

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И. Сатпаева

УДК 691.537

На правах рукописи

**БАСКАНБАЕВА ДИНАРА ДЖУМАБАЕВНА**

**Разработка композиционных материалов для армированной закладки и  
изготовления корпусов редукторов**

6D070700 – Горное дело

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научный консультант:  
доктор технических наук,  
профессор Л.А.Крупник  
Зарубежный научный консультант:  
доктор технических наук,  
профессор Н.И.Петров (Болгария)

Республика Казахстан  
Алматы, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ</b> .....	4
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1 АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b> .....	10
1.1 Армирование твердеющих закладочных смесей .....	10
1.1.1 Камерные системы разработки с монолитной твердеющей закладкой .....	11
1.1.2 Система разработки горизонтальными слоями твердеющей закладкой .....	13
1.2 Использование полимербетона в промышленном производстве .....	17
1.3 Редукторы приводов горных и металлургических машин .....	22
Выводы по разделу 1 .....	27
<b>2 УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ АРМИРОВАНИЕМ БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ</b> .....	28
2.1 Армирование композиционных материалов .....	28
2.2 Эффективные материалы для армирования твердеющей закладки ....	32
2.3 Методика проведения исследований упрочнения твердеющей закладки базальтовым волокном .....	36
2.4 Исследование характеристик армированной закладки .....	39
2.4.1 Прочностные характеристики армированной закладки .....	39
2.4.2 Оптимальное содержание базальтового волокна .....	43
2.4.3 Технология ведения закладочных работ .....	44
2.5 Экономическая эффективность применения армированной закладки	47
Выводы по разделу 2 .....	48
<b>3 ИЗЫСКАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЛИМЕРБЕТОНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ</b> .....	50
3.1 Исходные материалы для приготовления полимербетона .....	50
3.2 Изучение структуры и проектирование составов полимербетона .....	58
3.3 Исследование прочностных характеристик полимербетона .....	65
3.4 Определение кратковременных прочностных и упругих характеристик .....	70
Выводы по разделу 3 .....	74
<b>4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ ИЗ ПОЛИМЕРБЕТОНА</b> .....	75
4.1 Оснастка для отливки корпусов редукторов из полимербетона .....	75
4.2 Отработка технологии отливки корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона .....	81
4.2.1 Исследование влияния скоростного режима на механические свойства полимербетонных смесей .....	83

4.2.2 Влияние времени перемешивания компонентов на прочностные характеристики полимербетона .....	85
4.2.3 Исследование влияния связующего смолы ЭДН на прочность полимербетона .....	86
4.2.4 Влияние температуры сушки отформованных изделий из полимербетона на их прочностные характеристики .....	88
4.2.5 Отработка технологии литья корпусных деталей корпуса редуктора .....	89
4.3 Стендовые испытания экспериментального образца редуктора Ц2 - 250 с корпусом из полимербетона .....	92
4.4 Экономическая эффективность изготовления корпусов редукторов из полимербетона. Методика расчета себестоимости изготовления корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона .....	97
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	101
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	102
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	109

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

<b>ГМК</b>	горно – металлургический комплекс
<b>ВВ</b>	взрывчатые вещества
<b>МПБ</b>	минералополимерные бетоны
<b>ПНБ</b>	полимернаполненные бетоны
<b>МБ</b>	модифицированные бетоны
<b>ФБ</b>	фибробетоны
<b>ПЦБ</b>	полимерцементные бетоны
<b>ПСИБ</b>	полимерсиликатные бетоны
<b>БП</b>	бетонополимеры
<b>ПСБ</b>	полимерсерные бетоны
<b>ФАМ</b>	фурфурол-ацетоновая смола модифицированная
<b>БНВ</b>	базальтовое непрерывное волокна
<b>БЗК</b>	блок защитный коммутационный
<b>ФАЭД</b>	фурано-эпоксидная смола
<b>ПЭПА</b>	полиэтиленполиамин
<b>ЭДН</b>	эпоксидно-дионовая смола
<b>ДБФ</b>	дибутилфталлата
<b>ТУ</b>	технические условия
<b>ММА</b>	эфир метиловый метакриловой кислоты (мономер метилметакрилат)

## ВВЕДЕНИЕ

**Оценка современного состояния решаемой научно-технологической проблемы.** Совершенный период технологического производства характеризуется широким использованием конструкционных материалов для изготовления машин и механизмов. В основном это металлы: чугун, сталь, алюминиевые сплавы, бронза, и др. В то же время крупные и богатые месторождения металлов к настоящему времени истощились. Наметила тенденция разработки менее богатых и глубокозалегающих месторождений. Это приводит к удорожанию металлов и изделий из них. Поэтому во всем мире идет поиск замены металлов на композиционные материалы которые обладают лучшими техническими и технологическими характеристиками с управляемыми свойствами, более жидкой стоимостью. Довольно широко композиты используются в строительстве, а в машиностроении это направление только начало развиваться.

**Основание и исходные данные для разработки темы.** В горно-металлургическом комплексе используется большое количество разнообразного оборудования, изготовленного из металла. Проведенный анализ показал, что большинство оборудования работает в сложных условиях эксплуатации: агрессивная среда, большие нагрузки, большие температурные перепады. Искусственные закладочные массивы возводятся с большим расходом дорогостоящего цемента.

Основанием для проведения настоящего исследованием явились запросы предприятий горно-металлургического комплекса в необходимости повышения эффективности производства.

Исходными данными для разработки темы явилось фактическое состояние условий эксплуатации оборудования на предприятиях ГМК

**Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы.** Повышение эффективности работы предприятий горно-металлургического комплекса за счет снижения затрат на материалы диктует необходимость изыскания новых материалов с улучшенными характеристиками и меньшей стоимостью, что требует проведения специальных исследований, которые проведены в данной работе.

**Сведения о планируемой научно-технологическом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них.** Научно-технологический уровень научных разработок соответствует мировым тенденциями, а результаты превосходят по многим параметрам существующий уровень известных разработок.

По теме исследований проведен патентный поиск на глубину 10-15 лет, который показал отсутствие аналогичных исследований. По результатам исследований по теме диссертации получено положительное решение на патент РК.

**Сведения о метрологическом обеспечении диссертации.** При проведении экспериментов были использованы измерительные приборы –

штангенциркуль, манометры, термометры, весы, гидравлический пресс, прошедшие проверку.

**Актуальность темы исследований.** Горно-металлургическая отрасль является одной из основных в большинстве развитых стран и ее состояние определяет во многом экономику этих стран и показатели других отраслей.

Современный этап разработки месторождений полезных ископаемых характеризуется ухудшением качества добываемых руд, усложнением условий разработки полезных ископаемых, ростом затрат на основные процессы добычи. Значительное число месторождений руд разрабатывается системами с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Это позволяет существенно снизить потери полезного ископаемого в недрах, но увеличивает себестоимость добычи. Кроме этого попадание закладочного материала в рудную массу ухудшает извлечение полезных компонентов при обогащении. Для исключения этого стремятся увеличить прочность искусственного массива повышением количества, вяжущего в закладочной смеси, но это приводит к удорожанию добычи полезного ископаемого.

Твердеющая закладочная смесь является композиционным материалом с регулируемыми прочностными характеристиками. Поэтому исследования, направленные на повышение прочности закладки способами, позволяющими одновременно снизить ее стоимость является актуальной задачей при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом.

На предприятиях горно-металлургического комплекса большое количество оборудования работает в тяжелых условиях эксплуатации. Это агрессивная среда, высокая запыленность, резкая смена температур и т.д. Исходя из указанного корпуса оборудования изготавливаются из дорогостоящих металлов, имеют повышенную толщину, а, следовательно, и массу, невысокий срок службы, что требует чистой замены оборудования, значительных материальных и трудовых затрат.

В то же время появившиеся в других промышленных отраслях новые композиционные материалы позволяют заменить металл и избавиться от указанных недостатков. Изыскания новых композитов со свойствами, позволяющими использовать эти материалы в машиностроении весьма актуальны.

Настоящая диссертация посвящена решению этих вопросов путем изыскания новых композиционных материалов со специфическими свойствами и технологии их изготовления и применения.

**Целью настоящей работы** является повышение эффективности работы предприятий горно-металлургического комплекса за счет использования композиционных материалов с улучшенными характеристиками, соответствующими условиями эксплуатации.

**Основная идея работы** заключается в возможности регулирования характеристик композиционных материалов путем оптимизации соотношения составляющих компонентов и технологии изготовления изделий из них.

**Методика исследований.** При выполнении диссертации использовался комплексный метод исследований, включающий критический анализ научно-технической литературы и опыт промышленного производства, проведение теоретических исследований, лабораторные эксперименты, конструкторско-технологические разработки, стендовые испытания, статистическая обработка экспериментальных результатов методами математической статистики.

**Задачи исследований.**

- Изыскание материалов для новых композиционных материалов с повышенными прочностными характеристиками.

- Теоретическое обоснование рационального соотношения компонентов композиционных материалов, обеспечивающих изделия из них с улучшенными прочностными и технологическими характеристиками.

- Разработка рациональных упрочненных составов упрочненных закладочных смесей и полимербетонных смесей.

- Разработка оснастки для отливки изделия из полимербетона и технологии изготовления корпусов редукторов из него.

- Оценка эффективности предлагаемых технических и технологических решений.

**Объектами исследований** являются системы разработки месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства и конструкционные материалы, используемые в машиностроении.

**Предмет исследований** – упрочненные закладочные смеси, и полимербетонные смеси, позволяющие повысить эффективность горнометаллургического производства.

**Научные положения, вносимые на защиту:**

1. Добавка в твердеющую закладочную смесь базальтового волокна в количестве  $9 \text{ кг/м}^3$  позволяет получить армированную закладку способную эффективно противостоять сейсмическому воздействию взрывных работ за счет увеличения ударной прочности.

2. Полимербетон, которую возможно использовать как конструкционный материал в машиностроении должен иметь прерывистую гранулометрию заполнителя, причем рациональная его структура должна быть трехкомпонентной, при которой размер каждой группы заполнителя должен отличаться на порядок.

3. Для получения полимербетона с заданными прочностными характеристиками смешивание компонентов должно происходить при частоте вращения рабочего органа смесителя 600-800 об/мин в течение 3... 4 минут, а сушка готового изделия должна осуществляться при температуре 120 - 130 °С.

**Научная новизна исследования**

1. Установлена закономерность изменения ударной прочности армированной закладки от величины добавки в смесь базальтового волокна, что дает возможность проектировать и получать закладочный массив с заданными прочностными характеристиками

2. Разработана модель рациональной структуры полимербетонной смеси с прерывистой гранулометрии заполнителя, что позволяет получить полимербетон высокой плотности и прочности, позволяющий использовать его в качестве конструкционного материала в машиностроении.

3. Установлены закономерности влияния на прочность затвердевшего полимербетона режимов смеси образования (частоты вращения органа смесителя, времени перемешивания компонентов). Температуры связующего (эпоксидной смолы) и температуры сушки готового изделия, что позволило обосновать рациональный технологический режим изготовления изделий из полимербетона.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, результатов и рекомендации базируется на использовании стандартных апробированных методик и методов исследования, использования физических и химических законов, высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных данных, с применением методов статистической обработки результатов экспериментов с высоким показателем корреляции.

**Практическая значимость работы.** Разработанный и рекомендованный состав армированной твердеющей закладки позволяет повысить ударную прочность закладочного массива при одновременном снижении расхода дорогостоящего вяжущего. Это позволяет расширить область использования систем разработки месторождений полезных ископаемых с твердеющей закладкой выработанного пространства.

Доказана техническая возможность, экономическая целесообразность применения нового композиционного материала- полимербетона, предложенного состава в качестве материала изготовления корпусов редукторов. Разработанные методики подбора рациональных составов полимербетонных смесей технологии их приготовления и технологий изготовления корпусов редукторов могут быть эффективно использованы в машиностроении с повышенными характеристиками при эксплуатации.

**Личный вклад автора** состоит в формулировке и обосновании темы диссертационного исследования, постановки задач, и проведении теоретических и экспериментальных исследований, формулировке научных положений, в доказательстве их новизны, разработке методического обеспечения проведенных работ, разработке выводов и рекомендации.

**Апробация работы.** За время обучения в докторантуре было опубликовано в соавторстве 16 работ, в том числе публикации включают 5 статьи в журналах, рецензируемой на базе данных Scopus (Naukovyi Visnyk NHU, Mining of Mineral Deposits, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Web of Science, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering) с высокими квартилем Q2; 2 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования Республики Казахстан; 1 статья в журнале, рекомендованный РИНЦ; 5 докладов на Международных научно-практических конференциях, из них три в дальнейшем

зарубежье (Румыния); 3 статьи с высоким импакт-фактором научных журналов в мире.

Результаты исследований по диссертации докладывались и получили одобрение на международных научно - практических конференциях: II International Conference Essays of Mining Science and Practice. (2020); Международная научно-практическая конференция Труды Сатпаевских чтений "Сатпаевские чтения - 2020"; 2 nd International Scientific and Technical Internet Conference "Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing" Book of Abstracts. - Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, (2019); Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях индустрии 4.0» (2019).

На научно-технических советах: ТОО «Хайдаромунай», г.Кызылорда (2018); Филиала корпорации «Дженерал Электрик Интернэшнл Инк.» в Республике Казахстан. Подразделения GE Transportation (2019); ТОО "Зерде - Керамика» г.Шымкент (2019); ТОО «Эман -Эксперт» г.Кызылорда (2019); АО «АЗТМ» (2020)

На научных семинарах кафедр «Горное дело» и «Технологические машины, транспорт и логистика» «Satbayev University» (2019-2021 год).

#### **Объем и структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 разделов, основных выводов, списка использованных литературных источников и 10 приложений.

Объем диссертации составляет 107 страниц машинопечатного текста, 30 таблиц, 48 рисунков, 95 списка литературы.

# **1 АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Современный этап развития горного производства характерен усложнением горно-технических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Увеличивается глубина горных работ, в разработку вовлекаются маломощные месторождения с низким содержанием полезных компонентов. Все это приводит к удорожанию производства металлов – основных материалов для производства машин и агрегатов, строительства, электротехники. А потребность в металлах при ускорении технического прогресса будет возрастать в геометрической прогрессии.

Индустриальная революция 4.0 для ее активной и эффективной реализации требует использования новых материалов с улучшенными технологическими свойствами, более дешевыми и долговечными. Это позволит заменить традиционно используемые металлы – чугун, стали, различные сплавы.

Среди новых композиционных материалов, которые возможно использовать в горном производстве можно выделить армированную закладку для улучшения прочностных и реологических характеристик, а также полимербетон для изготовления машин и механизмов.

Армирование бетона достаточно широко используется в строительстве [1-3]. Однако смеси, используемые для закладки выработанного пространства, существенно отличаются от строительных бетонов как по вещественному составу, так и по условиям работы.

Полимербетоны в последнее время расширили область использования этих композиционных материалов, в основном, в практике строительства. Однако в машиностроении для изготовления машин, применяемых в горно-металлургическом производстве, эти случаи единичны.

Поэтому назрела необходимость исследования возможности применения композиционных материалов в этой отрасли.

## **1.1 Армирование твердеющих закладочных смесей**

Ухудшающиеся горнотехнические условия - увеличение глубины разработки месторождений твердых полезных ископаемых, уменьшение мощности рудных тел, снижение содержания полезных компонентов требует бережного отношения к разрабатываемым месторождениям. В первую очередь это относится к снижению потерь полезного ископаемого в недрах т.е. повышению его извлечения. Наиболее эффективным способом для этого является использование различных вариантов систем разработки с заполнением образующихся пустот при выемке полезного ископаемого твердеющей закладочной смесью – закладкой.

Закладка позволяет эффективно решать ряд важных задач при разработке месторождений подземным способом [4,5]. Среди них необходимо выделить следующие (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Цель и условия применения твердеющей закладки

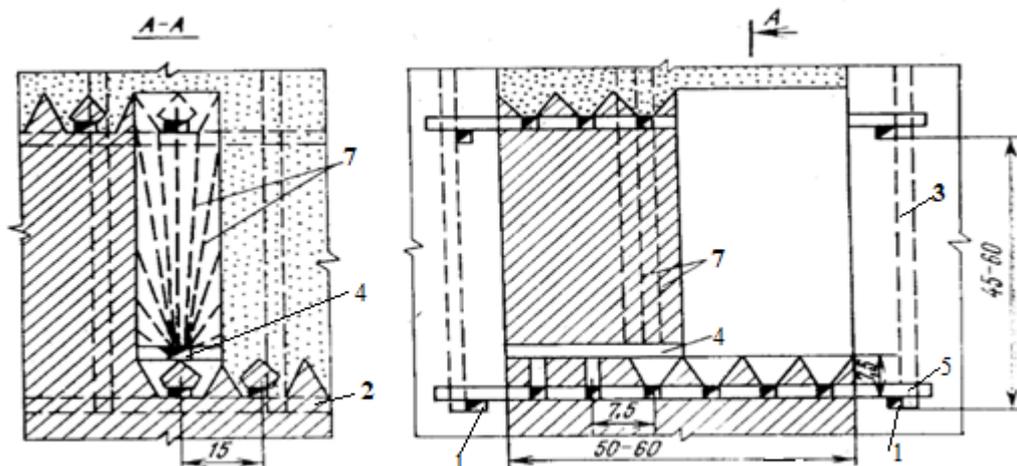
№	Цель	Условия
1	Повышение полноты и качества извлечения руд	Разработка месторождений ценных руд. Селективная выемка разносортных руд. Разработка сложных месторождений отработка охранных целиков
2	Разработка месторождений в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях	Сильно обводненные месторождения. Неустойчивые руды и вмещающие породы. Разработка пожароопасных месторождений. Разработка глубоко залегающих месторождений.
3	Улучшение условий труда горнорабочих	Безопасная разработка месторождений опасных по горным ударам. Улучшение условий проветривания
4	Улучшение экологической обстановки	Охрана недр, земной поверхности, водных бассейнов и т.д. Возможность утилизации в закладку твердых отходов горно-обогачительного производства

Сущность систем разработки с закладкой выработанного пространства заключается в следующем. После выемки руды, выработанное пространство заполняется твердеющей смесью, которая после затвердевания, обладая определенной прочностью, заменяет собой горные породы и тем самым сохраняет в состоянии покоя окружающий массив.

Наиболее перспективными являются камерные (рисунок 1.1) и слоевые (рисунок 1.2) системы разработки [6,7].

#### 1.1.1 Камерные системы разработки с монолитной твердеющей закладкой

Сущность системы состоит в том, что рудную залежь, подготовленную этажным способом, разделяют на отдельные выемочные блоки, в которые камеры первой очереди отрабатывают с этажной или подэтажной выемкой с последующим заполнением выработанного пространства твердеющей закладкой, а целики (камеры второй очереди) отрабатывают в ее окружении (рисунок 1.1).



1-полевые откаточные штреки; 2- соединительный орт; 3- материально – ходовой восстающий; 4 - буровой орт; 5 – скреперный орт; 6 – выпускные выработки днища (дучки и разворонки дучек); 7 – веерный комплект скважин

Рисунок 1.1 - Камерная система разработки с твердеющей закладкой

**Условия применения.** Систему разработки применяют при обработке крутопадающих мощных и весьма мощных рудных залежей с очень богатой рудой.

**Параметры системы.** Высоту этажа принимают равной 45-60 м, длину блока 50-60 м, ширину целика -15 м, расстояние между скреперными ортами составляет 6-8 м.

**Подготовка и нарезка блока.** Подготовка блока включает проведение откаточного штрека, соединительных ортов, материально – ходового восстающего. Верхний откаточный штрек служит вентиляционным штреком для данного блока. Нарезка – проведение скреперных ортов, буровых ортов, выпускных выработок днища (дучек, разворонки дучек), отрезных восстающих.

**Очистная выемка:** Очистные работы в камерах первой очереди начинаются с расширения отрезного восстающего в отрезную щель со скважинной отбойкой руды. Затем эти камеры заполняют твердеющей закладкой. Последующие – вторичные камеры (целики) отрабатывают в окружении твердеющей закладки, выполняющей роль целика. Для уменьшения разрушающего действия взрыва на закладку скважины недобуривают до границы камеры на 1.5-2.0 м, оставшиеся слои самообрушаются при последующих взрывах. Крепость монолитной закладки, как правило, ниже крепости рудного массива, поэтому при отработке вторичных камер принимают дополнительные меры, способствующие сохранению закладочного материала: магазинирование руды в камере, отбойка небольшими объемами. Отбитую руду скреперными лебедками доставляют до откаточных штреков. Камеры отрабатывают без оставления рудной потолочины.

**Технико-экономические показатели:** потери руды 2,5 – 3,0 %; разубоживание руды 5-6%; производительность труда забойного рабочего 40-50 т/смену; удельный расход ВВ на отбойку 0,350 – 0,400 кг/т.

**Достоинства:** малые потери и разубоживание руды; безопасность работ в очистном забое; возможность одновременной отработки нескольких этажей.

**Недостатки:** высокая стоимость закладочного материала, что резко увеличивает себестоимость очистной выемки.

### 1.1.2 Система разработки горизонтальными слоями твердеющей закладкой

Сущность системы состоит в том, что рудную залежь, подготовленную этажным способом разделяют на отдельные выемочные блоки, запасы руды в которых отработывают в общем порядке с применением самоходного оборудования, а выработанное пространство заполняют твердеющей закладкой (рисунок 2).

**Условия применения.** Систему применяют при отработке крутопадающих мощных и маломощных рудных залежей с очень ценной рудой, а также в целях повышения безопасности горных работ, особенно на больших глубинах.

**Параметры системы.** Рудную залежь разбивают на блоки с высотой этажа 30-60м и длиной до 75-100м. Ширина блока равна мощности рудной залежи. Ширина заходки равна 2,5 -3,0 м, высота 3-4 м, угол наклона заходки к горизонту 6-8°.

**Подготовительно-нарезные работы.** Подготовка блока включает проведение транспортного штрека, наклонного съезда, вентиляционного и вентиляционно –закладочного восстающего рудоспуска и ортов. Нарезка состоит в проведении слоевых штреков.

**Очистная выемка.** Отработку блока ведут заходками, располагаемыми под углом 45-50°; для бурения горизонтальных шпуров применяют самоходные буровые установки. Отбитую руду из заходов до рудоспуска транспортируют погрузочно-доставочными машинами.

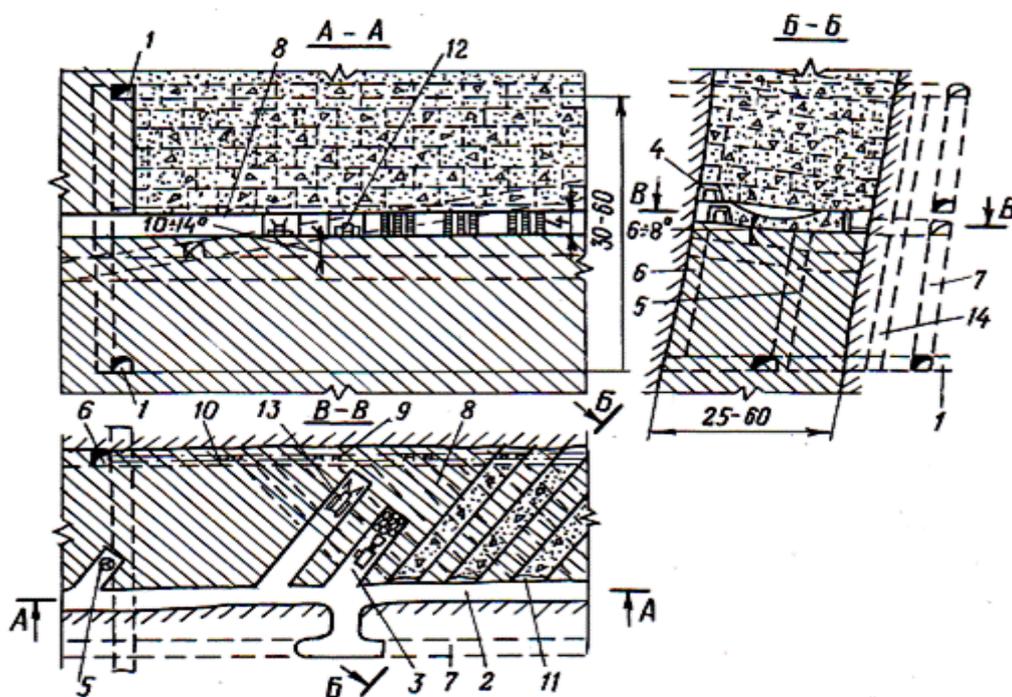
После выемки руды в устье заходки возводят перемычку и выработанное пространство закладывается твердеющей смесью. В процессе закладки у почвы каждой третьей заходки оставляют незаложенным вентиляционный канал, обеспечивающий проветривание при отработке нижнего слоя. Для подачи закладочной смеси и проветривания выработок у всячего бока рудного тела выкрепляют вентиляционно-закладочной штрек. Самоходное оборудование доставляют по наклонному съезду, пройденному в породах лежащего бока залежи и соединенного со слоевым штреком заездом.

**Технико-экономические показатели:** потери руды 2-4%; разубоживание 2-4%; производительность труда забойного рабочего 25-30т/смену; расход подготовительно-нарезных выработок на 1000т руды составляет 4-5м; удельный расход ВВ на отбойку 0,450-0,550 кг/т.

**Достоинства:** высокое извлечение руды; незначительное разубоживание руды; безопасность работ в очистном пространстве; возможность

одновременной разработки нескольких этажей, что обеспечивает значительную добычу при малой рудной площади.

**Недостатки:** значительные расходы по транспортированию и размещению закладочного материала в очистном пространстве; низкая производительность труда забойных рабочих.



1-орт; 2-слоевой штрек; 3-очистная заходка; 4-закладочный и вентиляционный штрек; 5-рудоспуск; 6-вентиляционно-закладочный восстающий; 7-наклонный съезд; 8-вентиляционный канал; 9-вентиляционный трубопровод; 10-закладочной трубопровод; 11-бетонная перемычка; 12-ПДМ; 13-самоходная буровая установка; 14-вентиляционный восстающий.

Рисунок 1.2 - Система разработки горизонтальными слоями с твердеющей закладкой

Закладка является композиционным материалом, включающим вяжущее (цемент, молотый гранулированный доменный шлак, золу-унос), наполнитель (щебень, песок, отходы дробильно-сортировочных фабрик, легкая фракция обогащения руд в тяжелых суспензиях, хвосты обогащения руд и др), воду и регулирующие добавки (ускорители или замедлители схватывания, регуляторы, структуры, регуляторы реологических свойств и.др.) [8]. После затвердевания закладка должна обладать рядом специфических свойств.

Требования, предъявляемые к твердеющим закладочным смесям, определяются следующими факторами:

- горнотехническими условиями разработки месторождения;
- назначением закладочных смесей;
- условиями доставки смеси и выработанное пространство;

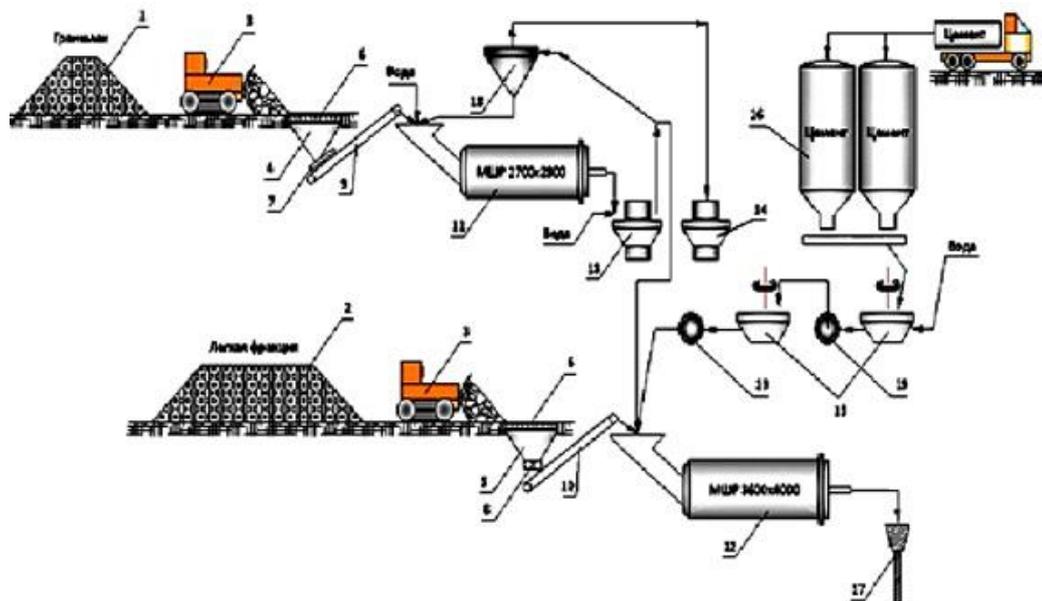
- технологией возведения закладочного массива;
- условиями и временем твердения;
- экономической целесообразностью.

Исходя из этого, твердеющие закладочные смеси должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать заданные прочностные характеристики затвердевшего искусственного массива;
- обеспечивать способность транспортироваться по трубам без расслоения и сохранять связность и однородность структуры во время укладки в выработанное пространство;
- иметь минимальную усадку при твердении и минимальный коэффициент компрессии;
- иметь минимальную себестоимость.

Кроме указанного к закладочным смесям могут предъявляться и другие требования, обусловленные особенностями технологии разработки месторождений.

Закладочные смеси готовятся на поверхностных закладочных комплексах (рисунок 1.3), которые должны обеспечивать стабильность состава и характеристик закладочных смесей.



1, 2 - отвалы граншлака и легкой фракции; 3 - бульдозер; 4, 5 - приемные бункера; 6 - колосниковая решетка; 7 - шибер; 8 - питатель; 9, 10 - ленточные конвейера; 11 - мельница МШР 2700×2800; 12 - мельница МШР 3600×4000; 13, 14 - насосы; 15 - устройство дозирования и приготовления цеммолака «ХАННИ»; 16 - расходные бункера цемента; 17 - закладочная скважина; 18 - гидроциклон ГЦ-350; 19 - перекачной насос.

Рисунок 1.3 - Рекомендуемая технологическая схема БЗК Малеевского рудника

На закладочном комплексе осуществляются прием заполнителя на открытый склад и разгрузка его в расходный бункер; дозированная подача заполнителя из бункера и транспортировка его в мельницу; прием цемента из автоцементовозов в расходные емкости и дозированная подача его в агрегат приготовления цементного молока; подача приготовленного цеммолока в мельницу; подача в мельницу измельченного граншлака в виде пульпы; дозированная подача (при необходимости) дополнительной воды в мельницу; совместный помол компонентов и приготовление закладочной смеси в мельнице; подача смеси в приемную воронку трубопровода и ее транспортирование к месту укладки; технологический контроль за процессом приготовления закладочной смеси.

В таблице 1.2 проведены составы твердеющих закладочных смесей, используемые на Малеевском руднике Зырянского горно-обогатительного комплекса ТОО Казцинк [4, 10 с.]. Они характерны и для других горных предприятий Казахстана.

Таблица 1.2 - Составы твердеющих закладочных смесей с использованием доменного гранулированного шлака

№	Удельный расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>				Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Прочностные характеристики в возрасте суток, МПа.					
	все го	в том числе		инертный заполнитель измельченный		вода	R28	R60	R90	R180	R360
цемент		гран. шлак молотый									
1	250	50	200	1250	450	1950	0,9	1,4	1,8	2	2,3
2	275	55	220	1225	450	1950	0,1	1,6	2	2,3	2,7
3	300	60	240	1175	460	1935	1,4	2,1	2,6	2,8	3,5
4	325	65	260	1150	460	1935	1,8	2,5	3,2	3,2	4,2
5	350	70	280	1125	460	1935	2,2	2,9	3,6	3,6	5
6	400	80	320	1050	470	1920	2,6	3,4	4,2	4,2	5,6
7	450	90	360	980	480	1910	2,9	3,9	4,7	4,7	5,9

Анализ данных таблицы 1.2 показывает, что закладочные смеси довольно дорогостоящие, в основном из-за значительного расхода дорогостоящего вяжущего. Следует отметить еще один момент. При выемке камер или слоев, соседствующих с ранее заложенными, велика опасность разрушения пограничного слоя закладки буро-взрывными работами [9]. Это приводит к следующим негативным явлениям. Закладочный материал, попадая в отбитую руду, отрицательно влияет на процесс флотации. По данным исследовательского отдела Зырянской обогатительной фабрики попадание 1% закладки в руду

приводит к снижению извлечения цинка и свинца на 3...4%, что естественно ухудшает показатели эффективности работы предприятия.

Поэтому очень важно получить закладку с высокими прочностными характеристиками, но в то же время с меньшей себестоимостью. Решению этой проблемы может способствовать применение армированной закладки.

Проведенный анализ литературных источников и практики работы горных предприятий Казахстана, стран СНГ и дальнего за рубежом показал, что вопросам использования армированной закладки не уделяется должного внимания, хотя качество искусственных массивов из твердеющей закладки, ее стоимость требуют коренных усовершенствований [10].

## **1.2 Использование полимербетона в промышленном производстве**

Другим перспективным направлением использования композиционных материалов следует считать применение полимербетона в машиностроении.

Полимербетон – это общее название группы новых типов бетонов, созданных с целью ликвидации недостатков цементного бетона, в котором минеральное вяжущее – цемент заменяется полимерами- полиэфирными или эпоксидными смолами.

Терморезистивные полимерные вещества, используемые в качестве связующих, в основном, в строительном производстве носят название «смолы». В химической технологии эти продукты частичной полимеризации с молекулярной массой в пределах 100...1000, имеют линейное строение молекул, способных к дальнейшему укрупнению. Они получили название «олигомеры». К терморезистивным олигомерным связующим относятся, например, эпоксидные и полиэфирные смолы, олифы, каучуки в смеси с вулканизаторами и другие вещества.

История использования полимербетонов начинается с двадцатых годов прошлого века. Первый патент на применение полимерцемента был выдан Крессону в 1923 году [11]. Годом позже Лефебр получил патент на систему, модифицированную полимерным латексом, используя природные каучуковые латексы, путем подбора состава при смешивании [12]. В 20-е и 30-е годы были разработаны раствор и бетон, модифицированные полимерами, с использованием природных каучуковых латексов.

В 1932 году был выдан патент Бонду, который впервые предложил использовать синтетические каучуковые латексы для систем, модифицированных полимерами [13]. Годом позже Родвелл получил патент на использование латексов синтетических смол, включая поливинилацетатные, для модифицированных систем [14].

В 1940-х годах модифицированные полимерами растворы и бетоны стали использовать для настилов мостов, полов, мостовых дорог, а также в качестве антикоррозионных покрытий. С 60-х годов прошлого столетия начали широко внедряться модифицированные растворы и бетоны в США, ФРГ, Японии, Великобритании и ряде других стран. Был проведен ряд крупных исследований в этом направлении Ю.С. Керкинеким [15], Нашики и Охама [16],

В.И.Соломатовым [17], Сталкиным [18], Патуроевым [19], Вильсоном [20], Крипсом [21] и др.

К настоящему времени достаточно полно разработаны теоретические основы получения эффективных высококачественных бетонов различного назначения и повышения эксплуатационной надежности путем управляемого структурообразования на всех этапах производства за счет использования композиционных вяжущих веществ, применения комплексных химических модификаторов и активных минеральных компонентов.

Успехи химии в области синтеза полимеров открывают практически неограниченные возможности для изготовления материалов с самыми разнообразными свойствами. Открытие новых способов синтеза и модифицирования полимеров позволяет получать новые виды мономеров и олигомеров, сополимеров – блоксополимеров и привитых сополимеров. В то же время необходимо отметить, что полимерные материалы, и в том числе синтетические смолы, еще сравнительно дороги и дефицитны, поэтому применение их в строительстве наиболее рационально в виде высоконаполненных композиций [22].

В производстве используются материалы, которые удачно совмещают в своем составе органические и неорганические компоненты, причем эти изделия обладают высокой прочностью и легкостью. Объединение в одну систему минерального скелета и полимеров позволяет получить новые композиционные материалы, отличающиеся более высокими свойствами, чем традиционные материалы [23-25].

Конструкционные полимербетоны не пропускают и практически не поглощают воду. Полимербетоны на основе термопластичных связующих возможно применять как внутри помещений, так и на открытом воздухе. Основные свойства полимербетонов приведены ниже:

Свойства строительного полимербетона [26].

Прочность, МН/м<sup>2</sup>

-при сжатии – 50...120

-при изгибе – 12...40

-при растяжении 6...20

Ударная вязкость, кДж/м<sup>2</sup> – 10...20

Теплостойкость, °С:

-на основе фурановых смол – 150...200

-на основе эпоксидных смол – 80...120

-на основе полиэфиров – 70...140

-на фенольной основе – 120...180

Водопоглощение за 30 суток, % - 0,2...15

Плотность, кг/м<sup>3</sup>:

-на основе полиэтилена – 1000...2000

-на основе полипропилена – 1200...2100

-на основе полиамида – 1200 ...2100.

Таблица 1.3 - Химическая стойкость полимербетона и обычного бетона в различных средах (по 10-балльной шкале)

Вид полимербетона	кислоты	окислители	щелочи	соли	растворители	масло и нефтепродукты
Фурановый	10	2	9	10	8	8
Эпоксидный	9	3	8	10	6...7	9
Полиэфирный	8...9	6...7	3...4	8..10	4...5	7...9
Фенольный	9...10	3...4	5...7	10	7	8
На основе портландцемента	1	1	9	5	5...7	5...6

Анализ приведенных сведений показывает, что плотность и прочность полимербетонных достаточно высокие, что позволяет прогнозировать возможность их использования в машиностроении. Приведенные сведения позволяют установить основные преимущества полимербетонных.

Преимущества полимербетона:

1. Повышенная водонепроницаемость
2. Высокая устойчивость перед перепадами температуры.
3. Быстро испаряющаяся вода с гладкой поверхности изделий из полимербетона не позволяет образовываться трещинам и дефектам
4. Устойчивость перед агрессивными средами
5. Высокая прочность
6. Относительно небольшая масса
7. Гладкая и нескользкая поверхность
8. Высокое сопротивление к истиранию

Полимербетонные представляют собой новые эффективные химически стойкие материалы, у которых степень наполнения минеральными наполнителями и заполнителями доходит до 90-95% массы. Эти новые материалы, созданные 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 полимербетонные обладают высокой плотностью, прочностью, химической стойкостью и многими другими положительными свойствами. Соответствующий выбор связующего, наполнителей и заполнителей позволяет получать полимербетонные с высокими диэлектрическими характеристиками или, наоборот, обладающие хорошей электропроводностью. Разработаны составы специальных бетонов с высокими защитными свойствами от различных излучений. 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. Например, разработаны составы тяжелых

полимербетонов плотностью 2200-2400 кг/м<sup>3</sup>, имеющих предел прочности на сжатие: на основе фенолоформальдегидных смол 40-60, карбамидных 50-80, полиэфирных 80-120 и фураново-эпоксидных до 160 МПа [27].

Среди наиболее интересных областей применения полимербетонов в зарубежной практике следует отметить использование полимербетонов для изготовления труб, коллекторов, емкостей для хранения агрессивных жидкостей при строительстве подводных сооружений, ремонте и восстановлении строительных конструкций. Новым и весьма эффективным является использование полимербетонов (вместо металла) для изготовления корпусов редукторов, центробежных насосов и тому подобных изделий, а также станин высокоточных станков.

В настоящее время в зарубежных странах для изготовления полимербетонов применяют около 10 типов различных мономеров или олигомеров, которые в комбинациях с модифицирующими добавками позволяют получить более 30 разновидностей полимербетонов. Однако наибольшее предпочтение по-прежнему уделяется полимербетонам на основе полиэфирных и эпоксидных смол и мономера метилметакрилата (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Характеристики полимербетонов на основе полиэфирных и эпоксидных смол

Содержание (асбофрикционных отходов) в композите, %	Полимерная матрица			
	эпоксидная		полиэфирная	
	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении (при изгибе), МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении (при изгибе), МПа
0	37,83	11,68	39,78	11,05
3	40,46	12,5	39,92	12,51
5	36,9	12,0	34,26	14,94

Расчеты ученых показали, что если принять условные энергозатраты на единицу массы при производстве бетона равными 1, то для полимербетонов они будут составлять 2,5, стали 5-7, фарфора для изоляторов 5-10 и алюминия 7,5-10. Если ввести коэффициент экономической эффективности (отношение экономического эффекта от улучшения свойств к стоимости материала) и принять его равным 1 для обычного бетона. Эти данные подтверждают высокую экономическую эффективность применения полимербетонов в различных отраслях промышленности и строительства.

По классификации [28] специальные бетоны с добавками полимеров или на их основе (П-бетоны) делятся на следующие виды минералопolyмерные бетоны (МПБ) – бетоны с минеральными наполнителями, обработанными полимерами; полимернаполненные бетоны (ПНБ) кроме минеральных наполнителей и заполнителей содержат полимерные наполнители; модифицированные бетоны (МБ) – бетоны с малыми добавками полимеров; фибробетоны (ФБ) – бетоны, армированные стальным, стеклопластиковым или полимерным волокном. Полимерцементные бетоны (ПЦБ) представляют собой цементные бетоны, в процессе приготовления, которых в смесь добавляют кремнийорганические или водорастворимые олигомеры и полимеры, водные эмульсии типа поливинилацетатной, водорастворимые эпоксидные смолы и др. Полимерсиликатные бетоны (ПСИБ) - кислотостойкие бетоны на основе жидкого стекла, в состав которых в процессе приготовления вводят полимерные добавки. Введение в состав таких бетонов фурилового спирта или некоторых других олигомеров делает полимерсиликатные бетоны практически непроницаемыми для растворов различных кислот. Бетонополимеры (БП) – цементные бетоны, которые после завершения процессов твердения и структурообразования подвергаются сушке и пропитке различными мономерами или олигомерами с их последующей радиационной или термокаталитической полимеризацией в норовой структуре бетона. Пропитка цементных бетонов мономерами или олигомерами обеспечивает возможность получения бетонополимеров, обладающих высокими плотностью и прочностью; серные и полимерсерные бетоны (ПСБ) – высоконаполненные композиции на основе расплавленной серы с различными модифицирующими добавками и минеральных заполнителей и наполнителей без использования минеральных вяжущих и воды; полимербетоны – высоконаполненные композиции, полученные на основе синтетических смол или мономеров и химически стойких наполнителей и заполнителей без участия минеральных вяжущих и воды.

К бетонополимерам с определенной натяжкой можно отнести и бетоны, пропитанные серой. Пропитка цементных бетонов расплавленной серой позволяет получать серные и полимерсерные бетоны с более низкими прочностными характеристиками, чем у бетонополимеров, но стоимость серы в 10 раз ниже стоимости мономеров, а процесс пропитки значительно проще.

Полимербетоны содержат в своем составе не менее трех фракций наполнителей и заполнителей: мелкодисперсные наполнители с размером частиц менее 0,15мм, заполнители – песок с размером зерен до 5 мм и щебень с размером зерен до 50мм. В отличие от полимербетонов полимеррастворы не содержат в своем составе щебня, мастики содержат только одну мелкодисперсную фракцию наполнителя.

Учитывая, что полимербетоны обладают более высокими положительными характеристиками по сравнению с другими видами бетонов и нашли наибольшее практическое применение в различных отраслях промышленности, этим материалам в дальнейшем и уделяется основное внимание.

Основные свойства полимербетонов определяются химической природой синтетической смолы, видом и содержанием мелкодисперсной фракции наполнителей. Крупные фракции заполнителей (песок и щебень), выполняя в основном роль скелета, влияют на основные физико-механические свойства в меньшей степени. Поэтому для неармированных материалов после слова «полимербетон» указывают сокращенное название полимерного связующего и вид мелкодисперсного наполнителя; для армированных материалов перед названием материала упоминают вид армирования, например, полимербетон ФАМ на андезите, полимербетон ПИ на маршаллите, сталеполимербетон ФАМ на аглопорите и т.д.

Полимербетоны могут быть получены как на основе терморезактивных, так и термопластичных полимеров. В то же время следует отметить, что полимербетоны, предназначенные для изготовления несущих строительных конструкций, изготавливают в основном на основе терморезактивных смол, термопластичные же полимеры в большинстве случаев используются для полимербетонов, которые применяют в защитных облицовках и в виде декоративно-отделочных материалов.

Из большого разнообразия терморезактивных и термопластичных смол эпоксидные и полиуретановые смолы еще дороги и дефицитны, поэтому полимербетоны на фурановых, фенольных, полиэфирных, карбамидных смолах и мономере ММА в настоящее время находят наибольшее распространение. Особенно перспективны для несущих конструкций легкие химически стойкие полимербетоны, на пористых заполнителях с плотностью  $\rho=1600\dots1800$  кг/м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие  $\sigma=60\dots80$  МПа. Все шире используются полимербетоны на фенольных и ацетоноформальдегидных смолах. Полимербетоны на фураново-эпоксидных компаундах типа ФАЭД применяются в гидротехнических сооружениях.

Весьма целесообразны сверхлегкие теплоизоляционные полимербетоны для ограждающих конструкций на основе карбамидных смол и полиизоцианатных композиций с использованием в качестве легких заполнителей перлита и пеностекла с плотностью 400...500 кг/м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие 5...6 МПа.

Удобоукладываемость полимербетона так же, как и цементных бетонов, определяется жесткостью смеси. Жесткость полимербетонных смесей зависит от вида и принятого количества синтетической смолы, от дисперсности наполнителя и соотношения между фракциями наполнителя и заполнителей. По жесткости полимербетонные смеси можно разделить на четыре основные группы. При этом меньшие значения количества смолы относятся к тяжелым бетонам, а большие – к легким на пористых заполнителях.

### **1.3 Редукторы приводов горных и металлургических машин**

Проведенный мониторинг оборудования, используемого на предприятиях горно – металлургического комплекса показал, что оно эксплуатируется в тяжелых условиях. К ним относятся высокая влажность, загазованность, высокая температура, запыленность и ряд других факторов. Это требует изготовления

оборудования из дорогостоящих материалов, повышенной толщины корпусов, сложности их изготовления и обслуживания. Все эти факторы удорожают изготовление и эксплуатацию оборудования, приводят к снижению срока его службы. Поэтому актуален поиск материалов, которые могли бы минимизировать изложенные выше недостатки [28, 20 с.].

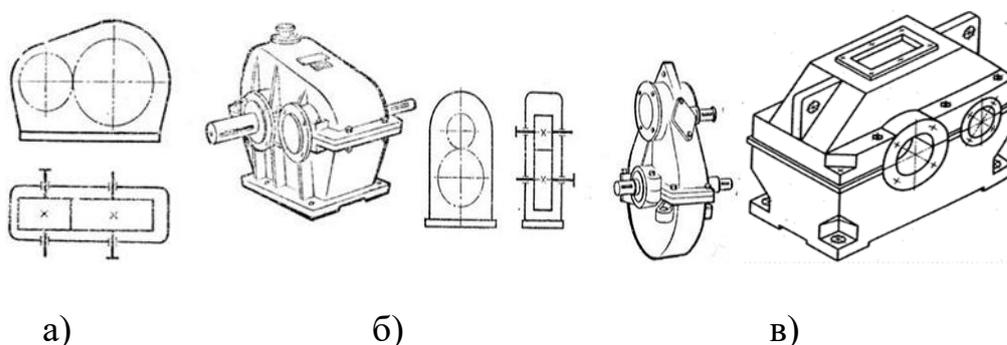
Анализ используемого оборудования показал, что на каждом горном и металлургическом предприятии эксплуатируется большое количество редукторов и модернизация их корпусов путем замены материалов, из которых они изготовлены, это актуальная проблема.

Корпуса редукторов являются их базовыми деталями и предназначены:

- для размещения и обеспечения необходимого взаимного расположения деталей и узлов передаточных механизмов редуктора;
- восприятия нагрузок, действующих в редукторе, и передачи их на подредукторную плиту или раму;
- организации системы смазывания рабочих поверхностей зубчатых колес и подшипников редуктора;
- защиты деталей и узлов передач редуктора от их загрязнения инородными частицами окружающей среды;
- защиты смазочного материала, используемого в редукторе, от его выброса (при эксплуатации редуктора) в окружающую среду;
- отвода в окружающую среду теплоты, образующейся при работе редуктора.

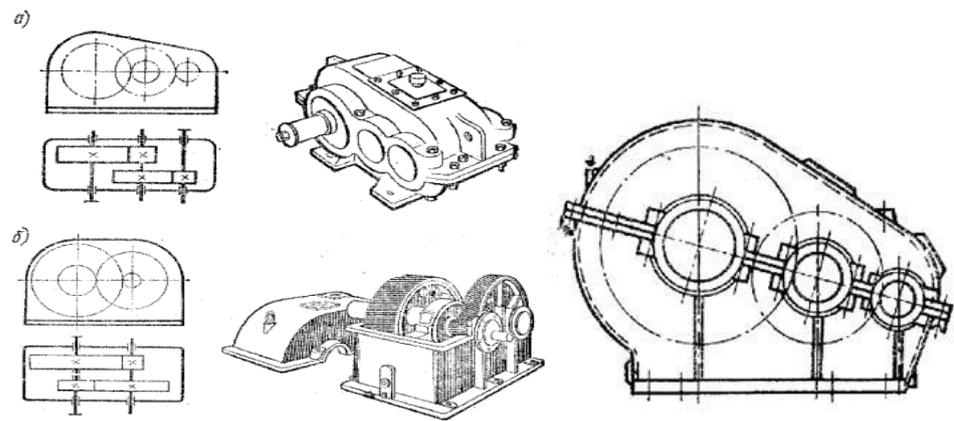
Корпусные детали наиболее металлоемкие. На их долю приходится до 80% всей массы изделия. Значительные размеры и сложная конфигурация сильно усложняют процесс изготовления таких деталей.

Форму редукторных корпусов (рисунки 1.3-1.7) определяют в основном взаимное расположение деталей и узлов передаточных механизмов редуктора, требования технологии их изготовления, эксплуатации и дизайна. Учитываются также требования прочности и жесткости. Наибольшее распространение получили корпуса, основу коробчатой конструкции которых образуют плоские и цилиндрические поверхности, как более простые в изготовлении.



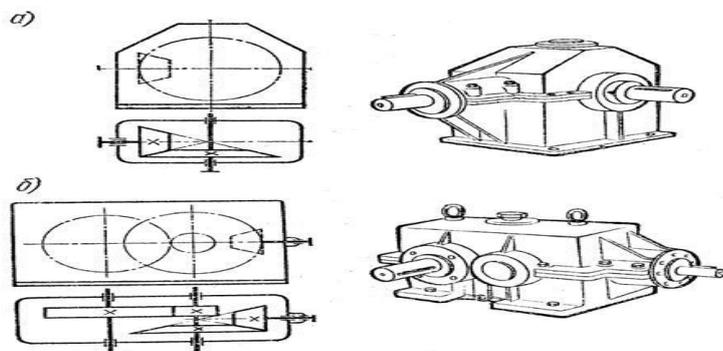
а – горизонтальный; б – вертикальный; в – с корпусом, выполненным с учетом требований современных норм промышленной эстетики

Рисунок 1.3 – Кинематические схемы и внешний вид некоторых разновидностей одноступенчатых цилиндрических редукторов



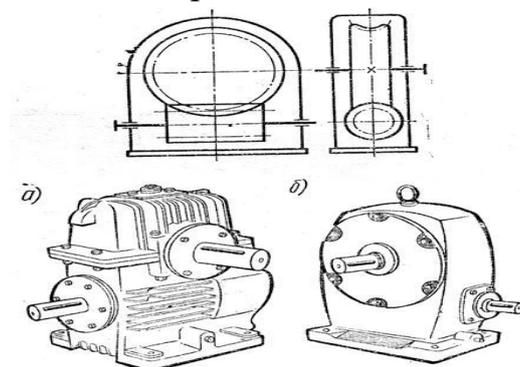
а – выполненный по развернутой схеме; б – соосный однопоточный;  
в – с корпусом, имеющим наклонный (к его основанию) разъем

Рисунок 1.4 – Кинематические схемы и внешний вид некоторых разновидностей цилиндрических двухступенчатых редукторов



а – одноступенчатый; б – коническо-цилиндрический двухступенчатый

Рисунок 1.5 – Кинематические схемы и внешний вид некоторых разновидностей горизонтальных конических редукторов



а – разъемный корпус; б – неразъемный корпус

Рисунок 1.6 – Кинематическая схема и внешний вид червячных редукторов с нижним расположением червяка

Корпусные детали редукторов, несмотря на разнообразие их форм и размеров, имеют общие конструктивные элементы (стенки, приливы, фланцы, ребра, бобышки), соединенные в единое целое.

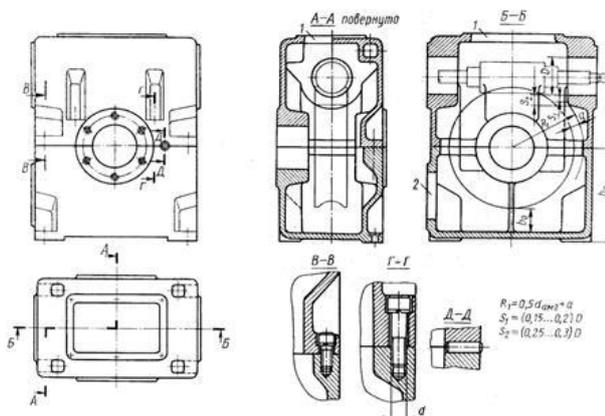
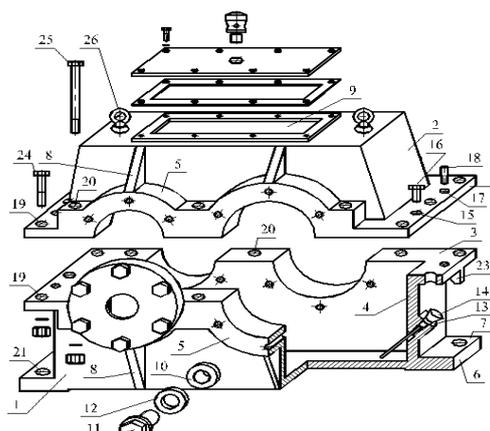


Рисунок 1.7 – Пример конструктивного оформления разъемного корпуса червячного редуктора с верхним расположением червяка, выполненного с учетом требований современных норм промышленной эстетики

На рисунке 1.8 приведены основные элементы корпуса типичного редуктора:



1- основание; 2- верхняя крышка; 3- поверхности под крепежные детали, выравнивающие поверхность под гайки и головки болтов; 4- стенки; 5- бобышки для отверстий установки подшипников; 6- фланцы для крепления крышки и корпуса; 7- ниши или фланцы для крепления корпуса к плите или раме; 8 - ребра жесткости; 9 - смотровой люк; 10 - бобышка с резьбовым отверстием для установки пробки 11 с уплотнительным кольцом 12 в отверстие для слива масла; 13 - бобышка с резьбовым отверстием для установки маслоуказателя 14; 15 - резьбовые отверстия для отжимных болтов 16; 17- отверстия для конических (цилиндрических) штифтов 18, используемых для фиксации крышки и корпуса; 19 - 21 отверстия для установки винтов шпильки) 24-25, служащих для крепления крышки с корпусом и корпуса с рамкой (плитой); 22 - отверстия для установки подшипников крышек подшипников; 23 - проушины или рым-болты 26 для транспортировки основания и крышки и т.д.

Рисунок 1.8 – Конструктивные элементы корпуса редуктора

С увеличением размеров элементов корпуса увеличиваются его материалоемкость, масса, трудоемкость изготовления и стоимость.

В связи с тем, что обычно корпуса редукторов – малонапряженные детали, размеры их элементов (толщину стенок, приливов и пр.) определяет в основном не прочность, а жесткость, необходимая для обеспечения работоспособности кинематических пар редуктора (зубчатых зацеплений, подшипников и др.). Требуемую жесткость достигают оптимизацией формы и размеров элементов корпуса, а также за счет рационального размещения ребер жесткости.

У большинства редукторов (для удобства монтажа деталей и узлов его передач) корпус выполняют разъемным в плоскости осей редукторных валов. В таком случае корпус, как правило, состоит из двух корпусных деталей: нижней, называемой *картером*, и верхней, называемой *крышкой картера* (рисунок 1.8).

Для удобства механической обработки плоскость разъема чаще всего располагают параллельно плоскости основания корпуса. Косой разъем (рисунок б, в) выполняют лишь для снижения габаритов и массы корпуса, а также улучшения условий смазывания зубчатых зацеплений передач редуктора в случае погружения колес всех его ступеней в масляную ванну при большой разнице диаметров этих колес.

Наличие разъема снижает жесткость корпуса, повышает стоимость его изготовления (стыкуемые в разъеме поверхности деталей корпуса должны быть чисто и точно обработанными, необходимы отверстия под крепежные детали), требует дополнительных расходов на детали крепления стыкуемых частей корпуса (болты, гайки и др.). Одновременно разъем дает возможность каждый вал редуктора со всеми расположенными на нем деталями (зубчатыми колесами, подшипниками, дистанционными втулками и др.) выделить в самостоятельную сборочную единицу, которую собирают и контролируют заранее, независимо от других валов, а затем (при общей сборке редуктора) без затруднений размещают в корпусе редуктора.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что целесообразно изменить конструкцию корпуса редуктора, используя композитные современные материалы и технологию его изготовления, исключив механическую обработку деталей.

Основными проблемами при изготовлении корпусов редукторов является длительный период производства, необходимость в металлургических переделах, сварочных технологиях и термообработке.

Основными методами получения заготовок для корпусных деталей являются литье и сварка. Литье заготовки получают литьем в песчано – глинистые формы, в кокиль, под давлением, в оболочковые формы и т.д. Выбор метода литья зависит от условий производства, необходимой точности отливки, размеров изделия, материала и др. Материалом для отливок в настоящее время являются: серый чугун, сталь, бронза, литейная латунь, алюминиевые и магниевые сплавы [29].

Уже в начале XX века применяемые конструкционные материалы практически исчерпали свои возможности. В настоящее время изменились не

только требования к качеству изделий, но и многообразные требования к технологии производства и эксплуатации машин и механизмов: штампуемость, обрабатываемость резанием, свариваемость, прокаливаемость, хладостойкость, коррозийная стойкость, стойкость к старению и др.

Сегодня в XXI веке наметилась тенденция изготовления различных изделий из композиционных материалов. В частности в промышленности строительных материалов большое распространение получили полимербетоны [30]. Они используются для изготовления «искусственного камня», наливных полов, художественных декораций (ландшафт, интерьер, архитектура) фонтанов, аквапарков, искусственных водопадов, облицовочной и тротуарной плитки и других объектов.

Использование полимербетонов в машиностроении, как показал анализ литературных источников и практики производства весьма ограничен.

Производители высокоскоростных станков используют полимербетон в качестве материала станин, рам, порталов станков, поскольку он обладает величиной логарифмического затухания в 10 раз выше, чем чугун. Уникальность демпфирования и жесткости полимербетона, малая масса (в 3...5 раз меньше по сравнению со сталью) делают его весьма перспективным для использования в машиностроении.

### **Выводы по разделу 1**

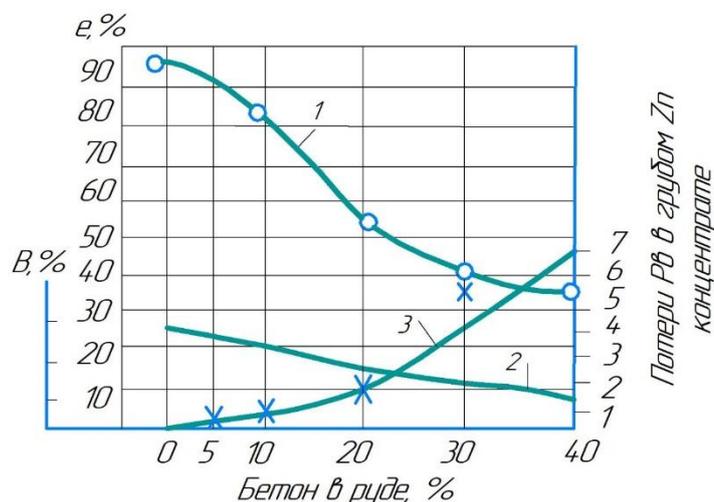
Проведенный в настоящем разделе диссертаций анализ состояния вопроса – расширения в горном производстве использования композиционных материалов показал, что в настоящее время мало исследований, которые бы обосновали возможность, эффективность и экономичность использования таких новых материалов. Для этих целей, как показал анализ необходимо решить ряд научно-технических и проектно-конструкторских задач.

1. По направлению использования армированной закладки:
  - обосновать применение определенного типа армирующего элемента;
  - установить рациональное количество армирующего элемента;
  - предложить рациональные составы закладки с армирующим элементом;
  - разработать технологию приготовления армированной закладки.
2. По направлению использования полимербетона для изготовления корпусов редукторов:
  - исследование работы корпуса редуктора;
  - изыскание рациональных компонентов для полимербетона;
  - изыскание рационального состава полимербетонной смеси для изготовления корпуса редуктора и экспериментальное его подтверждение;
  - конструкторско – технологическая разработка оснастки для литья, корпуса редуктора из полимербетона;
  - экспериментальные исследования технологии отливки корпуса редуктора из полимербетона;
  - полупромышленные испытания корпуса редуктора из полимербетона;
  - оценка экономической эффективности применения корпусов редукторов из полимербетона.

## 2 УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ АРМИРОВАНИЕМ БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ

### 2.1 Армирование композиционных материалов

Искусственный закладочный массив должен выдерживать статические нагрузки от веса налегающей толщины пород и собственного веса, а также противостоять сжимающим и растягивающим усилиям от сейсмического воздействия взрывных работ при выемке руды из камер, содействующих с заложеными ранее. Это может привести к разрушению контактного слоя искусственного закладочного массива. Попадание закладочного материала в рудную массу ощутимо влияет на качество извлечения металла при обогащении методом флотации. По данным исследовательской лаборатории Зырянской обогатительной фабрики перемешивание закладочного материала в отбитую руду в количестве 1% снижает извлечение свинца и цинка на 3...4% ( рисунок 2.1)



1- извлечение свинца в черновом свинцовом концентрате; 2- содержание свинца в черновом свинцовом концентрате; 3- потери свинца.

Рисунок 2.1 - Показатели извлечения свинца при разубоживании закладкой (бетоном)

Поэтому дальнейшее совершенствование используемых материалов для закладочных работ должно предусматривать как улучшение их механических характеристик, так и использование эффективных наполнителей, в частности неметаллических армирующих материалов, обеспечивающих сопротивление воздействию ударных нагрузок от взрывных работ.

Наибольший опыт армирования композиционного материала – бетона накоплен в промышленности строительных материалов.

Для повышения надежности бетонных конструкций используется армирование.

Армирование – это способ увеличения несущей способности конструкции материалом, имеющим повышенные прочностные свойства относительно основного материала изделия.

Для повышения надежности бетонных конструкций используется армирование.

Бетон:

- способен воспринимать значительные сжимающие нагрузки на единицу площади изделия;
- быстро теряет целостность при растягивающих нагрузках и воздействии крутящих моментов.

Усиление бетона – это метод повышения прочностных характеристик материала путем армирования.

Для этих целей применяются следующие материалы [31]:

- стальная арматура;
- базальтовые нити;
- прочная фибра;
- стеклянные волокна.

Тот или иной материал, применяемый для армирования бетона имеет свои положительные характеристики и вместе с тем имеет и отрицательные свойства.

Назначение армирования [32] :

- повышение прочностных характеристик;
- снижение вероятности образования трещин в изделии.
- увеличение несущей способности;
- обеспечение равномерного распределения действующих усилий.

Для укрепления бетонных конструкций в строительстве применяется арматура, изготовленная из различных материалов. Наиболее широко используются металлические элементы, отличающиеся следующими:

- способом изготовления;
- методом упрочнения;
- профилем поперечного сечения стержня;
- способом использования.

С целью повышения прочностных характеристик бетонных конструкций в настоящее время в строительстве используют различные типы силовых элементов [33]:

- каркасные конструкции;
- сетки для армирования.

Армирование может быть

- монолитное. Метод заключается в каркасном монтаже прутьев в один или несколько слоев, которые соединены проволокой по вертикали и в поперечном направлении;

- дисперсное. Оно являет собой добавку в незатвердевшую смесь мелкодисперсной добавки – фибры;

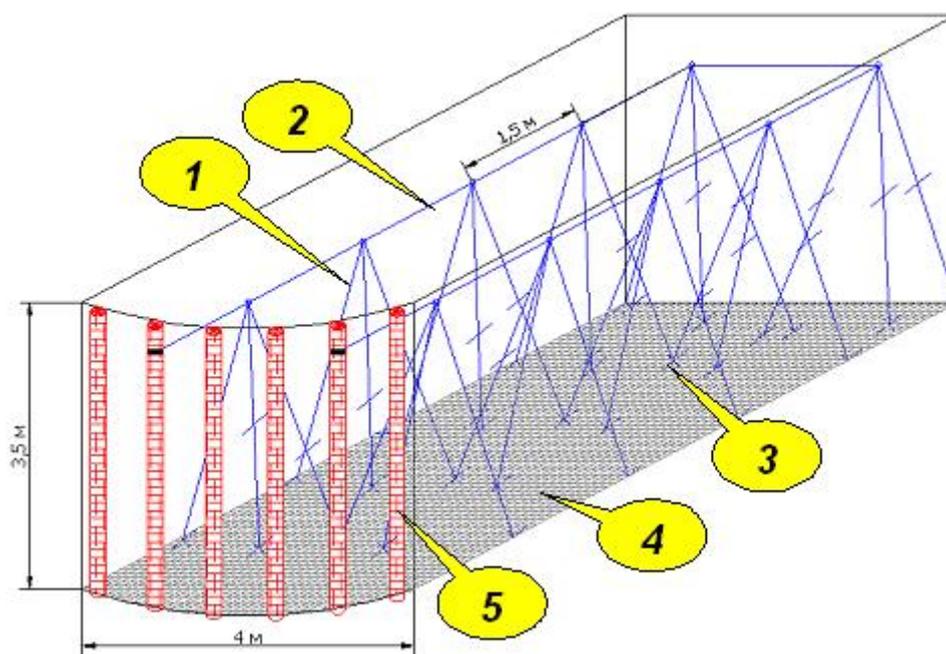
- с помощью сетки. Она может быть железной, композитной или полимерной.

Искусственный твердеющий закладочный массив по своей сути является низкомарочным бетоном. В настоящее время, в основном, по технологическим требованиям используются твердеющие смеси без крупного заполнителя [34].

При эксплуатации закладочного массива на него воздействуют различные виды усилий. Среди них:

- масса самого искусственного целика;
- сейсмические факторы.

Они отрицательно воздействуют на прочность неукрепленного бетона. Для повышения прочностных характеристик материал укрепляют с помощью армирования. В качестве примера рассмотрим технологию армирования закладочного массива, используемую на Орловском руднике ТОО «Востокказмедь» приведенный на рисунке 2.2 [35].



1 – арматурные стержни; 2 – связующая проволока; 3 – поддерживающие элементы; 4 – сварная металлическая сетка; 5 – стойки закладочной перемычки

Рисунок 2.2 - Армирование слоевых заходок при нисходящей слоевой системе разработки на Орловском руднике

Упрочнение закладочного массива производится путем укладки на почву очистных заходок арматурных спиральных элементов из проволоки диаметром 5-6 мм, которые должны быть соединены между собой стяжками из проволоки того же диаметра.

Для снижения затрат на крепление были проведены промышленные эксперименты по замене арочной металлической крепи разрезных штреков комбинированный армировкой несущих слоев закладки отработанного

вышележащего слоя. По предложению работников Жезкентского ГОКа в отработанных заходках перед их закладкой возводится армировка, состоящая из:

- горизонтальной сварной металлической сетки на почве слоя;
- вертикальных анкеров, у которых нижний изогнутый в виде крюка конец заводят под жёсткую армирующую сетку;
- дополнительного сочленения горизонтальной сетки и вертикальных анкеров подхватами из отрезков металлической арматуры под крюками;
- горизонтальной растяжки из проволоки на высоте верхних концов анкеров для их фиксации перед заливкой закладки.

После возведения армировки производят закладку выработки твердеющей смесью двумя слоями: нижний, несущий слой мощностью 1,5 м закладкой с нормативной прочностью 4 МПа с расходом цемента  $250 \text{ кг/м}^3$ , верхний слой с нормативной прочностью 1,5 МПа с меньшим расходом цемента.

В ходе отработки нижележащего слоя закладка вышележащего слоя представляет собой искусственную кровлю, а ее армировка оказывается комбинированной крепью, установленной предварительно, до момента ее обнажения.

Однако такой способ весьма затратен и небезопасен, поскольку установка армировки производится в выработанном пространстве. Поэтому наиболее целесообразным следует считать армирование закладки с использованием базальтового волокна, либо различных фибр.

Закладка, армированная волокнами, является композиционным материалом с характерными для него особенностями и свойствами. Обычно в таких материалах сочетаются с одной стороны небольшой прочностью затвердевшая пластическая смесь, а с другой – это материал, характеризующийся значительным сопротивлением разрыву и более высоким по сравнению со смесью модулем упругости армирующего волокна рассредоточенного в закладочной смеси.

Как и в традиционно армированных структурах, упрочнение волокнами или фибрами закладки основывается на том, что волокнам передается приложенная нагрузка посредством касательных сил, действующих на поверхности раздела, и, если модуль упругости армирующих элементов больше модуля упругости смеси, то основную часть приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность закладочного массива пропорциональна их объемному содержанию.

Эффективность работы закладки с упрочняющими их базальтовыми волокнами зависит от характера их расположения и ориентации в массиве. Можно выделить два варианта армирования: с явной ориентацией волокнистого наполнителя в направлении действующих усилий и армирование волокнами (в основном ограниченной длины) с произвольной ориентацией в массиве. Повышение прочности на растяжение цементного камня в последнем случае объясняется тем, что волокна при свободной ориентации и достаточной равномерности распределения в материале способны воспринимать усилия практически любого направления и тем самым препятствовать образованию и

развитию трещин в цементном камне. В структурном отношении цементный камень неоднороден и имеет ориентированные в различных направлениях микродефекты, которые при силовых воздействиях могут привести к появлению трещин. Волокна тормозят движение микродефектов в закладочном массиве. Если образование трещин все же произошло, то, блокируя возникшую трещину практически со всех сторон, волокна препятствуют ее дальнейшему росту и развитию. Это происходит до тех пор, пока не преодолено сопротивление волокнистой арматуры на разрыв или не нарушено ее сцепление с цементной матрицей.

При получении закладочных смесей, упрочняемых арматурой в виде волокон, возникает необходимость в правильном подборе, рациональном сочетании исходных компонентов закладки, связанных с технологией их приготовления.

## 2.2 Эффективные материалы для армирования твердеющей закладки

Как указано выше для армирования композиционных материалов типа бетонов используется стальная арматура. Однако для ведения закладочных работ ее применение сложно, мало технологично и экономически дорого. Более прогрессивным следует считать применение различных типов фибры и базальтового волокна [36].

Из различных типов фибры по условиям технологичности возможно применение в качестве армирующего элемента стальной фибры.

Виды стальных фибр приведены на рисунке 2.3



Фибра волнистая стальная



Фибра стальная анкерная



Витая стальная микроарматура

Рисунок 2.3 - Виды стальных фибр

Стальная фибра представляет собой хорошую альтернативу привычному армированию конструкций из бетона. Применение стальной фибры существенно укрепляет бетоны на растяжение и изгиб, придавая конструкциям хорошие качественные характеристики.

Стальной фиброй называют волокна повышенной прочности, добавляемые в бетон в процессе замешивания. Это способствует повышению ударной прочности бетонов, увеличивают стойкость к растрескиванию и повышает несущие способности конструкций. Фибра стальная удачно заменяет металлические сетки и арматурный прут, обеспечивая лучшие характеристики бетону.

Фибра – это вспомогательный строительный материал, представляющие собой синтетические волокна, используемые для микроармирования бетонных конструкций. Зачастую фибру добавляют также в сухие смеси и растворы с целью повышения их свойств и характеристик. С появлением этого материала застройщики избавились от большой части хлопот, связанных с заливкой бетона, теперь многочисленные процессы значительно ускорились и упростились, а готовые объекты стали надежнее и долговечнее.

Базальтовое волокна производят из базальтовых пород путем их плавления и приобразования расплава в волокна. Базальты – породы магматического происхождения, природное сырье.

Производят и применяют базальтовые непрерывные волокна, штапельные короткие волокна и супертонкие волокна. Для армирования используются базальтовые непрерывные волокна.

Производство базальтового волокна основано на плавлении базальтового сырья и выработке волокон из расплава через фильерные питание или устройства волокнообразования [37].

В настоящее время разработаны промышленные технологии и оборудование для производства базальтового непрерывного волокна БНВ, созданы заводы для выпуска БНВ [38].

На рисунке 2.4 приведены виды базальтового волокна, выпускаемые промышленностью.



Базальтовое волокно  
в композиционных материалах



Композиты, армированные  
базальтовым волокном



Непрерывные базальтовое волокна



Бобина ровинга



Крученая нить



Рубленое волокно

Рисунок 2.4 – Виды базальтовых волокон



1. Ударная прочность повышается в 5 раз;
2. Устойчивость к образованию трещин возрастает в 3 раза;
3. Прочность на раскалывание увеличивается в 2 раза;
4. Повышается стойкость к истиранию (до 300%) и долговечность;
5. Прочность на растяжение при изгибе увеличивается до 300%;
6. Морозостойкость повышается в 2 раза;
7. Благодаря отсутствию трещин устойчивость к коррозии повышается до 500%;
8. Водонепроницаемость увеличивается до 150%;
9. Уменьшается усадка;
10. Повышается ударная вязкость.

### **2.3 Методика проведения исследований упрочнения твердеющей закладки базальтовым волокном**

Как установлено ранее наиболее перспективным материалом для армирования твердеющей закладки следует считать базальтовое волокно. Для экспериментального подтверждения предлагаемого способа упрочнения закладки необходимо решить две задачи.

Первая- это установление факта эффективного повышения прочности армированной закладки по сравнению с традиционной и выявление закономерностей динамики этого процесса.

Вторая задача – установление оптимальной добавки базальтового волокна для упрочнения твердеющей закладки.

Для проведения экспериментальных исследований для решения этих задач была использована следующая методика.

В качестве базового состава закладочной смеси использовался состав, применяемый на Маллевском руднике Зыряновского горно- обогатительного комплекса ТОО «Казцинк» [40, 36 с.].

Состав закладочной смеси в расчете на 1,0 м<sup>3</sup> :

- Цемент марки М 400, кг.....200
- Измельченный инертный заполнитель, кг.....1650
- Вода, кг.....450.

Плотность смеси составляла 1975 кг/м<sup>3</sup>, подвижность  $\geq 11$  см. В возрасте 90 суток прочность такой закладки составляла 4,0 МПа.

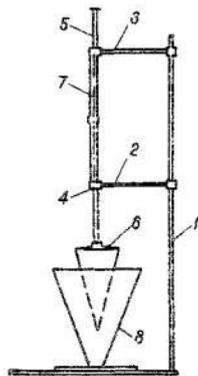
Все компоненты смеси помещались в лабораторную мельницу со стандартной шаровой загрузкой, где перемешивались в течение 5 минут. Затем эксперименты повторялись с добавкой с смесь базальтового волокна в различном объеме.

С целью уменьшения количества экспериментов был использован метод крутого восхождения Бокса – Уинсона [41].

Проведенным анализом установлено, что наибольшими влияющими факторами при приготовлении полимербетона следует считать скоростной режим смешивания, время перемешивания компонентов, а также температуру смолы.

С целью минимизации количества экспериментов был выбран шаг каждого фактора. При этом учитывалось, что малые шаги могут не позволить зафиксировать изменение параметра оптимизации и удлиняют поиск, а верхний предел шага лимитируется областью определения фактора. При этом движение осуществлялось от центра эксперимента (основного уровня) к периферии (верхнего и нижнего уровней).

У готовой закладочной смеси определялась ее подвижность по осадке (внедрению) стандартного конуса (рисунок 2.5) [42].



1-штатив; 2,3- держатели; 4-пусковой винт; 5-скользящей стержень; 6- конус с балластом весом  $300\pm 2$  г высотой 180 мм и основанием диаметром 150 мм; 7- шкала для отсчетов; 8- сосуд для свежеприготовленного раствора

Рисунок 2.5 - Прибор для определения подвижности закладочных смесей на мелком заполнителе

Конус, высота которого равна 150 мм, угол при вершине  $30^\circ$  и диаметр основания 75 мм имеет массу  $300\pm 2$  г. Сосуд, в который укладывают испытываемую смесь, имеет форму усеченного конуса. Высота сосуда равна 180 мм, диаметр основания 150 мм. Испытуемая смесь укладывается в сосуд и уплотняется штыкованием (25 раз) стальным стержнем диаметром 10-12 мм, затем встряхивается 5-6 раз, легко постукивая о стол. Сосуд устанавливается на подставку, острие конуса приводится в соприкосновение с поверхностью смеси. Затем штанга опускается до соприкосновения со стержнем конуса и устанавливается против стрелки нуль циферблата. Нажатием пружинной кнопки конус освобождается и свободно погружается в закладочную смесь. Через 10с штанга опускается до соприкосновения со стержнем конуса и определяется глубина погружения с точностью до 0,2 см. Величина подвижности определялась как среднее арифметическое двух испытаний.

Из готовой закладочной смеси для определения прочности закладки на сжатие изготавливались образцы кубики размером 100x100x100мм.

Для закладки образцов – кубов отбирали среднюю пробу закладочной смеси из мельницы. Массу средней пробы устанавливали в зависимости от числа подлежащих изготовлению и испытанию образцов. Объем отбираемой пробы смеси должен превышать требуемый для изготовления контрольных образцов в

полтора – два раза. Для каждого испытания готовилось по три образца. Стандартные сроки испытаний составляли 14,28,60 и 90 суток в зависимости от принятой технологии горных и закладочных работ.

Образцы изготавливали в разборных стальных формах со строганной внутренней поверхностью. Формы должны быть достаточно жесткими, не деформирующимся во время формования образцов с соединениями элементов, исключая потерю цементного молока при формовании. Размер форм для закладочных смесей (рисунок 2.6) составлял 100x100x100 мм.

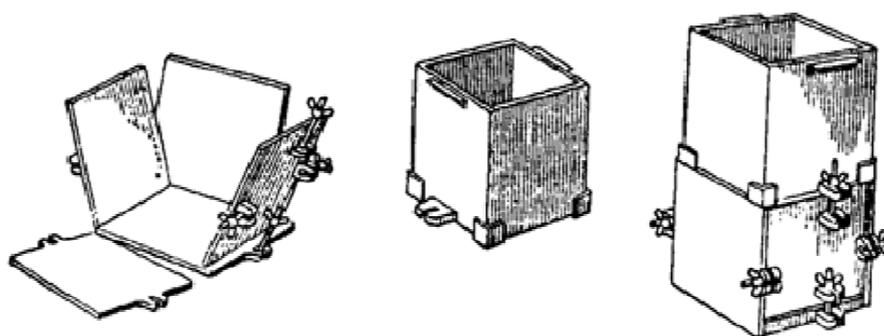


Рисунок 2.6 - Формы для отбора образцов – кубов закладки

Перед укладкой смеси формы очищали от остатков затвердевшей смеси и внутреннюю поверхность смазывали отработанным минеральным маслом или смазкой, препятствующими сцеплению затвердевшей закладки с поверхностью форм. Укладка смеси в формы должна быть закончена не позднее, чем через 15 минут после ее приготовления.

Закладочную смесь укладывали в формы в два слоя равной толщины и каждый слой уплотняли штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 мм по спирали от краев к центру образцов. Число штыкований каждого слоя смеси принимали из расчета 10 погружений стержня на каждые 100 см<sup>2</sup> поверхности. По окончании штыкования верхнего слоя избыток смеси срезали металлической линейкой вровень с краями формы, а поверхность образца заглаживали.

После уплотнения образцы в формах, покрытых влажной тканью, хранили при температуре 16-20°C в течение 2-3 суток затем их вынимали из форм, маркировали до момента испытаний хранили при температуре 20±2 С<sup>0</sup> с относительной влажностью не менее 90%. Образцы укладывали на стеллажи в один ряд по высоте с промежутками между ними, обеспечивающими омывание каждого образца воздухом.

Предел прочности при сжатии образцов-кубов определяли следующим образом. Образцы осматривали и обнаруженные на опорных гранях дефекты в виде наплывов удаляли напильником или шлифовальным кругом. Затем определяли рабочее положение образца при испытании и отмечали краской или мелом грани, которые будут прилегать к опорам пресса. Опорные грани выбирали так, чтобы сжимающая сила при испытании образца была направлена параллельно слоям укладки смеси в форму. Образцы-кубы измеряли

металлической линейкой с точностью до 1 мм, а затем взвешивали на технических весах. Рабочую площадь сечения образца определяли, как среднее арифметическое обеих опорных граней.

Во время испытаний образец устанавливали одной из граней на нижнюю опорную плиту прессы центрально по оси последнего. Затем запускали пресс в работу. Нагрузка на образец при испытании возрастала непрерывно и равномерно со скоростью 0,2-1 МПа в 1 с до разрушения образца. Предел прочности при сжатии рассчитывали по формуле:

$$R_{3\text{куб}} = \alpha \frac{P}{S} \cdot \text{Па}, \quad (2.1)$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{сж}}}{S_{\text{пл}}}. \quad (2.2)$$

где  $P$  – разрушающая сила, Па;  $S$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ .  $\alpha$  – поправочный коэффициент 0,91.

Предел прочности определяли как среднее арифметическое двух наибольших результатов испытаний образцов – кубов с точностью до 0,1 МПа согласно требованиям ГОСТ 28570-90.

В дальнейшем результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики.

## **2.4 Исследование характеристик армированной закладки**

### **2.4.1 Прочностные характеристики армированной закладки**

Закладка, дисперсно армированная волокнами, является композиционным материалом, с характерными для нее особенностями и свойствами. Обычно в таких материалах сочетаются с одной стороны обладающая сравнительно небольшой прочностью при растяжении пластическая смесь, с другой стороны характеризующиеся значительным сопротивлением разрыву и более высоким по сравнению со смесью модулем упругости волокна, рассредоточиваемые с направленной или произвольной ориентацией в объеме смеси. Как и в традиционно армированных структурах, упрочнения волокнами основывается на том, что материал бетонной смеси передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих на поверхности раздела, и если модуль волокна больше модуля смеси, то основную часть приложения напряжений воспринимают волокна, а общая прочность закладочного массива пропорционально их объемному содержанию [43].

Эффективность работы закладки с упрочняющими их базальтовыми волокнами зависит от характера их расположения и ориентации в массиве. Можно выделить два варианта армирования: с явной ориентацией волокнистого наполнителя в направлении действующих усилий и армирование волокнами (в основном ограниченной длины) с произвольной ориентацией в массиве. Повышение прочности на растяжение цементного камня в последнем случае объясняется тем, что волокна при свободной ориентации с достаточной

разномерности распределения в материале способны воспринимать усилия практически любого направления и тем самым препятствовать образованию и развитию трещин в цементном камне. В структурном отношении цементный камень неоднороден и имеет ориентированные в различных направлениях микродефекты, которые при силовых воздействиях могут привести к появлению трещин. Волокна тормозят движение микродефектов в закладочном массиве. Если образование трещин все же произошло, то, блокируя возникшую трещину практически со всех сторон, волокна препятствуют ее дальнейшему росту и развитию. Это происходит до тех пор, пока не преодолено сопротивление волокнистой арматуры на разрыв или не нарушено ее сцепление с цементной матрицей.

При получении закладочных смесей, упрочняемых арматурой в виде волокон, возникает необходимость в правильном подборе, рациональном сочетании исходных компонентов закладки, связанных с технологией их приготовления.

Конечной целью закладочных работ является получение изотропного искусственного массива, обладающего необходимыми физико-механическими характеристиками.

Целью исследований было изучение влияния расхода цемента, количества базальтового волокна и водосодержания на прочностные характеристики закладки. Для этого согласно методике рационального планирования экспериментов [44] были разработаны экспериментальные составы, в которых варьировались расход цемента от 150 до 250 кг/м<sup>3</sup> с шагом 50 кг/м<sup>3</sup> смеси с содержанием воды от 400 до 500 кг/м<sup>3</sup> с шагом 50 кг/м<sup>3</sup>, с количеством базальтового волокна в смеси от 7 до 11 кг/м<sup>3</sup> с шагом 2,0 кг/м<sup>3</sup> (таблица 2.2).

Таблица 2.2 -Экспериментальные составы закладочных смесей

Номер состава	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> смеси, кг				Прочность образцов закладки в возрасте 28 сут. МПа	Подвижность смеси, см
	Цемент	Хвосты ОФ	Вода	Базальтовые волокна		
1	150	1650	450	9,0	4,0	12
2	200	1650	450	9,0	5,4	12
3	200	1650	450	9,0	5,8	9
4	200	1650	450	9,0	4,96	12
5	200	1650	450	9,0	4,7	13
6	200	1650	450	9,0	4,2	12
7	200	1650	450	9,0	5,1	12
8	200	1650	450	11,0	4,9	12
9	200	1650	450	-	4,85	11

В качестве контрольного состава был принят состав закладочной смеси, используемый на закладочном комплексе Малеевского рудника Зырянского ГОКа ТОО «КазЦинк».

Приготовление закладочной смеси осуществлялось в лабораторной шаровой мельнице, где производилось перемешивание компонентов смеси в течение 2,0.....3,0 мин, затем закладочная укладывалась в формы размером 0,1×0,1×0,1м. Качество смеси оценивалось по прочности образцов закладки в возрасте 28 суток и при одноосном сжатии (по ГОСТ 10180-90) [45] и подвижности смеси по осадке конуса СТРОЙЦНИЛ.

В результате статистической обработки данных экспериментов, приведенных в таблице 2.2 получено уравнение регрессии зависимости прочности закладки от расхода цемента в виде [46]:

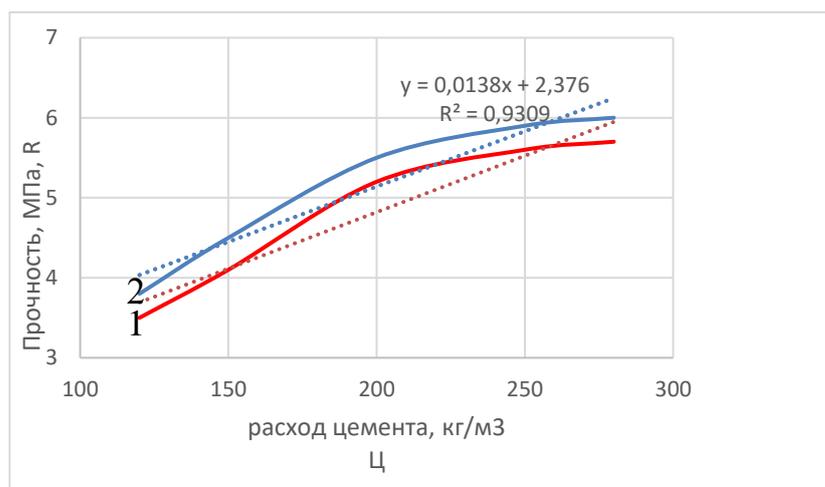
$$R = ae^{b\psi} \text{ МПа.} \quad (2.3)$$

где R – прочность закладки в возрасте 28 суток, МПа;  $\psi$ -расход цемента, кг/м<sup>3</sup>, а, в – эмперические коэффициенты, зависящие от водосодержания смеси, добавки базальтового волокна (таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Коэффициенты к уравнению 2.3

Значения коэффициентов для составов с армированной закладкой	а	в
	2,73	0,003
Значения коэффициентов для контрольного состава	2,7	0,0026

Графические выражения, полученных зависимостей представлены на рисунке 2.7.



1- Контрольный состав; 2- Состав с армированной закладкой.

Рисунок 2.7 - Зависимости прочности армированной закладки (R) от расхода цемента (Ц)

Подвижность смеси у состава 1 повышается 11 до 12 см без дополнительного расхода воды. Статистическая обработка полученных данных для составов 4; 5; 6 (таблица 2.2) позволила получить математическое выражение зависимости прочности закладки от водосодержания в смеси, имеющее общий вид:

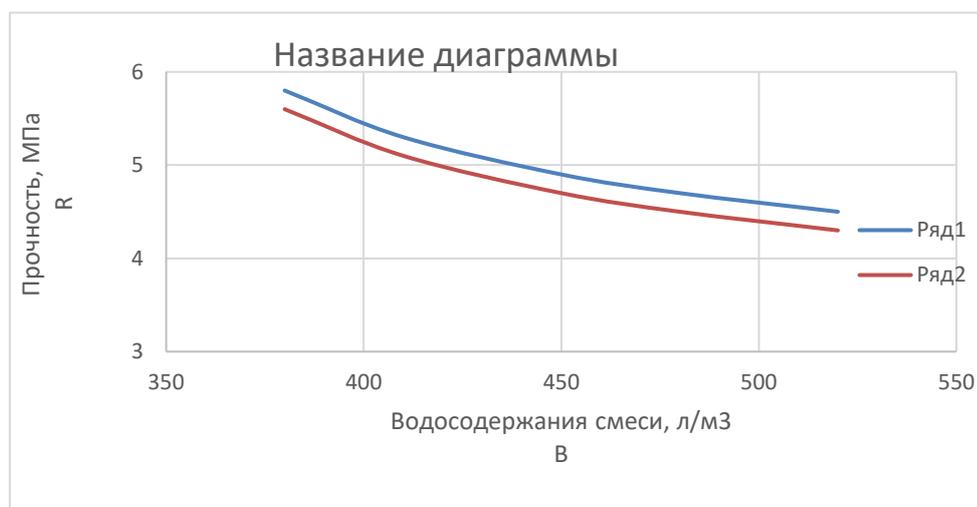
$$R=1 + \frac{k}{B} \text{ МПа.} \quad (2.4)$$

где R – прочность закладки в возрасте 28 суток, МПа; B – водосодержание смеси, л/м<sup>3</sup>. LK – эмпирические коэффициенты, отвисящие от водосодержания смеси и количества базальтового волокна (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Коэффициенты к уравнению 2.4

значение коэффициентов для закладки	ε	К
для армированной	0,314	2135,36
для контрольного состава	-0,31	2328,28

Графически эта зависимость представлена на рисунке 2.8



- Ряд 1- состав с армированной закладкой ;
- Ряд 2 - контрольный состав.

Рисунок 2.8 - Зависимость прочности армированной закладки (R) от водосодержания смеси (B)

Анализ результатов экспериментов свидетельствует о том, что при уменьшении водосодержания в смеси, прочность закладки возрастает. Наилучшие прочностные характеристики наблюдаются у состава смеси 5 при расходе воды 450 л/м<sup>3</sup>. Прочность закладки у такого состава выше на 10...12%, чем у состава 6 (500л/м<sup>3</sup>). И на 15...17% ниже по сравнению с составом смеси 4.

Однако, в этом случае следует отметить, что подвижность смеси состава 4 (400 л/м<sup>3</sup>) составляет только 9 см по осадке конуса СТРОИЦНИЛ, в то время как у оптимального состава подвижность составляет 11 – 12 см, что дает возможность устойчивого ее транспортирования по трубопроводу.

#### 2.4.2 Оптимальное содержание базальтового волокна

Важным моментом в технологии производства армированной закладки является установление закономерности влияния на прочность закладки, содержания в ней базальтового волокна. Следует иметь в виду, что предельное значение прочности закладки армированной базальтовым волокном, в меньшей степени зависит от расстояния между волокнами, а в большей от объемного содержания волокна в смеси. Для установления этой зависимости были проведены специальные исследования [47].

Исследованиями установлено, что объемная доля волокна в массиве должна быть достаточно велика для того, чтобы доля нагрузки, воспринимаемая волокном, было как можно больше. Однако, если содержание волокон в материале превышает некоторый уровень, то это приведет к ухудшению свойств материала вследствие того, что смесь не в состоянии пропитать все пучки волокон. В результате этого сцепление волокон со смесью уменьшается, в массиве могут образоваться пустоты [48].

С целью установления оптимальной добавки базальтового волокна для упрочнения твердеющей закладки были проведены эксперименты (составы 7,8,9 таблице 5).

В качестве экспериментального был принят следующий состав компонентов закладочной смеси (в расчете на 1м<sup>3</sup>):

Цемент, кг.....	220
флотационные хвосты, кг.....	1650
вода, л.....	450

Содержание этих компонентов в смеси оставалось постоянным, а содержание базальтового волокна варьировалось от 7,0 до 11 кг с шагом 2,0 кг. При этом стремились подвижность закладочной смеси поддерживать в пределах 12 см.

Статистическая обработка результатов экспериментов позволила получить математическое выражение зависимости прочности закладки от величины добавки в смесь армирующего элемента – базальтового волокна, имеющее вид:

$$\sigma=0,0489m^2+0,9869 \text{ МПа}, \quad (2.5)$$

где  $\sigma$  – прочность закладки, МПа,

$m$  – масса базальтового волокна в объеме смеси, кг/м<sup>3</sup>;

Графически эта зависимость представлена на рисунке 2.9

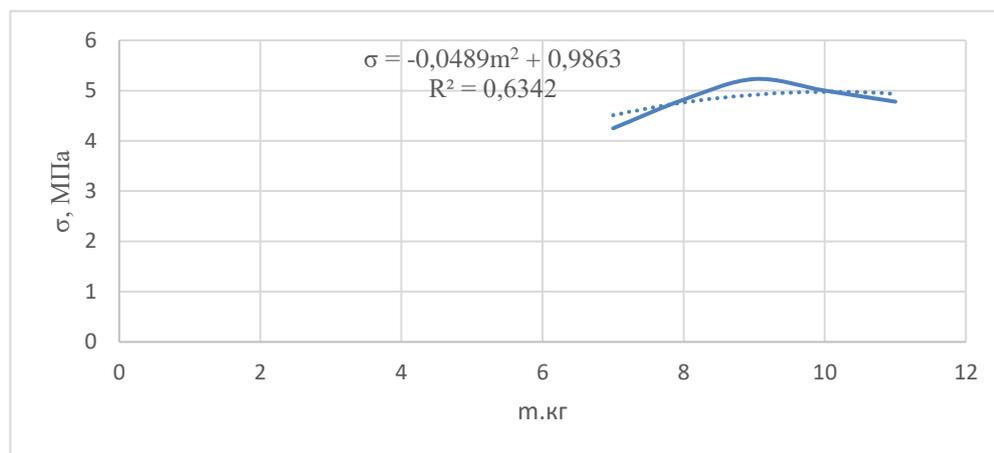


Рисунок 2.9 - Зависимости прочности закладки от величины добавки в смесь армирующего элемента – базальтового волокна

Анализ результатов экспериментов показывает, что оптимальным количеством армирующего элемента является добавка базальтового волокна 9 кг/м<sup>3</sup>. При этом смесь имеет наилучшие прочностные характеристики, сохраняя необходимую подвижность.

Таким образом установлено, что добавка в закладочную смесь армирующего элемента - фибр базальтового волокна позволяет получить гомогенную смесь с равномерным распределением в ее объеме всех компонентов, включая армирующие, и за счет более эффективного использования структуры смеси повысить ее ударную прочность. Это дает возможность снизить расход вяжущего на 15-18 % для достижения нормативной прочности по условиям системы разработки.

#### 2.4.3 Технология ведения закладочных работ

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили выявить основные закономерности процесса приготовления закладочной смеси из тонкодисперсного заполнителя путем совместного помола компонентов, а также закладки, армированной базальтовым волокном.

Подтверждена возможность приготовления смесей высокой однородности при низком их водосодержании при уменьшения прочностных характеристик закладки. На основе анализа и обобщения результатов лабораторных исследований для условий Малеевского рудника разработана технология закладочных работ, в которой реализованы основные принципы предлагаемой технологии приготовления закладочных смесей с армированием базальтовым волокном [49].

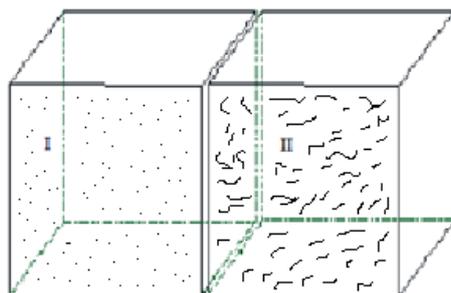
С целью повышения прочности закладочного массива, повышения его сопротивления разрушению при совместном воздействии знакопеременными растягивающими и сжимающими усилиями, разработана технология возведения армированного искусственного массива.

Поставленная цель достигается тем, что в предлагаемой технологии упрочнения закладочного массива в смесь, формирующую искусственный массив, вводят армирующий элемент-базальтовые волокно, которое располагают в массиве хаотически.

Упрочнение закладочного массива осуществляется следующим образом. Искусственный массив формируется из твердеющей закладочной смеси, в которую перед ее укладкой в выработанное пространство подают базальтовые волокна. При растекании закладочной смеси по выработанному пространству базальтовые волокна распределяются равномерно во всем объеме будущего искусственного массива хаотически, занимая различную ориентировку [50].

С целью проверки работоспособности предлагаемого способа на испытательном стенде в лаборатории закладочных работ Казахском Национальном Исследовательском техническом университете имени К.И. Сатпаева были проведены исследования по повышению упрочнения закладочного массива [51].

Испытательный стенд представляет собой модель закладываемой камеры, в масштабе 1:50 (Рисунок 2.10), модель была выполнена таким образом, что позволяла производить независимую закладку камер различными по составу смесями.



I – камера для базового состава; II – камера для упрочненного состава

Рисунок 2.10 - Модель камеры для исследований

Одна часть камеры выполняла функции возводимого искусственного массива, принятого за базовый объект на основе закладочных смесей, используемых на Малеевской руднике, Зыряновского ГОК ТОО «КазЦинк» при закладке выработанного пространства. Другая часть камеры выполняла функции возводимого искусственного массива по предлагаемой технологии с варьированием вводимого в массив количества базальтовых волокон от 1 до 7% по массе с шагом 1%. Подаваемая на вход камер смесь имела одинаковый состав вяжущего, заполнителя и воды.

По истечении 14 суток из полученных лабораторных массивов выбуривались керны для испытания на прочность на изгиб и на сжатие.

Сравнительные результаты испытаний проведены в таблице 2.5

Таблица 2.5 - Таблица экспериментальных данных

№	Наименование закладочного массива	Прочность, МПа		Прирост прочности %	
		На изгиб	На сжатие		
1	Базовый закладочный массив	1,14	2,26	100	100
2	Закладочный массив с добавкой базальтового волокна 1% по массе	1,4	2,74	123	121
3	То же по массе 2%	1,68	3,08	147	136
4	То же 3% по массе	2,03	3,67	178	162
5	То же 4% по массе	2,2	3,8	192	168
6	То же 5% по массе	2,16	3,7	189	164
7	То же 7% по массе	1,9	2,74	167	121

На рисунке 2.11 представлены графически полученные закономерности.

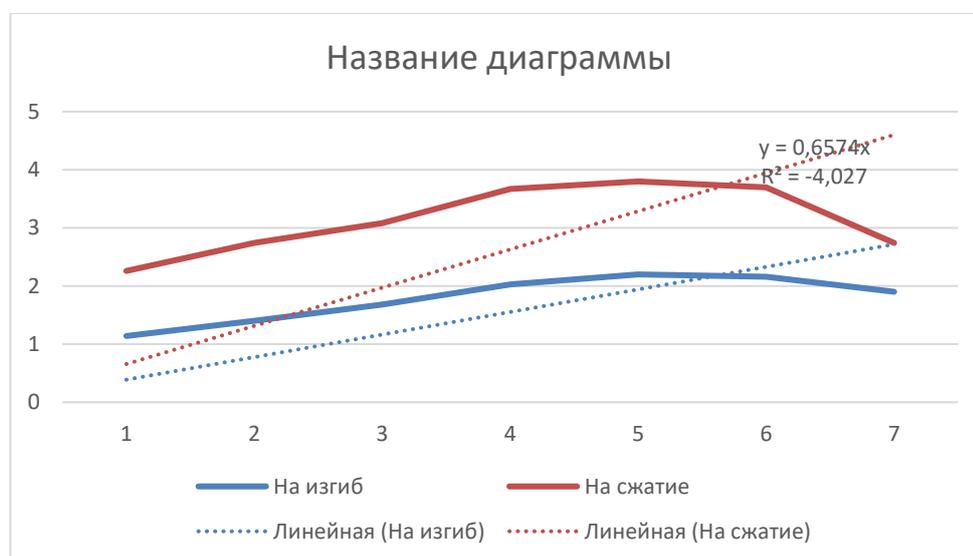


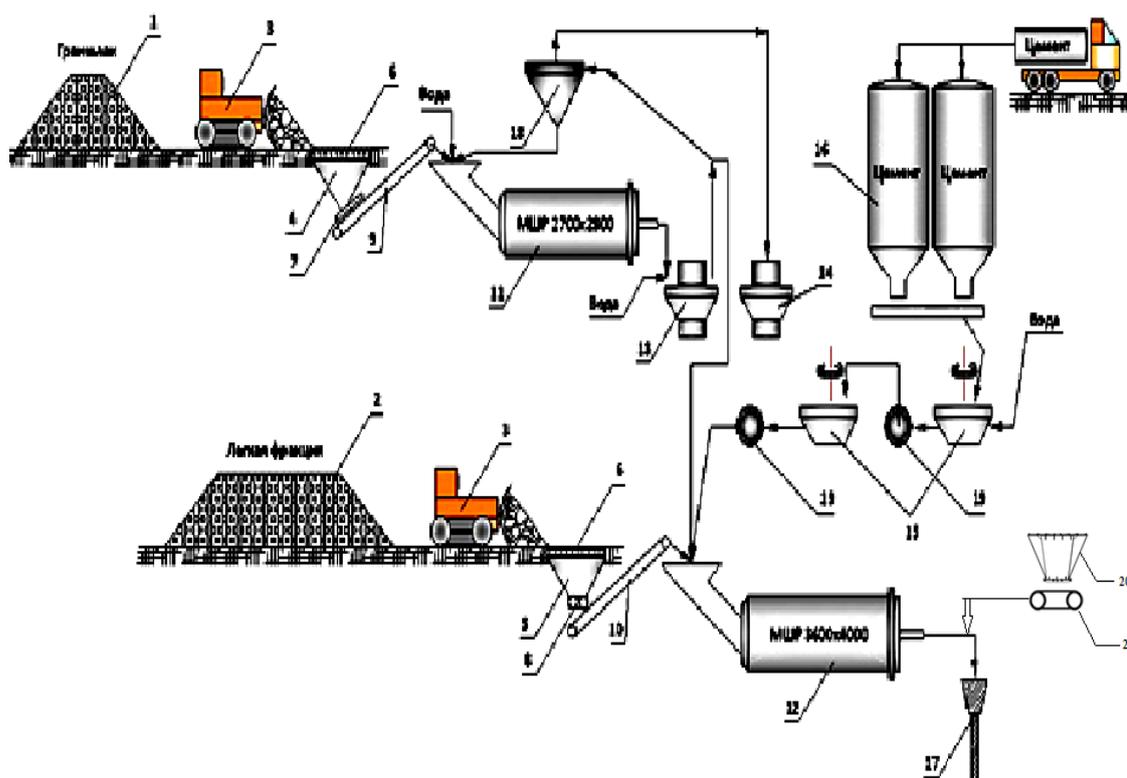
Рисунок 2.11 - Зависимости испытания на изгиб и на сжатия

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что максимальная прочность на изгиб и сжатие наблюдается при работе испытательного стенда по предлагаемому способу упрочнения закладочного массива, при добавке базальтовых волокон в количестве 4...5% от массы смеси. Это позволяет для достижения нормативной прочности закладки снизить расход вяжущего на 18-21 %, что в среднем на 1 м<sup>3</sup> закладки составит 38кг.

Таким образом технология упрочнения закладочного массива, заключающаяся в возведении армированного закладочного массива, позволяет осуществить формирование искусственного массива с необходимой его нормативной прочностью при пониженном расходе вяжущего, за счет введения в смесь армирующего элемента – базальтового волокна в количестве 4...5% от массы смеси.

На сегодняшний день закладочную смесь на руднике готовят на объединенном комплексе БЗК-1, 2.

Для практического использования армированной закладки предложена технологическая схема представлена на рисунке 2.12



1, 2 - отвалы граншлака и легкой фракции; 3 - бульдозер; 4, 5 - приемные бункера; 6 - колосниковая решетка; 7 - шибер; 8 - питатель; 9, 10 - ленточные конвейера; 11 - мельница МШР 2700×2800; 12 - мельница МШР 3600×4000; 13, 14 - насосы; 15 - устройство дозирования и приготовления цеммолока «ХАННИ»; 16 - расходные бункера цемента; 17 - закладочная скважина; 18 - гидроциклон ГЦ-350; 19 - перекачной насос, 20- бункер базальтового волокна, 21- дозатор.

Рисунок 2.12 - Предлагаемая технологическая схема закладочного комплекса для армированной закладки

## 2.5 Экономическая эффективность применения армированной закладки

Как показали исследования для достижения проектной прочности закладки 4,0 МПа (это практически максимальная необходимая прочность, для большинства горных предприятий Казахстана) при использовании закладочных смесей, армированных базальтовым волокном возможно сократить расход цемента на 35...42 кг/м<sup>3</sup>. При этом армированная закладка при той же прочности 4,0 МПа будет гораздо эффективнее противостоять ударному сейсмическому воздействию взрывных работ.

Больших капитальных затрат при модернизации существующих закладочных комплексов на комплексы для приготовления армированной закладки не будет. Согласно предложенной технологической схеме (Рисунок 2.12) закладочный комплекс должен быть дооборудован бункером для хранения базальтового волокна, дозатором и транспортером для подачи отдозированного базальтового волокна в транспортный трубопровод готовой закладочной смеси или в приемную воронку вертикального става закладочного трубопровода.

Расчет экономического эффекта произведен по экономии прямых затрат от снижения расхода цемента с учетом удорожания за счет ввода в закладочную смесь базальтового волокна по формуле:

$$\Delta_{\Delta} = (C_{\text{ц}} \Delta_{\text{Ц}} - C_{\text{БВ}} \cdot \Delta_{\text{БЗ}}) Q_{\text{з}}, \text{тенге}, \quad (2.6)$$

где  $C_{\text{ц}}$  – стоимость 1 кг цемента,  $C = 24$  тенге/кг  
 $\Delta_{\text{Ц}}$  – экономия цемента, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta_{\text{Ц}} = 40$  кг  
 $C_{\text{БВ}}$  – стоимость 1 кг базальтового волокна,  $C_{\text{БВ}} = 350$  тенге  
 $\Delta_{\text{БЗ}}$  – добавка базальтового волокна в армируемую закладку,  $\Delta_{\text{БЗ}} = 9$  кг/м<sup>3</sup>  
 $Q_{\text{з}}$  – объем закладочной смеси, м<sup>3</sup>.

При добыче руды 1 млн.т в год объем твердеющей закладки  $Q_{\text{з}}$  составит 400 тыс.м<sup>3</sup>.

Тогда

$$Q_{\Delta_{\text{з}}} = (24 \cdot 40,0 - 350 \cdot 9) 400\,000 = (960 - 315) \cdot 400\,000 = 243\,600 \cdot 10^3 \text{ тг.}$$

Таким образом экономический эффект от внедрения упрочненной закладки базальтовым волокном в расчете на 1 млн.т добычи руды составляет 243 600 000 млн.тенге.

### Выводы по разделу 2

1. Искусственные закладочные массивы из твердеющей, являющейся композиционным материалом требуют увеличения ударной прочности для противостояния сейсмическому воздействию взрывных работ.

2. Для упрочнения твердеющей закладки перспективным направлением является введением в ее состав армирующих элементов, которые перераспределяют усилия действующие на искусственный закладочный массив и увеличивают его ударную прочность.

3. Улучшение прочностных и упругих характеристик закладки целесообразно осуществлять армированием ее базальтовым волокном. Это позволяет повысить прочность закладки на 10...12%.

4. Установлено, что оптимальной добавкой базальтового волокна является 4...5 % от массы закладочной смеси. В этом случае закладка имеет максимальный прирост прочности.

5. Применение закладки, армированной базальтовым волокном, позволяет снизить на 18...21% расход вяжущего для достижения нормативной прочности закладки, а также достичь ее в более ранние сроки.

### 3 ИЗЫСКАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЛИМЕРБЕТОНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ

#### 3.1 Исходные материалы для приготовления полимербетона

При изготовлении композиционных материалов важным является подбор исходных компонентов. От их состава, физико – химических и технических характеристик будут зависеть окончательные характеристики нового материала: прочность, модули Пуассона и Юнга, технологичность, способность к обработке. Причем эти характеристики должны в большой степени соответствовать требованиям к изделиям, которые предстоит изготавливать из нового композиционного материала. В нашем случае – это корпус редуктора, испытывающий определенные нагрузки от статических и динамических усилий, вибрации и ряда других, возникающих при эксплуатации редуктора [52].

Проведенный анализ материалов, используемых в строительном производстве для приготовления полимербетонных, с учетом приобретения свойств для изготовления корпусов редукторов, позволил принять к дальнейшим исследованиям следующие исходные компоненты:

- крупный заполнитель – бутовый щебень;
- мелкий заполнитель – кварцевый песок;
- наполнитель – кварцевая мука;
- связующее – эпоксидная смола ЭД -20.

**Бутовый щебень** — это дробленая горная порода, чаще всего диорит, известняк, песчаник, ракушечник характеризующаяся нестандартными формами. Он имеет следующие характеристики:

- высокую прочность;
- стойкость по отношению к отрицательным температурам;
- размер фракций 25 – 50 см
- показатель чистоты – содержание глинистых или минеральных примесей не более 2%.

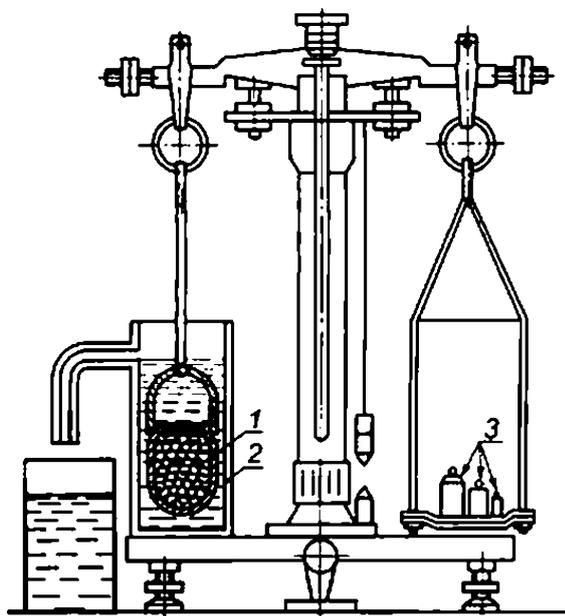
К числу преимуществ изделий из бутового щебня относятся:

- длительный срок эксплуатации;
- экологичность;
- доступность;
- практичность;
- стойкость по отношению к износу.

Производится бутовый щебень путем измельчения горных пород в щековых и конусных дробилках. Куски бутового щебня имеют остроугольную форму. Лучше всего – куски, близкие по форме к кубу или тетраэдру. Форма щебня зависит от структуры каменной породы и камнедробильной машины. Предельное содержание глинистых и пылевидных частиц в щебне твердых пород составляет около 1,0%, а в остальных случаях – 1,8...2,0%. На щебень, используемый в строительстве распространяются требования ГОСТ 8267-93 [53].

Его основные характеристики были определены в лаборатории по следующей методике.

*Определение объемной массы зерен щебня.* Отбирали среднюю пробу щебня массой 2,5 кг, высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы, просеивали через сито с размером отверстий, соответствующим наименьшему размеру зерен данной фракции щебня и из остатка на сите отвешивали две навески по 100 г каждая. Затем щебень погружали на 2 ч в воду комнатной температуры с таким расчетом, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности щебня на 20 мм. Насыщенный щебень вынимали из воды, вытирали мягкой влажной тканью и сразу взвешивали сначала на технических, а затем на гидростатических весах (рисунок 3.1), помещая пробу в сетчатый стакан, погруженный в воду.



1 – сетчатый (перфорированный) сосуд; 2 – контейнер со сливом для воды; 3 – разновесы

Рисунок 3.1 Весы технические с приспособлением для гидростатического взвешивания

Объемную массу  $\rho_0$  вычисляли с точностью до 0,01 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m\rho_{\text{в}}}{m_1 - m_2}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.1)$$

где  $m$  – масса навески в сухом состоянии, кг;  $m_1$  – масса навески в насыщенном водой состоянии на воздухе, кг;  $m_2$  – масса навески в насыщенном водой состоянии на воде, кг;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup> (1000 кг/м<sup>3</sup>) [54].

Испытания проводили два раза и объемную массу щебня вычисляли как среднее арифметическое двух определений.

*Определение объемной насыпной массы щебня.* Насыпную объемную массу щебня определяли при помощи мерного цилиндра.

Предназначенный для испытания щебень и необходимом количестве высушивали до постоянной массы и охлаждали, затем насыпали его в предварительно взвешенный цилиндр с высоты 10 см до образования конуса. Излишек щебня срезали стальной линейкой вровень с краями без уплотнения, после чего цилиндр со щебнем взвешивали и вычисляли объемную насыпную массу с точностью до 10 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho_4 = \frac{m_1 - m_2}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.2)$$

где  $m_1$  – масса цилиндра с заполнителем;  $m_2$  – масса цилиндра, кг;  $V$  – объем цилиндра, м<sup>3</sup>.

Объемную насыпную массу щебня определяли три раза (при этом каждый раз брали новую порцию) и вычисляли среднее арифметическое трех определений.

Важное значение при определении рационального состава полимербетонной смеси, как будет показано дальше имеет пустотность крупного заполнителя – бутового щебня.

*Определение пустотности щебня.* Пустотность щебня определяли по предварительно найденным значениям объемной массы зерен и объемной насыпной массы щебня.

Пустотность  $V_n$  щебня в процентах по объему вычисляли с точностью до 0,1% по формуле:

$$V_n = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_n}\right) \cdot 100, \%, \quad (3.3)$$

где  $\rho_0$  – объемная масса зерен щебня, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_n$  – объемная насыпная масса щебня, кг/м<sup>3</sup> [55].

*Определение зернового состава щебня.* Пробу испытываемого щебня брали в количестве указанном в ниже таблице 3.1:

Таблица 3.1 - Таблица испытываемых данных

Наибольшая крупность щебня (гравия), мм	10	До 20	До 40
Масса пробы, кг (не менее)	5,0	10,0	20,0
...			

Пробу просеивали через набор сит установленных размеров (10, 5, 3 и 0,14 мм), собранных в колонку, и одновременно промывали водой. При этом толщина слоя щебня на каждом из сит не превышала наибольшего размера зерен отсеиваемой на данном сите фракции.

Остатки материала на каждом сите высушивали до постоянной массы и взвешивали, определяя тем самым массу частных остатков на всех ситах ( $m_{014}$ ,  $m_3$ , ...,  $m_{014}$ ). Затем определяли суммарную массу просеянной пробы как сумму частных остатков на каждом сите:

$$\sum m = m_{014} + m_3 + m_5 + m_{10} \quad (3.4)$$

Далее вычисляли частные остатки на каждом сите в процентах от суммарной массы просеянной пробы:

$$a_i = \frac{m_i}{\sum m} \cdot 100, \% , \quad (3.5)$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, кг.

По известным значениям частных остатков рассчитывали полные остатки  $A_i$  в процентах:

$$A_i = a_{40} + a_{25} + \dots + a_{014} , \quad (3.6)$$

Наибольшую и наименьшую крупность щебня пробы характеризуют размерами отверстий сит, полные остатки на которых, определяемые по кривой просеивания, составляют соответственно 5% ( $D_{наиб}$ ) и 95% ( $D_{наим}$ ). Значения этих размеров округляли большую сторону до ближайших размеров стандартных сит [56].

По результатам лабораторных исследований определены следующие параметры бутового щебня, участвующего в дальнейших экспериментах указаны в таблице 3.2 и 3.3

Таблица 3.2 - Характеристики бутового щебня

Параметр	Значение
Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	2280
Объемная насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>	1520
Пустотность, %	37.6
Форма частиц	В основном остроугольная

Таблица 3.3 - Зерновой состав бутового щебня

Фракция, мм	-10+5	-5+2.5	-2.5+1.25	-1.25+0.63	-0.63+0
Содержание, %	51	22	10	7	12

Характеристики бутового щебня, установленные при лабораторных исследованиях использовались в дальнейшем при выборе рационального состава полимербетонной смеси.

**Кварцевый песок** – это материал с повышенным содержанием до 98% чистого кварца. Перед его использованием должны производиться обязательная его промывка, чтобы избавиться от загрязнений и примесей для получения большей части кварцевой породы. Мелкозернистый кварцевый песок имеет размер фракций около 0,1 мм.

Главным компонентом кварцевого песка является диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Выделяют естественную и искусственную разновидность кварцевого песка, отличающиеся способом добычи.

Естественный кварцевый песок повсеместно распространен в природе. Он находится на дне водных бассейнов и в составе толщин грунта. Размеры большей части его зерен составляют от 0,2 до 1,0 мм.

Искусственный кварцевый песок имеет естественное происхождение, однако изначально он находится в виде крупных кристаллов. Для превращения этих кристаллов в песок применяют механическое воздействие: дробление и измельчение.

По крупности (фракционному составу) подразделяют:

- пылевидный кварц, который представляет фракцию меньше 0,1 мм;
- мелкозернистый песок с фракциями 0,1...0,25 мм;
- средний песок с фракциями 0,25 ... 0,5 мм;
- крупнозернистый песок фракциями 0,5...1,0 мм

Основным регулирующим документом для кварцевого песка является ГОСТ 2138 – 91 [57].

Определение характеристик мелкого заполнителя

*Определение плотности кварцевого песка.* Из средней пробы песка брали навеску 30 – 40 г и просеивали через сито круглыми отверстиями диаметром 5 мм, высушивали до постоянной массы и охлаждали до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой [58].

Из высушенного песка отвешивали две навески по 10 г каждая и высыпали их в два чистых высушенных пикнометра. Оба пикнометра заливали до половины дистиллированной водой, переносили на песчаную или водяную баню, устанавливали в несколько наклонном положении и нагревали до слабого кипения, которое поддерживали в течение 20 мин. После этого, охладив пикнометры с их содержимым, вливали в каждый из них до метки дистиллированную воду, а затем взвешивали. Далее пикнометры очищали от содержимого, наполняли только дистиллированной водой точно до метки и опять взвешивали. Плотность песка вычисляли с точностью до 0,01 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho = \frac{m \rho_{\text{в}}}{m - m_1 + m_2}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.7)$$

где  $m$  – масса навески, кг;  $m_1$  – масса пикнометра с навеской и водой, кг;  $m_2$  – масса пикнометра только с водой, кг;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

*Определение объемной насыпной массы песка.* Среднюю пробу песка от 5 до 10 кг высушивали в сушильном шкафу при температуре  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  до постоянной массы и просеивали сквозь сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм. Подготовленный песок насыпали с высоты 10 см в предварительно высушенный мерный цилиндр вместимостью 1 л до образования конуса над верхним цилиндром. Избыток песка без уплотнения снимали вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивали и вычисляли объемную массу песка с точностью до  $10 \text{ кг/м}^3$  по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.8)$$

где  $m_1$  – масса мерного цилиндра с песком, кг;  $m_2$  – масса пустого мерного цилиндра, кг;  $V$  – объем цилиндра,  $\text{м}^3$ .

Объемную насыпную массу песка определяли, как среднее арифметическое результатов двух определений.

*Определение пустотности песка.* Пустотность песка определяли по предварительно найденным значениям плотности и объемной насыпной массы. Пустотность песка  $V_n$  в процентах по объему вычисляли с точностью до 0,1% по формуле:

$$V_n = \left(1 + \frac{\rho_N}{\rho}\right) \cdot 100, \%, \quad (3.9)$$

где  $\rho$  – плотность песка,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_N$  – объемная насыпная масса песка,  $\text{кг/м}^3$ .

*Определение зернового состава песка.* Среднюю пробу песка навеской около 2 кг высушивали до постоянной массы и просеивали сквозь сито с круглыми отверстиями диаметром 10 и 5 мм.

Остатки на ситах ( $m_{10}$  и  $m_5$ ) взвешивали и вычисляли процентное содержание фракций с размерами зерен 5-10 мм по формулам:

$$\Gamma_{P5} = \frac{m_5}{m} \cdot 100, \%; \quad \Gamma_{P10} = \frac{m_{10}}{m} \cdot 100, \%, \quad (3.10)$$

где  $\Gamma_{P5}$  и  $\Gamma_{P10}$  – содержание в песке, соответственно, зерен крупностью 5-10 мм выше 10 мм, %;  $m_5$  и  $m_{10}$  – остатки на ситах с отверстиями, равными, соответственно, 5 и 10 мм, г;  $m$  – масса пробы, г., [59].

Из пробы песка, прошедшего сквозь сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирали навеску массой 1000 г и просеивали ее механическим способом через комплект сит, последовательно расположенных по мере уменьшения размера отверстий в ситах (сита с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм, ниже сита с сетками, имеющими квадратные отверстия размером 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм). Просеивание считалось законченным, если через сито на чистый лист бумаги за 1 мин проходило не более 0,1 % зерен песка от общей массы просеиваемой навески.

Остатки песка на каждом сите взвешивали и вычисляли частные остатки на каждом сите с точностью до 0,1 % по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \%, \quad (3.11)$$

где  $\alpha_1$  – частый остаток, %;  $m_1$  – масса остатка на данном сите, г;  $m$  – масса просеиваемой навески, г (1000 г).

Затем с точностью до 0,1 % определяли полные остатки на каждом сите. Полный остаток  $A_I$  определяли, как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите по формуле:

$$A_I = \alpha_{2,5} + \alpha_{1,25} + \dots + \alpha_{0,14}, \quad (3.12)$$

Где  $\alpha_{2,5} \dots \alpha_{0,14}$  – частные остатки на ситах с большим размером отверстий, начиная с сита, имеющего размер отверстий 2,5 мм, %.

По результатам проведенных лабораторных исследований установлены следующие технические характеристики кварцевого песка. Результаты экспериментальных данных приведены в таблицах 3.4; 3.5.

Таблица 3.4 - Технические характеристики кварцевого песка

Показатель	Значения
Содержание диоксида кремния, %	93...98
Влажность, %	0,5...4,0
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1300...1500
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2600...2700
Объемный вес	1,5...1,6

Таблица 3.5 - Гранулометрический состав кварцевого песка

Фракция, мм	-0,14	0,14-0,18	0,19-0,23	0,24-0,28	+0,28
Содержание, %	8,16	38,41	32,66	13,52	7,25

**Кварцевая мука** – материал, получаемый из кварца по специальным технологиям. Крупность зерен составляет 0,015 ...0,05 мм. Содержание SiO<sub>2</sub> в кварцевой муке составляет 97,5 %, насыпная плотность 1120...1200 кг/м<sup>3</sup>, удельная поверхность – 300350 м<sup>2</sup>/кг.

Характеристики кварцевой муки регламентируются требованиями ГОСТ 9077-82 [60] и приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Гранулометрический состав кварцевой муки

Размер ячейки сита, мм	0,2/0,1	0,1/0,05	-0,1/-0,5
	Фракция	-0,2 мм	
Остаток на сите, %	1,6	47,8	50,6
	Фракция	-0,1 мм	
Остаток на сите, %	1,0	12,5	86,5

Эпоксидная смола ЭД -20 – универсальный олигомерный материал, применяющийся для производства композитов, а также для заливки различных поверхностей и изготовления клея, герметика. Благодаря уникальному сочетанию полезных свойств эпоксидка пригодится и в промышленности, и в быту. Из всего многообразия продуктов выделяется эпоксидная смола ЭД 20 – недорогое средство высокого качества. Средняя массовая доля эпоксидных групп в смоле равна 20 %, отсюда и обозначение материала.

ЭД – 20 комбинируется с разными отвердителями, в некоторых случаях требуется добавление пластификаторов (для уменьшения жесткости готового изделия). Отверждение возможно холодным и горячим способом (при комнатной или повышенной температуре), для этого процесса не требуется прессовое и термическое оборудование. Свойства ЭД-20 таковы: высокая плотность, беспористость готового продукта; отличная твердость, стойкость к механическому повреждению, агрессивной среде, влиянию влаги; термостойкость; диэлектрические и противокоррозионные способности; хорошая адгезия с пластиком, металлом, стеклом, керамикой, углеволокнам и другими материалами; легкость в работе; малая усадка, низкий удельный вес.

Если более подробно рассмотрим химический состав эпоксидно-диановой смолы, то выглядит он следующим образом:

- эпоксидные компоненты – от 20 до 22,4%;
- хлор омыляемый – от 0,3 до 0,8%;
- летучие компоненты – от 0,3 до 0,7%;
- гидроксильная группа веществ – 1,8%;
- ионы хлора – от 0,002 до 0,006%.

При изготовлении эпоксидно-диановой смолы ЭД-20 не добавляются никакие пластификаторы, поэтому под воздействием вибрации или подвижности основания застывший пласт смолы может покрываться трещинами [61].

До момента полимеризации у продукта отмечаются хорошая вязкость и пластичность. Чтобы снизить уровень вязкости перед соединением с отвердителем, смолу иногда растворяют с помощью органического растворителя.

**Эпоксидно-диановый продукт обладает следующими физическими свойствами:**

- смола полимеризуется через 90 мин. после смешивания с отвердителем;
- полностью состав окрепнет спустя 24 ч.;
- устойчивость на изгиб составляет 85–145 МПа;

- рабочий диапазон температур – от 55 до 170 градусов;
- динамическая вязкость материала составляет от 13 до 20 Па\*с;
- плотность при температуре +20°C составляет от 1,16 до 1,25 кг/м<sup>3</sup>.

### **3.2 Изучение структуры и проектирование составов полимербетона**

Правильное определение состава является одной из важных операций в технологии полимербетона. Цель этого определения заключается в назначении для производства состава полимербетона в полной мере удовлетворяющего заданным технологическим требованиям а так же возможно более экономичного [62].

Полимербетон – это композиционный материал получаемый в результате отверждения смеси тщательно перемешанных компонентов: заполнителя и связующего – эпоксидной смолы, взятых в определенных пропорциях.

Для правильного состава полимербетона важно знать как влияют на его прочность и удобоукладываемость различные факторы, такие как качество заполнителей, соотношение их различных фракций и отвердителя и др. В практике приготовления полимербетона, как правило, материалы и технология не меняются в процессе производства, т.е. мы имеем случай «прочих равных условий».

Как указывалось выше наилучшими материалами для приготовления полимербетона в качестве заполнителя являются измельченный бутовый щебен, кварцевый песок и кварцевая мука. Для получения полимербетона высокой прочности важно найти оптимальное соотношение различных фракций заполнителя.

К полимербетонной смеси предъявляется ряд требований, выполнение которых должно гарантировать конечные результаты – получение композиционного материала по своим характеристикам способного превзойти традиционно используемые в машиностроении металлы.

Это требуют технология изготовления корпусов редукторов и условия эксплуатации готовых изделий.

Для того, чтобы добиться улучшенных прочностных и упругих характеристик затвердевшего полимербетона необходимо в первую очередь добиться того, чтобы смесь была однородной.

Это означает то, что все компоненты должны быть равномерно распределены в объеме смеси. Тогда после отвердевания в композиционном материале не будет «слабых» мест, которые в конечном итоге и будут определять прочностные и упругие характеристики нового материала [63].

Другим важным моментом, связанным с технологией отливки готовых изделий из полимербетона является получение легкоподвижной смеси, способной полностью заполнять пространство литейной формы [64].

Основной характеристикой полимербетонной смеси для этого процесса является ее подвижность. Подвижность смеси или ее удобоукладываемость зависит от ее способности деформироваться без изменения структуры. Подвижность смеси зависит от соотношения фракций заполнителя и количества

связующего. Она определяется опытным путем по величине усадки конуса Абрамса. Для хорошего заполнения матрицы полимербетонная смесь должно иметь подвижность 8...9 см.

Изложенные позволяет сделать вывод о том, что основным фактором, обеспечивающим получение гарантированных характеристик полимербетона является оптимальная структура смеси, т.е. рациональное соотношение составляющих смесь компонентов, а затем уже способ и технология приготовления самой смеси – качественное перемешивание компонентов [65].

Для этого были проведены специальные исследования для обоснования рациональной структуры смеси и, как следствие, количественное соотношение ее составляющих – заполнителей и связующего.

Основной идеей, которая была положена в основу исследований, была гипотеза о том, что прочность полимербетона напрямую зависит от плотности смеси, т.е. от плотности упаковки зерен заполнителя.

Однако здесь надо иметь ввиду, что в процессе приготовления полимербетонной смеси необходимо обеспечить свободное обволакивание зерен заполнителя связующим компонентом – эпоксидной смолой.

Таким образом главной задачей становится изыскание для выбранных материалов оптимального их соотношения в объеме полимербетонной смеси. Эта задача решалась путем сочетания теоретических исследований с проверкой их результатов экспериментально [66].

#### **Структура рациональной полимербетонной смеси.**

Проведя некоторые теоретические исследования, в частности, объемное моделирование, установлено, что для наиболее плотного заполнения воздушных пустот в смеси, она должна иметь прерывистую гранулометрию, т.е. состоять из 2-3 фракций. Размеры зерен каждой из фракций должны примерно на порядок отличаться друг от друга. Это связано с пустотностью заполнителя.

Форма частиц песка отличается от круглой, но для простоты представления, примем ее за шар. На рисунке 3.2 показано, как располагаются гранулы например размеров 1,2 мм; 0,2 мм и 0,02 мм, в смеси. Если отобразить все гранулы в объеме, на рисунке, то крупные будут заслонять мелкие. Для наглядности оставлены лишь несколько гранул а более крупные являются – прозрачными.

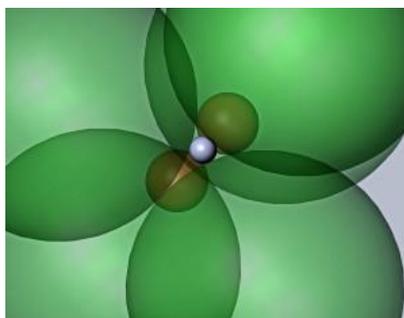


Рисунок 3.2 – Расположение гранул размеров 1,2 мм; 0,2 мм и 0,02 мм, в смеси

В этом случае пустоты в зернах большей крупности (бутового щебня) заполняются более мелкими частицами (кварцевого песка), а пустоты в мелком заполнителе заполняются тонким наполнителем (кварцевой мукой).

В результате появляется плотная структура, обеспечивающая в итоге высокую прочность полимербетона при его отвердевании. Это положение легло в основу методики выбора рационального состава полимербетона для изготовления корпуса редуктора. Это методика представляет следующие шаги.

### **Методика проектирования рационального состава полимербетонной смеси.**

Данная методика конкретно иллюстрируется значениями объемов выбранных компонентов, применительно к размерам корпуса редуктора Ц2-250.

**1. Выбор самой крупной фракции.** Подбор состава полимербетонной смеси необходимо начинать с выбора размера самой крупной фракции. Она будет регламентировать размер всех остальных фракций, а сама она напрямую зависит от толщины изделия, которое предполагается изготавливать из проектируемого полимербетона.

Крупная фракция. Наибольшую экономию смолы в смеси, придает особенную прочность изделию, но не может обходиться без соседства более мелких фракций, для поддержки смеси от расслоения. Верхним пределом величины зерна является толщина стенок изделия. Для наилучшего заполнения смеси при заливке, *размер наибольших гранул не должен быть больше 1/3 этой толщины*. Толщина стенок литых изделий — около 1 см. Получается, что можно использовать фракцию:  $10 \text{ мм} / 3 = 3,3 \text{ мм}$ . Однако, практика заливки показала, что такие крупные гранулы дают на поверхности изделия, покрытого гелькоутом, крупную и не всегда желательную шагрень. Практика, также, показала, что при покрытии нормальным слоем (0,5 мм) гелькоута, *гранулы размером до 1,2 мм не дают сильной шагрени*. Таким образом можно констатировать, *что наиболее оптимальная крупная фракция песка для наших целей должна составлять: 0,8-1,2 мм*.

Еще проще представить расположение гранул, если изобразить шарики указанных размеров в проекции на плоскость (рисунок 3.3).

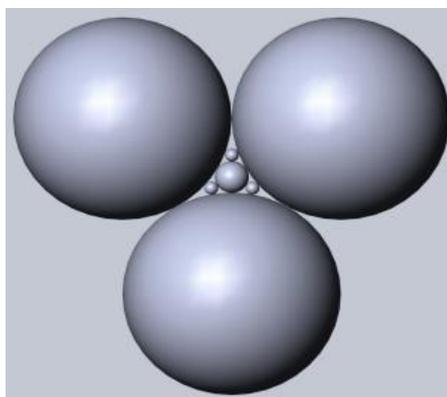


Рисунок 3.3 – Расположение шариков гранул на плоскости

2. Следующая фракция, для плотного заполнения, должна быть на порядок меньше крупной (что подтверждается объемным моделированием), значит это 0,1-0,3 мм.

3. Самая мелкая фракция, должна составлять 0-0,02 мм.

Поскольку мелкой фракции в смесь добавляется не много, она не особо влияет на себестоимость. Поэтому там, где получить кварцевую муку проблематично, допустимо заменять ее *гидроксидом алюминия*.

Путем построения объемной модели, удалось определить наиболее подходящие для плотной смеси размеры песчинок. Но здесь важным является количественное соотношение компонентов в полимербетонной смеси.

4. Рациональное соотношение фракции наполнители возможно определить используя формулу Фуллера [67].

$$S = 100\sqrt{d/D} . \quad (3.13)$$

где S – масса каждой размерной фракции гранул, %;

d – максимальный размер гранулы в каждой из фракций, мм;

D – максимальный желаемый размер зерна, мм.

Например мы проектируем полимербетонную трехкомпонентную смесь для изделия толщиной 10мм Желаемый размер зерна из условия что он не должен превышать 1/3 толщины изделия составит 3,3 мм.

Правильно выбранное различных фракций соотношение заполнителей очень важно при проектировании состава смеси. Избыточное содержание заполнителя, а также чрезмерное содержание тонких фракций повлекут за собой получение излишне вязкой смеси, что затруднит в дальнейшем отливку изделий из нее, а также большого скопления воздуха у поверхностного слоя.

Большое количество крупной фракции может явиться причиной недостаточной пропитки ее смолой, что может привести к возникновению дефектов в изделии из –за неравномерной усадки смеси в процессе изготовления изделия из нее.

Поскольку размеры фракций могут отличаться от расчетных, используют матрицу авторасчета количества заполнителя по фракциям которые указаны в таблице 3.7 и в рисунке 3.4.

Таблица 3.7 - Расчет количества фракций от общего количества заполнителя

Расчет количества фракций от общего количества заполнителя, % (по Фуллеру)			
Фракция (максимальное значение), мм	Максимальная фракция, мм	/	Необходимое количество данной фракции
0,02	1,2	13	13
0,2	1,2	41	28
1,2	1,2	100	59

Сюда вводите Ваши фракции

**Расчет фракций смеси по Фуллеру.**

Здесь  
смотрите  
процент  
данной  
фракции  
в смеси.

Расчет фракций по Фуллеру:			
Фракция, мм	Макс. Фр.	/	% в смеси
0,02		13	13
0,2		41	28
1,2		100	59
		0	-100
	1,2	0	0
		0	0
		0	0
		0	0
		0	0
		0	0

Сюда введите размер самой крупной частицы

Рисунок 3.4 – Форма расчетной таблицы

Следует иметь ввиду, что в матрицу вводятся размеры только самых крупных зерен в данной фракции.

Например для фракции (крупной) 0,8...1,2 мм вводят значение 1,2 мм, для мелкой 0,08...0,3 мм вводят значение 0,1 мм и т.д.

Как видно для нашего случая, количество крупной фракции должно составлять 59%, средней-28%, мелкой-13%. Небольшое количество мелкой фракции, необходимой для заполнения пространств между более крупными, благоприятно сказывается на количестве смолы, необходимой для смеси, т.к. мелкая фракция более всего густит композитную смесь вследствие большой площади смачиваемой поверхности.

5. Расчеты по формуле Фуллера не дают ответа, сколько необходимо добавить связующего т.е. смолы в смесь. Для примерного определения ее количества, можно готовить сухую смесь из 1,3 л кварцевой муки, 2,8 л – кварцевого песка и 5,9 л бутового щебня. Это необходимо сделать, перемешав фракции насухую. Далее необходимо набрать из нее ровно 1 литр сухой смеси, предварительно взвесив тару. Истинная плотность кварцевого песка без пор равна 2,65 кг/л. Определяется объем пустот следующим образом:  $1 - (2 \text{ кг} / 2,65 \text{ кг}) = 0,25 \text{ л}$ . Именно такой объем имеют пустоты в смеси.

Для смачивания такого количества смеси смолы потребуется несколько больше указанного объема, т.к. она будет иметь вязкость большую чем воздух, или вода. Вещества смолы потребуется несколько больше, чем воды для смачивания такого же количества песка. Но данный тест позволяет определить, с какого количества необходимо начинать свои практические опыты.

6. Композитная смесь готовится для того, чтобы быть залитой в какую-либо форму.

Рассмотрим практически этот процесс. Оттарируем тару. Высыпем перемешанную смесь песков и 1л лабораторного образца, использованного в прошлом опыте в эту ёмкость. Определим сколько получилось литров сухой смеси. Получим, например, 9 литров. Пересыпем песок в другую ёмкость. Произведем расчеты: 1 литр песка имеет 250 мл пор, значит, на смачивание 9 л песка понадобится  $9 \text{ л} \times 0,25 \text{ л} = 2,25 \text{ литра}$  - смолы. Наливаем в тарированную ёмкость 2,25 литра смолы, добавляем в нее 20 мл отвердителя. Непрерывно перемешивая, начинаем досыпать песчаную смесь. Если смесь все еще слишком вязкая, готовим и вливаем еще 0,5 литров смолы. Когда смесь перестанет рваться лопастями миксера, и начнет становиться однородной, попробуем наклонить ёмкость, и оценим, сможет ли она литься в матрицу.

7. Зная объем заливки конкретной матрицы, можно прогнозировать конечную массу изделия. Например, матрица с объемом заливки 7 л даст нам изделие массой:  $7 \times 2,1 = 14,7 \text{ кг}$ .

8. Можно вычислить коэффициент совмещения объемов. При смешивании разных фракций песка и смолы, воздушные поры между гранулами заполняются более мелким материалом. При этом, итоговый объем смеси получается меньше, чем суммы объемов добавленных компонентов. Зная величину уменьшения объема, можно прогнозировать объем первоначально необходимых компонентов. Так, смешивая наполнитель различных фракций: 1,3 + 2,8 + 5,9 литров со смолой + 3 л получим 13 литров, а реальный объем смеси получился 10 литров.

Таким образом можно установить, что для получения, например, 7 литров готовой смеси, необходимо взять  $13/10 \times 7 = 1,3 \times 7 = 9,1 \text{ литра}$ , а ингредиентов, в частности, по фракциям: смолы  $3/10 \times 7 = 2,1 \text{ л}$ ; аналогично, мелкого песка: 0,91 л; среднего: 1,96 л; крупного: 4,13 л.

9. Готовая смесь выливается в матрицу при включенном вибростоле. После укладки смеси в форму она подвергается вибрации, до тех пор пока не перестанут подниматься пузырьки. Если самые крупные песчинки погрузились в глубину, а на поверхности выступила чистая смола, значит смесь не идеальна, она дает расслоение. При следующих опытах исследуется состав смеси, меняя соотношение количества ее компонентов.

10. Этот этап проводится в следующем порядке. Производится добавка в отливку около 100 мл пироксида кремния (аэросила 200) на литр смолы. Т.е. для 3 литров необходимо перед добавлением песка, замешать в смолу 300 мл этого вещества. Количество может быть определено экспериментально. При добавлении большего количества смесь густеет, и смолы требуется больше. Рекомендованное количество аэросила должно придать смеси достаточную тиксотропность для поддержания крупного песка на поверхности и в массе смеси при вибрации. Кроме того, этот компонент является молекулярно дисперсным силикатом и придает смеси дополнительное сопротивление растрескиванию при отверждении.

11. Следующий этап — смещение фаз мелкий-средний песок в сторону мелкого, и наоборот. Истинный гранулометрический состав в пределах фракции песка не известен. Во фракции, например, 0,1-0,3 мм количество песчинок размером 0,1 мм может преобладать, или наоборот, быть меньше, чем количество песчинок другого размера. Это сдвигает реальный необходимый процент данной фракции в сторону ее уменьшения или увеличения. Поскольку крупный песок является основой полимербетона, придающей ему прочность, антиусадочные свойства и малое потребление смолы, регулировать количество этой фракции не следует. Просто, уменьшив ее, мы получим большее потребление смолы, а увеличив — не сможем удержать смесь от расслоения.

В ходе экспериментов по регулированию состава смеси необходимо определить окончательный состав смеси, наиболее рациональный для данного наполнителя и смолы. Смесь должна получиться настолько плотной, что бы крупный песок вообще не покрывался слоем смолы на открытой части матрицы при вибрации. Он как бы «зависает» в несущей среде — плотной смеси. Сама смесь в этом случае дает минимальную усадку и не подвержена растрескиванию. Готовые изделия после отверждения легко выходят из матрицы под действием собственного веса.

12. Для производственных условий, удобнее отвешивать компоненты смеси на весах. Для этого, необходимо набрать ровно по 1 литру каждой фракции песка, а также, 1 л смолы, предварительно взвесив тару. Вычтя массу тары, получим, например, что 1 л смолы имеет массу 1,1 кг; 1 л мелкого песка — 1,9 кг; среднего — 1,8 кг; крупного — 1,7 кг.

Переведем объемные проценты в смеси, определенные в п. 6, в массовые. Получим, что для приготовления 10 литров смеси массой 21 кг нужно смешать смолы: 3 л x 1,1 кг/л = 3,3 кг; мелкого песка: 1,3 x 1,9 = 2,47 кг; среднего песка: 2,8 x 1,8 = 5,04 кг; крупного: 5,9 x 1,7 = 10,03 кг. Это и есть расчетные данные в кг на 10 литров готовой смеси, которые можно применять для составления любого необходимого количества смеси.

Оценим, содержание смолы в смеси:  $3,3 \text{ кг смолы} \times 100\% / 21 \text{ кг готовой смеси} = 15,7\%$ . Считается, что для технологии литья в принципе невозможно добиться содержания смолы ниже 14%. И для приближения к этому «абсолютному» минимуму используют химические добавки, увеличивающие смачиваемость наполнителя, и снижающие вязкость смолы. А это значительно удорожает себестоимость.

Проведенные исследования позволили разработать экспериментально-теоретический метод подбора оптимальных составов полимербетонов, который имеет следующие особенности. Составы полимербетонов проектируют в три стадии: вначале экспериментально определяют оптимальный состав клеящей мастики, затем теоретически вычисляют размеры щебня для состава бетона с «полупрерывистой гранулометрией», количество фракций и их соотношение между собой, после этого состав заполнителей уточняется на приборе для подбора сухой смеси.

По данной методике выбран рациональный состав полимербетонной смеси для дальнейших исследований:

- бутовый щебень - 50-52%,
- кварцевый песок 25-27%,
- кварцевая мука 10,5-11,5 %,
- смола ЭД 2- 20%.

Состав защищен патентом РК № 34808 [68].

### 3.3 Исследование прочностных характеристик полимербетона

Одной из основных характеристик полимербетона, который предполагается использовать для изготовления корпусов редукторов является прочность на сжатие и изгиб. С целью определения этих характеристик для выбранного состава полимербетона были проведены специальные исследования по следующей методике.

Лабораторные исследования по установлению закономерностей изменения прочности полимербетона на сжатие и изгиб производилось на образцах – пробниках, в форме балочек. За базовый принимали образец с размерами рабочего сечения 40x40x160 мм.

При производственном контроле полимербетонов, к которым одновременно предъявляются требования по прочности на растяжение при изгибе и на сжатие, допускается определять прочность полимербетона на сжатие испытанием половинок образцов-призм, полученных после испытания на изгиб образцов-призм. Отклонение размеров отформованных образцов по длине ребер, сторон поперечного сечения призм от номинальных, не превышал  $\pm 1$  %. Неплоскостность опорных поверхностей призм, прилегающих к плитам пресса, не превышала 0,05 мм на 100 мм длины. Неперпендикулярность смежных граней призм, предназначенных для испытания на сжатие, не превышала 1 мм на 100 мм длины.

Образцы изготавливали сериями, состоящими из трех призм. Образцы имели маркировку, которую наносили на грани, видимые в процессе испытания.

Формы для изготовления контрольных образцов (рисунок 3.5) отвечали требованиям ГОСТ 22685-77 [69]. Общий вид образцов представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Формы для изготовления контрольных образцов – призм квадратного сечения

Перед изготовлением образцов внутренняя поверхность собранных форм тщательно очищалась и покрывалась разделительным слоем, препятствующим прилипанию полимербетона к форме.

Проба полимербетонной смеси для изготовления контрольных образцов отбиралась из средней части замеса.

Отобранная проба полимербетонной смеси дополнительно перемешивалась перед формованием образцов. Формование образцов производилось не позднее чем через 10 мин после отбора пробы.

Полимербетонную смесь для изготовления образцов приготавливали в соответствии с требованиями Инструкции СН-525-80 [70].

Укладку и уплотнение полимербетонной смеси в формах производили в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78 [7, 11 с.] и Инструкции СН-525-80 [70, 67 с.].

Отверждение полимербетонных образцов производилось в соответствии с требованиями Инструкции СН-525-80 [70, 37 с.].

Высота образца (рисунки 3.6, 3.7) определялась в соответствии с требованиями ГОСТ 22372-77 [8, 14 с.].

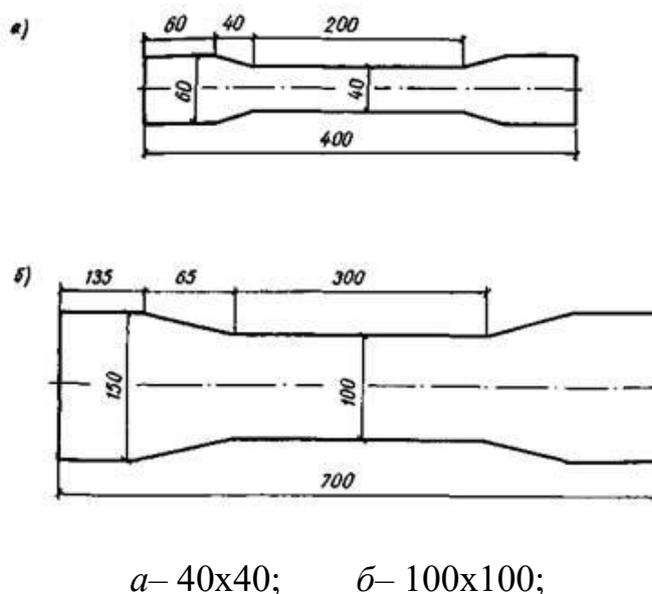


Рисунок 3.6 – Контрольные образцы-восьмерки. Размер рабочего сечения средней части, мм.

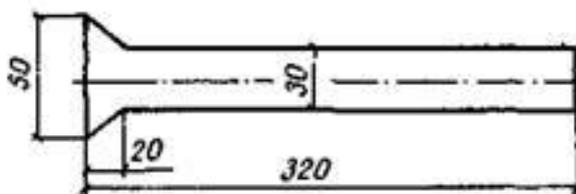


Рисунок 3.7 – Контрольные образцы-балочки с уширенным концом

## Технология приготовления составов пробников

Изготовление образцов полимербетона для испытаний осуществлялось в несколько этапов.

Первый этап *технологии изготовления пробников полимербетона* — подготовка сырьевых компонентов. Влажность наполнителей и заполнителей полимербетона составляла не более 0,5 ...1 %. Это объясняется тем, что прочность и другие свойства полимербетона резко падают при использовании влажного заполнителя: тончайший слой воды на частицах заполнителя ухудшает твердение полимерного вяжущего и снижает его адгезию к ним. Поэтому заполнители и наполнители сушили в сушильном шкафу при температуре 80...110°C и обязательно охлаждали перед дозированием до нормальной температуры.

В качестве заполнителя использовали тонкомолотый бутовый щебень (таблица 3.8), а также кварцевый песок и кварцевая мука. В качестве связующего использовалась эпоксидная смола ЭД-20 [71].

Таблица 3.8 – Состав пробников для исследования прочностных характеристик полимербетона

Составляющие	Бутовый щебень	Кварцевый песок	Кварцевая мука	Мука андезитовая	Смола	Отвердитель
Расход в %	51	25,5	11	-	10,6	2,0
Расход в г.	1000,0	502,0	220,0	-	200,0	10,0

Синтетическую смолу и отвердитель перед употреблением доводили до необходимой вязкости нагревом и введением растворителя (646, ацетона).

*Приготовление полимербетонной смеси* производили в следующем порядке. Сначала готовили связующее, а затем вводили в подготовленную смесь заполнители. Связующее готовили в течении 30...60 с. Готовую смесь сразу же загружали в специальную емкость, где уже находились предварительно перемешанные и обработанные *модифицирующие добавки* с небольшим количеством связующего заполнителя. Перемешивание заполнителей со связующим производили в течении 1,5...2 мин.

Введение части смолы (мономера) в емкость с заполнителями имело целью создание на поверхности заполнителей тонких пленок смолы. При этом при последующем введении связующего, заполнитель не будет адсорбировать смолу из связующего и прочность контактных слоев связующего не снизится, как это имеет место при введении связующего в необработанный заполнитель.

Двухстадийное получение смеси имеет ряд преимуществ: сокращается общая длительность цикла перемешивания и уменьшается расход смолы (мономера); связующее получается более однородным по составу, и его можно подогреть или охладить в процессе приготовления с целью регулирования

вязкости и жизнеспособности, а также провести вакуумирование для удаления вовлеченного воздуха и повышения прочности.

При выборе объема замеса в связи с малой жизнеспособностью полимербетонных смесей, их укладка осуществлялась немедленно после перемешивания. В противном случае из-за большого количества теплоты, выделяющейся при взаимодействии смолы и отвердителя, может произойти быстрый саморазогрев смеси, ведущий к еще большему ускорению отверждения смолы и преждевременному схватыванию смеси.

Для исключения излишнего расхода компонентов полимербетонной смеси при литье корпусных деталей объем замеса определялся по объему воды, заливаемой в форму. Вследствие значительно более высокой вязкости и липкости полимербетонных смесей использовали вибростол с повышенной частотой виброуплотнения и пригруза. Чтобы беспрепятственно вынимать полимербетонные изделия из форм, использовали смазочные составы – разделитель – Смазка антиадгезионная серии «Пента – 120», марка П-126 П

В качестве контрольных образцов-пробников использовали призмы квадратного сечения 40мм.х40мм., длиной 160 мм. (рисунок 3.8).

Составы пробников подбирались из условия определения характеристик затвердевшего полимербетона при использовании различных материалов с различным их содержанием в смеси.

Полимербетоны могут твердеть при обычной температуре, но набор прочности в таких условиях иногда продолжается долго – до 100-300 сут. Поэтому для быстрого получения материала с большой прочностью полимербетона в формах прогревали в сушильном шкафу при температуре  $\approx 80^{\circ}\text{C}$ .



Рисунок 3.8 – Контрольные образцы-пробники

#### *Подготовка к испытаниям*

Перед испытанием образцы-призмы подвергали осмотру и измерению.

Для обмера образцов определяли их рабочее положение при испытании и отмечали красной краской грани, которые будут прилегать к опорам. На опорных

поверхностях образцов-призм в соответствии со схемой испытаний размечали краской места опирания и точки приложения нагрузки. Наплывы полимербетона на ребрах опорных граней удаляли.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78 [7, 11 с.] проверяли:

- неперпендикулярность смежных граней;
- неплоскостность опорных поверхностей;
- фактические размеры образца;
- наносили маркировку;
- выявляли дефекты и результаты записывали в журнал испытаний.

Перед испытанием образцов отмечали:

- база измерения продольных деформаций (равную не больше 2/3 его высоты), которая назначалась на одинаковом расстоянии от концов образца.
- база измерения поперечных деформаций назначалась, как правило, равной стороне образца и не менее 50 мм;
- на боковые грани образца наносили центральные линии, предназначенные для начального центрирования образцов относительно оси испытательной машины (пресса).

Перед испытанием образцы в течение 10 - 20 ч выдерживали в помещении лаборатории. Интервал рабочих температур помещения, где производили испытания, был в пределах  $20 \pm 5$  °С при относительной влажности воздуха не более 70 % в соответствии с требованиями ГОСТ 18957-73 [9, 16 с.] с возможным изменением в процессе испытания температуры  $\pm 1$  °С и влажности воздуха  $\pm 5\%$  [72].

### **3.4 Определение кратковременных прочностных и упругих характеристик**

*Определение прочностных и упругих характеристик проводилось следующим образом*

Показания приборов снимали сразу же после подъема нагрузки на очередную ступень. Время выдержки под нагрузкой на каждой ступени определялось длительностью, необходимой для снятия показаний приборов и не превышало 1 мин.

Обработка результатов испытаний по определению кратковременной прочности при сжатии, растяжении и растяжении при изгибе проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78 [7, 11 с.].

Средняя скорость нарастания испытательной нагрузки на образец была  $(0,05 \pm 0,01)$  кН/с  $[0,12 \pm 0,02)$  МПа/с в пересчете на единицу площади приведенного сечения балочки. Захват для установки образца был снабжен цилиндрическими элементами, изготовленными из стали твердостью 56...61.

Нижние опорные элементы имели возможности поворота относительно горизонтальной оси, лежащей на нижней опорной плоскости образца и являющейся осью ее продольной симметрии. Схема расположения образца на опорных элементах, их форма, размеры и взаимное расположение приведены на рисунке 3.9.

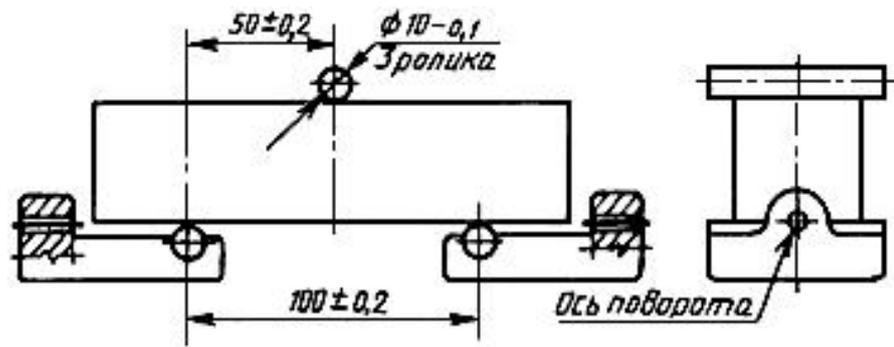


Рисунок 3.9 – Схема расположения образца на опорных элементах

Для определения предела прочности образцов при сжатии был использован пресс с предельной нагрузкой до 100 кН, удовлетворяющий техническим требованиям ГОСТ 28840-90 [13, 17 с.] и обеспечивающий нагружение образца в режиме чистого сжатия.

Для компенсации пространственного отклонения от непараллельности опорных граней образца пресс имел подвижную шаровую опору. Пресс был снабжен приспособлением для центрированной установки нажимных пластинок, передающих нагрузку на образец. Они были изготовлены из стали твердостью 56...61. Форма и размеры пластинки приведены на рисунке 3.10

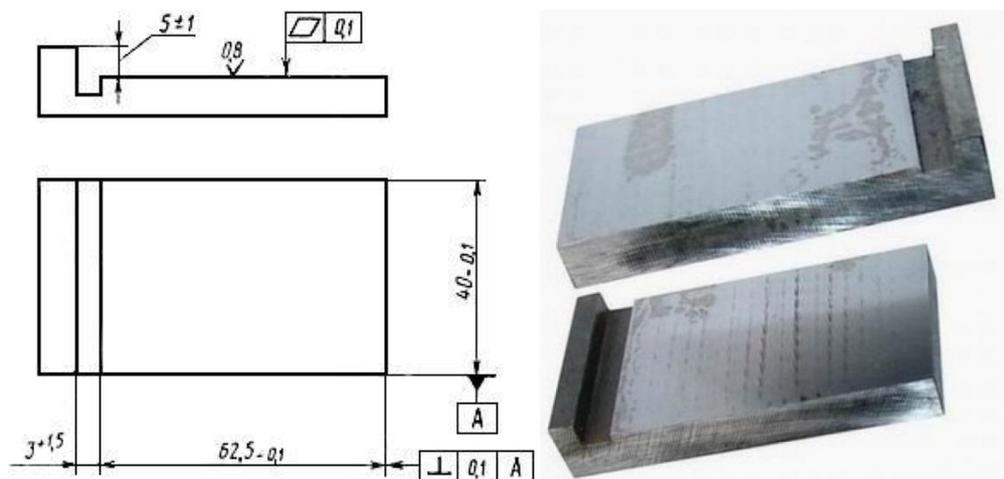
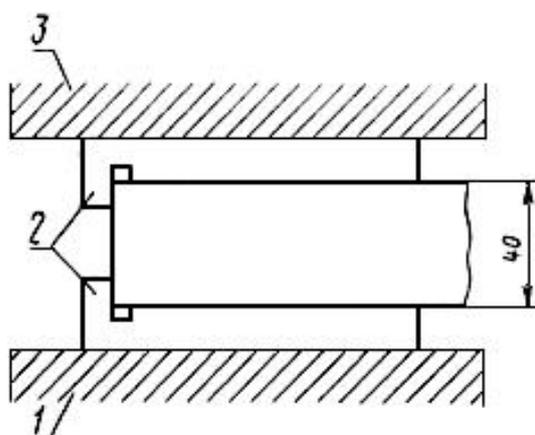


Рисунок 3.10– Пластины для передачи нагрузки на половинки образцов-призмочек

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергали испытанию на сжатие. Половинку балочки помещали между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой плоскости. Образец вместе с

пластинами центрировали на опорной плите пресса. Средняя скорость нарастания нагрузки при испытаниях была  $(2,0 \pm 0,5)$  МПа/с.



1 - нижняя плита пресса; 2 - пластинки; 3 - верхняя плита пресса

Рисунок 3.11 – Положение образца между нажимными пластинками при испытании на сжатие

### *Испытание образцов на изгиб*

Исследования проводили на контрольных образцах- призмах  $L=160$  мм., сечением в средней части  $40 \times 40$  мм. Высоту и ширину образца в средней его части определяли с помощью штангенциркуля с точностью до  $0,1$  мм, испытания образцов выполняли на ручном гидравлическом прессе с максимальным усилием  $100$  кН. Для проведения исследований была разработана приставка к прессу (рисунок 3.12), состоящая из стального диска на котором были закреплены два упора из прутка  $d=10$  мм.

Расчет  $P_{изг}$  проводили по формуле

$$P_{изг} = d_{порш} \cdot p, \quad (3.14)$$

где  $p$  – давление в рабочей полости пресса, МПа

Предел прочности при изгибе вычисляли по формуле

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{c \cdot h^2} = \frac{P_{изг} \cdot l / 2}{c \cdot h^2}, \quad (3.15)$$

где  $\sigma_{изг}$  – предел прочности при изгибе, Па;

$c$  – ширина образца в месте излома, м;

$h$  – высота образца в месте излома, м;

$P_{изг}$  – нагрузка в средней части образца, Н;

$l$  - расстояние между опорами, м.

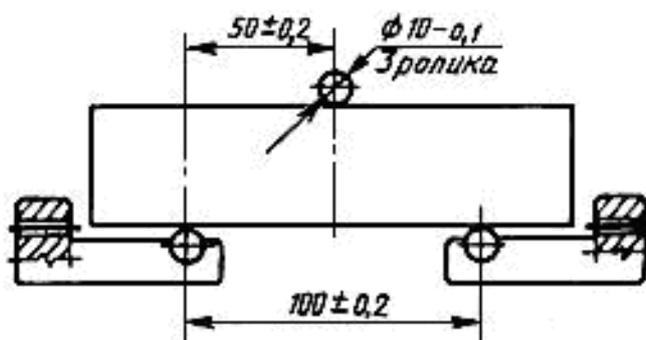


Рисунок 3.12 – Расчетная схема для определения предела прочности

Результаты опытов представлены в таблице 3.9

Таблица 3.9 – Предел прочности образцов полимербетона при изгибе

№ Обр аз ца	Размеры		$p$ – давлен ие в рабо чей полост и пресса, кг/см <sup>2</sup>	Момент сопротивл ения сечения образца, $W_{x-x} = ch^2/6$ , см <sup>3</sup>	Изгибаю щая нагруз ка $P_{изг}, Н$ $P_{изг} = S_{цил} \cdot n$	Предел прочности при изгибе, МПа $\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{c \cdot h^2} = \frac{P_{изг} \cdot l/2}{c \cdot h^2}$
	$c$ , см.	$h$ , см.				
3.1	4,1	4,1	46	11,49	17696,2	77,01
3.2	4,0	4,4	58	12,90	22312,6	<u>86,48</u>
3.3	4,0	4,5	60	13,50	23082,0	<u>85,49</u>
$\sigma_{изг.ср.} = \frac{\sum \sigma_{изг}}{3} = 82,99$						

Анализ данных экспериментов позволяет сделать следующие выводы

1. Прочность при изгибе образца в полимербетон почти в 5...6 раз превысила данные по прочности, приведенные в литературе.

2. Наибольшую прочность показали пробники, изготовленные с наполнителем из бутового щебня [73].

*Испытание образцов полимербетона на сжатие*

Исследования проводили на девяти половинках образцов полученных после испытания на изгиб. Высоту и ширину образца в средней его части определяли с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм, испытания образцов выполняли на гидравлическом прессе с максимальным усилием 100 кН. На рисунке 3.13 приведена фотография размещения нажимных пластинок и испытуемых образцов на прессе.



Рисунок 3.13 – Размещение нажимных пластинок и образцов на прессе

Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляли как частное от деления величины разрушающей нагрузки (в Н) на рабочую площадь пластинки  $S_{пл.}$  (в  $см^2$ ), как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытания шести образцов.

Результаты экспериментов приведены в таблице 3.10

Таблица 3.10 – Предел прочности образцов полимербетона на сжатие

№ и состав образца		Показания манометра пресса $p$ , МПа	Разрушающая нагрузка, кН $P_{сж} = d_{порш} \cdot p$	Предел прочности на сжатие, МПа $\sigma_{сж} = \frac{P_{сж}}{S_{пл.}}$	
1	1.1	10,8	41,55	184,67	130,28
	1.2	11,0	42,32	118,09	
	1.3	11,0	42,32	188,09	

Анализ данных таблицы 3.10 позволяет констатировать следующее.

Наивысшей прочностью характеризуется состав полимербетона на основе бутового щебня, кварцевого песка и муки. Она в 10...12 раз превышает данные литературных источников для строительных полимербетонов.

Таким образом для дальнейших исследований следует ориентироваться на эти составы полимербетона. Этот состав по своим характеристикам в полной мере отвечает конструкционным материалам для изготовления корпусов редукторов методом отливки. Это – необходимая прочность на сжатие и изгиб, а также высокая подвижность смеси после ее приготовления. Полученные характеристики предлагаемого состава полимербетона позволяют изготавливать корпуса редукторов с уменьшенной толщиной стенок меньшей массой, что дает возможность получить изделие с низкой стоимостью. Для этого необходимо разработать соответствующую технологию и разработать соответствующую оснастку для нее [74].

### **Выводы по разделу 3**

1. Физико – механические и реологические характеристики полимербетонной смеси и отвердевшего полимербетона зависят от характеристик исходных компонентов и их соотношения в смеси.

2. В наибольшей степени в качестве заполнителя для полимербетона, который может быть использован в качестве конструкционного материала, являются бутовый щебень, кварцевый песок и кварцевая мука.

3. Рациональной структурой полимербетона является заполнитель с прерывистой гранулометрией, в котором пустоты в крупном заполнителе заполняются мелким, а пустоты в мелком заполнителе заполняются тонким.

4. В полимербетонной смеси размер зерен заполнителя крупного, мелкого и тонкого должен различаться на порядок. Это обеспечивает высокую плотность и, как следствие, высокую прочность полимербетона.

5. Разработанная методика подбора рационального состава полимербетонной смеси для изготовления корпусов редукторов позволила рекомендовать состав смеси, защищенный патентом Республики Казахстан:

- бутовый щебень - 50-52%,
- кварцевый песок 25-27%,
- кварцевая мука 10,5-11,5 %,
- смола ЭД2- 20%.

6. Рекомендованная полимербетонная смесь после отверждения характеризуется высокой прочностью на сжатие 130,28 МПа и изгиб 82,99 МПа, в 5-7 раз превышающие полимербетон, используемый в строительном производстве.

## **4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ ИЗ ПОЛИМЕРБЕТОНА**

### **4.1 Оснастка для отливки корпусов редукторов из полимербетона**

Проведенные исследования показали, что разработанный состав полимербетона по своим характеристикам вполне пригоден как конструкционный материал для изготовления корпусов редукторов. Однако на конечный результат – изготовление корпуса редуктора будет оказывать серьезное влияние технология изготовления изделия. В качестве объекта изготовления корпуса редуктора из полимербетона был выбран редуктор Ц2-250.

К технологии изготовления корпусов редукторов можно сформулировать ряд требований: необходимо стремиться к тому, чтобы получить изделие высокой готовности, не требующее дополнительной механической обработки; технология должна быть экономичной и малоэнергозатратной, она должна минимально использовать ручной труд и обеспечивать экологичность производства.

Как показал анализ технологии изготовления корпусов редукторов – это их отливка. Такая технология является наиболее совершенной, малозатратной, исключая необходимость механической обработки деталей, обеспечивающей высокую точность их изготовления.

Главной особенностью изготовления литых деталей является то, что все их свойства (физические, химические, механические и др.) формируются только при одном металлургическом переделе – при заливке смеси компонентов в литейную форму и ее кристаллизации в ней. Технология изготовления отливки в значительной мере формирует и определяет ее качество, а значит, и качество литой детали. Несовершенство конструирования литой детали из металла и неправильность выбора способа литья ведут к образованию значительных припусков на механическую обработку. Это вызывает создание излишнего станочного парка, инструментария, технологической оснастки, производственных площадей и пр. Причем все это направлено на перевод металла в стружку. При литье поверхностный слой отливки из металла имеет более мелкозернистую структуру повышенной твердости, а механической обработкой этот слой снимается. Чем больше предусмотрен припуск на механическую обработку, тем больше снимается упрочненный поверхностный слой, что ухудшает прочностные характеристики изделия и снижает срок его службы [75,76].

Этих недостатков лишен полимербетон предложенного состава. Он характеризуется возможностью формирования из смеси компонентов деталей не требующих механической обработки.

Однако процесс подготовки форм для отливки корпусных деталей из полимербетона не изучен достаточно полно, поскольку он имеет ряд специфических особенностей, связанных с исходными материалами полимербетонной смеси. Поэтому одной из задач исследований была разработка технологии отливки корпусных деталей редукторов из полимербетона и в

частности конструктивные решения оснастки для реализации этой технологии [77].

Главным элементом оснастки выступает форма, то есть матрица. На рынке существует готовое оснащение для литейного производства, но в нашем случае его использование оказалось невозможным. Это связано с тем, что формами для литья корпусов редукторов пока никто не занимался.

Матрица должна учитывать ряд факторов, имеющих существенные отличия литья элементов редуктора из полимербетонных смесей. Во-первых, это материал, из которого должна изготавливаться матрица. Во-вторых, ее конструкция должна обеспечивать высокую надежность, простоту изготовления и сборки. И, наконец, матрица должна обеспечивать удобство выемки отлитой детали без ее возможного повреждения [78].

Обычно для изготовления каркаса форм используется композитный материал, схожий по характеристикам с пластиком. По результатам проведенного анализа установлено, что наиболее целесообразно использовать листовую сталь толщиной 0,5...0,6 мм и уголки № 4 из-за удобства применения контактной сварки для соединения их между собой.

Каркас для верхней и нижней крышки редуктора предложено сделать разъемным для удобства выемки изделия, хотя верхняя крышка не имеет впадин (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Крышка корпуса редуктора

В качестве материала для формирования внешних и внутренних поверхностей был использован литейный силикон. Силикон – это полимер, основой которого является цепочка молекул кремния и кислорода. К атомам кремния присоединяются органические группы (фенильные, этильные, метильные). При этом в силиконе может присутствовать несколько кремний-кислородных цепочек, соединенных органическими группами. Они имеют химическую формулу  $[R_2SiO]$ , где R – это органическая группа [79].

Свойства силикона зависят не только от того, какая органическая группа в нем присутствует, но и от количества цепочек, их длины, количества перекрестных сшивок между звеньями.

Все силиконы делятся на три большие группы в зависимости от количества звеньев, от степени сшивки цепочек между собой, от длины цепочек и молекулярной массы:

- силиконовые жидкости (материалы с количеством звеньев менее трех тысяч);
- силиконовые эластомеры (содержат от трех до десяти тысяч звеньев);
- силиконовые смолы (материалы с количеством звеньев более десяти тысяч и с большим количеством перекрестных связей).

В технике и промышленности востребованы такие свойства силикона, как устойчивость к ультрафиолетовому и радиационному излучению, химическая инертность, сохранение эластичности при высоких и низких температурах и другие.

Проведенный анализ показал, что для отливки деталей редукторов из полимербетона при изготовлении матриц наилучшим материалом является силикон «Силагерм 7140» со следующими характеристиками:

Твердость по Шору, 35 – 45 А;

Кажущаяся вязкость компаунда, 10 000 – 250 000 сПз;

Прочность при разрыве, 2,0 (20) – 3,5 (35) МПа (кгс / см<sup>2</sup>);

Прочность на раздир, 10 – 15 кН / м;

Относительное удлинение 200 – 250.

Силагермы класса 7000 – это силиконы, отверждаемые соединениями олова по принципу поликонденсации, обладающие высокой прочностью на разрыв, а так же высокой устойчивостью и долговечностью в эксплуатации.

Силагерм 7140 отверждается при комнатной температуре в течение 24 часов. Он используется для изготовления форм со сложной конфигурацией. Твердость по Шору 35 – 45 А позволяет сохранять геометрию формы при объемной крупной заливке. Температурный режим работы от минус 60 до плюс 250 °С.

Указанные характеристики в полной мере удовлетворяют требованиям отливки крупногабаритных элементов редукторов, что подтвердили проведенные исследования.

Для фиксации силиконовой матрицы на поверхности каркаса, на высоте одной трети от верхнего среза каркаса по контуру каркаса с шагом 100 мм точечной сваркой были закреплены стрелки из листовой стали (рисунок 4.2). Наличие стрелок на каркасе при литье сверху не позволяет полимербетону проникнуть между силиконовой матрицей и каркасом. После разъема каркаса матрица легко отделяется от внешней поверхности крышки, сняв ее со стрелок.

Приняв во внимание относительно небольшую толщину опорного фланца его усилили, нарастив слой алебаstra.



Рисунок 4.2 – Каркас формы крышки редуктора

Предложена следующая методика изготовления матрицы. Для внутренней поверхности верхней и нижней крышек по осям подшипниковых карманов укладываются стальные трубки диаметром  $\frac{1}{2}$  " и прихватываются сваркой между собой заглушенной трубой квадратного сечения. Таким образом, уменьшается объем заливаемого силикона. Фиксацию полученной конструкции на внутренней поверхности крышек осуществляют штырями, установленными в отверстия каркаса, как для верхней, так и нижней крышек (рисунок 4.3). После установки, внутреннюю полость заливают литейным силиконом.



Рисунок 4.3 – Силиконовая модель внутренней полости корпуса редуктора

Для съема слепка с основания редуктора, имеющего впадины (рисунок 4.3), необходимо его распилить, а между половинками каркаса установить разделительную пластину (рисунок 4.4). Установлено, что заливку силикона

необходимо производить с нижней стороны основания, перевернув каркас и установив на поверхность вибростола (рисунок 4.5).

Такая конструкция матрицы позволяет с высокой степенью технологичности производить отливку изделий из полимербетона используя существующие устройства механизации при минимальных затратах ручного труда.



Рисунок 4.4 – Установка разделительной пластины в каркас основания редуктора



Рисунок 4.5 – Формы для литья основания редуктора

Таким образом в результате проведенных исследований была отработана рациональная конструкция матрицы, соответствующая особенностям полимербетона и предложена технология ее изготовления, учитывающая

специфические характеристики полимербетонной смеси и обеспечивающая выемку из матрицы готового изделия без нарушения его целостности.

На разработанную конструкцию матрицы разработан полный комплект конструкторской документации с необходимыми расчетами.

Предложенная конструкция матрицы полностью подтвердила свою работоспособность при изготовлении опытного образца редуктора Ц2-250.

#### **4.2 Оработка технологии отливки корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона**

Как указывалось выше наиболее перспективной для изготовления корпусов редукторов является технология отливки изделий из полимербетона. Учитывая то, что сведения о таких технологиях отсутствуют одной из задач, решаемых в диссертации, являлось исследование различных факторов, влияющих на процесс смесеобразования и процесс отливки корпуса редуктора Ц2-250. Эти исследования проводились с целью оптимизации технологии и обеспечения параметров, которые в наибольшей степени способствовали бы устойчивому технологическому процессу.

Одним из основных факторов, обеспечивающих постоянство характеристик изделий из полимербетона является соблюдение технологии подготовки материалов и режима смешивания компонентов и отливки изделия [80-82].

В основу технология подготовки полимербетонной смеси для литья деталей и узлов технологических машин были приняты требования СН 525-80 – «Инструкция по технологии приготовления полимербетонов и изделий из них» по которой обрабатывали базовые операции [70, 67 с.]:

- сушка наполнителей и заполнителей;
- фракционирование заполнителей;
- подготовка отвердителей и ускорителей;
- дозирование составляющих;
- перемешивание составляющих;
- отливка изделия;
- сушки готового изделия.

Наполнители и заполнители подвергали сушке для обеспечения влажности материалов не выше– 0,5...1 %. Сушку материалов производили в термошкафу. При необходимости после сушки заполнителя его подвергали рассеву на ситах по фракциям, а затем заполнители и наполнители загружали в соответствующие емкости-накопители. Температуру наполнителей и заполнителей перед подачей в смеситель довели до  $20 + 5$  °С.

Дозирование составляющих полимербетонной смеси производили по массе, с точностью дозирования: смолы, наполнителя, отвердителя -  $\pm 1$  % по массе; заполнителей (песка и щебня) -  $\pm 2$  % по массе.

Перемешивание составляющих полимербетонной смеси производили в две стадии [83]:

- приготовление мастики;
- приготовление полимербетонной смеси.

Перемешивание составляющих полимербетонной смеси:

- подача в высокоскоростной смеситель отдозированного количества смолы ФАЭД и перемешивание в течение 10 с (частота вращения рабочего органа смесителя 600 – 800 об/мин);
- подача в работающий смеситель отдозированного количества наполнителя и перемешивание смеси в течение 30 – 60 с;
- подача в работающий смеситель отдозированного количества отвердителя ПЭПА и перемешивание смеси в течение 30 – 60 с;
- выгрузка готовой мастики из работающего смесителя в бетоносмеситель в течение 15 – 30 с.

Общее время приготовления мастики составляло не более 2,0 мин, а с учетом выгрузки - не более 2,5 мин.

В процессе отработки технологии приготовления полимербетонной смеси в нее внесли некоторые изменения, которые исследовали путем отливки партии образцов с последующими механическими испытаниями.

Поскольку факторов, влияющих на характеристики полимербетона достаточно много был проведен выбор преобладающих факторов и проведена оценка их значимости по коэффициентам регрессии линейной модели. Это позволило спланировать количество экспериментов для достижения оптимальной области кратчайшим путем. При этом использовался метод крутого восхождения Бокса-Уилсон [84].

Проведенным анализом установлено, что наибольшими влияющими факторами на прочностные характеристики при приготовлении полимербетона следует считать скоростной режим смешивания, время перемешивания компонентов, температуру ЭДН, а также температуру сушки отформованного изделия [85].

С целью минимизации количества экспериментов для каждого фактора был выбран шаг каждого фактора. При этом учитывалось, что малые шаги могут не позволить зафиксировать изменение параметра оптимизации и удлиняют поиск, а верхний предел шага лимитируется областью определения фактора. При этом движение осуществлялось от центра эксперимента (основного уровня) к периферии (верхнего и нижнего уровней).

На основании изложенного была составлена матрица экспериментов, приведенная в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Матрица опытов крутого восхождения

Показатели	Фактор		
	$f_1$	$f_2$	$f_3$
1	2	3	4
Основной уровень	40	500	100(10)
Интервал варьирования	20	100	50(5)
Верхний уровень	60	600	150(15)

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4
Нижний уровень	20	400	50(5)
Опыт:			
1	+	+	+
2	+	-	+
3	-	+	+
Примечание: $f_1$ – влияющий фактор- температура компонента, $С^0$ ; $f_2$ – влияющий фактор- скоростной режим работы смесителя, $мин^{-1}$ ; $f_3$ – влияющий фактор- количество добавки пластификатора, г (%);			

На основе данной матрицы разработаны испытываемые составы, представленные в таблицах 1.3 – 1.6

После проведения экспериментов была проведена статистическая обработка результатов исследований, что позволила получить закономерности влияния исследуемых факторов на прочностные характеристики полимербетона.

#### 4.2.1 Исследование влияния скоростного режима на механические свойства полимербетонных смесей

Частота вращения рабочего органа смесителя обеспечивает эффективное распределение компонентов полимербетонной смеси с равномерным их размещением во всем объеме. Это позволяет получить полимербетон с гарантированными характеристиками. В технической литературе оптимальной считается частота вращения рабочего органа смесителя 600 – 800 об / мин [86]. При этих частотах вращения смешиваемая масса отбрасывается к стенкам емкости и «завоздушивается». При последующей отливке не все пузырьки выделяются из смеси при вибрационном уплотнении, а, следовательно, уменьшается живое сечение образцов. С целью получения закономерности влияния скоростного режима работы смесителя планируется проведены лабораторные эксперименты в соответствии с данными таблицы 4.

Для проведения экспериментов отливались партии образцов по 3 шт. и через 24 часа испытывали на изгибную прочность и сжатие. Результаты экспериментов приведены в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Влияние скорости вращения ротора мешалки на прочностные характеристики при изгибе стандартных образцов

№ образца	р – давление в рабочей полости пресса, МПа (кг / см <sup>2</sup> ) / прочность образца $\sigma_{из}$ , МПа		
	Минимальная частота вращения 350 об/мин	Промежуточная частота вращения $\approx 750$ об/мин	Максимальная частота вращения, 1300 об/мин
1	2	3	4
1.1	5,01 /72,64	-	-

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4
1.2	5,13/ 74,38	-	-
1.3	5,09/73,1	-	-
1.4	-	5,37/77,61	-
1.5	-	5,41/78,32	-
1.6	-	5,53/81,04	-
1.7	-	-	5,66/84,04
1.8	-	-	5,81/87,14
1.9	-	-	5,79/83,43

После статистической обработки результатов экспериментов получена закономерность влияния частоты вращения рабочего органа смесителя на прочность полимербетона, приведенная на рисунке 4.6

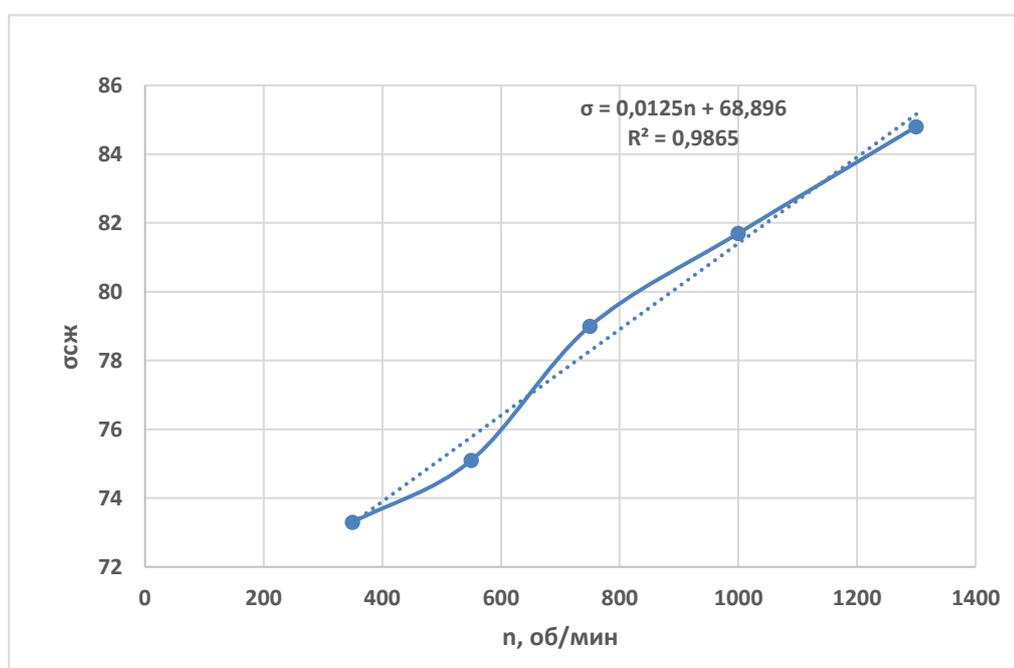


Рисунок 4.6 – Закономерность влияния частоты вращения рабочего органа смесителя на прочность полимербетона

Анализ полученной закономерности позволяет сделать вывод о том, что прочность полимербетона растет пропорционально увеличению частоты вращения. Это объясняется гомогенизацией смеси, что обеспечивает изотропность затвердевшего полимербетона. Однако для получения необходимой прочности полимербетона 75...80 МПа достаточна частота вращения 600...900 мин<sup>-1</sup>. Дальнейшее увеличение частоты вращения приведет к перерасходу электроэнергии и увеличению стоимости полимербетона [87].

#### 4.2.2 Влияние времени перемешивания компонентов на прочностные характеристики полимербетона

Одним из важнейших факторов, влияющих на качество полимербетонной смеси является время перемешивания. Учитывая различие в характеристиках исходных материалов, оно должно быть достаточным для равномерного размещения всех компонентов в объеме смеси. Это обеспечит ее гомогенность, что в свою очередь дает возможность рационального ее размещения в формах без образования внутренних пустот (раковин), снимающих прочность затвердевшего полимербетона.

В таблице 4.3 приведены результаты лабораторных экспериментов по определению влияния этого фактора на прочность затвердевшего полимербетона.

Таблица 4.3 Влияние времени перемешивания  $t_{\text{пер}}$  на прочностные характеристики при изгибе стандартных образцов при  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$

№ образца	$p$ – давление в рабочей полости прессы, МПа (кг / см <sup>2</sup> ) / $\sigma_{\text{из}}$ прочность образца, МПа		
	1 мин	2 мин	4 мин
2.1	4,08 / 61,23	-	-
2.2	4,21 / 61,89	-	-
2.3	4,18 / 59,89	-	-
2.4	-	5,01 / 72,78	-
2.5	-	5,22 / 78,3	-
2.6	-	5,33 / 77,24	-
2.7	-	-	5,91 / 86,02
2.8	-	-	5,84 / 84,73
2.9	-	-	5,73 / 85,94

По результатам статистической обработки этих данных на рисунке 4.7 представлена закономерность, описывающая этот процесс

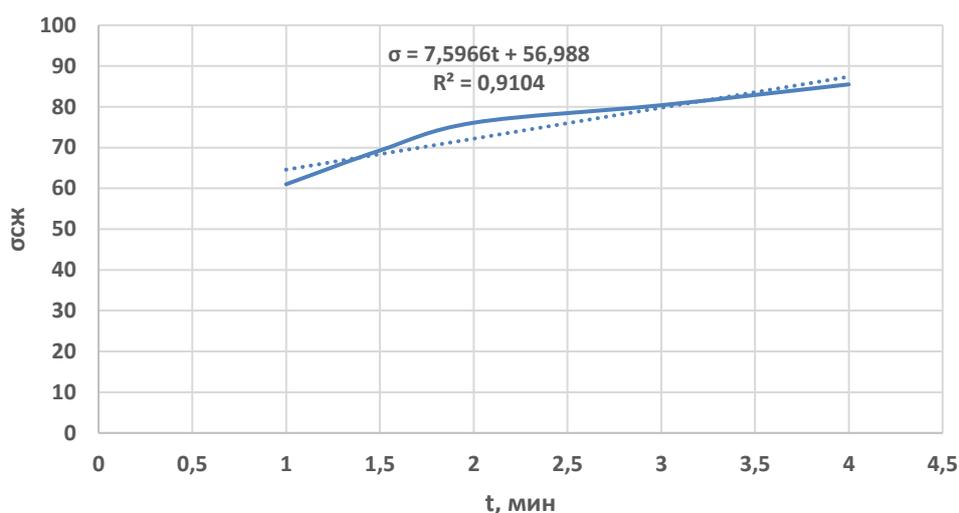


Рисунок 4.7 – Зависимость влияния времени перемешивания на прочность затвердевшего полимербетона

Анализ результатов экспериментов показал, что для достижения требуемой прочности полимербетона для изготовления корпусов редукторов вполне достаточно время перемешивания 3...4 мин. Дальнейшее время перемешивания не приводит к существенному росту прочности, поэтому его нерационально увеличивать [88].

#### 4.2.3 Исследование влияния связующего смолы ЭДН на прочность полимербетона

Важную роль в связывании компонентов полимербетона является температура смолы. В окончательном варианте предложенного для отливки корпусов редукторов состава полимербетона ранее установлено рациональное содержание смолы ЭДН в количестве 11 %.

Эпоксидно-дионовая смола, ЭДН-20 представляет собой плавный реакционно-способный продукт на основе дифенилолпропана и эпихлоргидрина. ЭДН-20 комбинируется с разными отвердителями. Для ускорения пропитки (заливки) рекомендуется нагревать смолу перед процессом смешивания.

Для лучшего режима работы смолы, как связующего хорошо обволакивающего зерна заполнителя, было проведено исследование влияния температуры смолы на конечный результат – прочность затвердевшего полимербетона [89].

Результаты экспериментов приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Влияние температуры ЭД н на прочностные характеристики при изгибе стандартных образцов (без ДБФ – дибутилфталлата)

№ образца	$p$ – давление в рабочей полости прессы, МПа (кг / см <sup>2</sup> ) / $\sigma_{из}$ прочность образца, МПа		
	20 °С	40 °С	60 °С
3.1	4,31 / 64,69	-	-
3.2	4,1 / 59,98	-	-
3.3	4,08 / 59,01	-	-
3.4	-	4,19 / 60,07	-
3.5	-	4,43 / 64,15	-
3.6	-	4,28 / 52,01	-
3.7	-	-	5,01 / 72,64
3.8	-	-	5,14 / 74,68
3.9	-	-	4,88 / 70,73

В результате статистической обработки результатов экспериментов получена закономерность влияния нагрева ЭДН-20 на прочность изделий из полимербетона, представленный на рисунке 4.8

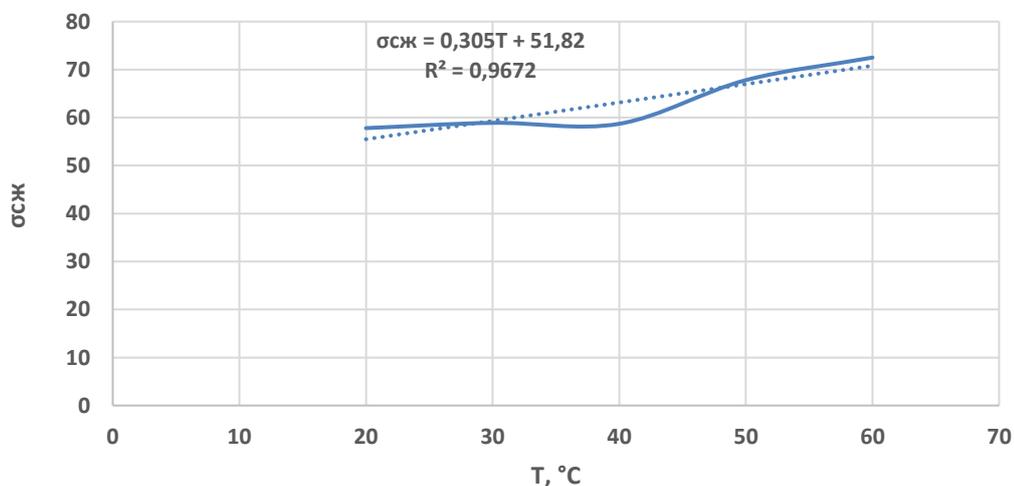


Рисунок 4.8 – Влияние температуры смолы, на прочность затвердевшего полимербетона

Как показали результаты экспериментов для достижения необходимой прочности изделий из полимербетона необходимо подогреть эпоксидную

смолу до температуры 60 °С. Это температура позволяет повысить текучесть смолы и обеспечить условия для лучшего обволакивания зерен заполнителя смеси.

#### 4.2.4 Влияние температуры сушки отформованных изделий из полимербетона на их прочностные характеристики

Набор прочности при отвердевании изделий из полимербетона может занимать достаточно длительный период. Поэтому данный процесс необходимо интенсифицировать, подвергая готовое изделие сушке.

При отвердевании изделий из полимербетона очень важно соблюдать температурный режим в определенных пределах, который обеспечивает заданные прочностные характеристики. Сушка изделий происходит при достаточно высокой температуре, что требует большого расхода теплоты, а значит и расхода электроэнергии, что может существенно удорожать изделие.

С этой целью были проведены эксперименты с рекомендованным составом полимербетона. Их результаты представлены в таблице 4.5

Таблица 4.5 – Влияние температуры сушки  $t_{\text{сушки}}$  на прочность образцов полимербетона, полученных при  $n = 1300 \text{ мин}^{-1}$ ;  $t_{\text{ЭД}}^0 = 60^0$ ;  $t_{\text{перем}} = 4 \text{ мин}$ .

№ образца	$p$ – давление в рабочей полости прессы, МПа (кг / см <sup>2</sup> ) / $\sigma$ - прочность образца, МПа		
	60 °С	120 °С	180 °С
4.1	5,22 / 75,43	-	-
4.2	5,31 / 67,89	-	-
4.3	5,18 / 74,23	-	-
4.4	-	5,40 / 78,56	-
4.5	-	5,42 / 78,78	-
4.6	-	5,61 / 81,39	-
4.7	-	-	5,98 / 86,43
4.8	-	-	6,31 / 91,69
4.9	-	-	6,54 / 94,26

На рисунке 4.9 представлены графически это закономерность и уравнение регрессии после статистической обработки результатов экспериментов.

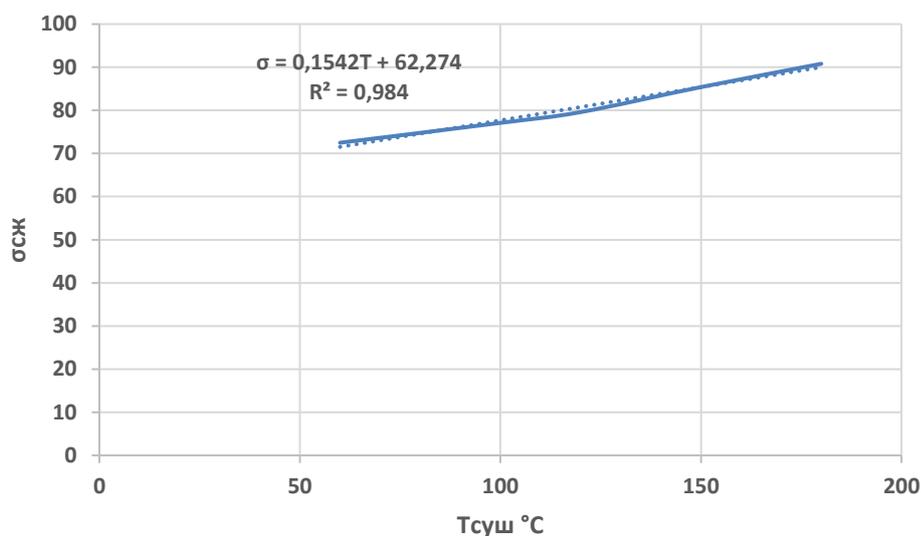


Рисунок 4.9 – Влияние температуры сушки на прочность изделий из полимербетона

Анализ полученных результатов показал, что для достижения заданной прочности рациональной является температура сушки 120...130<sup>0</sup> С. Она обеспечивает стабильно заданную прочность изделий из полимербетона.

Таким образом эти исследования дали возможность выявить ряд закономерностей, использование которых позволяет проектировать полимербетонные смеси с гарантированными характеристиками.

На основе полученных закономерностей и результатов исследований разработана «Технологическая инструкция по технологии приготовления полимербетонной смеси» [90].

#### 4.2.5 Отработка технологии литья корпусных деталей корпуса редуктора

Очень важным моментом для получения отливок деталей корпусов редукторов, отвечающих требованиям ТУ является формование их из полимербетона. Учитывая тот момент, что отливка деталей из полимербетона существенно отличается от технологии литья из металлов, были проведены специальные исследования, которые дали возможность отработать технологию литья с учетом особенностей полимербетонных смесей.

Технологический процесс формирования элементов корпусов редукторов состоит из следующих операций:

- метка и смазка форм;
- установка арматурных каркасов;
- укладка полимербетонной смеси в матрицу (форму);
- формование деталей корпусов редукторов;
- выемка готовых изделий.

Исследованиями отработаны наилучшие варианты этих операций.

Перед заливкой полимербетонной смеси в формы они должны быть тщательно очищены от остатков полимербетона предыдущих циклов и смазаны. Для смазки целесообразно использовать эмульсии ЭТ(А) в смеси с графитовым

порошком и водой в процентном соотношении по массе (55 – 60): (5 – 10). Возможно также использование силиконовых смазок или раствора низкомолекулярного полиэтилена в толуоле.

Очень важно выдерживать паузу между окончанием приготовления полимербетонной смеси и формования изделия из нее не более 10 минут.

Отдельные исследования были проведены по установлению режима формования элементов корпусов редукторов из полимербетона, что позволило установить следующее.

Уплотнение полимербетонной смеси в форме должно производиться на вибрационных площадках, отвечающих требованиям ИУС 9-1987 с обязательным наличием вертикальной составляющей колебаний. Амплитуда колебаний, зависит от концентрации связующего и уточняется на пробных формовках [91].

Продолжительность вибрирования должна быть  $100 \pm 30$  с. Признаком достаточного уплотнения полимербетонной смеси для полимербетонов служит выделение на поверхности изделия связующего и прекращение интенсивного образования пузырьков воздуха.

Для предотвращения налипания полимербетонной смеси на поверхность перегруза необходимо между поверхностью перегруза и смесью предусмотреть прокладку однократного действия из полиэтиленовой пленки или металлическую крышку многократного использования, снимающуюся после завершения термообработки.

В таблице 4.6 приведены характеристики вибростола марки ВСА.

Таблица 4.6 - Вибростол марки ВСА имеет следующие характеристики

№	параметр	модель	
		ВСА с формой $\varnothing$ 71,4 мм	ВСА с формой $\varnothing$ 101 мм
1	Внутренний диаметр формы, мм	71,4	101
2	Амплитуда колебаний плиты, мм.	0,4±0,05	
3	Частота колебаний плиты, кол/мин	2900±100	
4	Время работы, сек	180±5	
5	Вертикальная нагрузка, кПа	30±5	
6	Напряжение питания, 50Гц, В	380	
7	Мощность электродвигателей, кВт	2×0,25	
8	Габаритные размеры, мм (длина x ширина x высота)	550×550×520	550×550×660
9	Масса, кг	140	156
10	Модель пульта управления	МПУЗ-07	

*Отверждение полимербетонных изделий.*

Твердение отформованных изделий должно происходить при температуре не менее 15°C и нормальной влажности окружающего воздуха, для изделий из полимербетонов ММА – в течение  $3 \pm 1$  сут.

Для ускорения процесса твердения изделия из полимербетонов должны подвергаться термообработке, которую следует производить в камерах сухого прогрева. Сухой прогрев должен осуществляться электронагревателями или паровыми регистрами.

Длительность выдержки в формах полимербетонных изделий до распалубки и последующей термообработки должна быть при температуре окружающей среды:

- $17 \pm 2$  °С – 12 ч;
- $22 \pm 2$  °С – 8 ч;
- более 25 °С – 4 ч.

Распалубленные полимербетонные изделия должны подвергаться термообработке по следующим режимам:

Термообработку полимербетонных изделий объемом не менее 0,2 м<sup>3</sup> допускается производить непосредственно в формах по следующим режимам:

- выдержка при 20 °С – 1,5 г;
- подъем температуры до  $80 \pm 2$  °С – 1 г;
- выдержка при температуре  $80 \pm 2$  °С – 16 г;
- спуск температуры до 20 °С – 4 г.

Проведенные исследования позволили разработать «Технологическую инструкцию на литье элементов корпусов редукторов Ц2-250 из полимербетона». Эта инструкция (Приложение Б) позволяет регламентировать все действия по отливке элементов корпусов редукторов из полимербетонной смеси и обеспечивает высокое качество изделий [92].

По результатам проведенных работ были отлиты нижняя и верхняя крышки редуктора Ц2-250 (рисунок 4.10 – 4.11), собран редуктор и представлен на испытания.



Рисунок 4.10 – Верхняя крышка корпуса редуктора



Рисунок 4.11 – Нижняя крышка корпуса редуктора

### 4.3 Стендовые испытания экспериментального образца редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона

Для сравнительных испытаний редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона и с металлическим корпусом был разработан и изготовлен специальный стенд.

Назначение редукторов Ц2: тип Ц2-250 редуктор цилиндрический, горизонтальный двухступенчатые специальные крановые, применяются в механизмах грузоподъемных машин.

Редуктор Ц2-250 работает в следующих условиях:

- вращение валов в разные стороны;
- климатические условия У, Т, категория размещения-2,3 по ГОСТ 15150-69;
- умеренная запыленность и влажность, неагрессивная среда;
- частота вращения входного вала - не более 1500 об/мин.

Таблица 4.7 - Основные технические характеристики Ц2-250

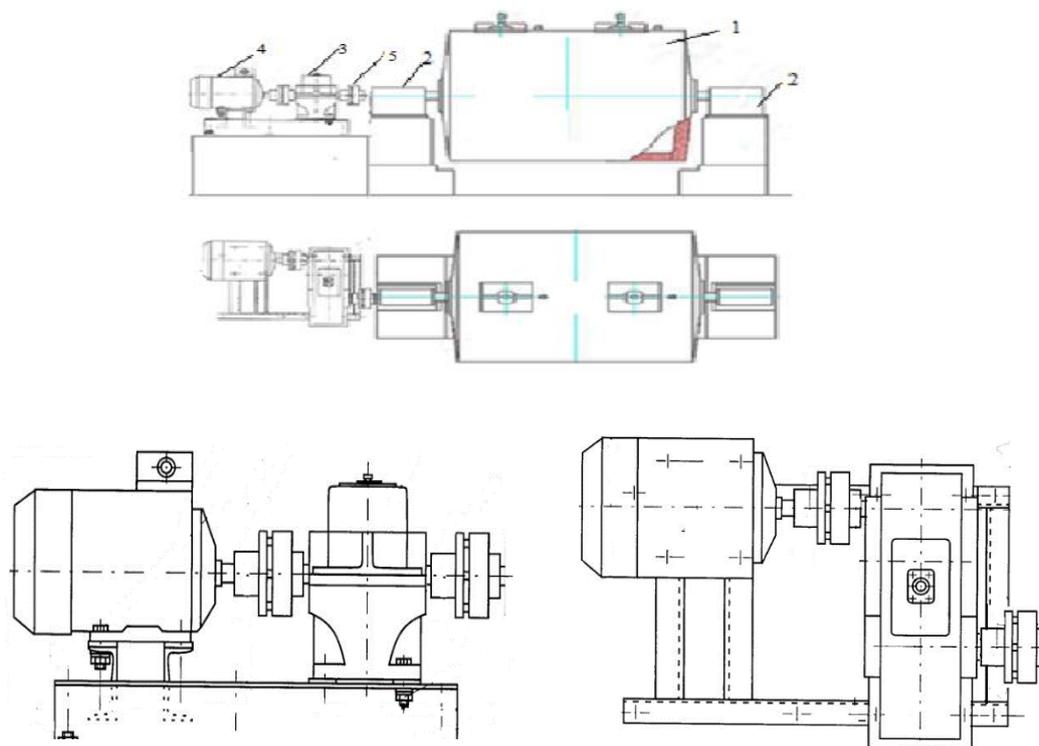
Типоразмер редуктора	Передаточное число $u$	$M_T$ , Н*м	Масса редуктора, кг	$A_{wC}$	$A_{wT}$	$A_{wB}$
редуктор Ц2-250	8,10,12.5,16,20,25,31, 5, 40,50	2500	86	250	150	100

Испытательный стенд представлен на рисунке 4.12.

Он представляет собой двухкамерый чугунный барабан, который приводится во вращение электродвигателем мощностью  $N = 3$  кВт с частотой вращения  $n = 1500$  об/мин. С помощью редуктора Ц2 -250 частота вращения снижается до  $n' = 60$  об/мин. Наличие двух камер в барабане позволяет имитировать различную нагрузку на привод путем загрузки этих камер самостоятельно каждой или совместно. В качестве загрузки использовалась горная порода.



Рисунок 4.12 – Общий вид испытательного стенда



1 – литой двухкамерный барабан; 2 – подшипник; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель; 5 – соединительная муфта

Рисунок 4.13 – Стенд для испытания корпуса редуктора Ц2-250

Стендовые испытания проводились в лаборатории кафедры «ТМ,ТиЛ» по следующей методике. Методика стендовых испытаний редуктора с корпусом из полимербетона.

Задачей стендовых сравнительных испытаний было установление рабочих характеристик редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона по сравнению с аналогичным корпусом из металла [93].

Методика испытаний включает 3 этапа:

1) проверка геометрии опорной поверхности редуктора, посредством установки последнего на раму изготовленную под стандартный редуктор. Типовые размеры редуктора Ц2-250 приведены в таблице 4.8.

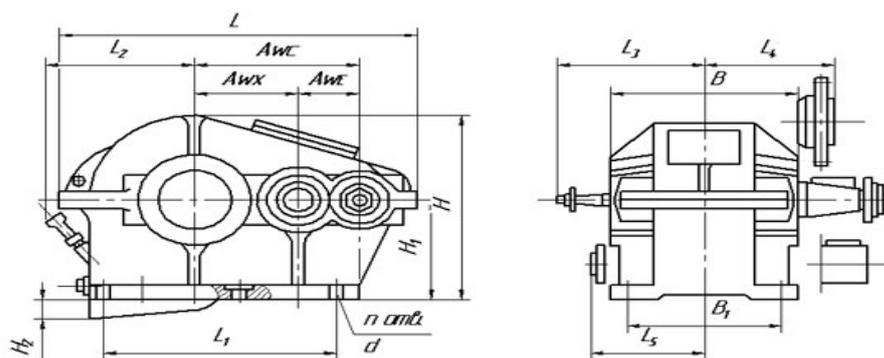


Рисунок 4.14 – Габаритные и присоединительные размеры редуктора

Таблица 4.8 - Типоразмер редуктора Ц2 – 250

Типоразмер редуктора	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	B	B <sub>1</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	d	n
Ц2 250	700	400	300	300	255	180	330	280	409	212	-	26	6

2) проверка возможности проведения крепежных работ с приложением усилий предварительной затяжки крепежа.

3) испытание под нагрузкой и ресурсные испытания.

В соответствии с технической характеристикой редуктора Ц2-250 (i = 25,0), последний рассчитан на передачу крутящего момента

- при легком режиме работы (ПВ = 16 %) – 3300 Н·м;
- при среднем режиме работы (ПВ = 25 %) - 2500 Н·м;
- при тяжелом режиме работы (ПВ = 40 %) – 1150 Н·м;
- при легком режиме работы (ПВ = 60 %) – 900 Н·м;
- при непрерывном режиме работы (ПВ = 100 %) – 750 Н·м.

Для имитации режимов работы в камеры литого из чугуна барабана (массой 220 кг) засыпали балласт массой m. Приняв во внимание непрерывный режим работы весодозатора, за основу при расчете массы засыпаемого балласта крутящий момент при ПВ = 100 % – 750 Н·м.

Тогда масса балласта составит

$$m = \frac{T}{r^2 \cdot a} = \frac{750}{0,5^2 \cdot 5,57} = 538 \text{ кг}, \quad (4.1)$$

где r - радиус центра тяжести сегмента с балластом, 0,5 м.;

a – угловое ускорение барабана, м/с<sup>2</sup>

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{1,67^2}{0,5} = 5,57 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad (4.2)$$

v - линейная скорость, м/с

$$v = \frac{2\pi \cdot n \cdot r}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 32 \cdot 0,5}{60} = 1,67 \text{ м/с}, \quad (4.3)$$

С учетом массы корпуса барабана 220 кг в камеры поэтапно засыпали: 100, 200, 300 кг породы.

После каждой догрузки и прокрутки в течении 1 часа осуществляли внешний осмотр корпуса редуктора на предмет появления трещин, течей из корпуса и т.д. После загрузки 200, 250, 300 кг и прокрутки в течении 1 часа – вскрывали и осматривали состояние зубчатых зацеплений по пятну контакта (методом красок), (рисунок 4.15).

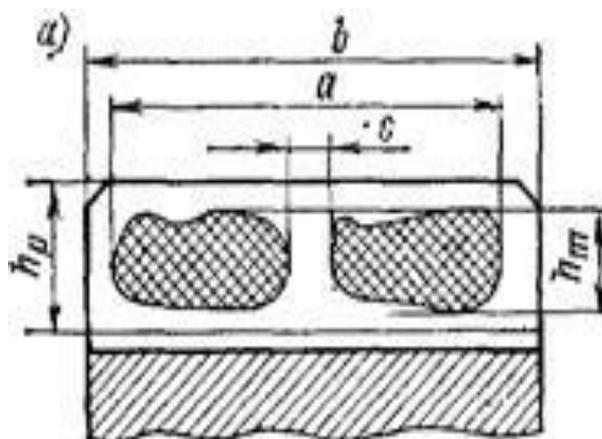


Рисунок 4.15 – Параметры пятна контакта в зубчатом зацеплении

Аналогичные испытания проведены со стандартным редуктором с корпусом из металла. Результаты сравнительных стендовых испытаний редукторов Ц2-250 с корпусом из металла и корпусом из полимербетона приведены в таблице 4.9

Таблица 4.9 - Результаты стендовых испытаний редукторов Ц2-250

Параметры	Значение	
	Редуктор с металлическим корпусом	Редуктор с корпусом из полимербетона
1	2	3
Масса корпуса М, кг	53,75	21,5
Удельная масса, $M_{уд}$ , кг / Н * м. ( $M_{кр} = 750$ Н*м – ПВ 100 %)	0,0725	0,029
Шумовые характеристики, дБ.	73 – 74 дБ	68 – 70 дБ
Температура корпуса $t_k$ , °С	21	20,2

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3
Температура масла $t_m$ , °С	22	23,3
Износ зубьев $I_z$ , мкм	не установлено	не установлено
Размеры пятна контакта $L \times H$ , мм	65 x 40	70 x 46
Продолжительность испытаний $\tau$ , ч	По 6 ч. x 10 дней	По 6 ч. x 10 дней
Подтекание масла через соединения и уплотнения с каплеобразованиями.	Не наблюдается	Не наблюдается
Контактные разрушения зубьев	Не выявлено	Не выявлено
Поломка зубьев	Отсутствует	Отсутствует
Заедание передачи	Отсутствует	Отсутствует
Повреждение подшипников	Отсутствует	Отсутствует
Повреждение (разрушение) наружных деталей и узлов	Отсутствует	Отсутствует
Выход из строя двигателя	Отсутствует	Отсутствует

В процессе стендовых испытаний была проведена оценка состояния корпуса редуктора, изготовленного из полимербетона. Ее проводили по двум критериям:

- по внешнему виду: шероховатость, волнистость, наличие пор и раковин, наплывов и тд.

При этом установлены следующие замечания:

- присутствует незначительная волнистость обусловленная свойствами литейного силикона;

- в узких канавках торцевых крышек валов присутствовали наплывки;

- необходима развалка и доводка посадочных окон под подшипниками и доводка канавок под крышки подшипниковых окон- из –за повышенной усадки материала и недостаточной жесткости литейного силикона;

- не удалось получать отверстия под крепеж и масляную пробку – приходится высверливать отверстия (возможна установка резьбовых цанг на стадии подготовки под заливку форм);

- для нанесения гелкоута потребовались такие операции как обезжиривание поверхности и термическая обработка в сушильном шкафу при 100° С в течении 4 ч.

В соответствии с замечаниями, выявленными в процессе изготовления и стендовых испытаний корпуса редуктора из полимербетона были внесены следующие коррективы:

- для ликвидации волнистости внесены изменения в режим отливки корпуса;

- для изготовления основания корпуса редуктора была изменена технология изготовления формы. Использовали технологию отливки крышки редуктора: деталь не разделяли на две половинки, а заливали цельную. В последующем внешний силиконовый отпечаток снятый с макета разделили по продольной оси.

Для устранения недостатков при формировании поверхностей посадочных поверхностей подшипниковых окон предложено использование фальш – валов из стали.

Таким образом испытаниями установлено, что редуктор с корпусом из полимербетона не уступает по своим характеристикам металлическим корпусам, а по ряду параметров превосходит их [94].

#### **4.4 Экономическая эффективность изготовления корпусов редукторов из полимербетона. Методика расчета себестоимости изготовления корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона**

Себестоимость – это денежное отражение текущих затрат предприятия, выраженные в денежной форме текущие затраты на производство и реализацию продукции, являющиеся расчетной базой цены. Калькуляция составляется на принятую с учетом производственной специфики единицу измерения количества выпускаемой продукции (1 штука, 100 штук и т.д.). Перечни калькуляционных статей отражают особенности производств. Для современной отечественной практики наиболее характерным является следующий перечень статей калькуляции:

1. Сырье и материалы;
2. Топливо и энергия на технологические цели;
3. Заработная плата производственных рабочих;
4. Начисления на заработную плату;
5. Общепроизводственные расходы;
6. Общехозяйственные расходы;
7. Прочие производственные расходы;
8. Коммерческие расходы

Статьи с 1 по 7 являются производственными расходами, так как они непосредственно связаны с обслуживанием производственного процесса. Их сумма составляет производственную себестоимость. Последняя 8 статья – это расходы, связанные с реализацией продукции. Сумма производственных и

коммерческих расходов составляет полную себестоимость производимой продукции.

При расчете себестоимости продукции следует различать прямые и косвенные затраты. Прямые затраты относятся непосредственно на себестоимость конкретного изделия. К прямым затратам относятся расходы по статьям 1...3. Это характерно для большинства производств.

Косвенные затраты связаны с производством всей продукции предприятия и относятся на себестоимость конкретного изделия косвенно, то есть с помощью коэффициентов или процентов.

В цены изделий обязательно включается налог на добавленную стоимость (НДС). В нашем случае расчеты велись по плановым (расчетным) показателям изготовления корпусов редукторов Ц2-250 из металла и из полимербетона [95].

Схема расчета калькуляции себестоимости изготовления корпусов редукторов из полимербетона.

1. Возвратные расходы рассчитываются от расходов на материалы (12...20 %);

2. Для определения дополнительной заработной платы принимается 10...15 % от основной заработной платы.

3. Начисления на заработную плату принимаются 1 % от основной заработной платы.

4. Издержки на содержание оборудования – 5 % от основной заработной платы.

5. Общехозяйственные расходы – 9 % от основной заработной платы.

6. Общепроизводственные расходы (электроэнергия, амортизация оборудования и другие) принимаются в размере 8 % от величины 25 % от основной заработной платы плюс 75 % от дополнительной заработной платы.

7. Производственная себестоимость определяется как сумма расходов на содержание оборудования, материалы, энергию, комплектующие, основная и дополнительная заработная плата, начисления на заработную плату общепроизводственные и общехозяйственные расходы за вычетом возвратных отходов.

8. Непроизводственные затраты (издержки) принимаются в размере 3 % от производственной себестоимости.

9. Полная себестоимость равна производственной себестоимости плюс издержки производства.

10. Прибыль изготовителя определяется в процентах от полной себестоимости.

11. Оптовая цена равна полной себестоимости плюс прибыль изготовителя.

12. НДС определяется в размере 15 969,1 тг. от оптовой цены.

13. Отпускная оптовая цена определяется как сумма оптовой цены производителя и НДС.

Сметно-плановая калькуляция изготовления корпуса редуктора Ц2-250 из металла приведена в таблице 4.10, а из полимербетона в таблице 4.11

Таблица 4.10 – Сметно плановая калькуляция на изготовление корпуса в сборе с крышкой из металла

АО "АЗТМ"

Сметно-плановая калькуляция

Наименование изделия КОРПУС В СБОРЕ С КРЫШКОЙ Чертеж 8702.01.001СБ

Калькуляционная единица	шт	Вес изделия	174	Количество на заказ	1	Заказчик	КАЗНТУ
-------------------------	----	-------------	-----	---------------------	---	----------	--------

№ п/п	Наименование статей	Ед.изм.	По нормам		
			кол-во	цена	сумма
1	Поковка ст.25 гр.сл.2	кг	50,00	519,614	25980,70
2	Круг ф16 ст.45	кг	0,21	304,00	63,84
3	Болты-13штук	кг	3,975	670,00	2663,25
4	Гайки-13 штук	кг	0,429	779,00	334,19
5	Шайбы-13 штук	кг	0,104	786,00	81,74
6		кг			0,00
7		кг			0,00
8		кг			0,00
9		кг			0,00
10		кг			0,00
11		кг			0,00
12		кг			0,00
13		кг			0,00
14	УПАКОВКА	куб.м.		64286	0,00
15	Оснастка модельная				
16	Оснастка инструментальная				0,00
17	Термообработка	кг		74,278	0,00
18	Гальванопокрытие	кв.м		37307	0,00
19	Заработная плата основная	те			52198,57
20	Заработная плата дополнительная	те			5544,73
21	Начисление на зарплату 13 %	те			6755,97
22	Цеховые расходы	те			138984,72
23	Общезаводские расходы 150 %	те			86614,94
24					
25					
26					
27	Производственная себестоимость				319 223
28	Непредвиденные расходы 3 %	те			9 577
29	<b>Итого производственная себестоимость</b>				<b>328 799</b>
	Цена				
	RE, %				-100,00

Если "Корпус в сборе" производится из литых деталей, ниже показан расчёт оснастки модельной (на модель-200 н/час.лип

03.09.2020

Таблица 4.11 – Сметно плановая калькуляция на изготовление корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона

№	Наименование статей	Сумма, тг. (по нормам)
1	Возвратные расходы	4445,1
2	Заработная плата в т.ч.	65 250
	- основная;	52 200
	- дополнительная, 12%;	6264
	- начисления на заработную плату, 13 %	6786
3	Материалы	29 634
4	Издержки на содержание оборудования, 5 %	2610
5	Общехозяйственные расходы, 9%	4698
6	Общепроизводственные расходы	5712
7	Непроизводственные затраты	3370
8	Общезаводские расходы	86 614
9	Полная себестоимость	115 719,47
10	Непредвиденные расходы	3471,57
11	Прибыль изготовителя, 15%	17 357,9
12	Оптовая цена	133 076,47
13	НДС	15 969,1
14	Итого производственная себестоимость	239 130,63

Таким образом экономический эффект составляет 89668,7 тенге на один корпус редуктора Ц2-250, что в качестве на годовой выпуск 1000 редукторов составит 86,688 миллионов тенге.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Важным элементом технологии отливки корпусов редукторов из полимербетона является изготовление оснастки. Конструктивно и технологически проработана конструкция матриц, обеспечивающие получение отливок с высокой степенью готовности не требующие дополнительной механической обработки.

2. Одним из основных факторов, обеспечивающих постоянство характеристик изделий из полимербетона является соблюдение технологии подготовки материалов и режима смешивания компонентов и отливки корпуса редуктора из полимербетона.

3. Основными факторами, влияющими на прочность полимербетона и изделий из него являются частота вращения рабочего органа смесителя, время перемешивания компонентов, температура смолы, а также температура сушки готового изделия. Экспериментально установлены рациональные параметры приготовления полимербетонной смеси и ее отверждения в изделии:

- частота вращения рабочего органа смесителя	600 – 800 об/мин
- время перемешивания компонентов	3...4 мин
- температура смолы	60 С°
- частота колебаний вибрирования при - формировании смеси	2900±100 кол/мин
- амплитуда колебаний вибростолы	0,4±0,05 мм.
- продолжительность вибрирования	100±30 с
- температура сушки готового изделия	120...130 °С

4. Проведенные сравнительные стендовые испытания редукторов Ц2-250 с корпусами из металла и полимербетона показали, что редуктор с корпусом из полимербетона не уступает по своим характеристикам металлическим корпусам, а по ряду параметров превосходит их: масса снижается в 2...2,5 раза, толщина стенок – на 18-20%, прогнозный срок службы увеличивается в 1,5 раза, себестоимость ниже на 37.4%.

5. Проведенные экономические расчеты показали, что экономический эффект составляет:

- от внедрения упрочненной закладки базальтовым волокнам в расчете на 1 млн.т добычи руды 243 600 000 млн.тенге;

- 89668,7 тенге на один корпус редуктора Ц2-250, что в расчете на годовой выпуск 1000 редукторов составит 86,688 миллионов тенге.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Русаков И.А., Русакова О.О., Кудяков К.Л. Исследование прочности и деформативности бетонных сжатых элементов, армированных стальными и композитными стержнями // Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Братск, ГОУ ВПО «БРГУ», 2014. – С. 35–37.
2. Римшин В.И., Меркулов С.И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. - 2018. - Т. 20, № 5. - С. 92-100.
3. Ключев С.В. Усиление строительных конструкций композитами на уровне углеволокна: монография. С.В. Ключев, А.В. Ключев, Р.В. Лесовик. – Lambert, 2011.-123 с.
4. Битимбаев М.Ж., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. - Алматы, 2012. - 624 с.
5. Юн А.Б., Мамахов Н.С. и др. Закладка выработанных пространств хвостами обогатительной фабрики // Горный журнал, цветные металлы. Специальный выпуск. - 2005.- С. 15-16.
6. Горно – геологический справочник по разработке рудных месторождений / под.ред. Бейсебаева А.М., Битимбаева М.Ж., Даукеева С.Ж. - Алматы. - Информационно – презентационный центр МСК РК, 1997. – Т. 1. - 575 с.
7. Ломоносов Г.Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений. – М.: Горная книга, 2013. – 517 с.
8. Крупник Л.А, Пятигорский Л.В, Ткачев В.М., Практика ведения закладочных работ на рудниках. - Алматы, 1995. - 240 с.
9. Крупник Л.А. Совершенствование методов подземной разработки Зырянского месторождения. - Алма-Ата, 1975. – С.124-163.
10. Крупник Л.А, Шапошник Ю.Н, Шапошник С.Н, Нуршайыкова Г.Т. Разработка составов закладочных смесей на основе измельченных доменных гранулированных шлаков //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - Новосибирск, 2019. - №1. – С. 74-85.
11. John Cresson Trautwine // The Civil Engineer's Pocket-book: Of Mensuration, Trigonometry, Surveying, Hydraulics. Etc. Воспроизведено в оригинальной авторской орфографии издания 1874 года (издательство "Claxton, Remsen & Haffelfinger"). Издание: Книга по требованию. - 2011. – 714 с.
12. Лефевр А., Замечательнейшие архитектурные и художественные постройки земного шара. Ответственность: Соч. Андрея Лефевра / пер. с фр. и доп. о России П. Яковлев. - Санкт-Петербург: Обществ. польза. Библиотека: Российская государственная библиотека (РГБ), 1870. - 380 с.
13. Бартенев Г.М. Физика полимеров / Г.М. Бартенев, С.Я. Френкель - Л.: Химия, 1990. - 432 с.

14. Бобрышев А.Н. Параметр порядка структуры дисперсно-наполненных композитов / А.Н. Бобрышев, А.П. Прошин, В.И. Соломатов // Вестник отделения строительных наук. - М.: Стройиздат, 1996. - Вып. 1. – С. 65-69.
15. Виноградова С.В. Поликонденсационные процессы и полимеры / С.В. Виноградова. - М.: Химия, 2000. - 377 с.
16. Yoshihiko Ohama // Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars. - 2010. - 246 с.
17. Соломатов В. И., Ерофеев В. Т., Фельдман М. С. // Исследование биосопротивления строительных композитов // Биоповреждения в промышленности: тез. докл. конф.: в 2 ч. – Пенза. - 1994. - Ч. 1. - С. 19-20.
18. Иващенко Ю.Г. Физико-химические основы рационального выбора минеральных заполнителей строительных композитов / Ю.Г. Иващенко, П.К. Желтков, Н.В. Симоненко, Н.Ф. Зобкова // Современные проблемы строительного материаловедения: матер. междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 1998.
19. Патуроев В.В., Аликулов П.У. Модифицированный полимербетон для изготовления труб // Композиционные материалы. - Ашхабад. - 1985.
20. Комохов П.Г. О бетоне XXI века / П.Г. Комохов // Современные проблемы строительного материаловедения: Седьмые академические чтения РААСИ. - Белгород, 2001. - С. 243-250.
21. Материалы, армированные волокном / пер. с англ. Сычёвой Л.И., Воловика А.В.: Fibre reinforced materials. - М.: Стройиздат, 1982. – 180 с.
22. Андрианов В.И. Силиконовые композиционные материалы / В.И. Андрианов, В.В. Бабаев, И.Ф. Буткин, А.М. Сорожинский. - М.: Стройиздат, 1990. - 224 с.
23. Барабаш Д.Е. Современные композиционные материалы для строительства и эксплуатации аэродромных покрытий / Д.Е. Барабаш, Л.П. Салогуб // Проблемы внедрения новых строительных технологий. матер. Всеросс. науч.-практ. конф. - Санкт-Петербург: СПбВИСУ. 2000. - С. 23-26.
24. Барабаш Д.Е. Звукоизлучение армированных полимерных композиций / Д.Е. Барабаш, В.В. Волков // Научное обозрение.- М.: Наука, 2006.-№ 1. - С. 22-25.
25. Панфилов Д.В. Дисперсно армированные строительные композиты на основе полибутадиенового олигомера - фиброкаутон: дис. ... канд. техн. наук; 05.23.05. - Воронеж, 2004. - 189 с.
26. Корнеев А.Д. Проектирование составов полимерных композиционных материалов на основе общих закономерностей полиструктурной теории / А.Д. Корнеев // Строительные композиционные материалы на основе отходов отраслей промышленности и энергосберегающие технологии: матер. науч.-техн. конф. - Липецк, 1986. - С. 14-15.
27. Козомазов В.Н. Влияние заполнителей на структурообразование и свойства полимербетонов: дисс. ... канд. техн. наук; 05.23.05. - Липецк, 1988. - 201 с.

28. Охама Е., Состояние и перспективы развития полимербетонов и бетонополимеров в Японии / Е. Охама // Бетон и железобетон. - 1980. - № 3. - С. 34-36.
29. Potapov Yu. Influence of shear force on the behavior of polymer concrete beams at bend / Yu. Potapov, O. Figovsky, Yu. Borisov, A. Polikutin // Civil Engineering. - 2002. - Vol. 4, № 3. - P. 25-32.
30. Основы конструирования отливок. Параметры точности и припуски на механическую обработку: учебн. пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос.ун-та, 2004. - 164 с.
31. СП 164.1325800 – 2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. – Введ. 2014-09-01. - М.: Минстрой России: Изд-во стандартов, 2015.
32. ГОСТ 10922-2012. Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязаные и механические соединения для железобетонных конструкций. Общие технические условия. – Введ. 2013-07-01. - М.: Стандартиформ России: Изд-во стандартов, - 2013.
33. Шилин А.А., Зайцев М.В., Картузов Д.В. Методическое пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов. – М. - 2017. – 226 с.
34. Баклашов И.В., Борисов В.Н. Проектирование и строительство горнотехнических зданий и сооружений. Строительные конструкции зданий и сооружений: учеб, для вузов / под ред. И. В. Баклашова - М.: Недра, 1990. – 272 с.
35. Krupnik L., Shaposhnik Y., Shaposhnik S., Konurin A., Shokarev D. Selecting a variant to allocate a plant producing shotcrete while implementing method of “wet” pneumatic concrete placing in Orlovskaiia mine // Mining of Mineral Deposits, - 2019. - №13 (3). - P. 87-95.
36. Dhand V., Mittal G., Rhee K.Y., Park S.-J., Hui, D. A short review on basalt fiber reinforced polymer composites // Composites Part B: Engineering 73. – 2018 - P. 166-180.
37. Fiore V., Scalici, T., Di Bella, G., Valenza A. A review on basalt fibre and its composites Composites Part B: Engineering, 2015 - №74 - P. 74-94.
38. Penn State (USA) – Corrosion resistance of basalt fibers. - 2007.- P. 98-107.
39. Technische Universitet Dresden – Основные свойства цементных систем с тремя типами базальтовых волокон. - 2009. – 52-63 с.
40. Krupnik L., Shaposhnik Y., Shaposhnik S., Konurin A., Shokarev D. Selection of accessing and development schemes for extracting reserves of ore body 2 in irtysh deposit // Mining of Mineral Deposits. - 2018. - № 12 (4). - P. 108-114.
41. Ермолович Е.А, Ермолович О.В., Закладочные композиционные материалы управление свойствами // Журнал: Строительство: Новые технологии - новое оборудование. – М.: Издательский дом "Панорама", 2017. - № 3. – С. 57-59.

42. Ермолович Е.А, Ермолович О.В. Направленные изменения свойств закладочных композиционных материалов // Статья в сборнике III Международной (IX Всероссийской) конференции. - 2016. – С. 356-359.
43. Пащенко А. А. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. Наука строительному производству. - М.: Стройиздат, 1988. - 200 с.
44. Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н., Шапошник С.Н., Результаты испытаний синтетического фиброволокна при креплении горных выработок сухим торкретбетоном в условиях Иртышской шахты // Безопасность Труда в Промышленности. - 2017. - № 5. – С. 62- 66.
45. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 1991-01-01. - М.: Стандартиформ, 2006.
46. Křemenáková D., Militký J., Mishra R., Venkataraman M., Petru M. Selected application of linear composites containing side emitting optical fibres // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - 553 (1). - № 012002. – 7 стр.
47. Оснос С.П., Оснос М.С. Проведение исследований и выбор базальтовых пород для производства непрерывных волокон // Композитный мир. – 2018. - №1. - С. 56 – 62.
48. Оснос М. С. Оснос С. П. Базальтовое непрерывное волокно — вчера, сегодня и завтра. Развитие технологий и оборудования, промышленных производств и сбыта // Композитный мир. – 2015. - №2. - С. 24 – 30.
49. Шапошник С.Н., Шапошник Ю.Н., Морозов А.Н. Современные технологии добычи руды на нижних горизонтах малеевского рудника АО «КАЗЦИНК» // Технические науки 10. - Горное дело. – 2020. - С. 12-18.
50. Гусев Ю.П., Березиков Е.П., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н., Шапошник С.Н. Современные технологии добычи руды на нижних горизонтах малеевского рудника АО «КАЗЦИНК» // Горный журнал. - 2008.- № 11. - С. 22-29.
51. Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. *Use of air bellows for low-speed drive mechanisms* // International Journal of Scientific & Engineering Research. - 2018. –Vol. 9, Iss. 11.- P.1106-1112.
52. Byung-Wan Jo, Seung-Kook Park, Do-Keun Kim. Mechanical properties of nano-MMT reinforced polymer composite and polymer concrete. Construction and Building Materials // - 2008. –Vol. 22. – P.14-20.
53. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4). - Введ. 1995-01-01. - М.: Стандартиформ, - 2018. – 9 с.
54. ГОСТ 8269.0-97 от 1998-07-01. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строителя. Определение содержания зерен слабых пород в щебне (гравии) и слабых разностей в горной породе. Госстрой России - М.: Стандартиформ, - 2018. – 12 с.
55. Кукса П.Б., Платонова Н.М., Орлова Н. В. Испытание щебня для тяжелого бетона: метод. указ // СПбГАСУ. – СПб., - 2011. – 14 с.

56. Соломатов В.И. Оптимальные дисперсность и количество наполнителей для полимербетонов, клеев и мастик / В.И. Соломатов, Е.Д. Яхнин, Н.Д. Симонов-Емельянов // Строительные материалы. - 1971. - № 12. - С. 24-28.
57. ГОСТ 2138-91 Пески формовочные. Общие технические условия (с Поправкой). – Введ. 1993-01-01. - М.: Стандартиформ, 2005. – 17 с.
58. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия. - Введ. 1995-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1994. - 24 с.
59. Крылов Б.А. Прочность фибробетона, армированного различными волокнами / Б.А. Крылов, Г.М. Соткин, А.Ы. Карпов // Бетон и железобетон. - 1989. - №8. - 13 с.
60. ГОСТ 9077-82 Кварц молотый пылевидный. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2). – Введ. 1983-07-01. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.
61. Корнеев А.Д. Эпоксидные полимербетоны / А.Д. Корнеев, Ю.Б. Потапов, В.И. Соломатов. - Липецк: ЛГТУ. - 2001. - 181 с.
62. Корнеев А.Д. Проектирование составов полимерных композиционных материалов на основе общих закономерностей полиструктурной теории / А.Д. Корнеев // Строительные композиционные материалы на основе отходов отраслей промышленности и энергосберегающие технологии: матер., науч.-техн. конф. – Липецк, 1986. - С. 14-15.
63. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров / В.Г. Хозин. - Казань: Дом печати. - 2004. - 446 с.
64. Jo B.W., Park S.K., & Kim D.K. Mechanical properties of nano-MMT reinforced polymer composite and polymer concrete // Construction and Building Materials. -1. - P. 14-20.
65. Potapov Yu. Influence of temperature on polymer concrete properties / Yu. Potapov, O. Figovsky, Yu. Borisov, V. Chmyhov // Civil Engineering. - 2003. - Vol. 5, №1. - P.11-14.
66. Potapov Yu. Influence of shear force on the behavior of polymer concrete beams at bend / Yu. Potapov, O. Figovsky, Yu. Borisov, A. Polikutin // Civil Engineering. - 2002. - Vol. 4, № 3. - P. 25-32.
67. Г. П. Карпачева. Фуллерен содержащие полимеры. Высокомолекулярные соединения. - Серия С. - 42 (11). – С. 1974-1999.
68. Патент РК № 34808. Полимербетонная смесь и способ ее приготовления / Крупник Л.А., Бейсенов Б.С., Елемесов К.К., Басканбаева Д.Д., Бортебаев С.А., Утянов А.Н.; опубл. 19.02.2021.
69. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия. – Введ.1990-01-01. - М.: Стандартиформ, 2006.
70. Инструкция по технологии приготовления полимербетонов и изделий из них. СН 525-80 / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1981.
71. Иващенко И.С. Получение эпоксидных смол // Научный журнал. – 2018. - № 7 (30). 31-32 с.
72. Yelemessov K., Krupnik L., Bortebayev S., Beisenov B., Baskanbayeva D., Igbayeva A. Polymer concrete and fibre concrete as efficient

materials for manufacture of gear cases and pumps // E3S Web Conf. - №168-00018. – 2020.

73. Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E., Manufacturing prospects for polymer concrete gearbox // Anais da Academia Brasileira de Ciencias. – 2018. - Vol.3, Iss. 90 (3). - P. 3186-3196.

74. Petrov N.I., K.Y. Dimitrova, Baskanbayeva D. On the reliability of technological innovation systems, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering // International Conference on Technics, Technologies and Education, ICTTE 2020. Yambol, Virtual. – Bulgaria, 2020. - Vol. 1031, Iss. 1.

75. Крупник Л.А., Елемесов К.К., Басканбаева Д. Д., Игбаева А.Е. Полимербетон -новый материал для изготовления корпусов редукторов горных машин // Горный журнал Казахстана. - 2019. - №12. - С. 39-44.

76. Nikolay Iv. Petrov, Dinara Dzh. Baskanbayeva. Reliability Estimate of Technical systems containing composite materials through analysis of the concurrent risks, International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) // - Vol. 6, Iss. 10. - 2018, - P. 54-56.

77. Pimenta S., Pinho S.T. Recycling carbon fibre reinforced polymers for structural applications // Technology review and market outlook. - Waste Manage 31. – 2011. – P. 378-392.

78. Beauson J., Liholt H., Brøndsted P. Recycling solid residues recovered from glass fibre-reinforced composites – a review applied to wind turbine blade materials // J. Reinf. Plast. Comp. – 2014.

79. Ribeiro M.C.S., Tavares C.M.L., Ferreira A.J.M. Chemical resistance of epoxy and polyester polymer concrete to acids and salts // J. Polym. Eng. 22. – 2002. – P. 27 - 44.

80. Басканбаева Д.Д. Повышение прочности твердеющей закладки армированием базальтовым волокнам // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях индустрии 4.0». - Алматы, 2019. – С. 159-163.

81. Елагин Е.Е., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е., Тагауова. Р.З. Технология изготовления форм для литья корпусных деталей из полимербетона // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях индустрии 4.0». Алматы, 2019. - С. 400-403.

82. Yelemessov K., Igbayeva A., Baskanbayeva D. Gearbox bodies made of polymer concrete for mining and metallurgical complex // 2 nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing”. Petroșani, Romania // Book of Abstracts. - 2019. - P. 204-207.

83. Елемесов К.К., Наурызбаева Д.К., Крупник Л.А., Басканбаева Д.Д., Игбаева А.Е. Изыскание новых конструкционных материалов и технологии изготовления прочных корпусов редукторов и центробежных насосов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2021. - Т. 19. - №1. – С.75–82.

84. Пухаренко Ю.В., Жаворонков М.И., Пантелеев Д.А. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ, 2019. - Т. 14.- Вып. 3. - С. 301–310.
85. Wang J., Ma Y., Zhang Y., Chen W. Experimental research and analysis on mechanical properties of chopped Basalt fiber reinforced concrete Gongcheng Lixue // Engineering Mechanics. - 2014. - Vol. 31 (SUPPL). - P. 99–102.
86. Берсенева О.А., Кулемина О.А. Полимеры нового поколения // Современная химия: Успехи и достижения: материалы II междунар. науч. конф, 2016. - С. 27-29.
87. Baskanbayeva D., Igbayeva A., Yelemessov K., Gearbox bodies made of polymer concrete for mining and metallurgical complex // 2 nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing”. Book of Abstracts. - Petroşani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019. – P. 204-207.
88. Trinh Q.V., Mucsi G., Dang T. V., Phuong L.L., Bui V.H., & Nagy S. // The influence of process conditions on ground coal slag and blast furnace slag based geopolymer properties. Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik, 2020. - №4. 235(4), - P.15-20.
89. Abdulhadi M.A. Comparative study of basalt and polypropylene fibers reinforced concrete on compressive and tensile behavior // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), - 2014. - Vol. 9, № 6. – P. 295–300.
90. Крупник Л.А., Бейсенов Б.С., Елемесов К.К., Басканбаева Д.Д., Сарыбаев Е.Е. Технологическая инструкция по технологии приготовления полимербетонной смеси. – Алматы: КазНИТУ имени К.И.Сатпаева, 2019. – 6 с.
91. Koblischek P.J. Polymer concrete as an alternative material for grey cast iron and welded steel construction in the machine tool industry // Brittle Matrix Composites, №3. - P. 529-538.
92. Крупник Л.А., Бейсенов Б.С., Елемесов К.К., Басканбаева Д.Д., Сарыбаев Е.Е. Технологическая инструкция на литье элементов корпусов редукторов Ц2-250 из полимербетона. – Алматы: КазНИТУ имени К.И.Сатпаева, 2019. – 6 с.
93. Бабин Л.О. Прогнозирование механических свойств полимербетон-ов: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Пенза.: ЛГТУ, 2000. – 22 с.
94. Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D. Substantiation and process design to manufacture polymer-concrete transfer cases for mining machines // Published by the Dnipro University of Technology on behalf of Mining of Mineral Deposits, - 2020. - Vol.14, № 2. – P. 103-109.
95. Baskanbayeva D., Krupnik L., Yelemessov K., Bortebayev S., Igbayeva A. Justification of rational parameters for manufacturing pump housings made of fibroconcrete // Naukovyi Visnyk NHU, - 2020. - № 5. - P. 68-75.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Акт о применении полимербетона для изготовления корпусов редукторов в ТОО «Хайдаромунай»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА



#### АКТ

#### о применении полимербетона для изготовления корпусов редукторов

Средняя плотность тяжелых фибробетонов — 2200—2400 кг/м<sup>3</sup>.  
 Прочность фибробетонов, в зависимости от вида полимерного компонента связующего:  
 на эпоксидных и эпоксиднофурановых бетонах наибольшая -  $\sigma_{сж} = 9 \div 11$  МПа;  
 на карбамидных связующих  $\sigma_{сж} = 3 \div 4$  МПа.  
 Модуль упругости -  $(1 \div 4) \cdot 10^4$  Мпа.  
 Для фибробетона на основе ФАМ наблюдается следующая зависимость прочности и модуля упругости от температуры:  
 Температура эксплуатации, °С ... 20 40 60 80 100  
 Коэффициент снижения прочности и модуля упругости ... 1 0,9 0,8 0,7 0,6

Таблица 1 - Характеристики фибробетонов на основе полиэфирных и эпоксидных смол

Содержание (асбодфрикционных отходов) в композите, %	Полимерная матрица			
	эпоксидная		полиэфирная	
	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении (при изгибе), МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении (при изгибе), МПа
0	37,83	11,68	39,78	11,05
3	40,46	12,5	39,92	12,51
5	36,9	12,0	34,26	14,94

Технический совет ТОО "Хайдаромунай" рассмотрев вопрос об использовании полимербетона при изготовлении **корпусов редукторов по научной теме** ГФ МОН РК № 2018/ АР05131236 считает возможным применение полимербетона. Учитывая вопросы изготовления, ремонт и обслуживания редукторов, это решит многие вопросы технологического и эксплуатационного характера. Однако, необходимо подобрать компоновку и состав полимербетона согласно приведенным характеристикам.

Г. н. с., к.т.н., доцент

С. н. с., магистр

Генеральный директор  
ТОО " Хайдаромунай"

Главный инженер



Елемесов К. К.

Басканбаева Д. Д.

Баймурат Б.

Сайфуллаев Б.С.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Технологическая инструкция на литье элементов корпусов редуктора Ц2-250 из полимербетона

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТБАЕВА

 SATBAYEV  
UNIVERSITY

 УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
Б.Кенжалиев  
2019 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ НА ЛИТЬЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСОВ  
РЕДУКТОРОВ Ц2-250 ИЗ ПОЛИМЕРБЕТОНА

Разработано:

Руководитель научной темы, д.т.н., профессор	Л.А. Крушин
В.н.с., к.т.н., доцент	Б.С. Байесенов
В.н.с., к.т.н., доцент	К.К. Елемесов
С.н.с., докторант РИД	Д.Т. Байсанбаев
С.н.с., магистр	Б.Е. Сарыбаев

Алматы 2019

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Протокол совместного совещания специалистов General Electric Transportation and Wabtec company

General Electric Transportation

г. Нур-Султан

20.04.2019г

#### Протокол

совместного совещания специалистов

**General Electric Transportation and Wabtec company**, главного и старшего научного сотрудника научного грантового финансирования программы № 2018/ AP05131236 «Модернизация горнометаллургического оборудования с использованием инновационных материалов и компоновок приводов»

Главный научный сотрудник Елемесов К.К. представил на совещании презентацию по научной теме «Модернизация горнометаллургического оборудования с использованием инновационных материалов и компоновок приводов», где представлены результаты годичного исследования по данной теме. Приведены результаты механических испытаний проб из полимербетона.

В ходе диалога и обмена мнениями, мы считаем, что предлагаемое применение полимербетонных и фибробетонных изделий при изготовлении корпусных деталей корпусных изделий считаем **возможным и экономически целесообразным**.

Полимербетоны представляют собой новые эффективные химически стойкие материалы, у которых степень наполнения минеральными наполнителями и заполнителями достигает 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. Соответствующий выбор связующего, наполнителей и заполнителей позволяет получать полимербетоны с высокими диэлектрическими характеристиками или, наоборот, обладающие хорошей электропроводностью. Разработаны составы специальных бетонов с высокими защитными свойствами от различных излучений. 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. Например, разработаны составы тяжелых полимербетонных бетонов плотностью 2200-2400 кг/м<sup>3</sup>, имеющих предел прочности на сжатие: на основе фенолоформальдегидных смол 40-60,

карбамидных 50-80, полиэфирных 80-120 и фураново-эпоксидных до 160 МПа.

Вместе с тем есть вопросы, которые требуют дополнительных исследований:

1. Насколько данный инновационный материал применим для осевых редукторов локомотивов, учитывая их тяжелые эксплуатационные условия?

2. Насколько данный инновационный материал применим для распределительных редукторов?

Г.н.с., заведующий кафедрой  
ТМиО и т.н., асоц. профессор



Есімесов Касым Қоптлеуевич

2019 г.

Менеджер по продукции General  
Electric Transportation a Wabtec  
company

Кабулов Алмаз Азизович

«30» 04 2019г.

С.н.с., лектор кафедры ТМиО

Басканбаева Динара Джумабаевна

«30» 04 2019 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Соглашение на основе добровольного меценатства для тиражирования и рекламы

г. Алматы

Соглашение № 1

«26» август 2019 г.

**Профессор** – исследователь **Крупник Леонид Андреевич**, научный руководитель грантового финансирования программы № 2018/ AP05131236 «Модернизация горнометаллургического оборудования с использованием инновационных материалов и компоновок приводов», именуемый в дальнейшем «Сторона 1» с одной стороны и **ТОО «Эман - Эксперт»** именуемое в дальнейшем «Сторона 2», в лице директора **Сарабековой У.Ж.**, действующей на основании свидетельства о регистрации в г.Кызылорда, Проспект Абай Кунанбаев 50, кв 1, выданный 10.03.2009., КАТО 431010000, РНН 330100240613, ОКПО 50618917, с другой стороны, совместно именуемые в дальнейшем Стороны, на основании п.2 ст. 2 Закона Республики Казахстан «О Науке», заключили настоящий договор (далее - Договор) о нижеследующем:

#### ПРЕДМЕТ СОГЛАШЕНИЯ

Учитывая тот факт, что Сторона 2 имеет прямые контакты с основными промышленными предприятиями г.Кызылорды и Кызылординской области Республики Казахстан, то Сторона 1 и Сторона 2 в рамках проекта № 2018/ AP05131236 "Модернизация горнометаллургического оборудования с использованием инновационных материалов и компоновок приводов" пришли к соглашению о том, что Сторона 2 на основе добровольного **меценатства** будет проводить акции по ознакомлению и презентации инновационного продукта Стороны 1.

В случае успешной акции и заинтересованности предприятий, вступит в силу новый Договор, где будут учтены финансовое вознаграждение Стороны 2.

Директор ТОО «Эман - Эксперт»



У.Ж.Сарабекова

Руководитель научного проекта



Л.А.Крупник

**СОГЛАСОВАНО:**

Ведущий научный сотрудник



К.К.Елемесов

Старший научный сотрудник

Д.Д.Басканбаева

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Акт оценки качества отливок элементов корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона с АО «АЗТМ»

УТВЕРЖДАЮ:  
Коммерческий директор АО «АЗТМ»  
Канатбаев М.А.  
2019 г.



АКТ

оценки качества отливок элементов корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона в условиях лаборатории кафедры «Технологические машины и оборудование» Сэтбаев Университеті

г. Алматы

«20» августа 2019 г.

#### Комиссия в составе:

1. Руководитель научного проекта, д.т.н., профессор Крупник Леонид Андреевич
  2. Ответственный исполнитель, г.н.с., к.т.н., доцент Елемесов Касым Коптлеуевич - представители организации:
  1. Начальник службы качества АО «АЗТМ» - Тулемисов Ермек Кашкинбаевич
  2. Зам. начальника отдела продаж АО «АЗТМ» - Киятов Батырбек Жамшеханович
- провели проверку качества литья, представленных образцов элементов корпуса редуктора из полимербетона.

Комиссия осмотрела качество отливок элементов корпуса редуктора. Было проверено соответствие отлитых образцов требованиям ранее разработанного технического задания («ТЗ на разработку технологии изготовления элементов корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона») на данный вид работы.

#### В ходе проверки было выявлено следующее:

1. Форма и размеры основных поверхностей (габариты, размеры в плане, радиусы посадочных мест по подшипники, уплотнительные канавки, крепежные отверстия и т.д. ) - соответствуют пунктам ТЗ;
2. На некоторых поверхностях имеются незначительные дефекты в виде раковин, пор, незначительных выступов – не влияющих на функционал;
3. Масса отливок в среднем 2,6 раза меньше массы аналогичных отливок из чугуна и стали, что говорит о заявленной плотности полимербетона;
4. Для придания поверхностям законченного вида требуется абразивно-механическая обработка на соответствующем оборудовании;
5. Ручная прокрутка элементов передач показала отсутствие заедания и стуков

#### Заключение:

Представленные образцы элементов редуктора могут быть рекомендовано к стендовым испытаниям, после проведения абразивно-механической обработки.

#### Настоящий акт составили:

Руководитель проекта

Ответственный исполнитель проекта

Представители организации:

Начальник службы качества АО «АЗТМ»

Зам. начальника отдела продаж АО «АЗТМ»

Крупник Л.А.

Елемесов К.К.

Тулемисов Е.К.

Киятов Б.Ж.



## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс НАО «КазННТУ имени К.И.Сатпаева»



**АКТ**  
**внедрения результатов работы НИР по теме «Модернизация горно-металлургического оборудования с использованием инновационных материалов и компонентов приводов»**  
**в учебный процесс КазННТУ им. К.И. Сатпаева**

Мы, нижеподписавшиеся, директор института металлургии и промышленной инженерии доктор технических наук, профессор, Турысбекова Г.С., заведующий кафедры «Технологические машины и оборудование», к.т.н., асс. профессор Елемесов К.К., научный руководитель, д.т.н., профессор Крушник Л.А. составили настоящий акт о том, что основные научные положения и технические решения работы как: концепция и расчетное обоснование геометрических и технических параметров запатентованной конструкции универсального пневматического модуля (УНМ) и методика исследования его технических параметров внедрены в учебный процесс Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева.

Разработанные проектные решения, конструктивные проработки и учебные методические материалы для проведения лекционных и практических занятий используются на кафедре «Технологические машины и оборудование» при подготовке специалистов по специальности 5В072400 «Технологические машины и оборудование» и 6М07107 – «Эксплуатационно-сервисная инженерия» в следующих курсах учебного плана:

- в лекционном курсе и практических занятиях по дисциплине «Проектирование металлургических машин и агрегатов» для бакалавров;
- в лекционном курсе и практических занятиях по дисциплине «Приводы технологических машин» для бакалавров;
- в лекционном курсе и практических занятиях по дисциплине «Методология научных исследований» для магистрантов.

Директор ИМ и ПИ

Зав.кафедрой ТМиО

Научный руководитель



Турысбекова Г.С.

Елемесов К.К.

Крушник Л.А.

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### Акт внешней оценки стендовых испытаний редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона в АО «АЗТМ»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Коммерческий директор АО «АЗТМ»  
Канатбаев М.А.  
2020 г.

#### Акт

внешней оценки стендовых испытаний редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона

Комиссия в составе:

от Satbayev University

- Ответственный исполнитель темы AP05131236 к.т.н., г.н.с

Елемесов К.К.

- С.н.с, докторант PhD Басканбаева Д.Ж.

от АО АЗТМ

- Начальник службы качества АО «АЗТМ» - Тулемисов Е.К.

- Зам.начальника отдела продаж АО «АЗТМ» - Киятов Б.Ж.

Проведено обследование корпуса редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона по результатам стендовых испытаний в лаборатории Satbayev University. По результатам обследования установлено, что редуктор с корпусом из полимербетона проработал под нагрузкой на стенде 10 дней по 6 часов непрерывно, в качестве привода барабана с балластной нагрузкой 100, 200 и 300 кг. После каждой догрузки и отработанного количества часов осуществлялся внешний осмотр корпуса редуктора на предмет появления трещин, течей из корпуса, состояния зубчатых зацеплений по пятну контакта (методом красок), повреждению наружных деталей и узлов, подшипников.

Установлено, что шумовые характеристики (68-70 дБ), износа зубьев, не выявлено. Подтекания масла через соединения и уплотнения с каплеобразованиями не установлено, повреждение подшипников, наружных деталей и узлов, заедание передачи отсутствует.

Вместе с тем комиссия отмечает следующие замечания:

-присутствует незначительная волнистость обусловленная свойствами литейного силикона;

- в узких канавках торцевых крышек валов присутствовали наплывки;

- необходима развалка и доводка посадочных окон под подшипники и доводка канавок под крышки подшипниковых окон – из-за повышенной усадки материала и недостаточной жесткости литейного силикона;

Комиссия рекомендует осуществить доводку корпуса редуктора Ц2-250 с учетом замечаний.

Члены комиссии:

От Satbayev University



К.К.Елемесов

Д.Д. Басканбаева

От АО АЗТМ

Начальник службы качества АО «АЗТМ»

Е.К.Тулемисов

Зам.начальника отдела продаж АО «АЗТМ»

Б.Ж.Киятов

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

### Акт оценки качества отливок корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона

УТВЕРЖДАЮ:

Коммерческий директор  
ТОО «Хайдаромунай»  
Сайфуллаев Б.С.  
«21» 09 2020 г.

АКТ

оценки качества отливок корпуса центробежного насоса из фибробетона и корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона в условиях ТОО «Хайдаромунай»

г. Алматы

«21» 09 2020 г.

#### Комиссия в составе:

1. Главный научный сотрудник, м.т.н. Басканбаева Динара Джумабаевна  
- представители организации:

1. Начальник службы качества ТОО «Хайдаромунай» - Ермекбай Н.Ж.
2. Зам. начальника отдела продаж ТОО «Хайдаромунай» - Тілеген Ә.Е

провели проверку качества литья, представленных образцов корпуса насоса из фибробетона.

Комиссия осмотрела качество отливок корпуса центробежного насоса из фибробетона и корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона. Было проверено соответствие отлитых образцов требованиям ранее разработанного технического задания («ТЗ на разработку технологии изготовления корпуса центробежного насоса из фибробетона и корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона») на данный вид работы.

#### В ходе проверки было выявлено следующее:

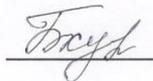
1. Отлитые корпуса после финишных операций подвергли ВИК (визуально измерительному контролю) и механическим испытаниям:
  - отклонение геометрических размеров от размеров на рабочем чертеже  $\varnothing, B, L, h \dots \pm 1...2$  мм;
  - радиальное биение торцевой поверхности  $\pm 1,5$  мм.;
  - глубина 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.;
2. Внутренняя и наружная поверхность корпуса получилось гладкими с незначительными дефектами в виде раковин, пор, небольшими углублениями и выходами фибр – не влияющих на работоспособность насоса;
3. Размеры корпуса насоса (габаритные и посадочные) соответствуют чертежам ТЗ и обеспечивает установку и закрепление на определённые чертежом (эскизом) посадочные места опорного узла, впускного и выпускного патрубков;
4. Масса отливок в среднем 2,2 раза меньше массы аналогичных отливок из чугуна и стали, что говорит о заявленной плотности фибробетона;
5. Для полного соответствия требованиям ТЗ требуется абразивно-механическая обработка на соответствующем оборудовании.

**Заключение:**

Представленные образцы отливок корпуса центробежного насоса из фибробетона и корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона можно рекомендовать к производственным испытаниям, после устранения вышеперечисленных дефектов.

**Настоящий акт составили:**

**Исполнитель проекта**



**Басқанбаева Д.Д.**

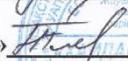
**Представители организации:**

**Начальник службы качества ТОО «Хайдаромунай»**



**Ермеқбай Н.Ж.**

**Зам. начальника отдела продаж ТОО «Хайдаромунай»**



**Тілеген Ә.Е**



## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Патент на изобретение «Полимербетонная смесь и способ ее приготовления»

КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ      РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHISTAN

**ПАТЕНТ**  
**PATENT**

№ **34808**

**ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION**

 (21) 2019/0598.1

(22) 19.08.2019

(45) 19.02.2021

(54) Полимербетонды қоспа және оны дайындау тәсілі  
Полимербетонная смесь и способ ее приготовления  
Polymer-concrete mixture and method of preparation thereof

(73) «К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (KZ)  
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (KZ)  
«K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University» Non-Commercial Joint-Stock Company (KZ)

(72) Крупник Леонид Андреевич (KZ)      Krupnik Leonid Andreyevich (KZ)  
Бейсенов Бауыржан Саккәулы (KZ)      Beisenov Bauryzhan Sakkouly (KZ)  
Елемесов Кәсым Кәптәуевич (KZ)      Yelemessov Kassym Koptleuevich (KZ)  
Басқанбаева Динара Джумабаевна (KZ)      Baskanbayeva Dinara Djumabayevna (KZ)  
Бортебаев Сайын Абилханович (KZ)      Bortebayev Sayin Abilkhanovich (KZ)  
Утянов Азамат Нурдаулетович (KZ)      Utyanov Azamat Nurdautolevich (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Е. Оспанов  
Е. Оспанов  
Y. Osranov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры  
Директор РП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

# ПРИЛОЖЕНИЕ М

## Патент на полезную модель «Фибробетонная смесь»

  
КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ      РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН  
REPUBLIC OF KAZAKHISTAN

**ПАТЕНТ**  
**PATENT**  
№ 6103

**ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL**

      (21) 2021/0346.2  
(22) 30.12.2019  
(45) 28.05.2021

(54) Фибробетонды қоспа  
Фибробетонная смесь  
Fibre concrete mixture

(73) «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (KZ)  
Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сәтбаева» (KZ)  
«K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University» Non-Commercial Joint-Stock Company (KZ)

(72) Елемесов Касым Коптлеуевич (KZ)      Yelemessov Kassym Koptleuevich (KZ)  
Сладковский Александр Валентинович (PL)      Sladkovskiy Alexandr Valentinovich (PL)  
Бортебаев Сайн Абильханович (KZ)      Bortebayev Sayin Abilkhanovich (KZ)  
Басқанбаева Динара Джумабаевна (KZ)      Baskanbayeva Dinara Djumabayevna (KZ)  
Утянов Азамат Нурдаулетович (KZ)      Utyanov Azamat Nurdauletovich (KZ)  
Игбаева Акжаркын Есентаевна (KZ)      Igbayeva Akzharkyn Yessentayevna (KZ)

      ЭЦҚ қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Е. Оспанов  
E. Osphanov  
Y. Osphanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE