталей, сроку их службы при учете стоимости материала и его дефицитности, расходов на изготовление деталей из данного материала и эксплуатационных расходов.

Детали грунтовых и песковых насосов подвергаются ударному воздействию меньшей интенсивности без скольжения или со скольжением. Для такой группы деталей износостойкие стали обычно не применяются. В условиях абразивного изнашивания в нейтральной среде максимальной износостойкостью обладают хромомолибденовые чугуны марок ИЧ300Х16МТ и ИЧ290Х12М. Дороговизна и дефицитность молибдена сдерживают широкое распространение хромомолибденовых износостойких чугунов.

Высокохромистые чугуны с карбидами М7С3 первоначально использовались как жаро- и коррозионностойкие. По износостойкости они уступают хромомолибденовым и хромо-марганцевым чугунам с мартенситной структурой. Тем не менее хромоникелевый износостойкий чугун ИЧХ28Н2 до настоящего времени очень широко применяется для изготовления многих быстроизнашивающихся деталей обогатительного оборудования. В условиях гидроабразивного изнашивания при малых углах атаки износостойкость будет тем выше, чем больше карбидов содержится в сплаве. Для повышения износостойкости белых чугунов кроме наличия карбидов необходимо иметь высокую прочность металлической основы. Даже незначительное содержание в структуре основы мягких продуктов распада аустенита резко снижает износостойкость чугуна.

2.3.2 Химико-термическую обработку

Как правило применяют для деталей не контактирующих с абразивной средой, т.к. изнашивается только тонкий слой, находящийся в зоне контакта при трении. Однако при борировании (насыщение поверхности деталей бором) глубина получаемого слоя (до 2 мм) в несколько раз больше, чем при других методах (до 0,6 мм). Чем больше содержание углерода в стали, тем тоньше образуется на ней поверхностный слой. Благодаря снижению хрупкости борированного слоя этот способ увеличивает износостойкость деталей машин и позволяет им работать в условиях ударных нагрузок. В связи с этим борирование при литье рекомендуется использовать для повышения гидроабразивной износостойкости рабочих колес и корпусов грунтовых насосов в условиях сильных ударных нагрузок при переработке строительных песков.

2.3.3 Применение карбида кремния

Для защиты от износа деталей оборудования, работающего в условиях гидроабразивного изнашивания (например, отдельных деталей песковых насосов), эффективно применение монолитного поликристаллического карбида кремния (МПК). МПК – новый износостойкий конструкционный материал, широко применяемый в углеобогащении. Его физико-механические свойства следующие: плотность 2900 – 3100 кг/м³, микротвердость основной фазы (карбида кремния) $2,8 \cdot 10^4$ – $3 \cdot 10^4$ МПа; микротвердость фазы кремния (1÷1,2) 104 МПа, предел прочности при сжатии 35 ГПа, пористость общая 0,5 – 3%. Высокая износостойкость деталей из МПК позволяет в течение длительного времени поддерживать неизменными геометрические параметры изделия и обеспечивать благодаря этому стабильные технологические показатели работы оборудования и увеличение межремонтных сроков службы.

Наряду с высокой износостойкостью карбид кремния, как и все твердые, но хрупкие материалы имеет низкую ударную прочность, что несколько ограничивает область его применения в горно-обогатительных отраслях. Детали из карбида кремния целесообразно применять для оборудования, подвергающегося гидроабразивному изнашиванию при высоких скоростях и малой крупности абразивных частиц.

2.3.4 Применение полимеров. Эластомеры

В последние годы большое внимание уделяется работам по борьбе с абразивным износом путем гуммирования деталей оборудования специальными сортами резин. Под гуммированием понимают покрытие резиной металлических поверхностей или металлоарматуры деталей с целью защиты их от гидроабразивного износа, коррозии и других эрозионных разрушений. В начале 60-ых годов гуммированные детали начали использовать в качестве рабочих деталей песковых и грунтовых насосов.

Из каучуков специального назначения к перспективным для гуммирования горно-обогатительного оборудования относятся полиуретаны. К их недостаткам чаще всего относят склонность к гидролизу. Несмотря на высокую стоимость и недостатки, применение полиуретановых эластомеров в некоторых случаях экономически целесообразнее вследствие значительного увеличения сроков службы изделий из них. Например, насос 5ГР-8 изготовленный в гуммировочном исполнении проработал непрерывно более 2400 ч. В тех же условиях насосы 4Гр с улитой и рабочим колесом, изготовленными из сплава ИЧХ28Н2, работали не более 2000 ч. Конструкция этого центробежного насоса имеет увеличенное расчетное сечение улиты, лопатки его рабочего колеса изготавливаются с некоторым упрощением по форме, рабочее колесо гуммируется совместно с металлическим каркасом.

При формовом способе гуммирования для каждой детали необходимо изготавливать специальную прессформу. Для каждого размера гуммируемого насоса обычно необходимо изготовить пять прессформ: на рабочее колесо, на левую и правую половины корпуса, на крышку и всасывающий патрубок. В конструкции гуммированного насоса только рабочее колесо имеет каркас в виде стальной отливки, которая в прессформе обклеивается слоем резины.

Применительно к гуммированным деталям, работающим при гидроабразивном изнашивании, т. е. в струе абразивных частиц, в зависимости от степени соударения можно получить различные состояния резиновой поверхности при одной и той же температуре эксплуатации: при небольших скоростях соударения – стеклообразное состояние, а при высоких скоростях – стеклообразное состояние эластомера.

Жидкие каучуки (низкомолекулярные полимеры) позволяют изготавливать не только высококонцентрированные, но и совсем безрастворные жидкие гуммировочные и герметизирующие составы, что открывает возможности получения бесшовных, т. е. однородных покрытий, наносимых принятыми в лакокрасочной технологии прогрессивными (окраской кистью, опусканием детали в раствор или распылением, в том числе механизированными методами. Упрощается технология гуммирования оборудования, особенно крупногабаритного со сложной конфигурацией поверхности, которые невозможно оклеить листовой резиной (колеса центробежных насосов). Для гуммирования этим методом применяется синтетический каучук – низкомолекулярный полихлоропрен или наирит. К его важнейшим эксплуатационным преимуществам относится способность образовывать после вулканизации при 100 °С эластичные покрытия с хорошими физико-механическими показателями, а также более высокой химической и гидроабразивной износостойкостью.

Вместо гуммирования улит песковых насосов можно наладить изготовление вкладышей с жестким каркасом для замены на месте установки насоса старого вкладыша новым. Улита в этом случае не будет изнашиваться, а изготовление корпусов самих улит из стали позволит восстанавливать их на обогатительных фабриках.

Электрокорунд на бакелитовой связке. При этом методе защиты деталей металлические корпуса насосов могут быть использованы несколько раз. Изношенные поверхности деталей восстанавливаются до первоначальных размеров при помощи нанесения слоя абразивной массы. Стоимость деталей из абразивного материала в 8 – 10 раз ниже по сравнению со стоимостью деталей, изготовленных из сплава ИЧХ28Н2. Для приготовления абразивной массы могут быть применены материалы различной твердости.

Абразивный слой можно наносить без термического упрочнения, в связи с этим большое значение приобретает возможность реставрировать на месте изношенные металлические детали: корпуса улит и колеса насосов.

Нанесение абразивных покрытий на реставрируемые поверхности производят вручную при нормальных температурах.

Технология изготовления деталей из абразивных смесей сводится к приготовлению смеси, её прессованию, пропитыванию и полимеризации. В качестве заполнителей абразивной смеси служит электрокорунд. Для склеивания зерен абразивного материала применяется бакелит марок А и Б. Абразивной смесью заполняют прессформу. Для повышения прочности изделий применяют металлический каркас. Формовку и прессование рабочих колес песковых и грунтовых насосов производят в несколько приемов: на поддоне со ступицей, окруженной двумя полуобоймами, – формовка диска; с вкладыванием сухарей и установкой крыльчатки – формовка крыльчатки. Первое и второе прессование производится при усилии пресса 100 т, третье – 400 т. Для придания необходимой прочности изделию деталь на поддоне или в прессформе подвергается полимеризации при температуре 100 – 180 °С в течение 8 ч. Затем деталь пропитывается бакелитом и снова полимеризуется. Отформованную деталь можно хранить до полимеризации не больше 20 – 30 ч. Улиты насосов вначале покрывают абразивной смесью по торцу затем прессуют в прессформе. Далее абразивная смесь наносится на поверхность улиты. После прессования при давлении 30 – 50 кг/см² деталь подвергают полимеризации. После снижения температуры до 60 – 70 °С улита извлекается, и с помощью кисти на её поверхность наносится бакелит марки В до полного насыщения, затем процесс полимеризации повторяется.

Абразивная футеровка имеет хорошую связь с металлом и не требует предварительной очистки поверхности. Основным недостатком абразивных деталей является грубая, неровная поверхность изделия. После непродолжительной работы поверхность становится ещё более бугристой из-за неравномерного износа абразивных покрытий. Это приводит к снижению коэффициента полезного действия машин. Кроме того, на вращающихся деталях (колеса насосов) резко нарушается балансировка, что может привести к разрушению механических частей машины: разрыву, изгибу вала, повреждению подшипников и других деталей. Причиной неуравновешенности рабочих колес является несимметричность их объема относительно оси вращения и неоднородность до плотности самого абразивного материала. Достигнутые высокие показатели износостойкости деталей из абразивных материалов не являются пределом. В дальнейшем при правильной эксплуатации и монтаже, при серийном изготовлении этих деталей в заводских условиях и соблюдении правильной технологии износостойкость деталей может быть значительно повышена.

Неорганические материалы. Одними из возможных заменителей дорогостоящих материалов являются силикатные эмали. Эмаль представляет собой стекловидную массу, полученную путем спекания шихты, состоящей из горных пород: песка, фтористых солей и др. Кроме перечисленных компонентов, в шихту вводят окислы никеля, кобальта, хрома и других

металлов, которые способствуют сцепляемости эмали с металлом, придают эмалям окраску и делают их кислотостойкими.

Применение эмалевых покрытий позволит значительно повысить срок службы деталей оборудования, работающих в агрессивных средах, и даст большую экономию в эксплуатационных расходах за счет фактического увеличения производительности фабрик вследствие уменьшения простоев.

2.3.5 Статистические данные по повреждаемости насосного оборудования

В настоящее время основное направление технической политики в области совершенствования функционирования гидравлических систем связано в основном с модернизацией эксплуатируемого насосного оборудования и повышением согласованности используемых насосов с гидравлической сетью. По данным Euroump, до 60% насосных станций, эксплуатирующихся в мире, работают с КПД всего лишь 10-40%, что обусловлено широким диапазоном реальной рабочей зоны, в которой вынуждены работать насосные агрегаты. Следует отметить, что данная область существенно отличается от оптимальной рабочей зоны, на которую насос был спроектирован. Второе обстоятельство, негативным образом воздействующее на энергоэффективность гидравлических систем, связано с невозможностью регулирования требуемого расхода экономичными способами, что в итоге также приводит к большим потерям энергии и значительному сокращению располагаемого ресурса гидромашин.

Отмеченные обстоятельства показывают актуальность разработки методов, способных с повышенной достоверностью определять реальный ресурс насосного агрегата с учетом особенностей эксплуатации конкретных технологических циклов, а также модернизации эксплуатирующихся насосов с целью повышения их КПД.

2.3.6 Повышение экономичности центробежных насосов на основе гидрофобизации поверхностей рабочих колес

Решение вопросов энергосбережения является приоритетным для повышения эффективности теплогенерирующих объектов. По данным Министерства образования и науки, в сфере потребления энергии лежит 70% возможности энергосбережения и только 30% - в сфере выработки энергии. В этой связи возрастает важность вопроса разработки и внедрения технологий, обеспечивающих снижение энергопотребления при более качественном обеспечении работы конкретных технологических циклов.

Одной из таких технологий является метод модернизации поверхности проточных частей центробежных насосов на основе модификации функциональных поверхностей проточных частей рабочих колес (РК)

насосов. Изменение свойств поверхности проточной части насоса обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик насосного агрегата с помощью гидрофобных покрытий. Создание гидрофобных пленок на поверхностях, имеющих пространственную геометрию, представляет сложную для реализации задачу и является одним из сдерживающих факторов широкого применения данной технологии для повышения рабочих характеристик насосов.

Реализация такого метода возможна на основе использования тефлонов. Тефлонирование поверхностей эффективно осуществляется на основе использования фторопласта-4, являющегося уникальным материалом, который обладает рядом свойств, определяющих его применение во многих отраслях промышленности. Фторопласт-4 обладает химической стойкостью практически ко всем агрессивным веществам [3].

Экспериментальные исследования по использованию фторопластовых покрытий для создания гидрофобных поверхностей в РК центробежных насосов осуществлялись на энерго-кавитационном стенде МЭИ на примере исследований насоса КМ 65-50-160а (имеющий коэффициент быстроходности равный 88). Данный тип насоса наиболее распространен в коммунальной энергетике и используется в технологических циклах систем отопления, холодного и горячего водоснабжения.

На рис. 3 показан внешний вид исходного и модернизированного рабочего колеса исследуемого насоса КМ 65-50-160а.



а- исходное; б – после модификации

Рисунок 2.7 – Состояние рабочего колеса КМ 65-50-160а

На рис. 4 представлена напорная характеристика насоса КМ 65-50-160а с исходным и модернизированным РК, а на рис. 5 приведена сравнительная характеристика КПД (для рабочей зоны) исследуемого насоса.

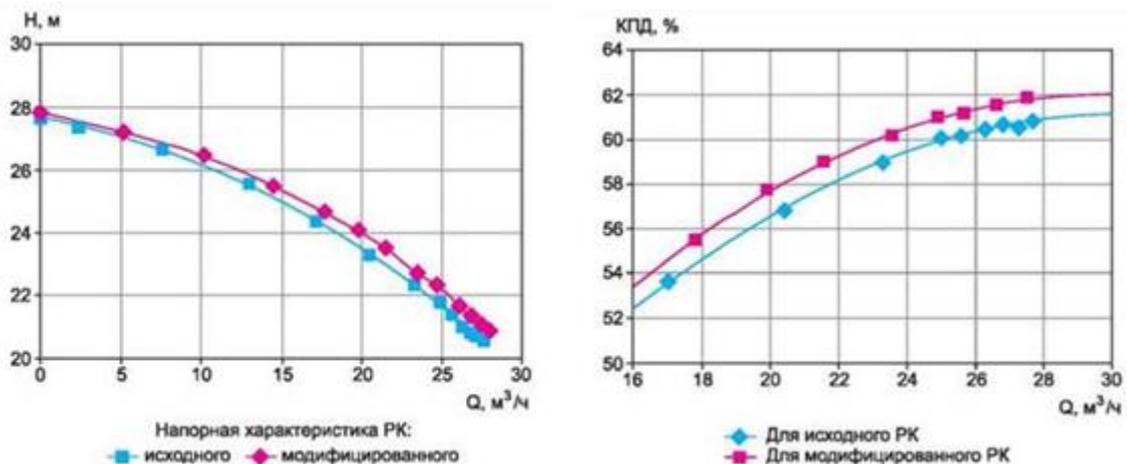


Рисунок 2.8 – Напорная характеристика и КПД насоса КМ 65-50-160а с исходным и модернизированным рабочим колесом

Результаты энергетических испытаний по исследованию влияния гидрофобного фторопластового покрытия на поверхностях РК демонстрируют:

- повышение напорной характеристики насоса после создания гидрофобного покрытия, что объясняется снижением потерь гидравлического трения, приводящих к увеличению напора;
- обеспечение работоспособности насоса, т.е. выполнение требуемого закона $H=f(Q)$;
- снижение потребляемой мощности приблизительно на 90 Вт, в основном в рабочей зоне, что объясняется уменьшением потребной мощности на компенсацию гидравлических потерь (потери на трение и вихреобразование);
- повышение КПД насоса на 1,5-2% в рабочей зоне работы.

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что модернизация центробежного насоса КМ 65-50-160а на основе создания гидрофобного фторопластового покрытия на поверхностях РК привела к повышению энергоэффективности при обеспечении сохранения работоспособности насоса. Такое покрытие одновременно защищает поверхность РК от коррозии и от образования отложений, что обеспечивается отсутствием контакта перекачиваемой среды и металла, из которого изготовлена проточная часть [4]. Кроме того, покрытие обладает повышенной прочностью и химической стойкостью.

3 Разработка технологии облицовки каркаса рабочего колеса насоса ПВН-2

3.1 Обоснование и выбор состава полимербетона

Для облицовки каркаса рабочего колеса насоса использовали состав на основе бутового щебня, который показал наилучшие характеристики по прочности: предел прочности при изгибе $\sigma_{изг.ср.} = 82,99 \text{ МПа}$ предел прочности на сжатие $\sigma_{сжс} = 130,28 \text{ МПа}$.

Полимербетон, заложенный в качестве материала для облицовки по эксплуатационным характеристикам значительно превосходит и бетоны, и натуральный камень.

Компоненты:

- Натуральный наполнитель, крупная фракция – бутовый щебень (ГОСТ 8267 и ГОСТ 10260, фракция 1,6...2,4 мм.). Процентное содержание базового наполнителя - 51%;
- Среднефракционный наполнитель - кварцевый песок (ГОСТ 8736, фракция 0,5...1,3 мм.) – 21%;
- Мелкофракционный наполнитель – кварцевая мука (ГОСТ 8736). Содержание - 11%;
- Связующий компонент – фурано-эпоксидная смола ФАЭД (ТУ 59-02-039.13-78) – 15%.;
- Отвердитель - полиэтиленполиамин ПЭПА (ТУ 6-02-594-80Е) – не более 1%.

Характеристики:

- высокая прочность;
- устойчивость к климатическим, атмосферным, температурным, механическим и иным воздействиям;
- материал не боится влаги, устойчив к биологическим факторам;
- относится к трудновоспламеняемым составам (при очень высоких температурах – частично оплавляется);
- готовые изделия не дают испарений, не имеют запаха и излучений, поэтому могут применяться в отделке интерьеров;
- относительно небольшой вес.

3.2 Разработка формы для облицовки каркаса рабочего колеса

3.2.1 Выбор материала формы для облицовки каркаса рабочего колеса

Особенности материалов для изготовления форм

Эластичные формы-матрицы позволяют воспроизводить и тиражировать сложные фактуры и поверхности из гипса, бетона, полимербетона, полимерных (полиэфирных и эпоксидных) смол.

Существует четыре основных вида материалов для изготовления эластичных форм: формопласт (ПВХ), резина, силикон, полиуретан.

Принимая во внимание опыт работы с полимербетоном при литье корпусов редукторов и насосов, мы остановили свой выбор на литейном силиконе.

Силикон

Эластомер популярный среди производителей форм, которые легко изготовить своими руками. Для создания формы используются двухкомпонентные силиконовые компаунды: основной силиконовый состав + катализатор. Этот материал легко смешивается, допускает отклонение в дозировке компонентов. Формы застывают при комнатной температуре. Имеют среднюю прочность. Выдерживают до 2000 отливок в широком диапазоне температур заливаемого материала. Если рассматривать качественный силикон на платиновой основе, то эти формы выдержат до 5000 отливок.

Таблица 3.1 – достоинства и недостатки силикона

Достоинства	Недостатки
<ol style="list-style-type: none"> 1. Не токсичен (силикон широко используется в медицине, может иметь пищевой допуск) 2. Практически не дает усадки 3. Высокая точность слепка 4. Не требует дополнительных смазок 5. Допускает заливку в широком диапазоне температур(до 200°C и выше) 6. Стойкость к агрессивным средам 7. Простота в работе 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая химическая стойкость к щелочным материалам 2. Умеренная прочность, сравнимая с прочностью формопласта, но уступающая прочности полиуретана 3. Появление пузырей на боковых сторонах декоративных изделий 4. Сложность окраски готовых изделий 5. Высокая цена

3.2.2 Каркас формы для облицовки рабочего колеса

Для изготовления формы было использовано рабочее колесо гуммированное резиной (рис.3.1).



a)



б)

a – каркас рабочего колеса; *б* – гуммированное резиной
Рисунок 3.1 – Гуммированное рабочее колесо насоса ПВН-2

Из стальной полосы ($\delta=0,5$ мм.) изготовили обечайку высотой равной высоте гуммированного рабочего колеса, в которую его обернули и стянули быстроразъемным хомутом.



Рисунок 3.2 – Обечайка с быстроразъемным хомутом.

В полученную форму поэтапно – на первом этапе, со стороны крыльчатки, а затем со стороны резьбовой втулки залили литейный силикон. Получили две отливки: отливку внешнего контура крыльчатки и отливку тыльной стороны колеса (рис.3.)

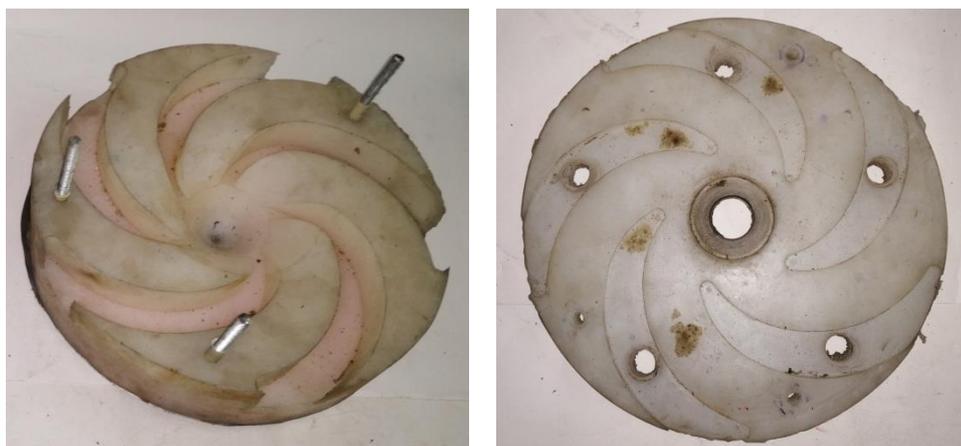


Рисунок 3.3 – Отливки форм рабочего колеса из литейного силикона

В качестве базы для ориентации форм относительно оси вращения использовали отрезок вала с резьбовым участком и дистанционную втулку насоса к торцовой поверхности которой, прихваточными швами закрепили стальной диск диаметром 300 мм толщиной $\delta=5$ мм. (рис.3.)



Рисунок 3.4 – Узел базирования формы.

В конечном итоге получили литейный комплект (рис.3.).



Рисунок 3.5 – Литейный комплект для облицовки рабочего колеса



Рисунок 3.6 – Литейный комплект в сборе.

3.3 Технология заливки форм полимербетоном

Приготовление полимербетонной смеси для облицовки каркаса рабочего колеса включает следующие операции:

- промыв заполнителей;
- сушку наполнителей и заполнителей, фракционирование заполнителей;
- подготовку отвердителей и ускорителей;
- дозирование компонентов и их перемешивание.

1. Наполнители и заполнители высушиваются в сушильном шкафу при температуре 80° С до остаточной влажности не более 1%. Не допускаются к применению наполнители, загрязненные карбонатами, основаниями и металлической пылью. Кислотостойкость наполнителей должна быть не ниже 96%.

Температура наполнителей и заполнителей перед подачей в смеситель должна быть в пределах 20-25 °С.

Дозирование компонентов должно осуществляться с точностью: смолы, наполнители, отвердители $\pm 1\%$, песок и щебень $\pm 2\%$.

2. Перемешивание составляющих полимербетонных смесей должно производиться в две стадии: приготовление мастики, приготовление полимербетонной смеси.

Приготовление мастики должно осуществляться в стеклянной таре (из нержавеющей стали), со скоростью вращения рабочего органа не менее 600-800 об/мин, время приготовления с учетом загрузки 2-2.5 мин.

Приготовление полимербетонных смесей должно производиться с использованием ручной дрели с применением специальной насадки в пластиковой таре путем принудительного перемешивания при скорости вращения рабочего органа 500-600 об/мин при 20°С и выше.

Технологический процесс формования (отливки) полимербетонных изделий состоит из следующих операций:

- чистки и смазки форм;
- установки арматурных элементов;
- укладки полимербетонной смеси;
- формования изделий.

3. Смазка силиконовой формы должно осуществляться специальными составами (разделителями) в % по массе: эмульсол - 55...60; графитовый порошок – 35...40; вода - 5... 10. Допускается также применение растворов битума в бензине, силиконовых смазок, раствора низкомолекулярного полиэтилена в толуоле.

4. Для укладки, разравнивания и заглаживания смеси используем плоские шпатели. Уплотнение осуществляем на вибростоле с параметрами: амплитуда колебаний 0,4 -0,9 мм по горизонтали, 0,2-0,4 мм по вертикали, частота 2600 кол/мин. Продолжительность вибрирования назначаем в зависимости от жесткости смеси, но не менее 4 мин. Признаком хорошего уплотнения смеси служит выделение на поверхности изделия жидкой фазы.

5. Набор прочности полимербетонов в естественных условиях (при температуре не ниже 15°C и влажности 60 – 70%) происходит в течении 28 – 30 суток.

С целью ускорения твердения подвергаем сухому прогреву в течении 6 – 18 ч термошкафу при температуре 80 – 100°C. При этом скорость подъема и снижения температуры должна быть не более 0,5 – 1°C в минуту.

3.4 Технология финишной обработки поверхности облицованного колеса

Для финишной обработки поверхности облицованного полимербетоном рабочего колеса использовали **гелькоут**. Гелькоут используется при отделке композитного материала, армированного волокном. Многие виды **гелькоута** производятся на основе ненасыщенной или эпоксидной полиэфирной смолы.

Материал представляет собой модифицированную смолу с жидкой субстанцией, которая наносится на матрицу. После нанесения вещество твердеет, что приводит к образованию полимеров с поперечной сшивкой. Далее **гелькоуты** армируются с помощью композитной полимерной основы. Для этого процесса чаще всего используют состав с добавлением стеловолокна и смол на основе полиэфира или эпоксида.

Применяется **гелькоут** в отделочных работах, чтобы добиться эффекта глянцевого покрытия, выполненного в каком-либо оттенке. Это улучшает декоративные свойства конструкций и изделий, делая их более привлекательными внешне.

Важно соблюдать температурный режим, как для самого вещества, так и для оснащения. Температура должна быть не ниже 18 С. Если она будет недостаточной, процесс отвердевания пройдёт с нарушениями, что спровоцирует повреждения. Также температура не должна быть слишком высокой - не более +25С.

Непосредственно перед применением вещество тщательно перемешивали. После заливки в ёмкость катализатора, полученный раствор снова хорошо размешали.

Для нанесения гелькоута использовали кисть. Покрытие состояло из двух слоёв. Каждый наносили как можно более аккуратно, чтобы не появлялись дефекты покрытия, пузыри и неровности. Каждый слой просушивали перед нанесением следующего.



Рисунок 3.7– Рабочее колесо насоса облицованное полимербетоном

3.5 Результаты оценки качества облицовки

Облицованное колесо подвергли ВИК (визуально измерительному контролю) и механическим испытаниям:

- отклонение геометрических размеров колеса от размеров на рабочем чертеже $\varnothing, B, L, h \dots \pm 1 \dots 2$ мм;
- несоосность по отношению к контрольному отрезку вала ± 1 мм.;
- радиальное биение торцевой поверхности $\pm 1,5$ мм.;
- глубина поверхностных дефектов < 2 мм.;
- высота неровностей по отношению к базовым плоскостям < 2 мм.;
- прочность на изгиб контрольных образцов отлитых из той же партии смеси $\approx 89,6$ МПа.;
- прочность на сжатие контрольных образцов отлитых из той же партии смеси $\approx 115,6$ МПа.;

- масса облицованного полимербетоном колеса составила 5,175 кг, что на 1 кг была больше гуммированного (4,2 кг).

После обработки гелкоутом все поверхностные дефекты удалось устранить.

3.6 Результаты испытания рабочего колеса на геотехническом полигоне КазАтомПром

Для оценки качества литья и эксплуатационной надежности контрольный экземпляр рабочего колеса был установлен на действующей установке ПНВ-2 для перекачки шламов.

Рисунок 3.8 – Установка рабочего колеса в улитку ПНВ-2

Ручная прокрутка рабочего колеса не выявила существенных отклонений, и насос после холостой прокрутки был запущен в эксплуатацию. Рабочие параметры насоса, такие как рабочее давление, производительность, уровень вибрации существенно не изменились.

4 Экономическая эффективность от внедрения рабочих колес облицованных полимербетоном

Годовая экономическая эффективность определялась по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_c + Y_n / C_c) - (C_n + \mathcal{E}_n / C_n),$$

Где C_c и C_n — годовые эксплуатационные расходы по старым (эталонным) и новым конструкциям ванн; K_b и K_a — капиталовложения по старым (приведенным) и новым конструкциям ванн, \mathcal{E}_n — нормативный коэффициент для предприятия медной промышленности, $E_p=0,15$.

I. Капитальные затраты K

J. Стоимость изготовления и установки армополимербетонной ванны, руб.:

ТОС о "1-3" h z стоимость изготовления ванны — 672

« арматуры — 27

« установки (монтаж) ванны _____ — 24

Итого — 723

Начисления 25,08% — 182

Всего — 905 $K_n = 905 \text{ руб.} \cdot 2472 \text{ шт.} = 2337160 \text{ руб.}$

2. Стоимость изготовления и установки железобетонной ванны с вкладышем из винилпласта, руб.:

Стоимость изготовления ванны — 215

« установки ванны — 16

« обеспыливания и окраски бетонной по

Верхности битумным лаком № 177 (в 3 слоя) — 9

« оклейки наружных стен ванны стекло - — 114

Тканью эпоксидной мастикой (в 2 слоя)

« футеровки ваины винилпластом — 445

Итого — 799 Начисления 25,08% — 200

Всего — 999

Так как срок эксплуатации полимербетонных ванн в 3 раза больше, чем у железобетонных, а затраты на капитальный и текущий ремонт в 3 раза и ниже, приведенные капитальные затраты по старым конструкциям вани составят:

$$K_c = 999 \text{ руб.} \cdot 3 \cdot 2472 = 7408584 \text{ руб.}$$

II. Общие годовые эксплуатационные расходы C В соответствии с «Методикой и нормами для определения стоимости эксплуатации промышленных зданий на стадии их проектирования» (ЦНИИпромзданий. — М.: 1971) годовые эксплуатационные расходы определяют по формуле:

$$C = C_{ам} - C_{сп} - f - C_{ст} - C_{с} \quad (77)$$

1. Годовой объем амортизационных отчислений

$$C_{ам} = C_0 p (Я_{ре} + Я_{кр}) / Ю_0,$$

Где C_0 — сметная стоимость сооружения (приведенная); $Я_{рсм}$ — норма отчислений на полное восстановление сооружения, $Н-рем = Ю$; $Ю_0$ — норма отчислений на капитальный ремонт, $Я_{кр} = 4$.

Годовой объем амортизационных отчислений при эксплуатации, новых конструкции ванн (армополимербетонных)

$$= 2337160 (10 + 4) / 100 = 313204 \text{ руб.}$$

Годовой объем амортизационных отчислений при эксплуатации старых конструкций ванн:

$$C_L = 7408594 (10 + 4) / 100 = 1037201 \text{ руб.}$$

2. Годовой объем текущих расходов

$$C_{тр} = K_{тр} K_{тр} ПОО, \quad (79)$$

Где $K_{тр}$ — показатель годового объема текущих ремонтов, $L_{тр} = 2,3\%$.

Годовой объем текущих расходов при эксплуатации новых конструкций ванн:

$$C_{тр}^* = K_{тр} K_{тр}^* p / 100 = 2337160 \cdot 2,3 / 100 = 51454,7 \text{ руб.}$$

Годовой объем амортизационных отчислений при эксплуатации старых конструкций ванн:

$$C_{лтр} = K_{с} K_{тр} / 100 = 7408584 \cdot 2,3 / 100 = 170397,4 \text{ руб.}$$

3. Годовой объем расходов на эксплуатацию санитарно-технических систем $C_{стр}$ и санитарно-гигиенические работы $C_{сг}$ принимают в размере 1 % сметной стоимости $C_0 p$

Тогда для новых конструкций ванн:

$$C_{ст} + C_{сг} = 2337160 / 100 = 23371 \text{ руб.}$$

Для старых конструкций ванн:

$$C_{\text{г}} + C_{\text{г}} = 7408584/100 = 74086 \text{ руб.}$$

Общий объем годовых эксплуатационных расходов составляет:

$$C_{\text{с}} = 1037201 + 170397 + 74086 = 1281684 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{н}} = 313204 + 51454 + 22371 = 387029 \text{ руб.}$$

III. Годовая экономическая эффективность от внедрения полимербетонных ванн в данном цехе:

$$\text{Э} = [1281684 + (0,15 \cdot 7408584)] - [387029 + (0,15 \cdot 2337160)] = 1655368 \text{ руб.}$$

Таким образом, замена железобетонных ванн с винилпластовым вкладышем на полимербетонные в действующем цехе электролиза меди средней мощности обеспечивает ежегодную экономическую эффективность более 1,6 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате научного обобщения, проведения аналитических исследований, разработки и внедрения новых материалов из разряда композиционных (полимербетона) - решена важная задача повышения эффективности эксплуатации ПНВ-2.

Основные выводы и рекомендации:

1. Предложен состав полимербетона для облицовки рабочего колеса погружного вертикального насоса ПНВ-2.

2. Предложена технология изготовления формы для облицовки рабочего колеса полимербетоном.

3. Отработана технология облицовки рабочего колеса.

4. В условиях геотехнического полигона проверена работоспособность колеса.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований легли в основу руководящего документа «ТИ на облицовку рабочих колес ПНВ-2 полимербетоном».

Список использованной литературы

1. Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы. – Москва: Машиностроение, 1966. – 362 с.
2. Лем В.П. Анализ изнашивания поверхностей рабочих деталей грунтовых насосов //Международная научно-практическая конференция. Архитектура и строительство в новом тысячелетии. – Алматы, 2008. – С. 227-231.
3. Поветкин В.В., Лем В.П. Гидроабразивный износ грунтовых и песковых насосов //Вестник КазНТУ. – Алматы, 2008. - №6(69). – С.51-54.
4. Лем В.П., Кабулов А.А. Износ бронедиска грунтового насоса и способ увеличения срока службы бронедиска //Международная конференция. Форсированное индустриально-инновационное развитие в металлургии. – Алматы: КазНТУ, 2010. – С. 182-184.
5. Донченко А.С., Донченко В.А. Справочник механика рудообогатительной фабрики. – М.: Недра, 1975. – 559 с.
6. Поветкин В.В., Лем В.П. Проблема гидроэрозии рабочих деталей грунтовых насосов / Первая международная научно-техническая конференция. Новое в станкостроении, материаловедении и автоматизированном проектировании машиностроительного производства, том 1. – Алматы, 2010. – С.53-55.
7. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. - М.: Машиностроение, 1977.
8. Носов Э.Ф., Маркевич А.М., Клейменов Н.А. Энциклопедия полимеров. - М.: Советская энциклопедия, 1977. - Т. 3. - 1152 с.
9. Акользин А.П. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями. - М.: Металлургия, 1989. - 192 с.
10. Михайлов К.В., Потуроев В.В., Крайс Р. Полимербетоны и конструкции на их основе/Под ред. В.В.Потуроева. - М.: Стройиздат, 1989. - 304с.
11. Потуроев В.В. Технология полимербетонов (физико-химические основы). - М.: Стройиздат, 1977. - 240с.
12. Полимерные и полимерцементные бетоны, растворы и мастики [Электронный ресурс] / Попов К.Н.,
13. ПОЛИМЕРНЫЕ И ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНЫ, РАСТВОРЫ И МАСТИКИ; ред. Бурмистров Г.Н., 1987. Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-96-polimerbeton/51.htm>
14. Полимерные и полимерцементные бетоны, растворы и мастики [Электронный ресурс] / Попов К.Н.,
15. Полимербетон. Применение и основные свойства [Электронный ресурс] / Художкова И.Р., Основные свойства полимербетонов; ред. Шагиева Л.Н., 1985. Режим доступа: <http://sekretgipsa.com/polimer/25-polimerbeton-i-primenenie-polimerbetona-sostavy-polimerbetona.html>