

**Республиканский конкурс исследовательских работ обучающихся  
«Шаг в будущее - АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»**

Номинация: «Экология и рациональное природопользование»

Возрастная группа: средняя возрастная категория

Тема работы: Особенности улучшения физико-механических свойств строительных материалов путем оптимизации (изменения) плотности материала с применением отходов промышленности



Подготовила:

Рахимова Жансулу

ЕДЮО «Жас Ұлан»,

Центр внешкольной работы

«Әулет»,

г.Кокшетау, Акмолинская область

Дата рождения 27.08.2002

Эл.адрес. [daniyar.001@mail.ru](mailto:daniyar.001@mail.ru)

Руководитель:

Кожаметов Данияр Муратбекович

Координатор ЕДЮО «Жас Ұлан» г.Кокшетау, заведующий методическим  
отделом ЦВР «Әулет»

## Содержание

|  |  |
|--|--|
| Введение .....   |  |
| 1. Основное содержание работы .....  |  |
| 1.1 Научно-технический анализ в области улучшения строительно-технических свойств бетона .....             |  |
| 2. Характеристика материалов для приготовления бетона из отходов промышленности .....                      |  |
| 2.1 Характеристика материалов .....  |  |
| 2.2 Методика исследований модифицированного бетона .....   |  |
| 3. Особенности физико-механических свойств ингредиентов и самого материала из отходов промышленности ..... |  |
| 3.1. Определение физико-механических свойств ингредиентов бетона из отходов промышленности.....            |  |
| 3.2 Оптимизация состава методом математического планирования эксперимента .....                            |  |
| 3.3 Лабораторные испытания готового материала.....   |  |
| Заключение .....   |  |
| Список литературы .....  |  |
| Приложения .....   |  |

## Введение

В Послании Президента Н.А. Назарбаева народу Казахстана отмечается необходимость развития строительной индустрии страны [1,2]. Строительство является одной из материалоёмких отраслей промышленности, поэтому решение проблем создания импортозамещающих, экономически эффективных материалов на базе передовых отечественных технологий становится основополагающим фактором в динамическом развитии строительной индустрии. В этой связи приоритетными становятся работы по созданию строительных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками и потребительским качеством изделий и конструкций, обеспечивающих увеличение производительности труда, снижение себестоимости и конкурентоспособность на строительном рынке. К таким работам следует отнести разработку материалов и изделий из бетона с использованием местных отходов различных производств.

Актуальность настоящей работы заключается в том, что улучшение строительно-технических свойств бетона на основе отходов промышленности достигается изучением физико-механических свойств ингредиентов, и по результатам исследования позволяет оптимизировать состав для получения качественных бетонных изделий различного назначения.

Выбор темы данной работы обусловлен решением задач оздоровления экологической среды.

Рациональное использование минерального сырья включает в себя: комплексное использование сырья путем разработки новых, замкнутых технологических схем на проектируемых предприятиях с полным использованием всех (попутных) продуктов на основе современных достижений науки и техники.

Применение отходов промышленности позволит не только удешевить и улучшить строительно-технические свойства бетона, но и решить задачи импортозамещения и экологии.

**Целью работы** является определение особенностей улучшения

строительно-технических свойств ингредиентов, за счет оптимизации (изменения) плотности строительных материалов с применением отходов промышленности.

**Для достижения цели** поставлены следующие задачи:

- исследовать отходы промышленности на возможность их использования для производства строительных материалов;
- оздоровления экологической среды;
- установить особенности физико-механических свойств ингредиентов для производства строительных материалов из отходов промышленности;
- провести лабораторные испытания готового материала;
- получение опытный образец.

**Рабочая гипотеза:**

Для некоторых конструкций из бетона, без сильной загруженности при эксплуатации, необходим материал с низкой плотностью. Для получения бетона с низкой плотностью, но со всеми физико-механическими свойствами тяжелого бетона **была принята рабочая гипотеза** - уменьшение плотности материалов путем оптимизации состава и подбора ингредиентов из перечня отходов промышленности. При приготовлении бетона низкой плотности необходимо определить плотность ингредиентов отходов промышленности золы унос и отсева камнедробления, затем применить метод математического планирования для получения оптимального состава бетона низкой плотности.

**Научная новизна работы:**

выявлен механизм улучшения строительно-технических свойств бетона;  
установлены особенности влияния отходов промышленности на физико-механические свойства бетонных изделий;  
установлено, что комплексное изучение физико-механических свойств ингредиентов позволяет контролировать плотность и прочность материала;

**Практическое значение работы:**

1. Разработан оптимальный метод приготовления бетона из отходов промышленности.

2. Разработана технология применения оптимального количества золы, отсева камнедробления в производстве строительных материалов с уменьшением применения цементного вяжущего без снижения физико-технических свойств полученных материалов.

3. Предложена принципиальная схема поэтапного исследования физико-механических свойств ингредиентов для производства бетонных изделий.

## **1. Основное содержание работы**

### **1.1 Научно-технический анализ в области улучшения строительно-технических свойств бетона**

Все устремления Казахстана направлены на реализацию индустриально инновационной стратегии диверсификации экономики. В отрасли промышленности строительных материалов диверсификация предполагает прежде всего внедрение новых технологий и расширение номенклатуры продукции, производимой предприятиями с целью повышения её конкурентоспособности на строительном рынке.

В структуре используемых материалов бетону принадлежит основная и решающая роль. От его прочности и долговечности зависит безопасная и комфортная эксплуатация зданий и сооружений. Его архитектурные возможности определяют эстетику наших городов и отдельных объектов [3].

Последние десятилетия ознаменовались значительными достижениями в теории и технологии бетона. Процесс изучения и создания новых видов бетона продолжается и этому способствуют научные исследования и разработки институтов Российской Федерации (НИИЖБ, ГМЦ "Строительство", ВНИИжелезобетон, МГСУ, НИИцемент, МАДИ, МХТИ, ВНИИГ им. В.В. Веденеева, НИЛ ФХММ и ТП), Казахстана (ТОО "НИИСтромпроект", КазГАСА, Таразский государственный университет, Карагандинский государственный технический университет) и других научно-производственных коллективов под руководством и при непосредственном участии В.Э. Абсиметова, С.М. Байболова, Ю.М. Баженова, З.А. Естемесова, А.А. Кулибаева, И.А. Рыбьева, В.И. Соловьева, Ж.Т. Тентиева, М.И.

Хигеровича, В.М. Хрулева, А.Ш. Чердабаева, К.С. Шинтемирова и других. Значительные исследования провели зарубежные ученые: В. Адам, И. Боузель, С. Брунауэр, Ф. Вавржин, Х. Вальтер, М. Венюа, Ф. Добролюбов, Д. Конрад, Л. Коппола, М. Коллепарди, Р. Кёнеке, Г. Кюль, Ф. Массазз, Т. Пауэрс, Б. Райхель, В. Рамачандран, С. Тейлор, К. Хаттори и другие.

На современном этапе развития технологии строительства проблема повышения качества бетона во многих практически важных случаях может быть успешно решена путем изучения физико-механических свойств применяемых ингредиентов используемого материала.

Строительная промышленность - завершающее звено, комплексной технологии минерального сырья, продукция которой многие десятки, а иногда и сотни лет служат нашему обществу.

Акмолинская область является неисчерпаемым источником для производства разнообразных строительных материалов. В нашем регионе создана уникальная минерально-сырьевая база за счет открытия, разведки и подготовки к промышленному освоению месторождений золота, алмазов, вольфрама, олова, титана, циркония, урана, полиметаллов, меди, железа, слюды, каолина, нерудного сырья для черной, цветной металлургии, производства керамических изделий, огнеупоров, керамзита, минеральных красок, абразивных материалов и многих других полезных ископаемых.

Разведано, подготовлено к эксплуатации и находятся в начальной стадии освоения Обуховское месторождение. Разведаны также промышленные россыпи титаноциркониевых песков, месторождений Литовочное, Славянское. Кроме основных компонентов, руды содержат гафний. Хвосты обогащения могут использоваться для получения силикатного кирпича, а пески вскрыши - для производства оконного тарного стекла. Месторождение эксплуатировалось Обуховским ГОК, концентраты титана и циркония поставлялись в Усть-Каменогорский титано-магниевый комбинат, Лисаковский железно-рудный комбинат и другие.

Основным промышленным объектом разработки каолина является

Алексеевское месторождение. Алексеевское месторождение доломита эксплуатируется с 1947 года. Доломит используется в качестве металлургического флюса и для производства огнеупоров, а также фракционированного доломитового щебня.

Запасы месторождений составляют: по категории В<sub>1</sub> - 5063 тыс. т.

С<sub>1</sub> - 9434 тыс. т.

С<sub>1</sub> - 5727 тыс. т.

Много в нашем районе и других месторождений полезных ископаемых, как рудных, так и нерудных. Перспективы развития горнодобывающей промышленности есть и их немало. Предпосылкой этого является богатство и уникальность региона по различным полезным ископаемым, хорошая обжитость, наличие дорожной инфраструктуры, заинтересованность в привлечении в горнодобывающую промышленность по отдельным месторождениям, как республиканских, так и зарубежных инвестиций. Однако рост отвалов заставляет искать новые пути использования отходов. В настоящее время только на территории Акмолинской области накоплено 55,4 млн. т. промышленных отходов. (Приложение № 1)

Наибольшее количество отходов на территории области составляют промышленные отходы, которые в основной своей массе представлены отходами горных предприятий. Общее количество отходов в 2014 году составило 3068,17 тыс. тонн, из которых ТБО составили 1079,5 тыс. тонн, а промышленные отходы (т.е. золошлак и отходы 3 класса опасности) - 1988,67 тыс. тонн.

## **2. Характеристика материалов для приготовления бетона из отходов промышленности**

### **2.1 Характеристика материалов**

Научно-исследовательские и практические работы выполнены с применением цемента, мелкого и крупного заполнителей, в том числе диоритового отсева, наполнителей и золы.

В качестве вяжущего использовали шлакопортландцемент марки 400 АО

«Восток-цемент» в г. Усть-Каменогорск. (Приложение № 2, № 3)

Испытания цементов производили по ГОСТам 310.1-76 - 310.3-76, 310.3-81, химический анализ - по ГОСТу 5382-91.

В качестве заполнителя применяли природные пески карьера п.Обуховка и щебень карьеров Акмолинской области.

Свойства песка определяли методами ГОСТа 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний», щебня - методами ГОСТа 8269.0 - 97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов производства для строительных работ. Методы физико-химических испытаний». Свойства золы-унос, г. Кокшетау, ГОСТ ТУ 25818.

Выбор ингредиентов осуществлялся на основе изучения опыта работы передовых предприятий ближнего и дальнего зарубежья с учетом требований к добавкам-модификаторам по действующим нормативным документам, в частности ГОСТ 24211-2003.

## **2.2 Методика исследований модифицированного бетона**

В настоящей работе использованы стандартные методы исследований свойств сырьевых материалов, а также материалов, полученных на их основе. Применялись также специальные приемы исследований и собственные разработанные методики.

Основные свойства бетона, такие как прочность при сжатии по ГОСТу 18105-86 «Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести», ГОСТу 109060.1-95 «Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости», ГОСТу 12730.5-84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости».

Подбор составов комплексного модификатора в бетон производился с помощью методов оптимизации и математической статистики с учетом рекомендаций и опыта, освещённых в работах В.Г. Батракова, Ю.М. Баженова, Г.И. Горчакова, А.А. Кулибаева, М.И. Хигеровича и других.

### **3. Особенности физико-механических свойств ингредиентов и самого материала из отходов промышленности**

#### **3.1. Определение физико-механических свойств ингредиентов бетона из отходов промышленности**

Для определения физико-механических свойств ингредиентов бетона из отходов промышленности применялись стандартные методы определения средней плотности, а также массы в объеме [5].

Определение средней плотности на таких образцах заключается в определении объема образца. Его невозможно рассчитать по результатам геометрических измерений. Для определения объема используют метод гидростатического взвешивания, основанный на законе Архимеда: объем тела оценивают по объему вытесненной телом воды, который, в свою очередь, определяют по выталкивающей силе, действующей на погруженный в воду образец. (Приложение № 4) По данной методике была рассчитана плотность диоритового отсева и золы- унос

Плотность золы-унос  $750 \text{ кг/м}^3$

Плотность диоритового отсева -  $1200 \text{ кг/м}^3$

Плотность песка -  $1400 \text{ кг/м}^3$

Плотность цемента  $1300 \text{ кг/м}^3$

Таким образом, исходя из полученных данных, мы можем планировать плотность изготавливаемого материала.

#### **3.2 Оптимизация состава методом математического планирования эксперимента**

На современном этапе развития производства бетонов наиболее распространено применение более легких заполнителей и наполнителей для снижения плотности без влияния на основные строительно-технические свойства.

Нами проведена оптимизация составов бетона с заполнителем отсевом камнедробления и наполнителем золы-унос.

Цель оптимизации состава бетона — определить соотношение компонентов, входящих в бетонную смесь, позволяющее получить изделия с

заданными свойствами [6,7].

Составлены диаграммы определения прочности на сжатие и водопоглощения образцов. (Приложение №5, №6)

В качестве переменных были выбраны следующие входные факторы:

$X_1$  - содержание золы-унос, кг;

$X_2$  - водоцементное отношение (В/Ц);

$X_3$  - содержание диоритового отсева, кг.

В качестве выходных параметров были выбраны:

$Y_1$  — прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток, МПа;  $Y_2$  - водопоглощение образцов, масс, % при плотности 1400 кг/м<sup>3</sup>

При определении основного уровня и интервала варьирования (таблица 2) были приняты во внимание составы бетона плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup>, выбранные предварительно по результатам испытания образцов стандартным методом. (Приложение № 7)

Составлена диаграмма определение оптимального состава с учетом водопоглощения и прочности на сжатие. (Приложение № 8)

Лабораторные исследования по определению прочности проводились по ГОСТу 18105-86 при помощи электронного измерителя прочности бетона ИПС - МГ4+. Контроль прочности бетона прибором может производиться по результатам испытаний контрольных образцов размером не менее 100x100x100 мм или по результатам определения прочности бетона в изделиях и конструкциях.

Водопоглощение рассчитывают для образца бетона, используя данные, полученные в лабораторной работе, массу сухого образца  $m_{\text{сух}}$  и массу насыщенного водой образца  $m_{\text{нас}}$ .

Водопоглощение по массе  $W^n_m$  определяют по формуле [8]

$$W^n_m = [m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}} / m_{\text{нас}}] 100$$

$$W^n_m = (1,05 - 1/1,05) 100 = 6,5 \%$$

Результаты оптимизации были проверены с помощью интерполяции экспериментальных значений с применением полинома Лагранжа. После

обработки данных получены оптимальные значения исследуемых факторов: содержание золы-унос  $X_1=60$  кг, водоцементное отношение  $X_2=0,37$ , содержание диоритового отсева  $X_3= 500$  кг. При этом прочность на сжатие в возрасте 28 суток нормального твердения  $Y_1=28,9$  МПа, водопоглощение  $Y_2 =6,10\%$ .

Таким образом, в результате проведенных исследований методом математического планирования эксперимента определен оптимальный состав бетонной смеси, для получения бетона плотностью 1400 кг/м с наилучшими физико-техническими свойствами.

### **3.3 Лабораторные испытания готового материала**

Для производства бетона из отходов промышленности необходимо изучение физико-механических свойств ингредиентов, а именно плотности ингредиентов для дальнейшего определения количества применяемого сырья. Последовательность изготовления бетона из отходов промышленности в лабораторных условиях:

- а) берем исходный материал;
- б) определяем количество применяемого сырья;
- в) совмещаем ингредиенты в одной емкости;
- г) все тщательно перемешиваем в сухом состоянии;
- д) заливаем водой (соотношение воды к цементу 0,4 %);
- е) перемешиваем в смесителе;
- ж) получаем готовый раствор;
- з) заливаем раствор в стандартные балочки.

Составлена схема исследования получения бетона низкой плотности из отходов промышленности. (Приложение № 9)

## **Заключение**

Использованы отходы промышленности для производства бетона. Испытания проводились в лаборатории Академии «Кокше». Особенность исследования заключается в изучении и оптимальном соотношении ингредиентов в бетоне. Предложенный прием позволяет эффективно распределить количество ингредиентов в бетоне с плотностью  $1400 \text{ кг/м}^3$ . В качестве ингредиентов определены отсев камнедробления и зола унос. Установлены особенности физико-механических свойств ингредиентов для производства строительных материалов из отходов промышленности. Проведены лабораторные испытания ингредиентов: золы-унос, отсева камнедробления, определена их плотность. Также проведены лабораторные испытания на прочность и водопоглощение готового материала в ТОО «Курылыс консалтинг». Проведена оптимизация состава бетона из отходов промышленности, получены опытные образцы.

В работе исследованы и рассмотрены все основные задачи, достигнута цель - определение особенностей улучшения строительно-технических свойств ингредиентов за счет оптимизации (изменения) плотности строительных материалов с применением отходов промышленности. Подтверждена рабочая гипотеза - уменьшение плотности материалов путем оптимизации состава и подбора ингредиентов из перечня отходов промышленности.

**Оценка полноты решений поставленных задач.** В работе решены в полном объеме задачи, включающие подбор и оптимизацию состава для бетонных материалов с плотностью  $1400 \text{ кг/м}^3$ . Проведены физико-механические испытания, определен оптимальный состав, характеризующий полноту решения поставленных задач.

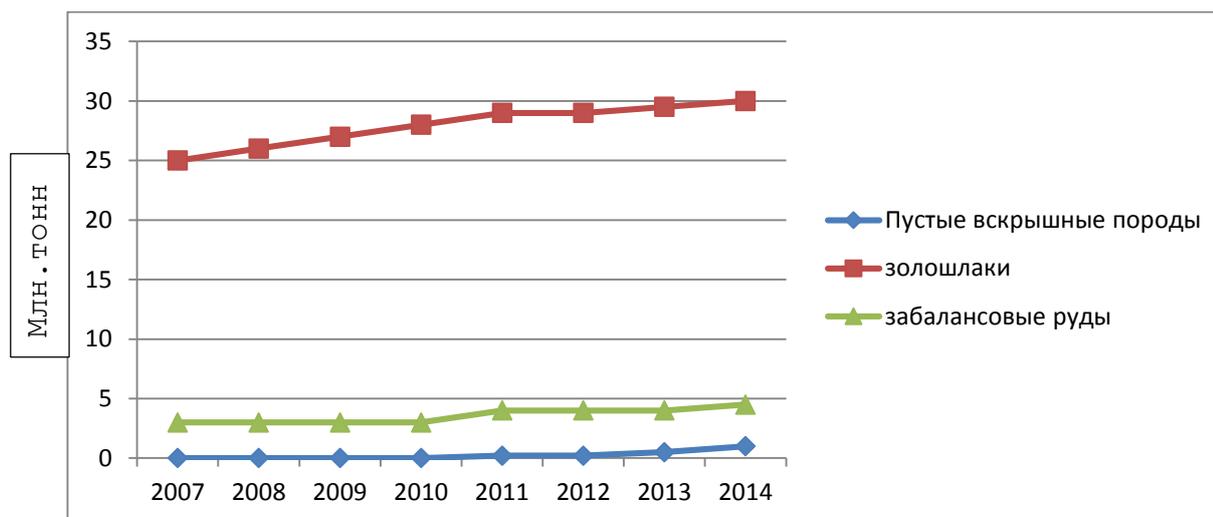
**Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.** Работа предлагает оптимальный состав бетона с плотностью  $1400 \text{ кг/м}^3$ . По научно - практической значимости полностью соответствует современному научно-техническому уровню в области разработки материалов строительного назначения.

## Список литературы

1. Назарбаев Н.А. Послание Президента народу Казахстана "Нурлы жол - Путь в будущее" - Астана, 11 ноября 2014 г.
2. Концепция индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы: одобрено Постановлением Правительства Республики Казахстан.
3. Кулибаев А.А. Состояние и перспективы развития промышленности строительных материалов // Инженерная наука на рубеже XXI века: материалы Международной научно-практической конференции. - Алматы, 2001,- С.3-10.
4. Лермит Р. Проблемы технологии бетона.- М.: Госстройиздат, 1959. - 126 с.
5. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций.- М.: Издательство АСВ, 2004.- 256 с.
6. Волженский А. В., Буров Ю. С., Виноградов Б. Н., Гладких К. В. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. - М.: Стройиздат, 1969.
7. Баранов А. Т., Бужевич Г. А. Золобетон. - М.: Госстройиздат, 1960.-24 с.
8. Производство сборных железобетонных изделий: справочник / под ред. К.В. Михайлова. - М.: Стройиздат, 1989.

## Приложение № 1

Динамика накопления промышленных отходов по Акмолинской области



## Приложение № 2



Цемент



Отсев камнедробления



Песок



Зола-унос

### Приложение № 3

Таблица 1 - Технические требования золы РК-2 г Кокшетау

|   |   |
|---|---|
| <p>Химический состав золы, содержащейся в очищаемых газах содержание недожога топлива в % содержание свободного СаО в % и т.д.</p>  | <p>SiO<sub>2</sub>=67.3<br/>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=24.7<br/>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =5.8;<br/>CaO=1.4;<br/>MgO=0.8;<br/>Na<sub>2</sub>O=2.3;<br/>TiO<sub>2</sub>=0.7;<br/>K<sub>2</sub>O=0.6.</p>  |
| <p>Физико-химические свойства золы:<br/>а) дисперсный состав;<br/>б) объемный и удельный вес;<br/>в) удельное электрическое сопротивление золы при заданных условиях;<br/>г) абразивность, цементирующие свойства, угол естественного отсева и т.д.</p> | <p>а) дисперсный состав золы %:<br/>&gt;40мкм - 18<br/>40...25 мкм - 15<br/>25...16 мкм - 16<br/>16. ..10 мкм - 21<br/>10...6.3 мкм - 12<br/>6.3 ... 4 мкм - 7<br/>4... 2.5 мкм - 5<br/>2.5 ...0 мкм - 6<br/>г) - зола абразивна (по данным исследований НИИОГАЗ, ВТИ, ЦКТИ).</p> |

### Приложение № 4

Составы бетона из отходов промышленности

#### Состав 2

Цемент -250 кг.

Песок - 600 кг.

Зола - 50 кг.

Отсев - 450 кг

Вода - 95 л.

Плотность -1400 кг/м

#### Состав 3

Цемент -250 кг.

Песок - 500 кг Зола -

70кг Отсев - 550 кг

Вода - 105л

Плотность - 1400

кг/м<sup>3</sup> **Состав 5**

Цемент -250 кг.

Песок - 700 кг.

Зола - 60 кг.

Щебень (фракция 5-2,5 мкм) - 650 кг.

Вода - 150 л Плотность 1700 кг/м<sup>3</sup>

#### Состав 1

Цемент -250 кг.

Песок - 550 кг.

Зола - 60 кг.

Отсев - 500 кг.

Вода - 100 л.

Плотность -1400 кг/м<sup>3</sup>

#### Состав 4

Цемент -250 кг.

Песок - 600 кг.

Отсев - 250 кг.

Щебень (фракция 5-2,5 мкм) - 500 кг.

Вода - 125 л.

Плотность 1600 кг/м

#### Состав 6

Контрольный Цемент -250 кг.

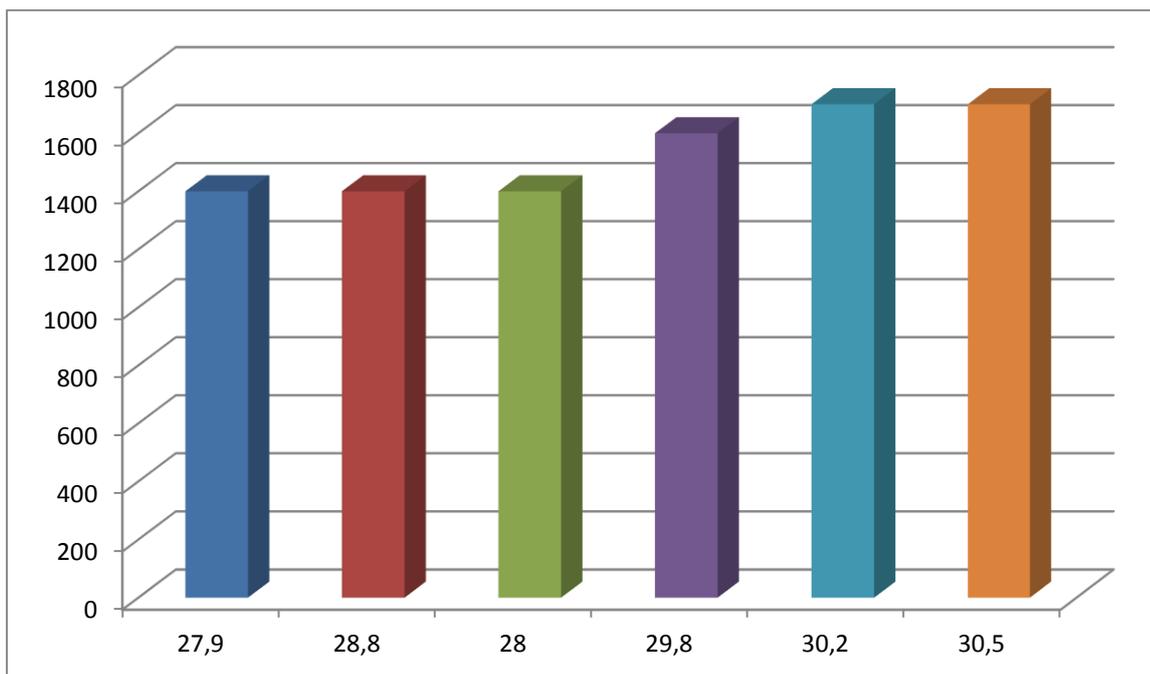
Песок - 650 кг.

Щебень (фракция 5-2,5 мкм) - 750 кг

Вода - 100л Плотность - 1700 кг/м<sup>3</sup>

### Приложение № 5

Диаграмма: определение прочности на сжатие.



■ Состав 1

■ Состав 2

■ Состав 3

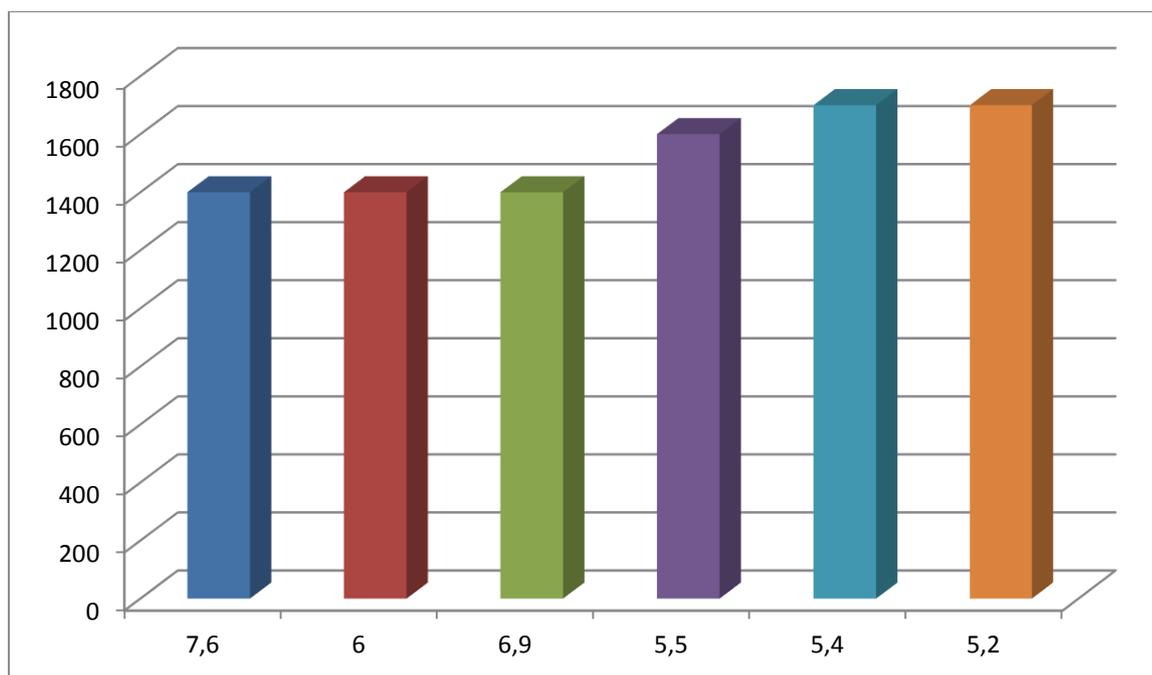
■ Состав 4

■ Состав 5

■ Состав 6 контрольный

## Приложение № 6

Диаграмма: определение водопоглощения образцов, масс, %.



■ Состав 1

■ Состав 2

■ Состав 3

■ Состав 4

■ Состав 5

■ Состав 6 контрольный

## Приложение № 7

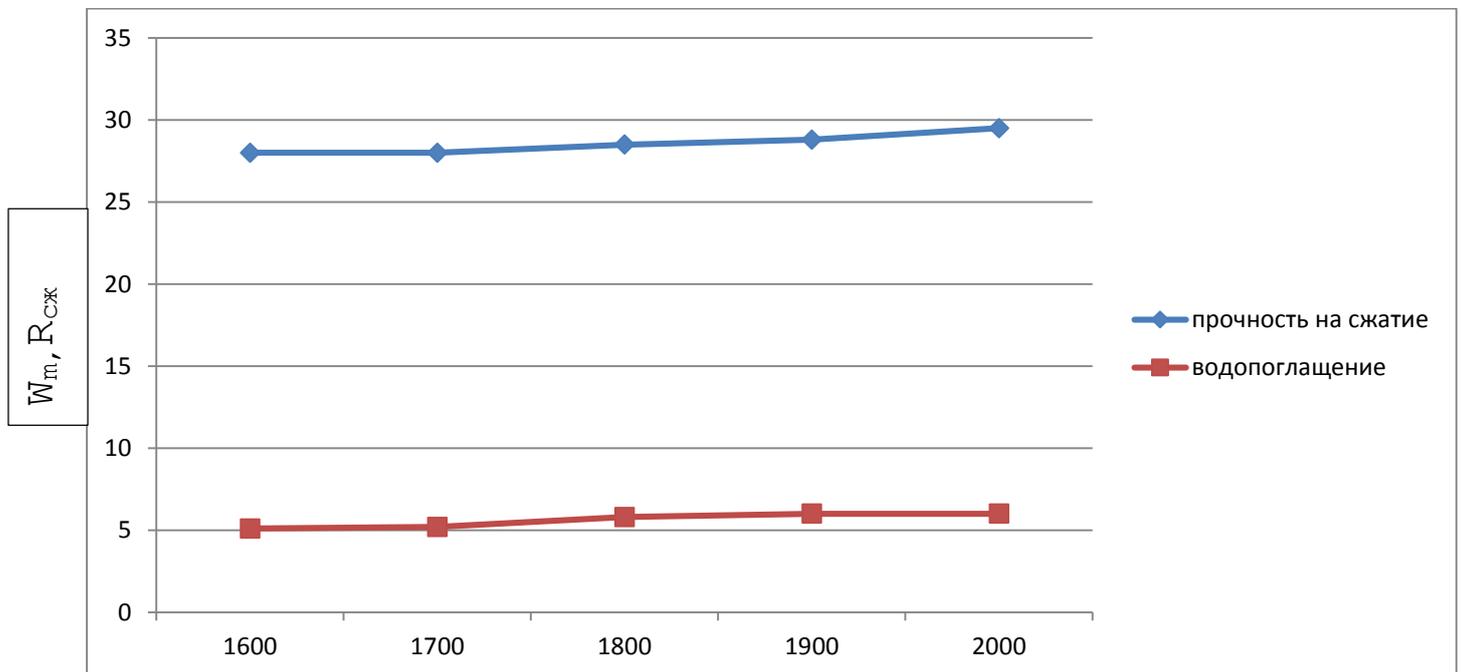
Таблица 2- Уровень и интервал варьирования

| № состава | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | Y <sub>1</sub> | Y <sub>2</sub> |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1         | 50             | 0,35           | 450            | 26,60          | 10,00          |
| 2         | 50             | 0,35           | 500            | 27,60          | 8,80           |
| 3         | 50             | 0,35           | 550            | 27,65          | 8,80           |
| 4         | 50             | 0,4            | 450            | 27,70          | 8,50           |
| 5         | 50             | 0,4            | 500            | 27,90          | 7,80           |
| 6         | 50             | 0,4            | 550            | 27,80          | 8,25           |
| 7         | 50             | 0,45           | 450            | 27,10          | 9,80           |
| 8         | 50             | 0,45           | 500            | 27,40          | 9,50           |
| 9         | 50             | 0,45           | 550            | 27,50          | 9,20           |
| 10        | 60             | 0,35           | 450            | 27,20          | 9,00           |
| 11        | 60             | 0,35           | 500            | 27,80          | 8,25           |
| 12        | 60             | 0,35           | 550            | 27,85          | 8,10           |

|    |    |      |     |       |      |
|----|----|------|-----|-------|------|
| 13 | 60 | 0,4  | 450 | 27,70 | 8,50 |
| 14 | 60 | 0,4  | 500 | 28,80 | 6,10 |
| 15 | 60 | 0,4  | 550 | 28,40 | 6,50 |
| 16 | 60 | 0,45 | 450 | 27,40 | 8,50 |
| 17 | 60 | 0,45 | 500 | 28,00 | 7,60 |
| 18 | 60 | 0,45 | 550 | 28,10 | 7,90 |
| 19 | 70 | 0,35 | 450 | 26,90 | 9,80 |
| 20 | 70 | 0,35 | 500 | 28,00 | 7,60 |
| 21 | 70 | 0,35 | 550 | 27,90 | 7,90 |
| 22 | 70 | 0,4  | 450 | 27,30 | 8,81 |
| 23 | 70 | 0,4  | 500 | 28,20 | 7,00 |
| 24 | 70 | 0,4  | 550 | 28,10 | 7,31 |
| 25 | 70 | 0,45 | 450 | 27,00 | 9,75 |
| 26 | 70 | 0,45 | 500 | 28,30 | 7,69 |
| 27 | 70 | 0,45 | 550 | 28,40 | 7,37 |

## Приложение № 8

Диаграмма: определение оптимального состава с учетом водопоглощения и прочности на сжатие.



## Приложение № 9

Схема последовательности исследования получения бетона низкой плотности из отходов промышленности.

