

## Секция СТРОИТЕЛЬСТВО

### Подсекция СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### СИНТЕЗ ФАЗЫ C-S-H И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЁ СВОЙСТВ КАК КОНТАКТНОГО ВЯЖУЩЕГО

Овчаренко Г. И. – д. т. н. профессор, Викторов А. В. – ассистент

Лаврут А. С., Сухенко А. К. - студенты группы Спр-41

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В работе было исследовано влияние добавки извести к основным составам на их прочность при сжатии. Исследования проводились при различных соотношениях  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ . Также каждый состав был подвергнут испытанию на прочность при разных удельных давлениях прессования, равных 60 и 100 МПа. В результате были определены оптимальные составы для достижения максимальной прочности при сжатии.

Эффект контактно-конденсационного твердения позволяет получать прочный водостойкий материал из данных составов, который характеризуется рядом особенностей. Многочисленные исследования показали, что композиции, на которые можно распространить принцип контактного твердения – это, прежде всего, минеральные материалы, получаемые методом прессования при оптимальной влажности. Необходимым условием контактного твердения является нестабильность структуры исходного прессуемого материала, а также достаточная степень сближения макрочастиц.

Нами определялась прочность при сжатии во всех вышеперечисленных составах на 1 и 28 сутки нормального твердения (рисунки 1-2, 3-4 соответственно), а также было проведено сравнение данных моделей с моделями чистой системы.

Проанализировав данные на рисунках 1 и 2, можно сделать следующие выводы:

1) Плотность образцов не зависит от коэффициентов основности ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ), влияние давления прессования незначительно (при повышении давления прессования от 60 МПа до 100 МПа плотность растет не более чем на 5 %).

2) Оптимальными коэффициентами основности (C/S) являются 0,56 и 1,01. Данные составы показывают наибольшую прочность.

3) Для составов с оптимальными коэффициентами основности ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) повышения давления прессования до 100 МПа приводит к росту прочности на 13 %.

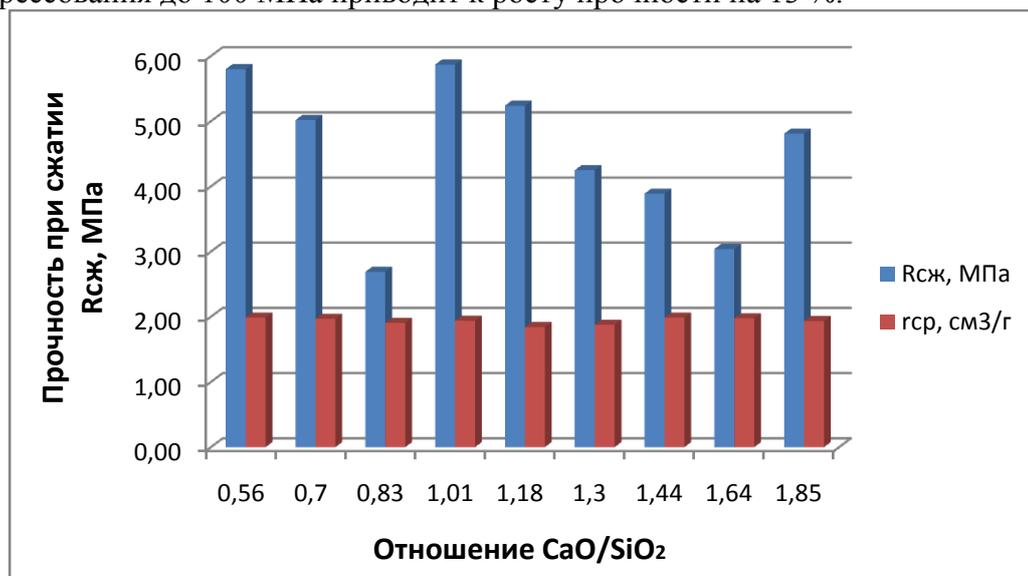


Рисунок 1 - График зависимости прочности при сжатии и плотности камня от отношения  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ . Давление прессования  $P=60$  МПа, 1 сутки твердения.

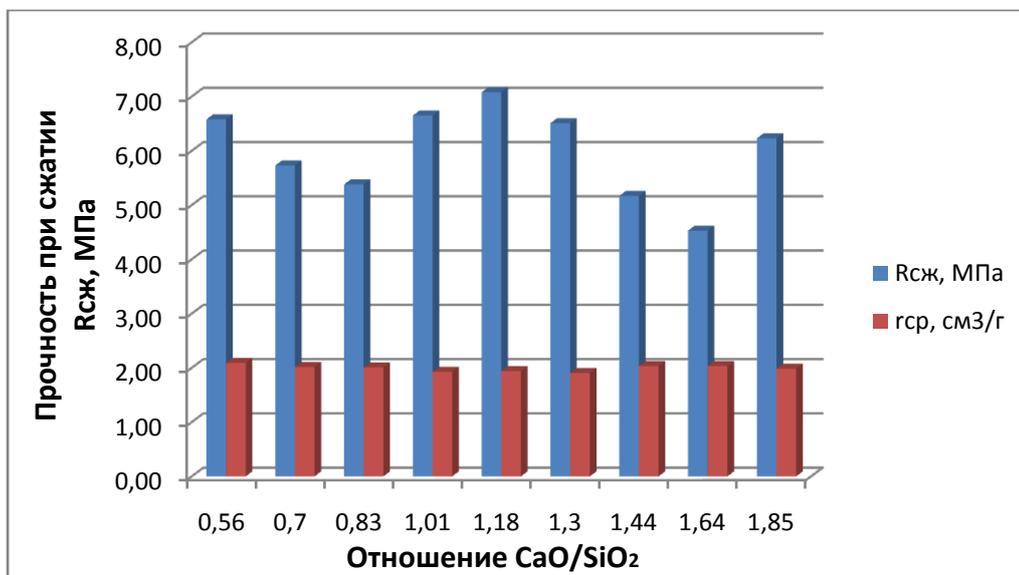


Рисунок 2 - График зависимости прочности при сжатии и плотности камня от отношения CaO/SiO<sub>2</sub>. Давление прессования P=100 МПа, 1 сутки твердения.

Анализ данных по прочности на 28 сутки позволяет сделать вывод о том что максимальную прочность показывает состав с соотношением CaO/SiO<sub>2</sub> 0,56. Данная зависимость наблюдается при давлениях прессования 60 и 100 МПа.

Сравнение прочностей на 1 и 28 сутки показывает рост прочности от 2,5 до 5 раз.

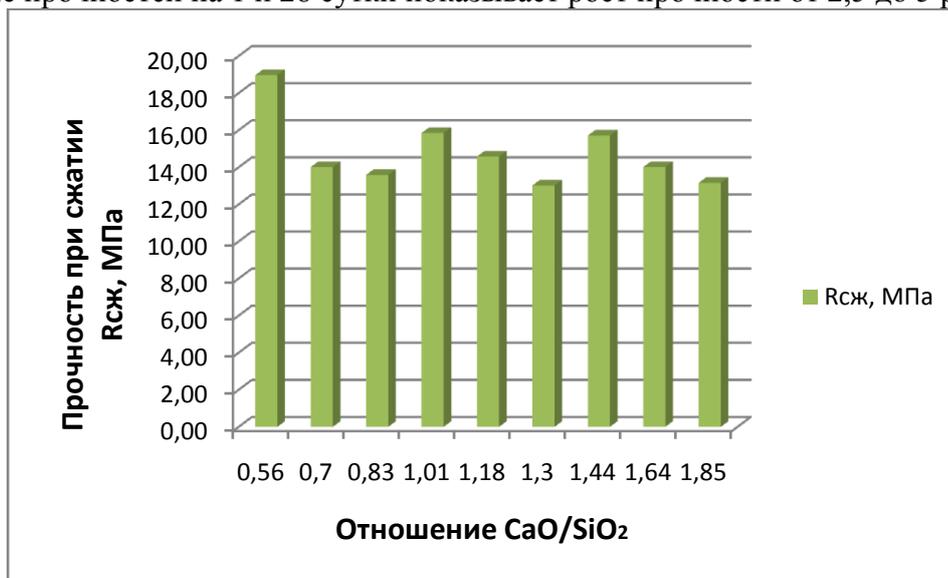


Рисунок 3 - График зависимости прочности камня при сжатии от отношения CaO/SiO<sub>2</sub>. Давление прессования P=60 МПа, 28 сутки твердения.

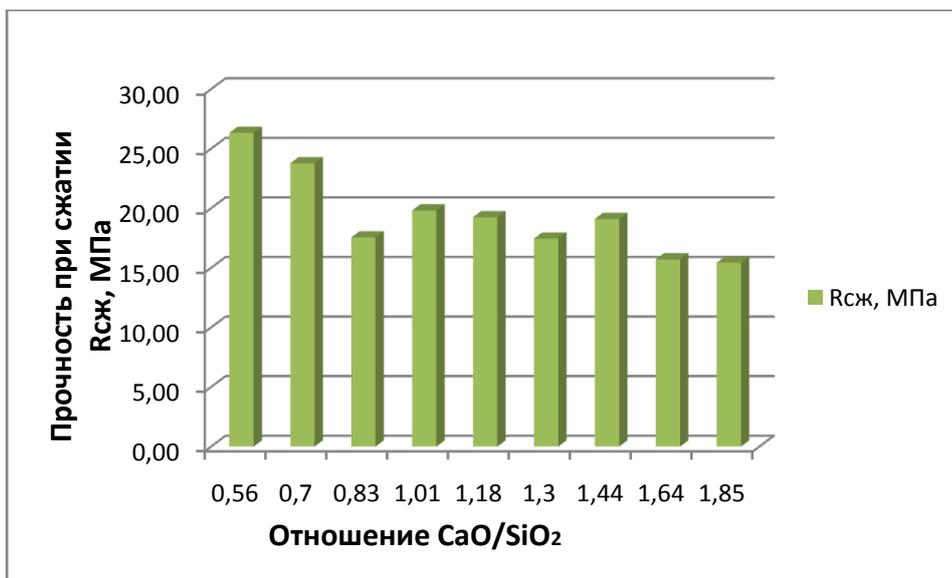


Рисунок 4 - График зависимости прочности камня при сжатии от отношения CaO/SiO<sub>2</sub>. Давление прессования P=100 МПа, 28 суток твердения.

Также была исследована зависимость прочности камня от соотношения CaO/SiO<sub>2</sub> в составе (в «чистых» системах).

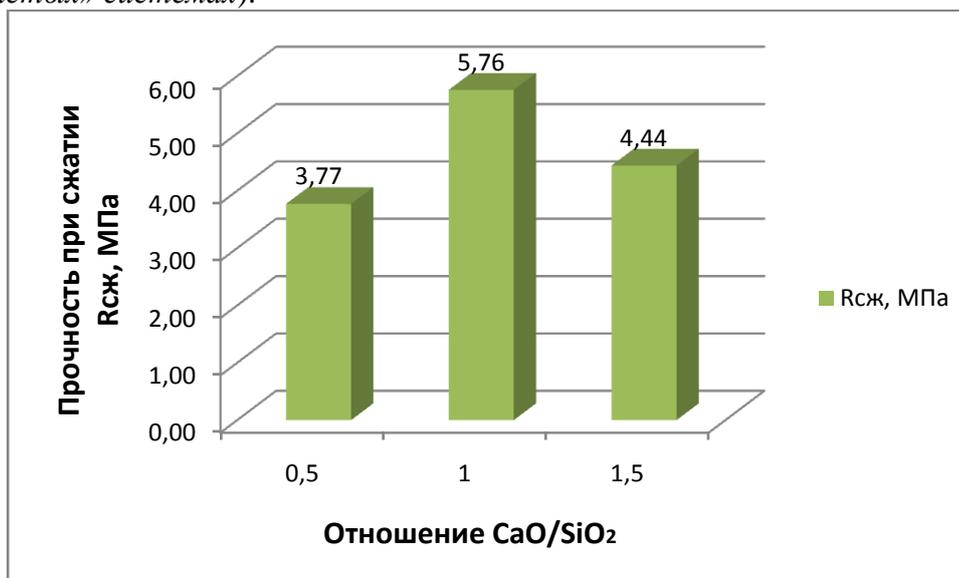


Рисунок 5 - График зависимости прочности камня при сжатии от отношения CaO/SiO<sub>2</sub>. Давление прессования P=60 МПа, 1 сутки твердения.

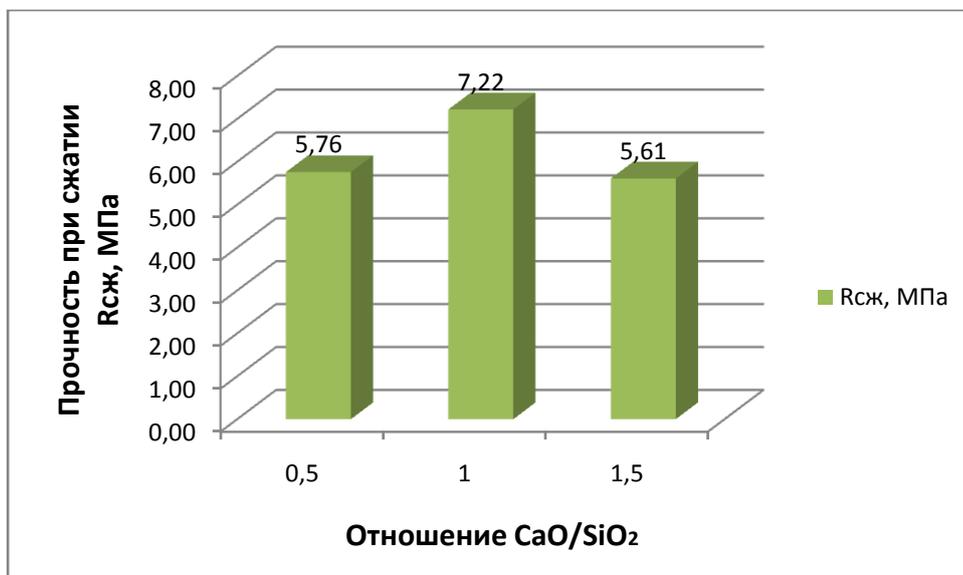


Рисунок 6 - График зависимости прочности камня при сжатии от отношения CaO/SiO<sub>2</sub>.  
Давление прессования P=100 МПа, 1 сутки твердения.

Анализ данных на рисунках 5-6 и на рисунках 7-8 показывает, что оптимальными являются соотношения CaO/SiO<sub>2</sub> равные 1, кроме того на 28 сутки твердения наблюдается рост прочности в раз.

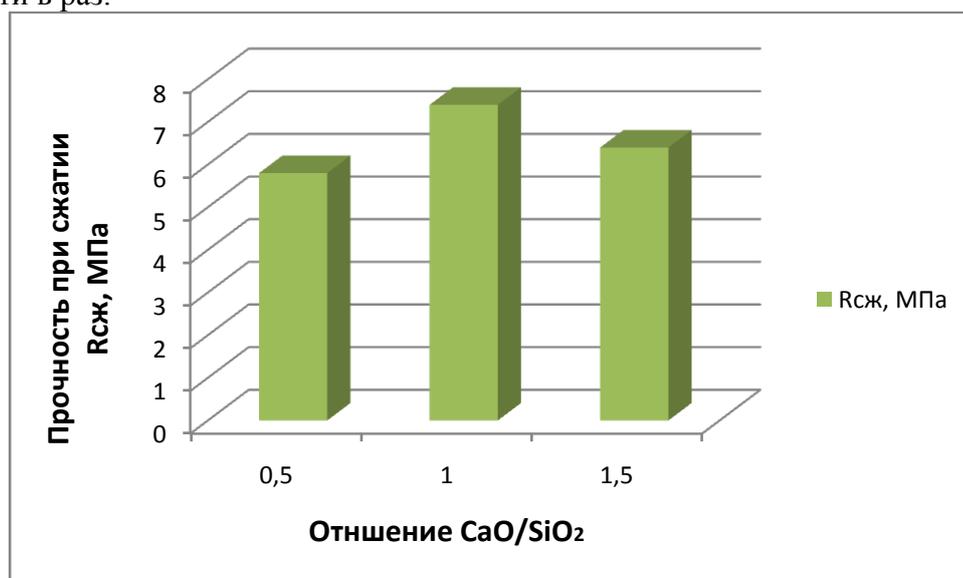


Рисунок 7 - График зависимости прочности камня при сжатии от отношения CaO/SiO<sub>2</sub>.  
Давление прессования P=60 МПа, 28 сутки твердения.

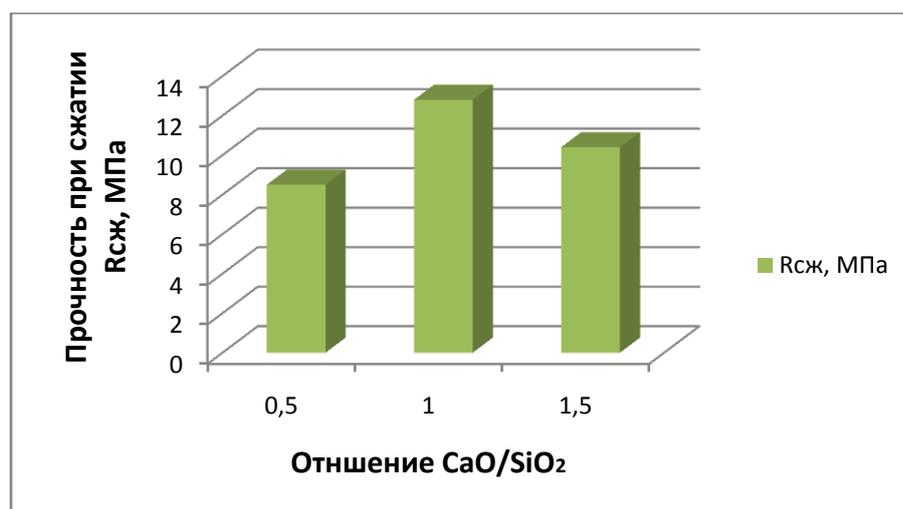


Рисунок 8 - График зависимости прочности камня при сжатии от отношения CaO/SiO<sub>2</sub>.  
Давление прессования P=100 МПа, 28 суток твердения.

*Выводы по работе:*

- 1) На основе анализа полученных данных выявлено оптимальное соотношение CaO/SiO<sub>2</sub> в гиперпрессованном камне составляющем 0,56 .
- 2) Максимальная прочность гиперпрессованного камня достигает марки М175-М250
- 3) Закономерность роста прочности при повышении давления прессования соблюдается при любом соотношении CaO/SiO<sub>2</sub>.

Список литературы

1. Брыков, А.С. Гидратация портландцемента [Текст] / учебное пособие / А.С. Брыков. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2008. – 30 с.
2. Тейлор, Х. Ф.У. Химия цемента [Текст] / Х.Ф.У Тейлор, Пер. с англ.- Москва:Мир,1996. – 560 с.
3. Садрашева, А.О. Гидросиликаты кальция (С-S-H) как основная фаза твердения портландцемента [Текст] / А.О Садрашева // Ползуновский альманах. – 2016. -№3. – 193-196 с.
- 4.Садрашева, А.О. Влияние тонкодисперсных минеральных добавок на структуру и прочность цементного камня [Текст] / А.О СадрашеваПолзуновский альманах. – 2016. -№1. – 181-184 с.
- 5.Глуховский, В.Д. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения [Текст] / В.Д Глуховский, Р.Ф Рунова, С.Е Максунув. –Киев: Висш. шк. - 1991. – 243 с.

## СИНТЕЗ ФАЗЫ С-S-H И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЁ СВОЙСТВ КАК КОНТАКТНОГО ВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКОЙ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ШЛАКА

Овчаренко Г. И. – д. т. н. профессор, Викторов А. В. – ассистент

Анохин В.Г., Шигина А.Н. - студенты группы Спр-41

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Развитие строительства предполагает создание новых и альтернативных вяжущих материалов и синтеза искусственно камня, что в свою очередь позволяет увеличить производительность труда и долговечность зданий и сооружений, а также снизить материалоемкость строительного процесса.

Исходя из этого нами исследовался синтез фазы С-S-H её свойств, как контактного вяжущего с добавкой высокоглиноземистого шлака.

В работе исследовались составы контактно-конденсационного вяжущего с соотношением CaO/SiO<sub>2</sub> =0,5; 1; 1,5. Для его получения прокалённую известь с содержанием CaO и MgO не менее 95 % и химически чистый SiO<sub>2</sub> смешивали в молярной пропорции в

трёх смесях: C/S=0,5;1,0;1.5. Добавляли в каждую смесь 5, 10, 20 % ВГШ. Затворяли каждый состав дистиллированной водой, перемешивали и помещали в сушильный шкаф на 2 часа с температурой 60 °С. После силосования полученную смесь прессовали в форме с диаметром отверстия 50 мм при давлении 20 МПа. Затем образцы пропаривали при температуре 80-100 °С в течение 72 часов.

Далее полученный C-S-H растирали в фарфоровой ступке до полного прохода через сито 02. Полученный порошок прессовали в форме с диаметром 30 мм при давлении 80 МПа.

Полученные образцы гиперпрессованного камня испытывали на сжатие на первые сутки и на 28 нормального твердения.

Полученные результаты приведены на рисунках 1-2.

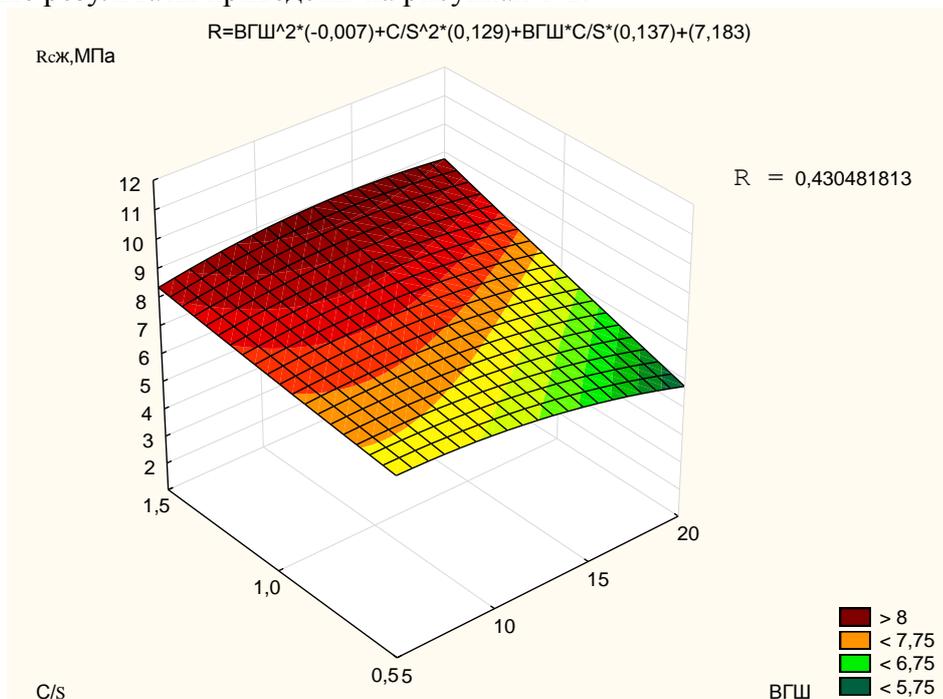


Рисунок 1- График зависимости прочности камня от содержания в системе ВГШ

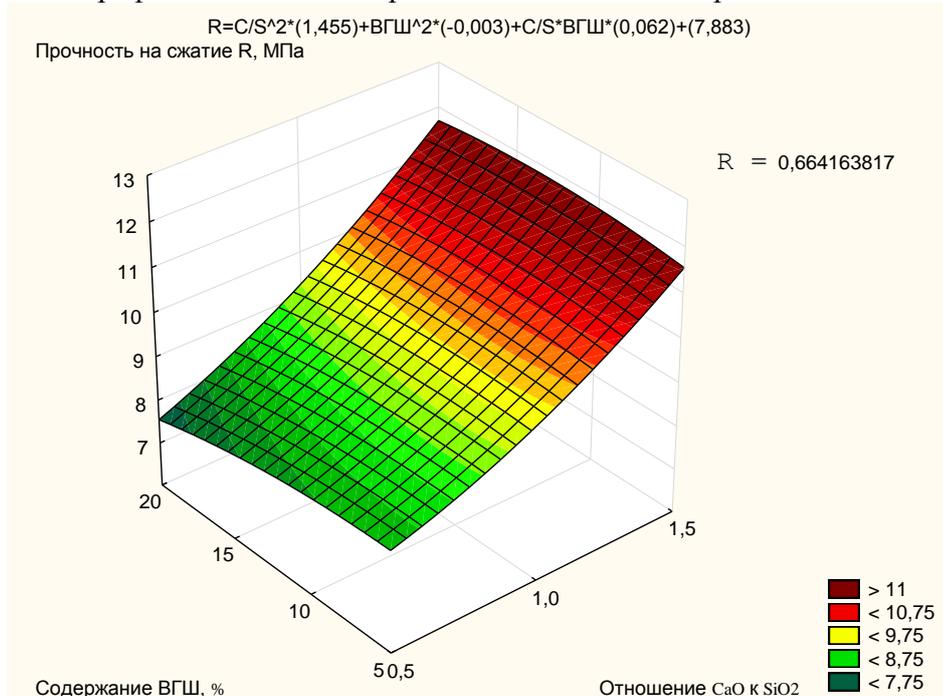


Рисунок 2- График зависимости прочности от содержания в системе ВГШ

### *Выводы по работе:*

На первые сутки нормального твердения наблюдается тенденция роста прочности камня с повышением содержания ВГШ при  $C/S = 1,5$  и наоборот, снижение прочности камня с повышением содержания ВГШ при  $C/S = 0,5$ . При соотношении  $C/S = 1$  содержание ВГШ не оказывает значительного влияния на прочность камня.

На 28 сутки нормального твердения данная тенденция сохраняется. Кроме того, более ярко выражен эффект роста прочности камня при повышении соотношения  $C/S$  от 0,5 до 1,5.

Оптимальным соотношением  $C/S$  будет 1,5, при нем наблюдается максимальная прочность камня как на первые, так и на 28 сутки.

С увеличением времени твердения от 1 до 28 суток прочность камня повышается в 2-3 раза в зависимости от состава.

### Список литературы

1. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
2. Surya M., KantaRao V.V.L., Lakshmy P. Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 104, pp. 1158-1167.
3. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
4. Сидоренко, Ю.В. О моделировании контактно-конденсационных процессов на мезоуровне нестабильной системы силикатной системы / Ю.В. Сидоренко // Успехи современного естествознания. — 2007. — №4. — С. 55-56.
5. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих веществ. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. – ассистент

Арбузов С.А., Будилко И.С. - студенты группы Спр-41

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В работе было исследовано влияние добавки цемента к бетонному лому на их прочность при сжатии. В исследовании использовались фракции 0 – 5, 0 - 1,25 мм с соответствующим добавлением к бетонному лому 0%; 5% и 15% ПЦ. Также каждый состав был подвергнут испытанию на прочность при разных удельных давлениях прессования, равных 20, 60 и 100 МПа. В результате были определены оптимальные составы для достижения максимальной прочности при сжатии.

Нами определялась прочность при сжатии во всех вышеперечисленных составах на 1 и 28 сутки нормального твердения.

Как видно из графика на рисунке 1, повышение давления прессования приводит к росту прочности камня в 3 раза, при любом содержании добавки ПЦ.

При малом давлении прессования, повышение содержания ПЦ не приводит к росту прочности камня. Однако при повышении давления до 100 МПа видна зависимость роста прочности камня с увеличением добавки ПЦ.

График зависимости прочности камня от содержания ПЦ, давления прессования (1 сутки, фракция 0-1,25 мм)  
 $R = P^2 * (-0,008) + ПЦ^2 * (0,156 * 10^{-3}) + P * ПЦ * (0,002) + (2,625)$   
 Прочность при сжатии, МПа

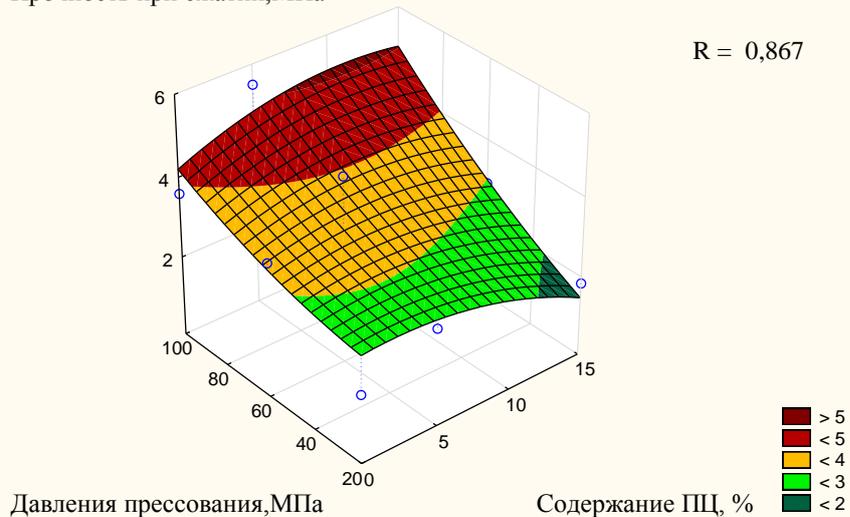


Рисунок 1 - График зависимости прочности от содержания ПЦ и давления прессования 1 сутки нормального твердения, фракция 0-1,25 мм

График зависимости прочности камня от содержания ПЦ, давления прессования (28сут, фракция 0-1,25мм)  
 $R = P^2 * (-0,009) + ПЦ^2 * (-0,216 * 10^{-3}) + P * ПЦ * (0,01) + (8,918)$   
 Прочность при сжатии, МПа

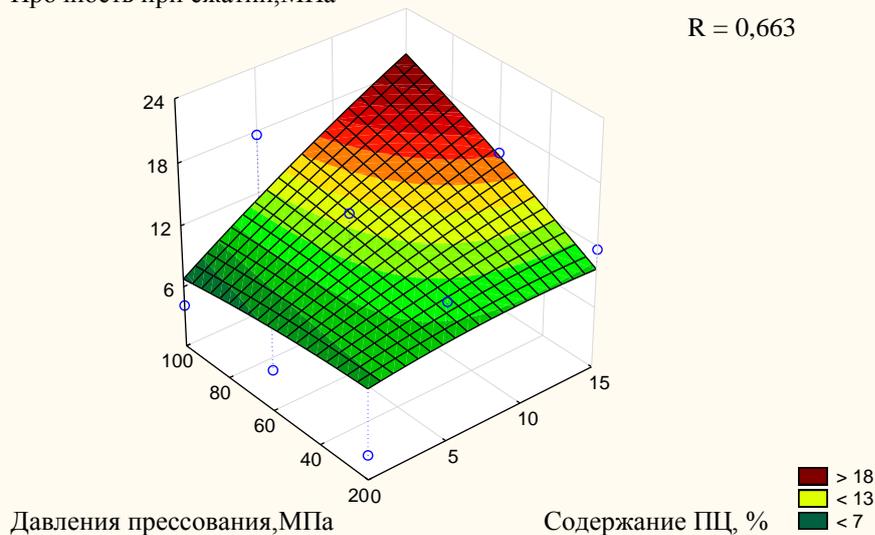


Рисунок 2 - График зависимости прочности от содержания ПЦ и давления прессования 28 суток нормального твердения, фракция 0-1,25 мм

На 28 суток нормального твердения закономерность, выявленная на первые сутки, сохраняется. Повышение прочности по сравнению с первыми сутками составляет от 3 до 5 раз.

Как видно из графика на рисунке 3, повышение давления прессования приводит к росту прочности камня в 5 раз, при любом содержании добавки ПЦ.

Повышение содержания ПЦ не ведет к росту прочности камня, не зависимо от давления прессования.

График зависимости прочности камня от содержания ПЦ, давления прессования (1сут, фракция 0-5мм)

$$R = P^2 * (-0,455 * 10^{-3}) + ПЦ^2 * (0,327 * 10^{-3}) + P * ПЦ * (-0,465 * 10^{-3}) + (1,361)$$

Прочность при сжатии, МПа

R = 0,988

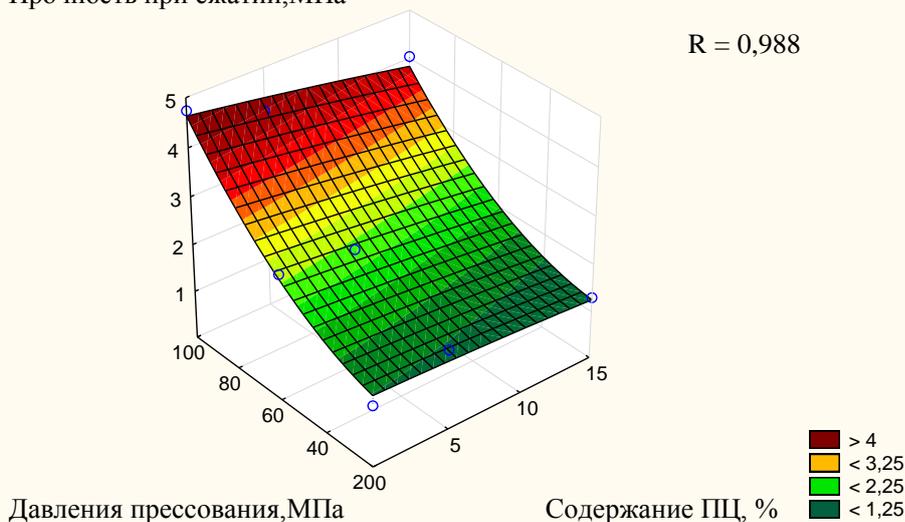


Рисунок 3 - График зависимости прочности от содержания ПЦ и давления прессования 1 сутки нормального твердения, фракция 0-5 мм

При малом давлении прессования, повышение содержания ПЦ не приводит к росту прочности камня. Однако при повышении давления до 100 МПа видна зависимость роста прочности камня с увеличением добавки ПЦ.

На 28 сутки нормального твердения, повышение прочности по сравнению с первыми сутками составляет от 3 до 4 раз.

График зависимости прочности камня от содержания ПЦ, давления прессования (28сут, фракция 0-5мм)

$$R = P^2 * (-0,022) + ПЦ^2 * (0,102 * 10^{-3}) + P * ПЦ * (0,013) + (6,589)$$

Прочность при сжатии, МПа

R = 0,824

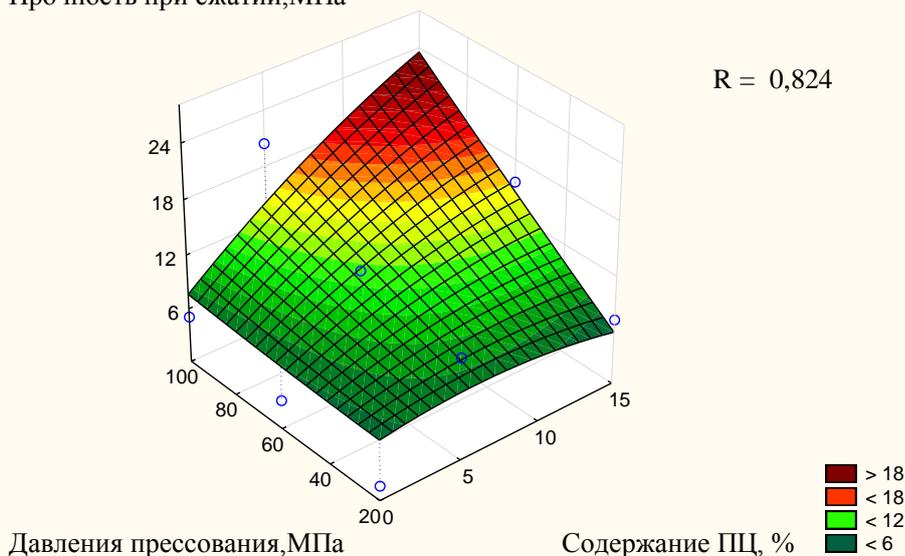


Рисунок 4 - График зависимости прочности от содержания ПЦ и давления прессования 28 сутки нормального твердения, фракция 0-5 мм

*Выводы по работе:*

1. Переработка бетонного лома в строевой материал, технологически возможно и экономически целесообразно.

2. Для получения качественного стенового материала при уменьшении затрат на его производства более эффективно является использование фракции 0-5мм.

3. Для обеспечения максимальной прочности получаемого стенового материала целесообразно использовать повышенное давление прессования (до 100 МПа) и добавки ПЩ в количестве 10-15%. Увеличение количества ПЩ более 15% не желательно, так как дорожает конечный продукт

4. Для детальной проработки технологии переработки бетонного лома требуются дальнейшим исследования.

5.

Список литературы

1. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. — 368 с.

2. Фахратов, М.А. Эффективное использование отходов бетонного лома в качестве заполнителя в производстве бетонных и железобетонных изделий [Электронный ресурс], — <http://stroyprofile.com/archive/4950> — статья в интернете.

3. С-А.Ю. Муртазеев, З.Х. Исмаилова, А.А. Хасиев, М.Р. Нахаев - Утилизация отсева дробления бетонного лома. Журнал: Экология и промышленность №155, 2012, С. 26-28.

4. Глуховский В.Д. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Максунев С.Е. – К.: Вища школа, 1991. – 243 с.

5. ТУ 14-00186482-048-03 Клинкер высокоглиноземистый алюминотермического производства.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА С ДОБАВКОЙ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ШЛАКА**

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. – ассистент

Клюян В.С., Коробцов И.А. - студент группы Спр-41

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В ходе работы было исследовано влияние добавки высокоглиноземистого шлака на прочность и плотность образцов гиперпрессованного камня. Исследованные составы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исследованные составы камня

Фракция бетонного лома	Добавка ВГШ, %	Давление прессования, Мпа
0-5	0, 5, 10, 15	20, 60, 100
0-1.25	0, 5, 10, 15	20, 60, 100

График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (1 сутки, фр. 0-1,25 мм)

$$R = P^2(0,49 \cdot 10^{-4}) + \text{ВГШ}^2(-0,74 \cdot 10^{-3}) + P \cdot \text{ВГШ}(0,004) + (3,59)$$

Прочность при сжатии, МПа

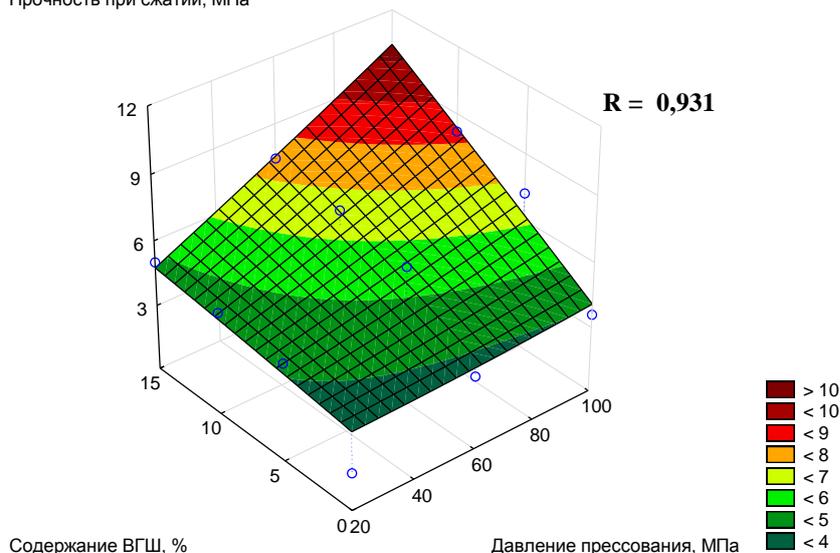


Рисунок 1 - График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (1 сутки нормального твердения, фр. 0-1,25 мм)

График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (1 сутки фр. 0-5 мм)

$$R = P^2(0,35 \cdot 10^{-3}) + \text{ВГШ}^2(-0,007) + P \cdot \text{ВГШ}(0,003) + (2,29)$$

Прочность при сжатии, МПа

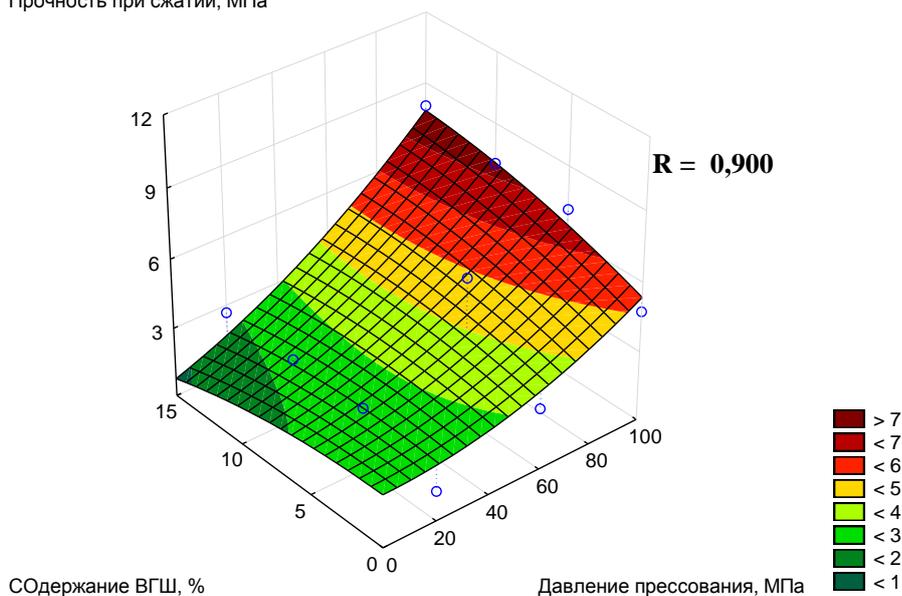


Рисунок 2 - График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (1 сутки нормального твердения, фр. 0-5 мм)

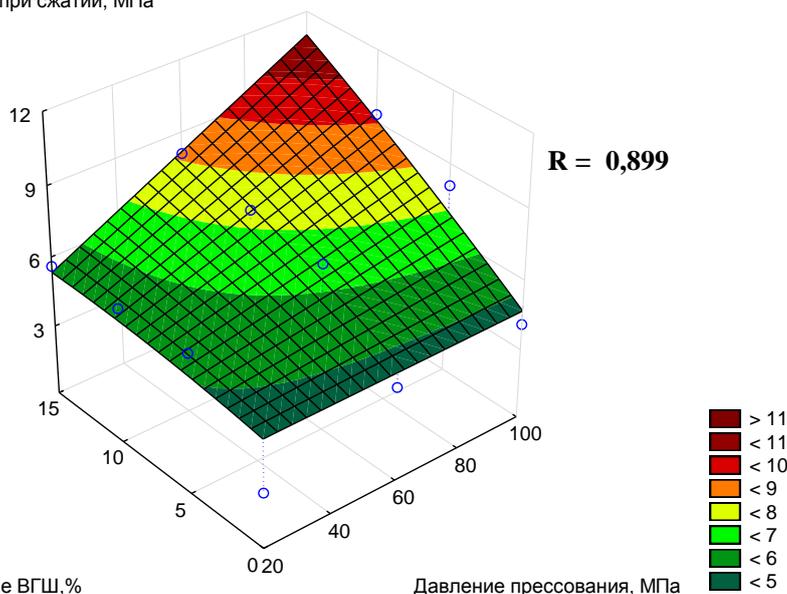
Анализ данных на рисунках 1 и 2 показывает, что просматривается следующая закономерность:

- при повышении давления прессования прочность гиперпрессованного камня возрастает;
- при повышении содержания ВГШ в составе камня его прочность так же возрастает, при чём наиболее ярко данный эффект проявляется при повышенном давлении прессования.

График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (28 суток, фр. 0-1,25 мм)

$$R = P^2 \cdot (0,17 \cdot 10^{-5}) + \text{ВГШ}^2 \cdot (-0,003) + P \cdot \text{ВГШ} \cdot (0,005) + (4,66)$$

Прочность при сжатии, МПа



Содержание ВГШ, %

Давление прессования, МПа

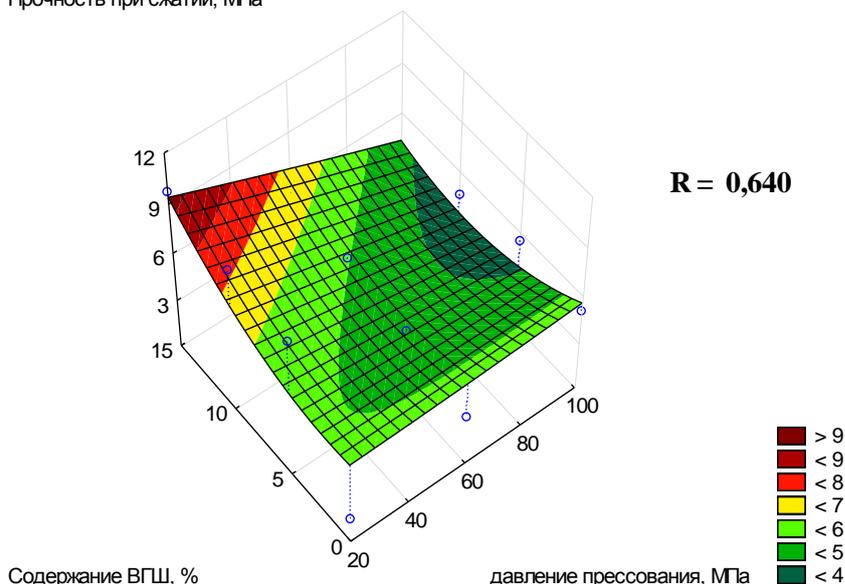
Рисунок 3 - График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (28 суток нормального твердения, фр. 0-1,25 мм)

Для фракции 0-1,25 мм на 28 суток нормального твердения сохраняются обе закономерности, выявленные на первые сутки нормального твердения. Роста прочности камня не отмечается при повышенном давлении прессования; при давлении прессования не более 20 МПа прочность на 28 суток возрастает не более чем на 10% по сравнению с первыми сутками нормального твердения.

График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (28 суток, фр. 0-5 мм)

$$R = P^2 \cdot (0,39 \cdot 10^{-4}) + \text{ВГШ}^2 \cdot (0,025) + P \cdot \text{ВГШ} \cdot (-0,005) + (5,16)$$

Прочность при сжатии, МПа



Содержание ВГШ, %

давление прессования, МПа

Рисунок 4 - График зависимости прочности гиперпрессованного камня от содержания ВГШ и давления прессования (28 суток нормального твердения, фр. 0- 5 мм)

Для фракции 0-5 мм на 28 суток нормального твердения рост прочности наблюдается только для составов с давлением прессования 20 МПа. Для составов с повышенным давлением прессования закономерность меняется на противоположную – роста прочности нет, а с увеличением содержания ВГШ прочность камня и вовсе падает, по сравнению с первыми сутками нормального твердения.

### *Выводы по работе:*

1. Переработка бетонного лома в стеновые материалы технологически возможна и экономически целесообразна.

2. Для обеспечения максимальной прочности гиперпрессованного камня из бетонного лома следует использовать фракцию 0-1,25 мм, так как на ней достигается устойчивая тенденция роста прочности камня с увеличением давления прессования в течение всего срока твердения.

3. Введение добавки ВГШ наиболее заметно превышает прочность камня при повышенном давлении прессования (100 МПа), оптимальным количеством является 10-15%.

4. Для детальной разработки технологии переработки бетонного лома в стеновой материал и уточнения дозировок добавок требуются дальнейшие исследования.

### Список литературы

1. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. — 368 с.

2. Фахратов, М.А. Эффективное использование отходов бетонного лома в качестве заполнителя в производстве бетонных и железобетонных изделий [Электронный ресурс], — <http://stroyprofile.com/archive/4950> — статья в интернете

3. С-А.Ю. Муртазеев, З.Х. Исмаилова, А.А. Хасиев, М.Р. Нахаев - Утилизация отсева дробления бетонного лома. Журнал: Экология и промышленность №155, 2012, С. 26-28.

4. Глуховский В.Д. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Максунев С.Е. – К.: Вища школа, 1991. – 243 с.

5. ТУ 14-00186482-048-03 Клинкер высокоглиноземистый алюминотермического производства.

6. Хижинкова Е.Ю., Музалевская Н.В. Испытание основных свойств строительных материалов: Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Строительные материалы». Для студентов, обучающихся по направлению 270800 «Строительство» / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: типография АлтГТУ, 2014. – 28 с.

## РАЗРАБОТКА ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ 3-D СТРОИТЕЛЬСТВА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СРОКАМИ СХВАТЫВАНИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. – ассистент

Круглова А.Д., Удалова А.В. - студенты группы Спр-41

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Роботизация большинства производственных процессов пока никак не реализовалась в строительстве при возведении объектов. Одним из вариантов роботизации можно рассмотреть 3D-строительство с возведением стен и перегородок с использованием 3D-принтера. Технология заключается в экструзии (выдавливании) слоя за слоем специального бетона, наращивая стены здания. Некоторые компании уже применили 3-D строительство на практике. Пока рассматривается одноэтажное, несложное и недорогое жилье. При строительстве экономия составляет до 50 %, чем при использовании классических методов строительства, а сам срок строительства можно сократить до 50-70 %.

Цель данной работы – разработка твердеющей 3-D композиции на основе цемента, песка, золы и жидкого стекла.

Для реализации обозначенной цели исследовалась композиция на основе Голухинского ПЦ400Д20, с добавлением жидкого стекла с силикатным модулем, равным 2,8 и высококальциевой буроугольной золы ТЭЦ-3.

Подвижность цементно-золевой композиции соответствовала показателю теста нормальной густоты. Компоненты имели следующие дозировки:

- 1) Жидкое стекло: 7,5 %;
- 2) Зола: 10 %; 20 %; 30 %;

3) Цемент: 10 %; 20 %; 30 %.

В результате эксперимента было установлено, что при указанных дозировках сроки схватывания, с добавлением золы уменьшились, по сравнению с обычным портландцементом.

Зависимость прочности от содержания высококальциевой золы и времени твердения приведена на рисунке 1.

### Зависимость прочности при сжатии от содержания добавки ВКЗ и времени твердения

$$z=(0,00380279338652)*x^2+(-0,0013752252714)*y^2+(-0,0015372485386)*x*y+(4,2942763596387)$$

Прочность при сжатии, МПа

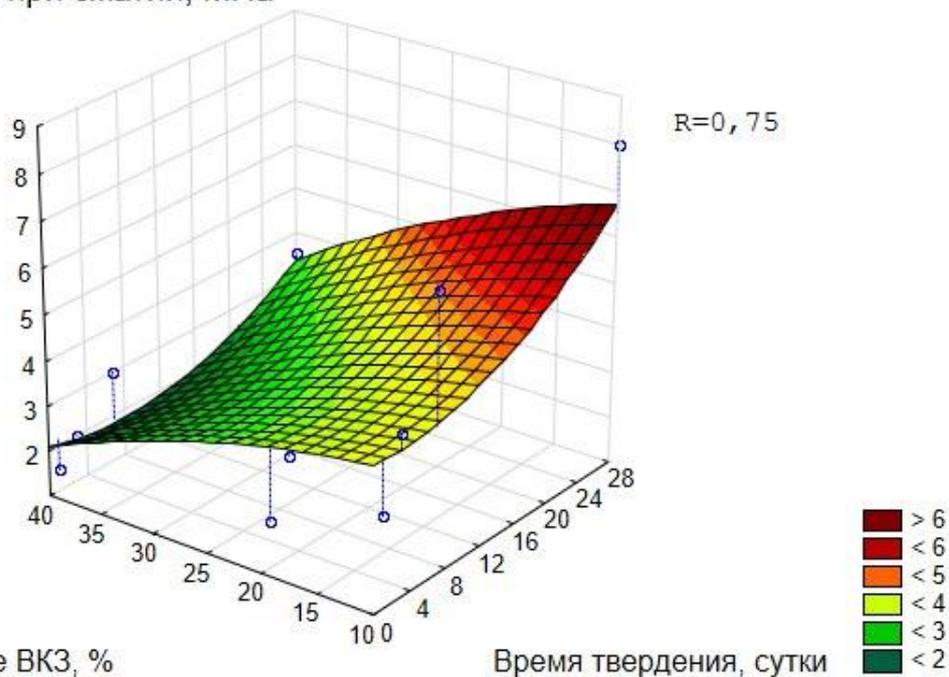


Рисунок 1 – Зависимость прочности при сжатии от содержания добавки ВКЗ и времени твердения

В результате эксперимента было установлено, что при указанных дозировках сроки схватывания (рисунок 2) с добавлением ВКЗ - уменьшились, по сравнению с обычным ПЦ. Но по графику мы можем увидеть, что, чем выше содержание ВКЗ, тем дольше затвердевал цементный камень.

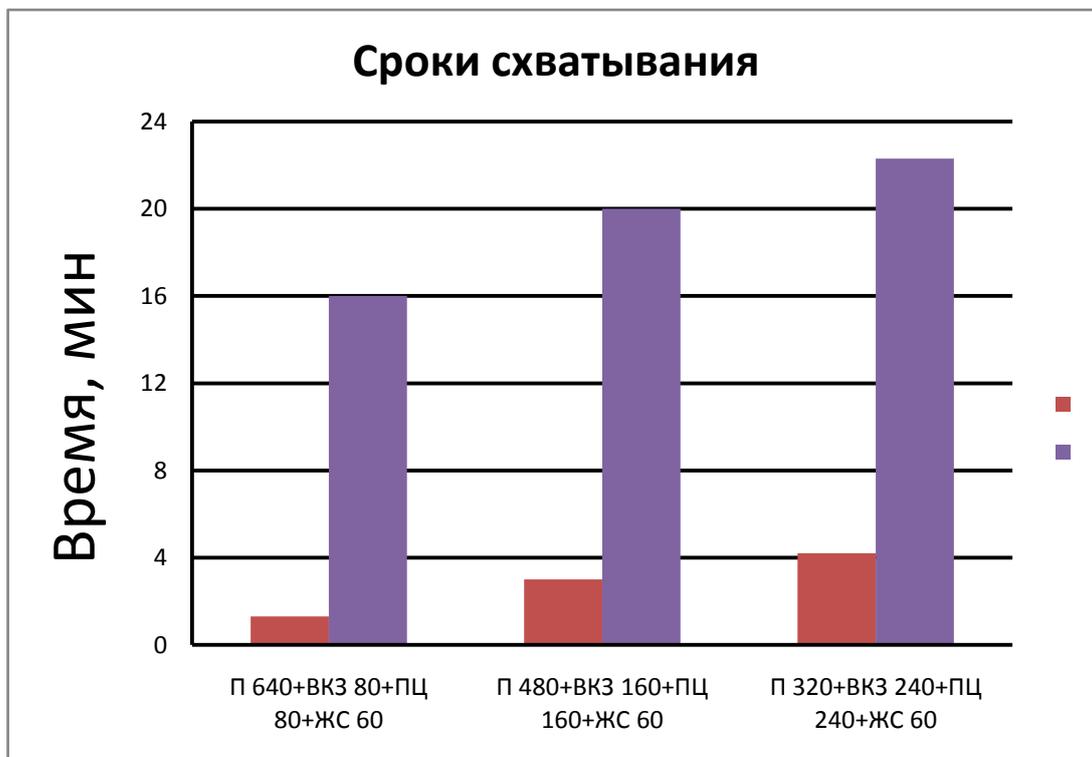
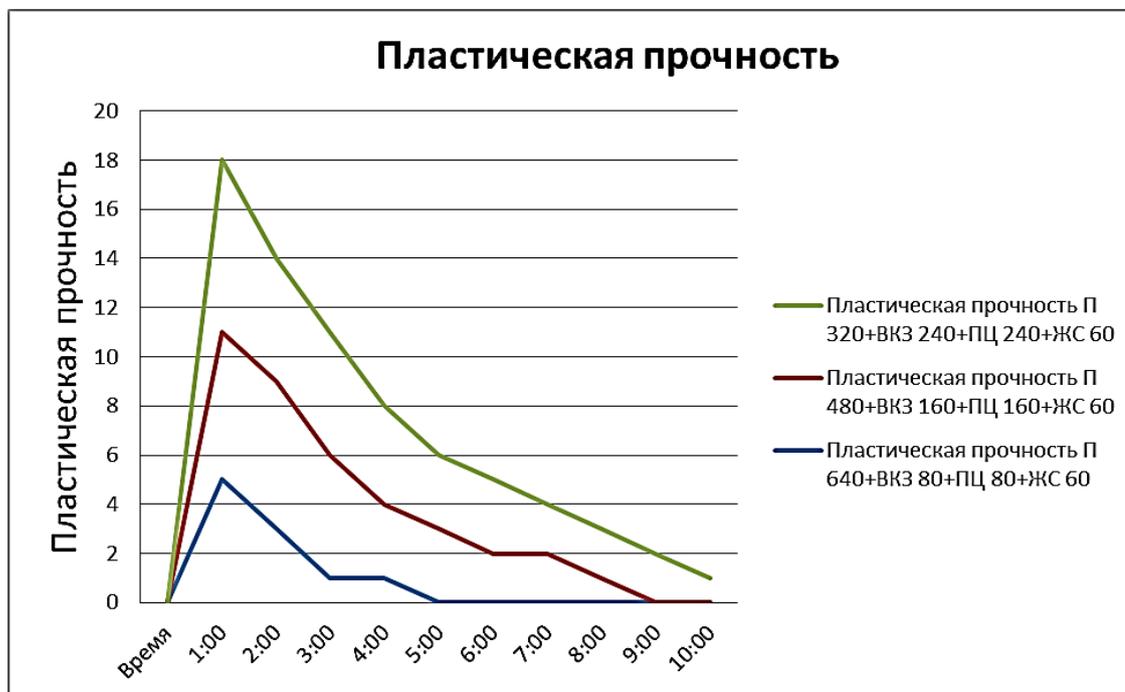


Рисунок 2 – Сроки схватывания

На следующем графике (рисунок 3) мы рассматриваем пластичность материала для оценки его консистенции, необходимой для определения возможности распалубки и резки свежееотформованного изделия. По этому графику мы видим, что чем меньше процент добавления ВКЗ, тем быстрее идет набор пластической прочности.

Рисунок 3 – Пластическая прочность

По



результатам исследования можно сделать вывод о том, что при постоянном содержании жидкого стекла и изменяющемся содержании высококальциевой золы можно отметить, что чем больше содержание золы, тем хуже свойства вяжущей композиции, а именно: увеличение сроков схватывания и набора пластической прочности, а также снижение прочности при сжатии. Исходя из вышесказанного лучше всего для 3D-композиции по всем

показателям подходит состав №1 с содержанием буроугольной высококальциевой золы 10 % и жидкого стекла 7,5%.

#### Список литературы

1. Классификация 3D принтеров (7 технологий 3D печати). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/159931/>
2. Синайко Н.П., Лихопуд А.П., Бабаевская Т.В. Комплексные добавки в бетоны, цементы и сухие строительные смеси системы «Релаксол» // Строительные материалы.
3. Эпоха 3D принтеров уже наступила. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dprintage.com/>
4. 3D-принтер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dpulse.ru/news/stroitelstvo/>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ВЫСОКОПОДВИЖНЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. – ассистент

Ануфриев А. Д., Тирских А.Н. - студенты группы Спр-41

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В работе было исследовано влияние микрокремнезема, суперпластификатора на сохраняемость и расслаиваемость вяжущих композиций для высокоподвижных бетонных смесей.

Исследования проводились на 9 составах с различным содержанием высококальциевой золы и фиксированными содержаниями микрокремнезема (5%) и суперпластификатора (1%).

В настоящей работе нами исследовался суперпластификатор С-3. В растворах с осадкой конуса  $20 \pm 2$  см была исследована сохраняемость. Результаты экспериментов отражены на диаграммах (рисунки 1-2).

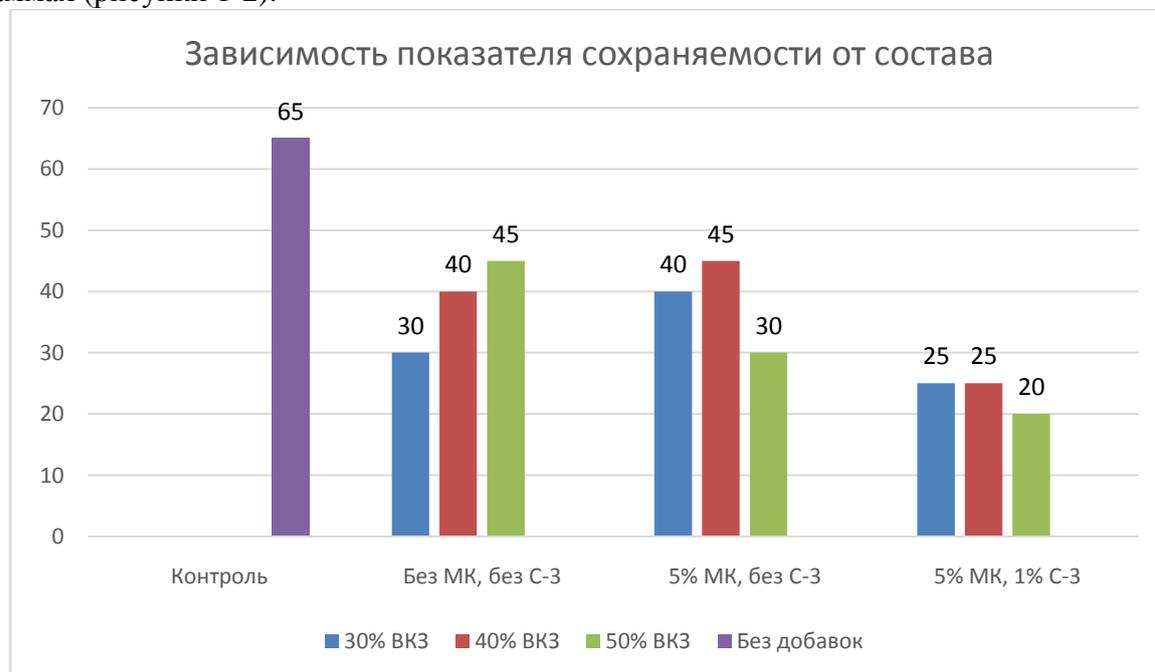


Рисунок 1 – Зависимость показателя сохраняемости от состава вяжущей композиции

Как видно из данных на рисунке 1:

- 1) В составах без МК и без С-3 увеличение содержания ВКЗ приводит к росту времени сохраняемости;
- 2) В составах без С-3 и с 5% МК максимальная сохраняемость наблюдается у составов с добавкой 40% ВКЗ и составляет 45 минут;

3) В составах с добавкой 1% С-3 и 5% МК наблюдается тенденция снижения времени сохранения с ростом содержания ВКЗ.

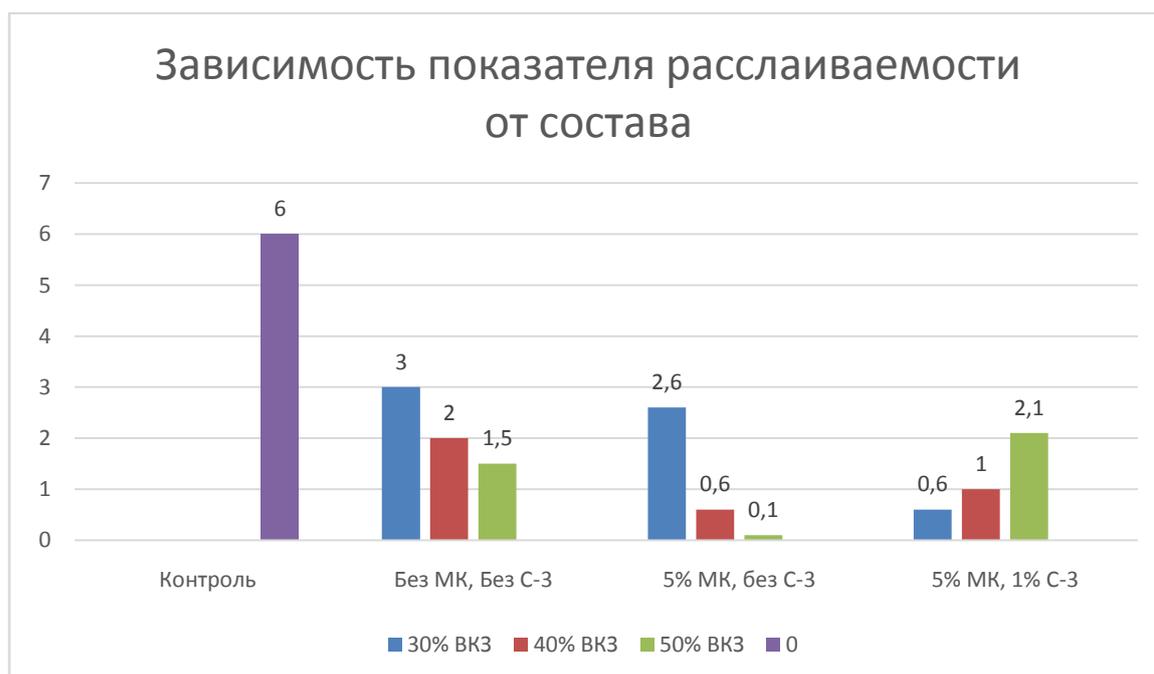


Рисунок 2 – Зависимость показателя расслаиваемости от состава вяжущей композиции

Как видно из данных на рисунке 2:

- 1) В составах без С-3 наблюдается следующая зависимость: чем больше количество ВКЗ, тем меньше показатель расслаиваемости;
- 2) В составах с С-3 зависимость меняется на противоположную: чем больше ВКЗ, тем больше показатели расслаиваемости.

*Выводы по работе:*

- 1) Все рассмотренные составы соответствуют требованиям ГОСТ 28013-98 «Растворы строительные. Общие технические условия» по показателям расслаиваемости, при том что расслаиваемость у всех составов меньше, чем у контрольного в 2 и более раз;
- 2) По совокупности показателям сохранения и расслаиваемости оптимальным можно назвать следующие составы: 4, 6.

Список литературы

1. Теличенко, В. И. Мелкозернистые бетоны с использованием некондиционных песков для монолитного домостроения [Текст] / Т.А. Карпова, В.Н. Косован // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2008. - № 1. – С. 490-513.
2. Производственное, научно-исследовательское и проектно-конструкторское учреждение «Венчур» Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей [Текст] / Ю.Г. Барабанщиков, М.В. Комаринский // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. - №6. – С. 59-64.



На втором этапе исследовались составы с содержанием высокоглиноземистого шлака (ВГШ), в качестве алюмосодержащей добавки.

Прочность композита с ВГШ к 28 суткам (рисунок 2) прочность возрастает в 1,5-2 раза и может достигать 29-32 МПа. Рост прочности материала может объясняться образованием структурных связей в С-S-H фазе (изоморфным замещением с участием алюминатных тетраэдров, приводящим к образованию гидроалюминатов кальция), так и образованием гелевидного гидроксида алюминия, обладающего вяжущими свойствами и упрочняющим систему.

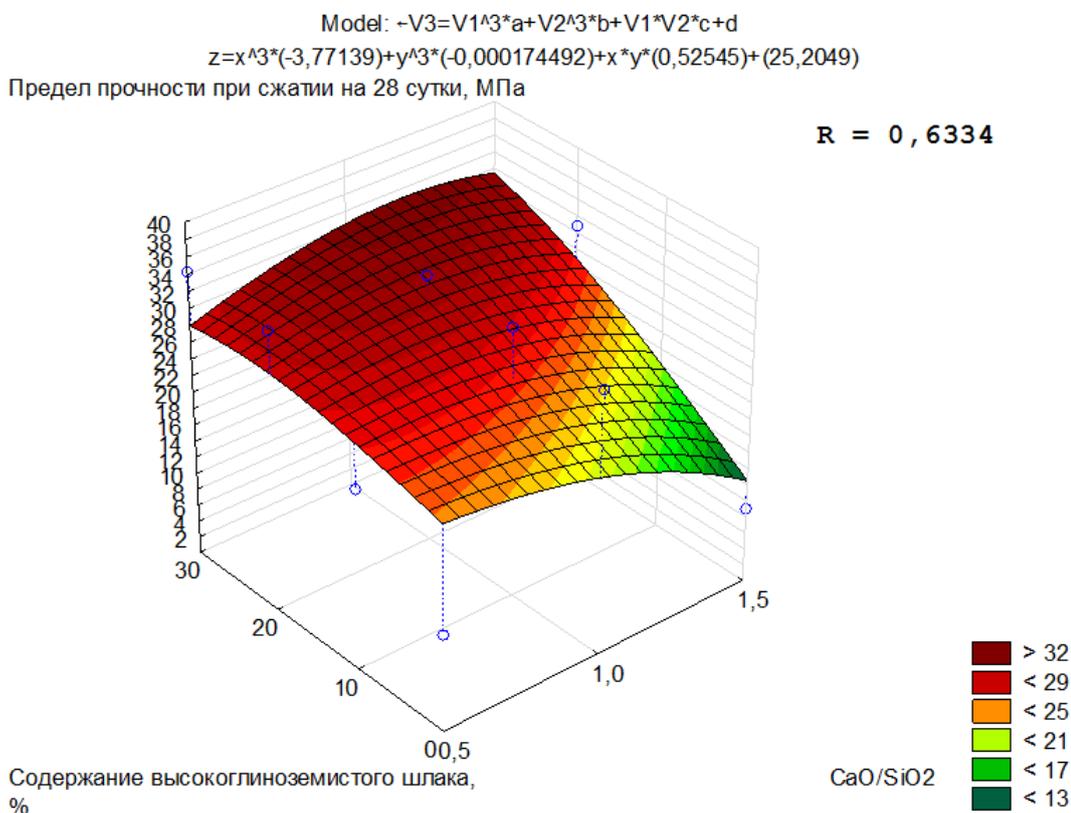


Рисунок 2 - Зависимость прочности материала (С-S-H+20% портландита) от соотношения CaO/SiO<sub>2</sub> и количества высокоглиноземистого шлака при давлении прессования 80 МПа после 28 суток нормального твердения

В результате проведенных исследований доказана возможность получения композиционного материала на основе синтезированной фазы С-S-H, портландита и компонента алюмосиликатного состава.

Контактно конденсационные свойства фазы С-S-H повышаются с уменьшением её основности и особенно времени выдержки в нормальных условиях.

Портландит Ca(OH)<sub>2</sub> в смеси с фазой С-S-H усиливает контактно-конденсационные свойства композиции и особенно в поздние сроки выдерживания (28 суток).

Добавление к смеси портландита и С-S-H фазы алюминатов кальция приводит к саморазогреву композиции, быстрому переходу гидроалюминатов в C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> с выделением геля Al(OH)<sub>3</sub> и повышением прочности камня в одни сутки - в 3-4 раза, в 28 суток в 1,5-2 раза до 34 МПа.

Список литературы

1. Soroka I., Sereda P.J. The structure of cement-stone // Proceedings of the Fifth International Symposium of the Chemistry of Cement, Tokyo, Part III, Vol.III, pp.67-73 (1968).
2. Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф. Свойства дисперсных продуктов гидратации цемента // Шестой Международный Конгресс по химии цемента, М., Стройиздат, 1976. Том 2, Книга 1, с.90-94.
3. Глуховский В.Д. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Максунев С.Е. – К.: Вища школа, 1991. – 243 с

4. Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д. Искусственный камень на основе кристаллизации портландита // Современные проблемы строительного материаловедения // Академические чтения РААСН : материалы к Междунар. конф. Самара, 1995. С. 20—21.

5. Степанова М.П., Потамошнева Н.Д., Чернышов Е.М., Баженов Ю.М. Наноструктурные портландито-алюмосиликатные контактно- конденсационные системы твердения и композиты на их основе. Вестник МГСУ.-№2.- 2013.- с. 114-122.

**ПОВЫШЕНИЕ КАТЕГОРИИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ КПД**  
Буйко О. В., к.т.н., доцент, Ларькина Е.А., Касымжанова З.С. – студенты гр. Спр-31  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Производство железобетонных изделий и конструкций для крупнопанельного домостроения в нашей стране всегда занимало большую долю рынка строительных материалов.

Помимо требований по прочности и долговечности к изделиям предъявляют высокие требования по качеству поверхности. Требования к точности геометрических параметров изделий, а также к внешнему виду изделий прописаны в ГОСТ 13015-2003 «Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения». В соответствии с данным документом регламентируется наличие и количество таких дефектов, как раковины, наплывы, впадины, околы ребер, наличие трещин, наличие жировых и ржавых пятен.

Необходимо отметить, что наиболее распространенными требованиями к поверхности являются классы от А2 до А4, предполагающие применение высококачественных смазок, качественной оснастки, а также эффективного уплотнения. Чаще всего приведение поверхности к требуемому классу проводят финишной доработкой поверхности, а такие отделочные работы требуют затрат ресурсов и времени, что приводит к удорожанию стоимости изделия или конструкции.

На сегодняшний день на заводах категория поверхности железобетонных изделий для КПД А3-А4.

Варианты улучшения:

- 1.) Качественные формы (даже при недорогой смазке);
- 2.) Качественные применяемые смазки для форм;
- 3.) Подборка состава бетонной смеси.

Для эксперимента в качестве контрольного состава использовался состав бетонной смеси для панелей стеновых кассетных завода «ЖБИ Сибири».

На первом этапе нашего эксперимента оценивалось влияние смазок на качество поверхности.

Для эксперимента использовались следующие смазки, взятые с ООО «ЖБИ Сибири»: смазка «Экол – ЭКС4», эмульсол «ЭКС-А», смазка, которая производится на заводе (Эмульсол 15% + Мыло жидкое 1,4% + вода)

Все образцы подвергались тепловлажностной обработке. Режим взят с ООО «ЖБИ Сибири» для панелей стеновых. Режим (1)-6-2-1. Подъем температуры с 20 до 90 градусов.

Смазки Эмульсол «ЭКС-А» и «Эмульсол + мыло» показали примерно одинаковые результаты (категория поверхности А3). В дальнейшем в эксперименте для изготовления образцов использовались эти смазки.

Для эксперимента использовали два вида пластификатора на основе эфира поликарбоксилата: Штайнберг Флюид МЛ и Штайнберг Флюид МА в количестве 0,6% от массы вяжущего. Результаты: качество поверхности образцов с добавлением пластификатора Штайнберг МА несколько лучше, чем у образцов с пластификатором Штайнберг Флюид МЛ. Штайнберг Флюид МА показал прочность выше, чем Штайнберг МЛ. Кроме того, пластификаторы заметно повышают качество поверхности.

При работе с технологиями, предполагающими использование подвижных бетонных смесей, ситуация сложнее. Мало просто увеличить подвижность бетонной смеси за счет применения эффективного пластификатора, часто даже высокоподвижные смеси не способны заполнять все пустоты в густой арматурной сетке при изготовлении конструкций небольшой толщины. При этом использование самоуплотняющихся бетонов (СУБ) также не является решением проблемы из-за высокой вязкости и связанных с ней пор и раковин, образующихся за счет заземленного воздуха, убрать который практически невозможно. Кроме того, использование таких систем усложняется тем, что при подаче бетона в вертикальные формы сверху высота падения бетонной смеси может составлять 3-5 м. При ударе о форму бетонная смесь просто расслаивается.

Мы решили подобрать состав для бетонной смеси такой, чтобы он занимал промежуточное положение между самоуплотняющимися и высокоподвижными бетонами.

При этом такая подвижность, как у СУБ, просто не требуется, и мы можем закладывать возможность уплотнения посредством вибрации. Такое сочетание высокой подвижности, высокой однородности и устойчивости к расслоению при возможности небольшого виброуплотнения может обеспечить равномерное заполнение формы при сохранении однородности бетонной смеси даже при подаче с высоты, а также уменьшение количества заземленного воздуха и более легкое его удаление из тела заформованной смеси.

Дальнейшая доработка состава бетонной смеси велась в плане повышения плотности бетонной смеси с использованием активного микронаполнителя – микрокремнезема.

Варианты изменения были различны: 1ый – изменение количества вяжущего, не трогая количество заполнителей; 2ой – увеличение количества вяжущего, уменьшая количество мелкого заполнителя.

Микрокремнезем использовали в первом случае в качестве вяжущего (в количестве 7,10 и 15% от массы цемента) и в качестве заполнителя (7, 10 и 15% от массы цемента. Убиралась часть песка, добавлялся микрокремнезем).

Совместное использование поликарбоксилатного пластификатора и микрокремнезема позволило получить поверхность, удовлетворяющую категории А2. (рисунок 1 и 2).

Зависимость категории качества поверхности бетонных образцов от содержания микрокремнезема (%) в составе композиционного вяжущего,  $R=0,90$

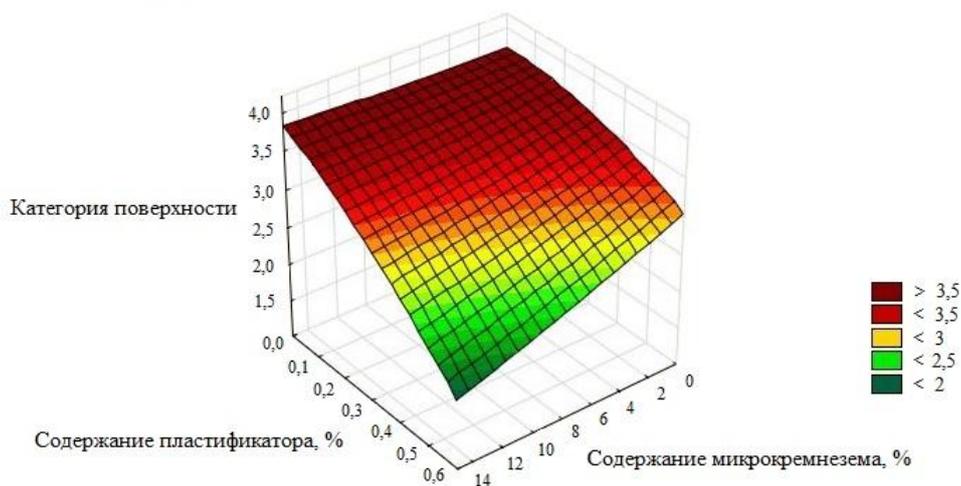


Рисунок 1 - Модель, отображающая зависимость категории качества поверхности бетонных образцов от содержания микрокремнезема (%) в составе композиционного вяжущего.

Зависимость категории качества поверхности бетонных образцов от содержания микрокремнезема (%) (с уменьшением мелкого заполнителя),  $R=0,90$

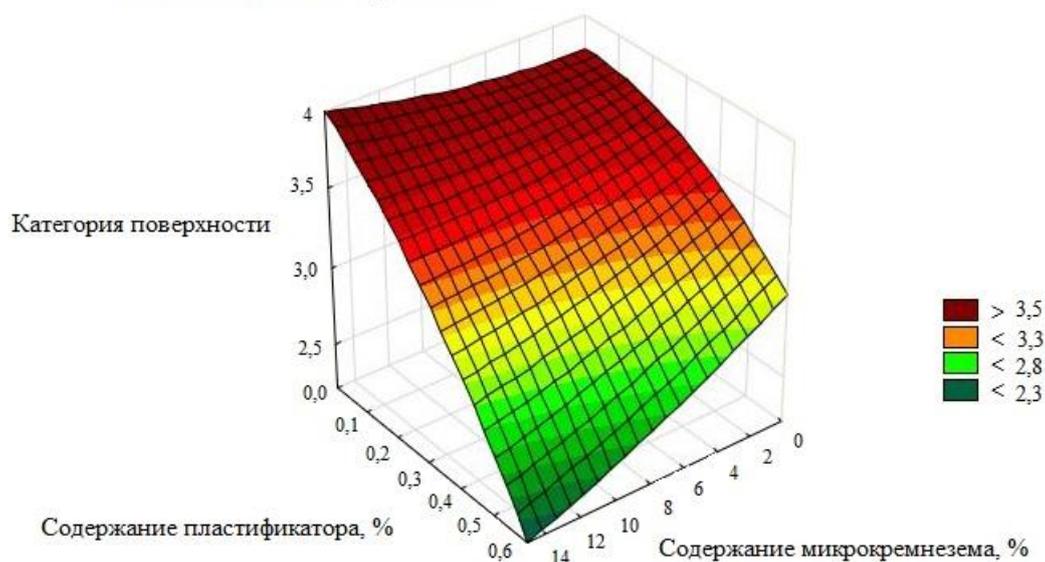


Рисунок 2 - Модель, отображающая зависимость категории качества поверхности бетонных образцов от содержания микрокремнезема (%) (с уменьшением мелкого заполнителя).

Как видно из модели, добавление микрокремнезема в количестве 10-15 % в качестве вяжущего благоприятно влияет на качество поверхности.

Выводы:

1.) Применение качественных форм и смазок позволяют получать более качественные поверхности.

2.) Применение такого микронаполнителя как микрокремнезем дополнительно как компонента композиционного вяжущего позволяет повысить качество поверхности до категории А2.

Ведется продолжение эксперимента с подбором оптимального грансостава заполнителей.

Список литературы

1. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н. Оценка качества лицевой поверхности изделий // Жилищное строительство. 2014. №12. С. 19-22.

2. Краснова Т.А., Батулин И.А. Вопросы повышения качества поверхности железобетонных изделий // Технологии бетонов. 2014. №4. С.14-15.

3. Ушеров-Маршак А., Бабаевская Т.В. Эффективность добавок – тема бетоноведения и технологии бетона // Строительные материалы. 2012. №7-8. С. 53-55.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТЕНОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. - ассистент

Игнатов А.А., Колаев Н.С. - студенты группы Спр-31

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В связи с интенсивным развитием строительства, изменением застройки городов под современные жилищно-административные объекты, производится снос старых зданий. Возникает проблема переработки бетонного лома. Некоторые вопросы применения вторичного щебня в технологии бетона решены, однако растворная часть бетонного лома не нашла широкого применения. В связи с этим нами исследовалась перспективность переработки растворной части бетонного лома в изделия, получаемые методом контактно-конденсационного твердения, а также влияние на этот процесс добавки высокоглиноземистого шлака и прокаленной растворной части бетонного лома.

От исходного бетонного лома, от переработки изделий на ЖБИ Сибири, отсеивалась фракция 0-1,25мм., 0-2,5 мм., 0-5 мм., увлажнялась до формовочной влажности 10-15% и прессовалось под удельным давлением 20 мПа, 40 мПа и 60мПа.

В исходную сырьевую смесь вводилось 10% и 20% высокоглиноземистого шлака и 10% и 20% прокаленной части бетонного лома. Образцы испытывались после нормальных условий твердения и после тепло-влажностной обработки [1-4].

**Прочность прессованных при 60 МПа образцов из бетонного лома фракции 1,25 мм.  
с добавкой высокоглиноземистого шлака**

$$z = (0,01635747129067) \cdot x^2 + (8,9939736693e-3) \cdot y^2 + (-2,552517434e-3) \cdot x \cdot y + (7,0408645868521)$$

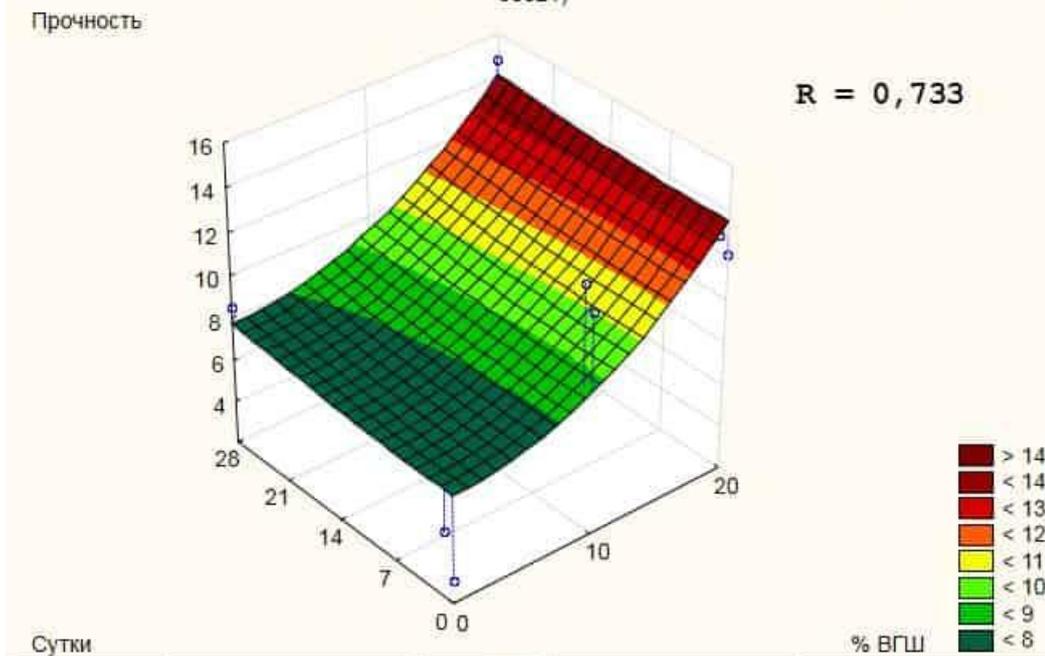


Рисунок 1 - Прочность прессованных образцов при 60 мПа образцов из бетонного лома фракции 1,25 мм, с добавкой высокоглиноземистого шлака.

На диаграмме видно, что при увеличении содержания введенного высокоглиноземистого шлака прочность образцов значительно возрастает с временем твердения.

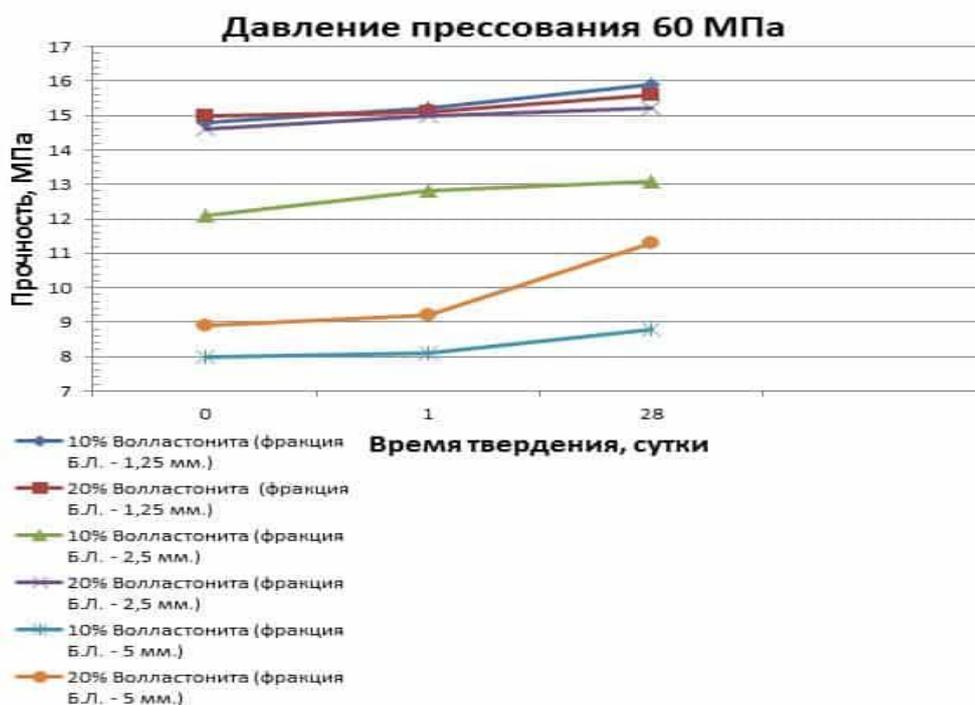


Рисунок 2- Прочность прессованных образцов при 60 МПа образцов из бетонного лома фракции 1,25 мм. с добавкой прокаленной части бетонного лома.

На диаграмме видно, что при увеличении содержания введенной прокаленной части бетонного лома прочность образцов значительно возрастает с временем твердения, а увеличение фракции бетонного лома снижает прочность материала.

Без добавок бетонный лом фракций 0-1,25мм., 0-2,5 мм., 0-5 мм., не дает необходимой прочности для использования его в качестве стенового материала.

Испытание на морозостойкость показали что состав с добавлением 20% высокоглиноземистого шлака и давлением прессования 60 мПа выдержал испытание по морозостойкости, падение прочности образцов составило 20%.

#### *Выводы по работе*

- В итоге, после проделанной исследовательской работы мы пришли к выводу, что различное содержание процентных добавок высокоглиноземистого шлака и прокаленной части бетонного лома, приводят к улучшению прочности материала.

- Прирост прочности оптимальных составов с содержанием в вяжущем высокоглиноземистого шлака и прокаленной части бетонного лома составляет около 40% относительно контрольного состава.

- Оптимальные составы образцов выдержали необходимое количество циклов по морозостойкости.

#### Список литературы

1. Кальгин А.А., Фахратов М.А. Эффективность использования дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // СРІ Международное бетонное производство. 2007. № 5. С. 162-163.

2. Арсентьев В.А., Мармандян В.З., Добромыслов Д.Д. Современные технологические линии для строительного рециклинга // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 64-66.

3. Курочка П.Н., Мирзалиев Р.Р. Свойства щебня из продуктов дробления вторичного бетона как инертного заполнителя бетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2) URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1441](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1441).

4. Гусев Б.В., Загурский В.А. Вторичное использование бетонов. М.: Стройиздат, 1988. 97 с.

## РАЗРАБОТКА ТВЕРДЕЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. – ассистент

Пупынин М.Г., Дорофеев А.А. - студенты группы Спр-31

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одной из важнейших проблем современного строительного материаловедения является получение долговечных материалов на основе дешевого, доступного, часто невостребованного местного сырья, к которому можно отнести как природные ресурсы, так и отходы производственных предприятий. В связи с этим нами исследовалась перспективность переработки растворной части бетонного лома в изделия, получаемые методом контактно-конденсационного твердения, а также влияние на этот процесс добавки высокоглиноземистого шлака и портландцемента.

От исходного бетонного лома, от переработки изделий на ЖБИ Сибири, отсеивалась фракция мельче 0-5 мм., увлажнялась до формовочной влажности 5% и прессовалось под удельным давлением 20 мПа и 40 мПа.

В исходную сырьевую смесь вводилось 10% и 20% высокоглиноземистого шлака, а также 5% и 10% портландцемента. Образцы испытывались после нормальных условий твердения.

### Зависимость прочности камня, полученного прессованием бетонного лома и высокоглиноземистого шлака, от количества высокоглиноземистого шлака при давлении 20 МПа

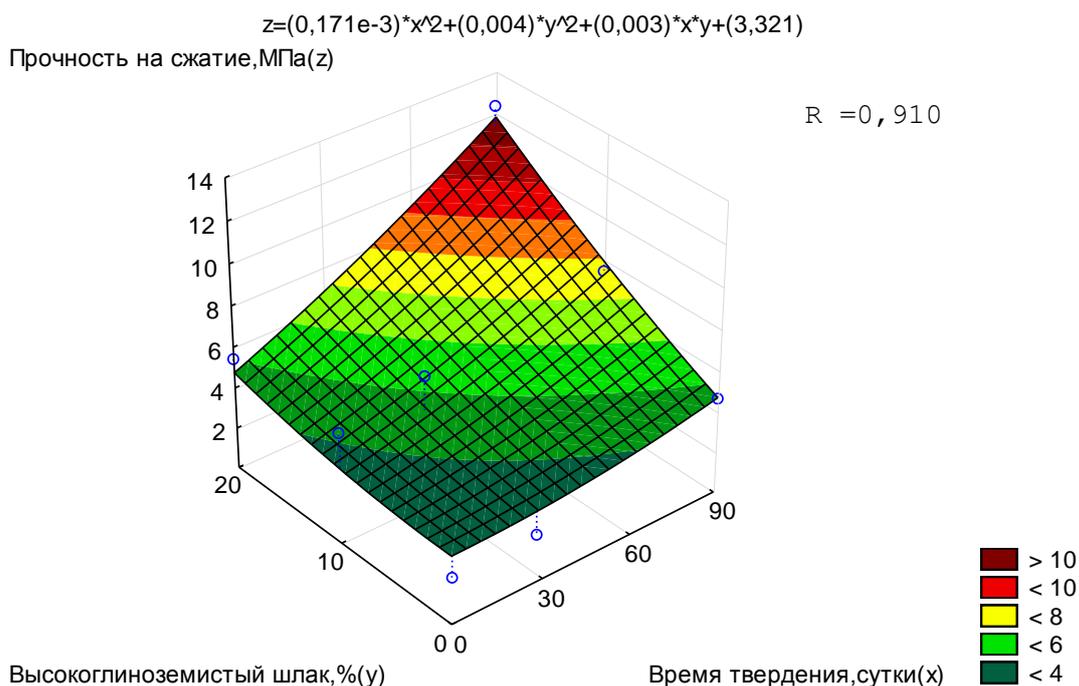


Рисунок 1 – Зависимость прочности камня, полученного прессованием бетонного лома и высокоглиноземистого шлака, от количества высокоглиноземистого шлака при давлении 20 МПа

На модели видно, что при увеличении содержания введенного высокоглиноземистого шлака прочность образцов значительно возрастает с временем твердения.

#### Выводы по работе

В итоге, после проделанной исследовательской работы мы пришли к выводу, что различное содержание процентных добавок высокоглиноземистого шлака, приводит к улучшению прочности материала.

#### Список литературы

1. Юдина, Л.В. Строительные материалы контактного твердения на основе шлаков, зол и грунтов / Л.В. Юдина, В.В. Турчин // Известия КазГАСУ. – 2010. - №2(14). – С. 303-307.
2. Гусев Б.В., Загурский В.А. Вторичное использование бетонов. М.: Стройиздат, 1988. 97 с.

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПОДВИЖНЫХ БЕЗУСАДОЧНЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. – ассистент

Меркульева Д. Е., Нагель М. В. - студенты группы Спр-31

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В работе было исследовано влияние свободного СаО на расширение исследуемых составов, прочность, сохраняемость, расслоение, водоотделение бетона при ее одинаковой подвижности. Исследования проводились при трех соотношениях цемента (ПЦ400 Д20, Искитим), ВКЗ, МК и суперпластификатора F-10. В результате были определены оптимальные составы обеспечивающие безусадочный эффект и прочность.

Целью данного исследования является: получение высокоподвижных бетонных смесей.

Для того, чтобы добиться поставленной цели, необходимо было подобрать оптимальные составы, обеспечивающие расширяющий эффект, применяя БУЗ и выявить зависимости расширения, прочности растворов от свойств золы, дозировки добавок пластификатора F-10.

Для данной научной работы нам понадобились следующие сырьевые материалы : искимитский цемент, высококальциевая зола от сжигания углей КАТЭКа на Барнаульской ТЭЦ №3 , обской песок с модулем крупности  $M_{кр}=1,52$ , микрокремнезем, щебень фракции 5-15, добавка «Пластификатор F-10» в виде водного раствора.

Методика проведения эксперимента.

Образцы-балочки для измерения линейного расширения изготавливают из раствора вяжущего с речным песком. Составы растворов приведены в таблице 1. Подвижность раствора П4, что соответствует погружению конуса 16-20 см. Размер образца-балочки 40\*40\*160 мм. При изготовлении образцов в форму в специально высверленные отверстия закладывают с каждой торцевой стороны стальные репера.

Для определения деформаций расширения используется прибор Гипроцемента. Для учета поправки на температурную деформацию служит эталон, представляющий собой стальной стержень длиной 160 мм, закрепленный в деревянную оправу из сухого материала.

Перед измерением образцов каждой серии определяют длину эталона, далее измеряют длину образцов с точностью до 0,01 мм.

Таблица 1 - Составы растворов, по массе на м<sup>3</sup>

№ состава	Содержание компонентов бетонной смеси на 1 м <sup>3</sup> , кг						Повыш. коэф.
	Цемент	Зола	Щебень	Песок	МК	Вода+добавка	
1 (контроль)	470,0 (19%)	0,0 (0%)	1100,0 (46%)	620,0 (26%)	0,0 (0%)	226,0 (9%)	-
2 (70/30)	427,0 (18%)	18,0 (8%)	950,0 (39%)	620,0 (26%)	0,0 (0%)	233,4 (10%)	1,3
3 (70/30)	427,0 (18%)	18,0 (8%)	919,0 (38%)	620,0 (26%)	30,5 (1%)	229,0 (10%)	1,3

4 (60/40 )	462,0 (19%)	310,0 (13%)	746,0 (31%)	620,0 (26%)	38,0 (2%)	238,0 (10%)	1,65
5 (50/50 )	446,0 (18%)	446,0 (18%)	630,0 (26%)	620,0 (26%)	45,0 (3%)	270,0 (11%)	1,9

Измерение линейного расширения образцов производят на 1, 3, 7, 14 и 28 суток.

За результат линейного расширения принимают среднее арифметическое замеров трех образцов. Расхождение между результатами трех определений не должно превышать 15 %.

В результате испытаний образцов-балочек на прочность при сжатии получены следующие результаты, представленные на рисунках 1,2,3.

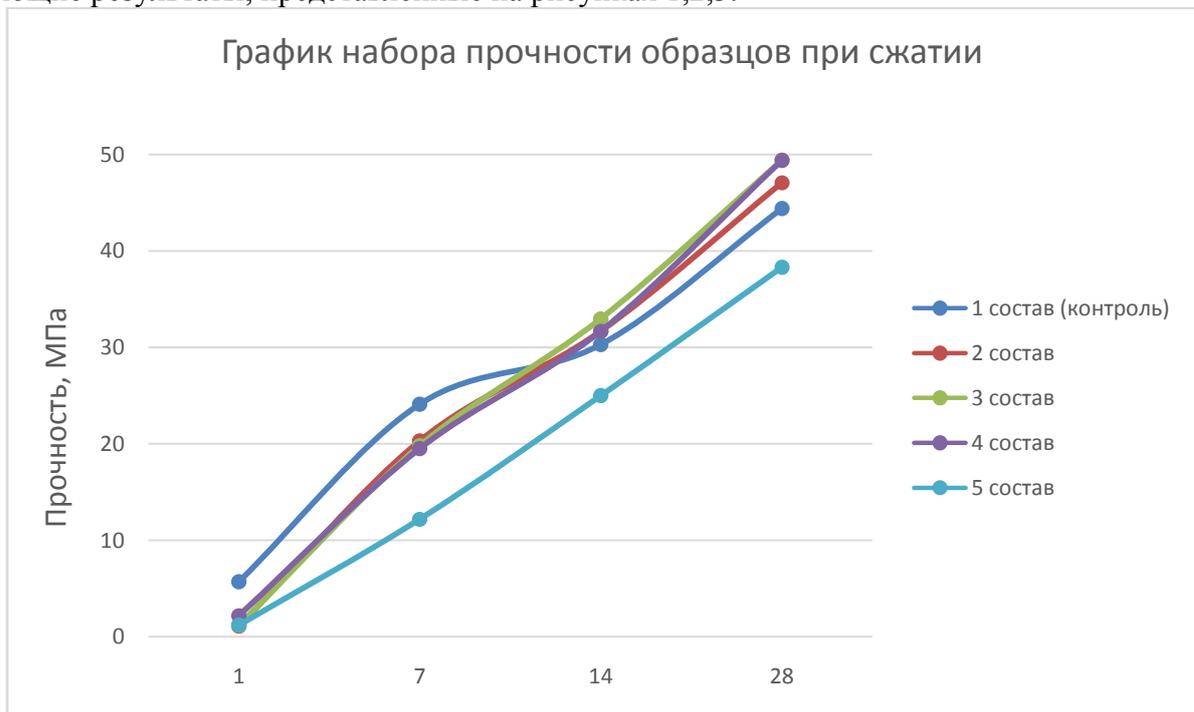


Рисунок 1 – Прочность образцов при сжатии

На графике набора прочности видно, что контрольный образец показал более высокие прочностные показатели в первые 7 суток твердения, однако в дальнейшем все составы с золой, кроме одного, показали прочность выше. В результате на 28 суток мы получаем следующие результаты:

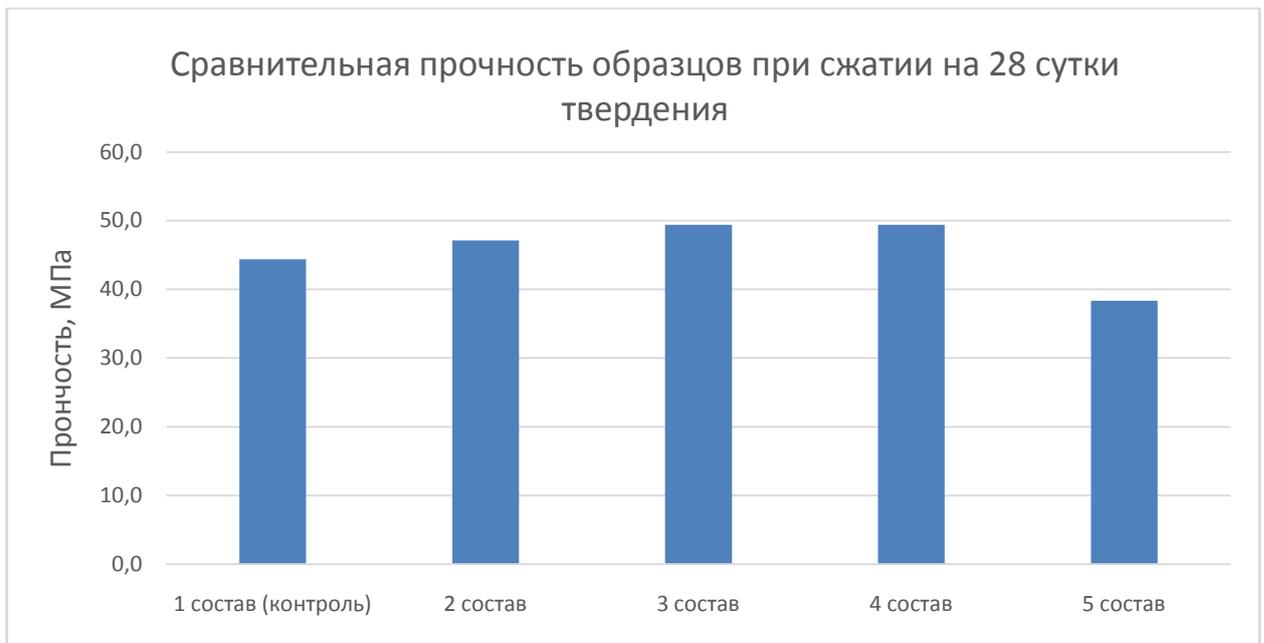


Рисунок 2 – Сравнительная прочность образцов при сжатии

$$R = (-3.795) \cdot T^2 + (0.214) \cdot K^2 + (0.434) \cdot T \cdot K + (22.027)$$

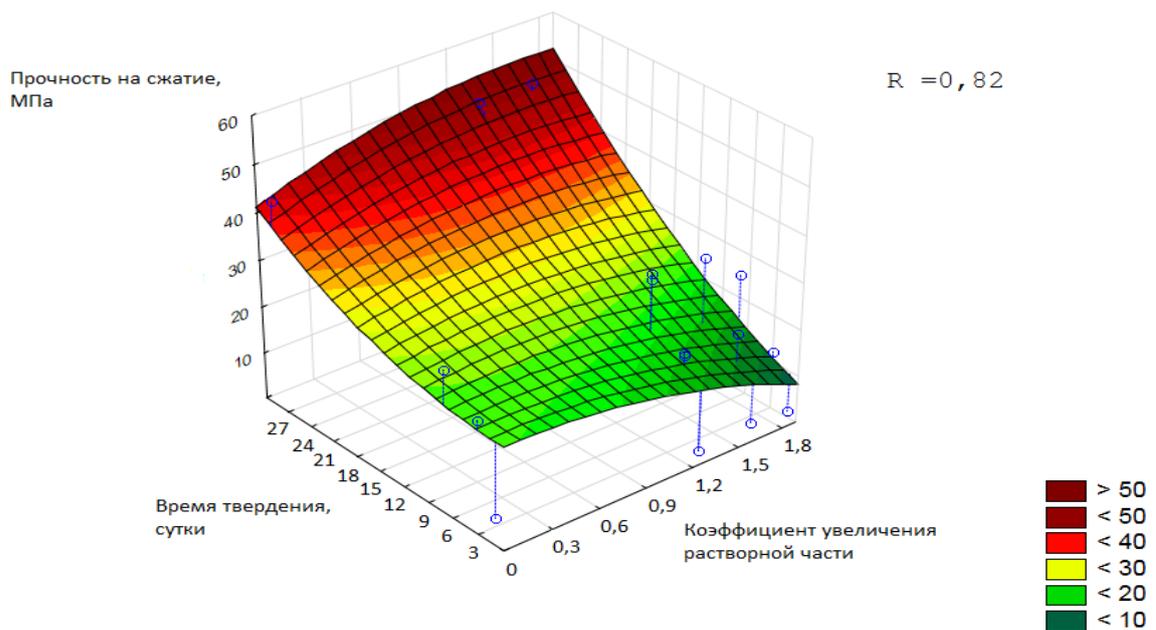


Рисунок 3 – Прочность при сжатии

Наиболее высокими показателями прочности отметились 3 и 4 составы с содержанием золы в составе вяжущего в количестве 30% и 40% соответственно.

При испытании на изгиб получены следующие результаты, представленные на рисунках 4, 5, 6.

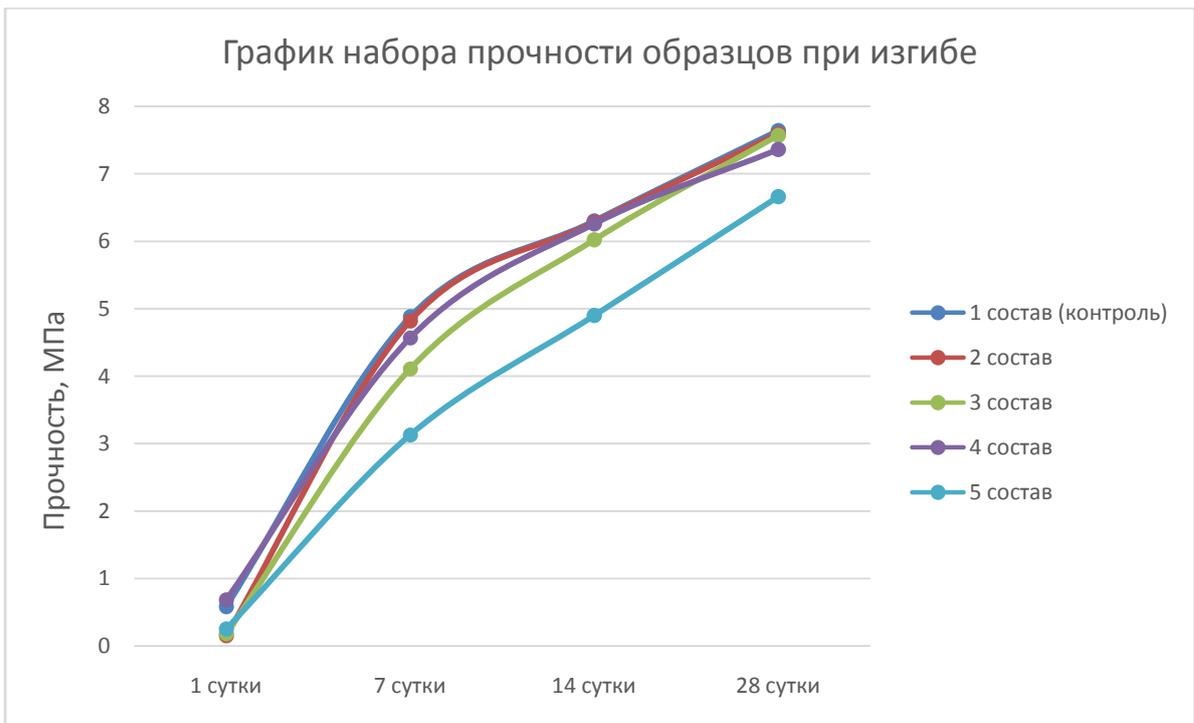


Рисунок 4– Прочность при изгибе

Видно, что в процессе набора прочности образцы 2 и 4 состава показали результат аналогичный контрольному образцу.

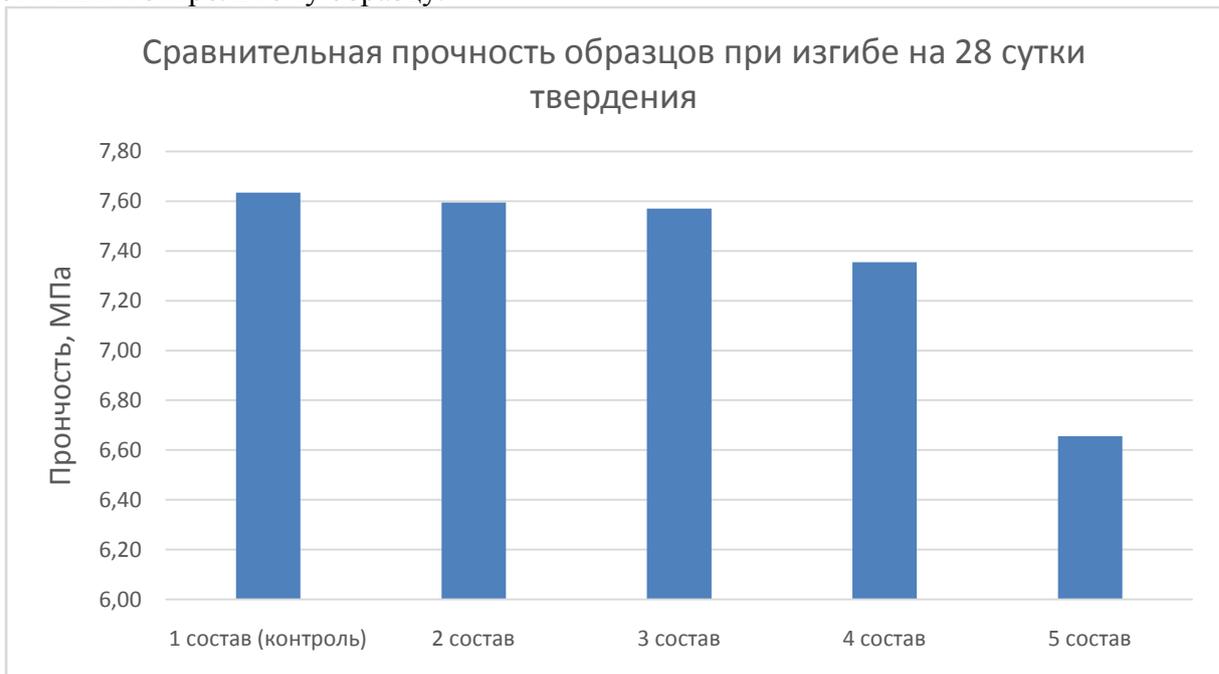


Рисунок 5– Сравнительная прочность при изгибе

$$R = (-0.324) \cdot T^2 + (0.003) \cdot K^2 + (0.053) \cdot T \cdot K + (3.603)$$

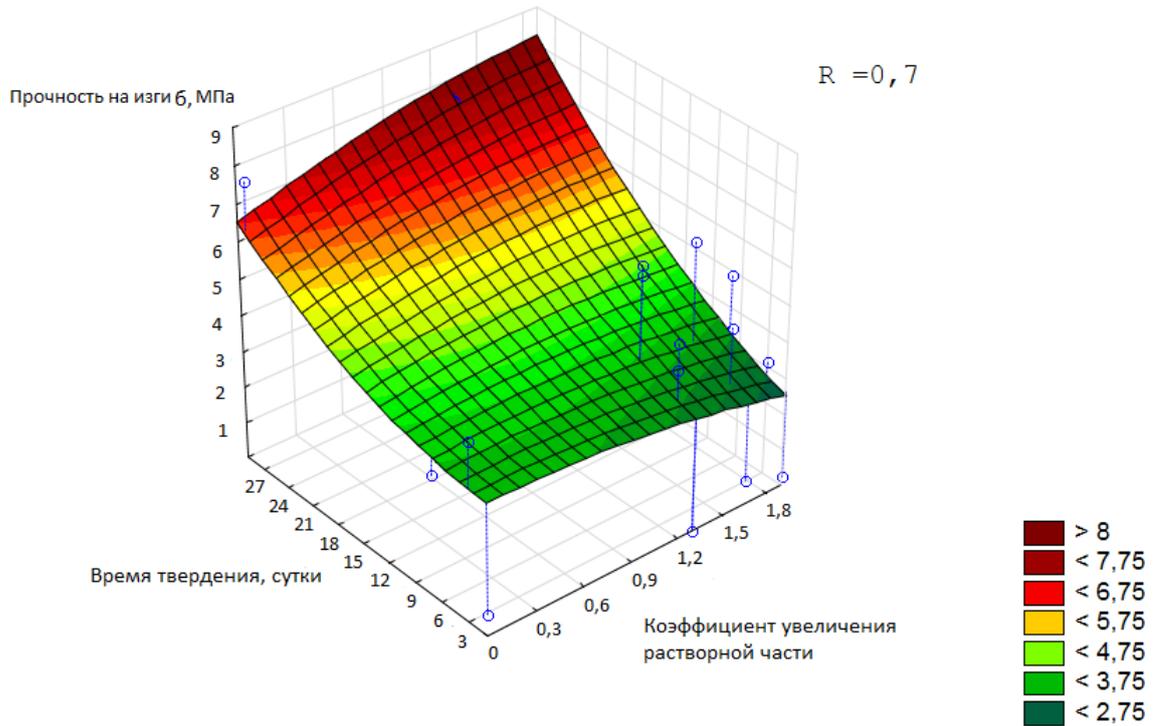


Рисунок 6—Прочность при изгибе

По результатам прочности при изгибе 2 и 3 составы и показали значение максимально приближенное к контролю.

$$L = (-0.166) \cdot T^2 + (-0.001) \cdot K^2 + (0.054) \cdot T \cdot K + (0.408)$$

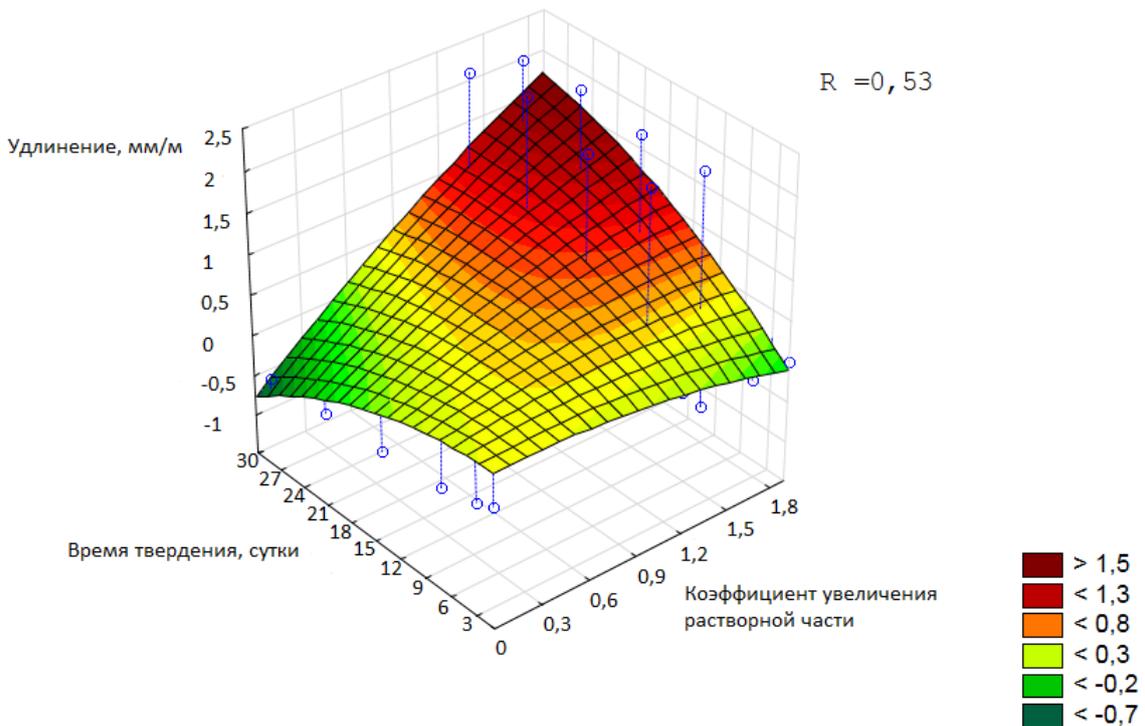


Рисунок 7 – Удлинение составов

В целом по результатам этих испытаний можно с уверенностью сказать, что высококальцевая зола может применяться в качестве замены цемента в вяжущей части бетонной смеси в количестве 30% без потери прочностных характеристик.

Так же в данной работе проводились испытания по возможности устранения с помощью ВКЗ негативных последствий применения смесей с высокой подвижностью (водоотделение, раствоороотделение).

По результатам испытания на водоотделение выявлена прямая зависимость – при увеличении содержания растворной части, за счет введения ВЗК наблюдается уменьшения количества отделившейся воды.

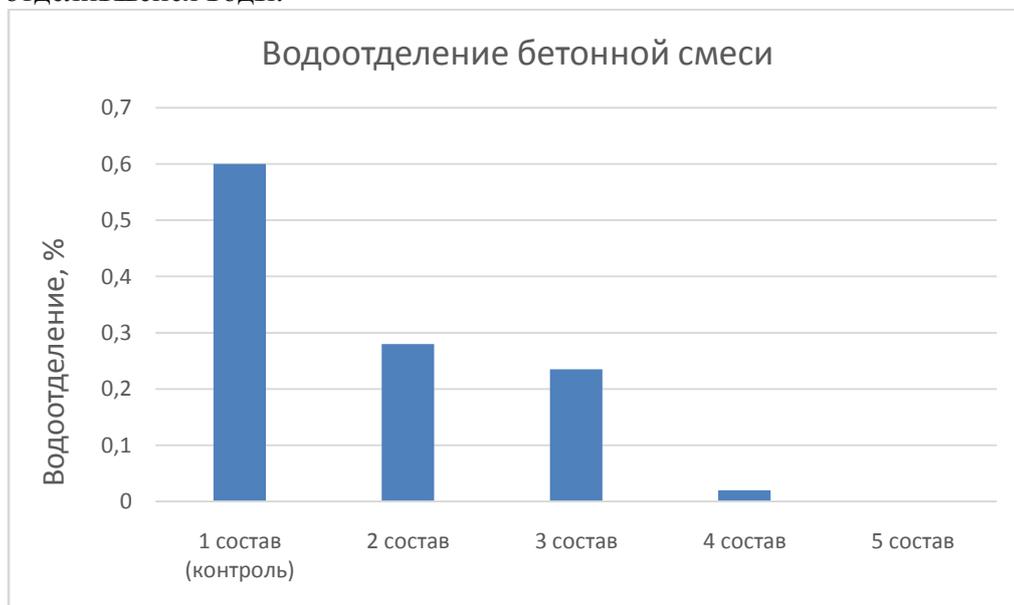


Рисунок 8– Водоотделение бетонной смеси

В составе под №5 с содержанием золы в количестве 50% в составе вяжущего водоотделение полностью отсутствует.

По результатам испытания на раствоороотделение бетонной смеси составы под номерами 2 и 3 с содержанием ВКЗ в количестве 30% проявили наиболее низкий показатель раствоороотделения.

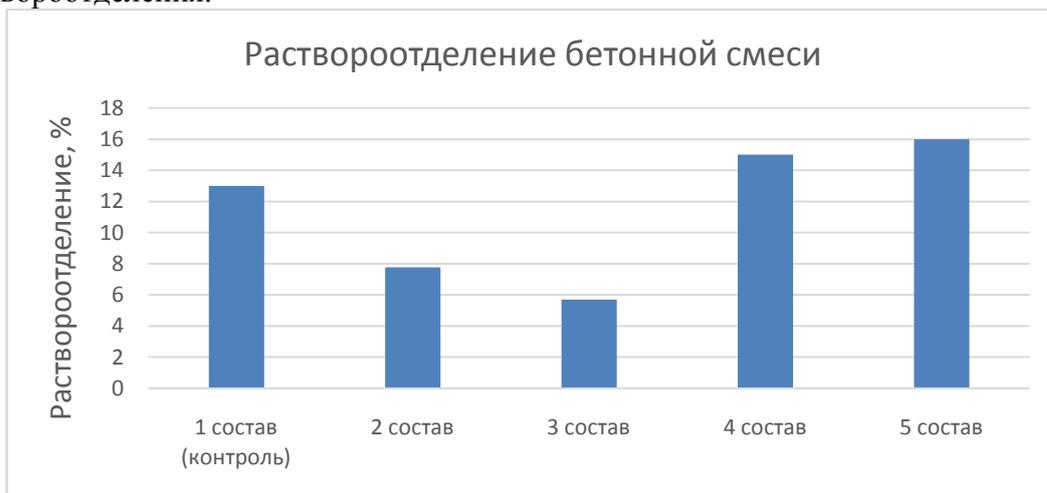


Рисунок 9– Раствороотделение бетонной смеси

В заключительном испытании проверялась способность ВКЗ препятствовать потере подвижности смеси с течением времени, что особенно важно для монолитного строительства, так как зачастую приходится транспортировать бетонную смесь на большие расстояния.

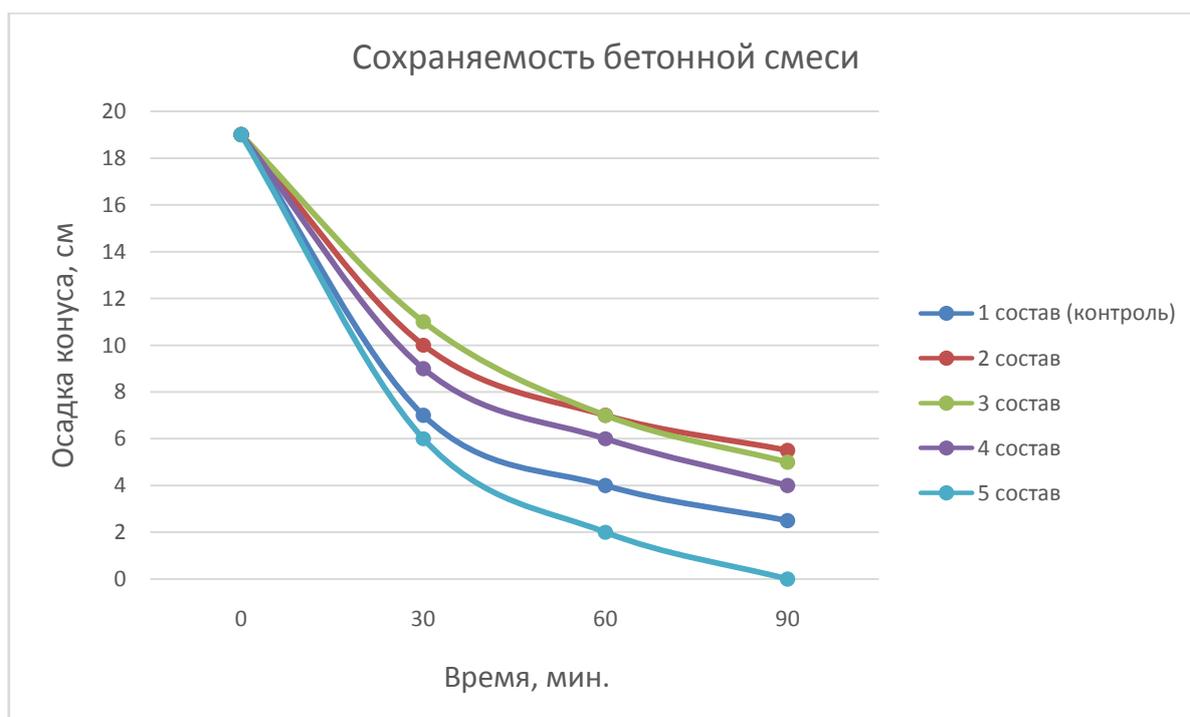


Рисунок 10 – Сохраняемость бетонной смеси

По результатам данной работы состав №3 с содержанием ВКЗ 30% в составе вяжущего и добавкой МК в количестве 5% от массы вяжущего показал результат превосходящий контроль во всех проведенных испытаниях. Это позволяет с уверенностью утверждать, что высококальциевая зола подходит в качестве замены цемента в высокоподвижных бетонных смесях.

#### Список литературы

1. Овчаренко Г.И., Хижинкова Е.Ю., Музалевская Н. В., Балабаева Т. С. Безусадочные цементно-золяные композиции // Известия вузов. Строи-тельство. – 2010, № 9. – С. 20-25.
2. Г. И. Овчаренко, Л. Г. Плотникова, В. Б. Францен Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах 1997
3. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. 363 с
4. Энтин З. Б., Стржалковская Н. Зола-унос ТЭС /1 Цемент и его применение. 2009. С. 106-111.
5. Панибратов Ю. П., Староверов В. Д. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах /1 Технологии бетонов. 2011. №1·2. С. 43-47

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ 3D СТРОИТЕЛЬСТВА

Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор, Викторов А.В. – ассистент

Гришин Г.В., Чечев А.А. - студент группы Спр-31

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Роботизация большинства производственных процессов пока никак не реализовалась в строительстве при возведении объектов. Одним из вариантов роботизации можно рассмотреть 3D-строительство с возведением стен и перегородок с использованием 3D-принтера. Технология заключается в экструзии (выдавливании) слоя за слоем специального бетона, наращивая стены здания. Некоторые компании уже применили 3-D строительство на практике. Пока рассматривается одноэтажное, несложное и недорогое жилье. При строительстве экономия составляет до 50 %, чем при использовании классических методов строительства, а сам срок строительства можно сократить до 50-70 %.

Цель данной работы – разработка твердеющей 3-D композиции на основе цемента, песка, жидкого стекла, супер- и гиперпластификаторов.

Для реализации обозначенной цели исследовалась композиция на основе Голухинского ПЦ400Д20, с добавлением жидкого стекла с силикатным модулем, равным 2,8, суперпластификатора С-3, гиперпластификатора Глениум-115.

Подвижность цементно-зольной композиции соответствовала показателю теста нормальной густоты. Компоненты имели следующие дозировки:

- 4) Жидкое стекло: 17 %, 18 %, 19 %;
- 5) Цемент: 21%;
- 6) Песок 48%;
- 7) С-3 0,6%, 1,3%, 2%;
- 8) Глениум-115 0,7%, 1,4%, 2,1%.

В результате эксперимента было установлено, что при указанных дозировках сроки схватывания, с добавлением жидкого стекла уменьшились, по сравнению с обычным портландцементом (рисунок 1).

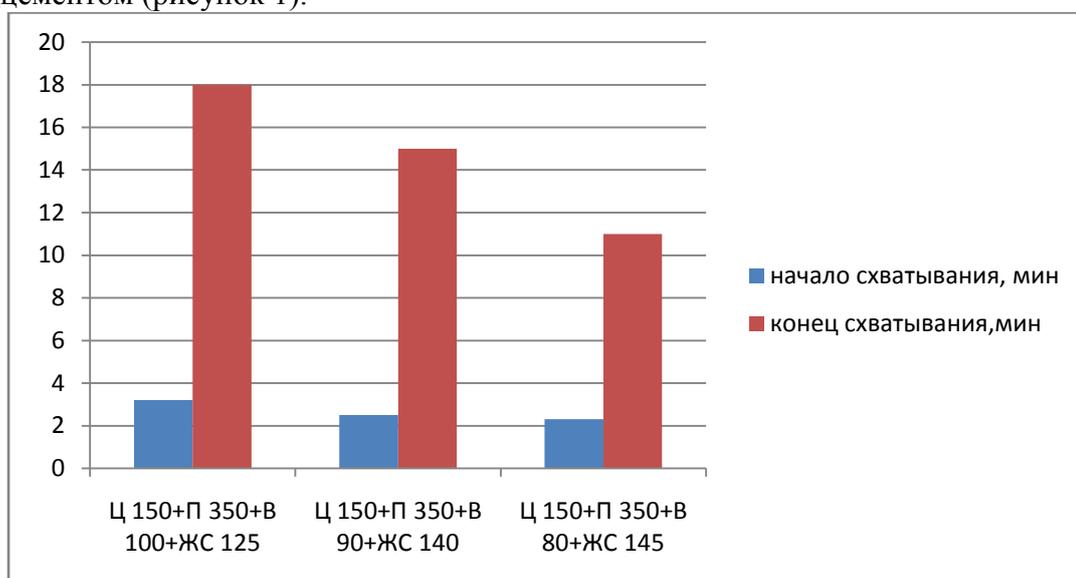
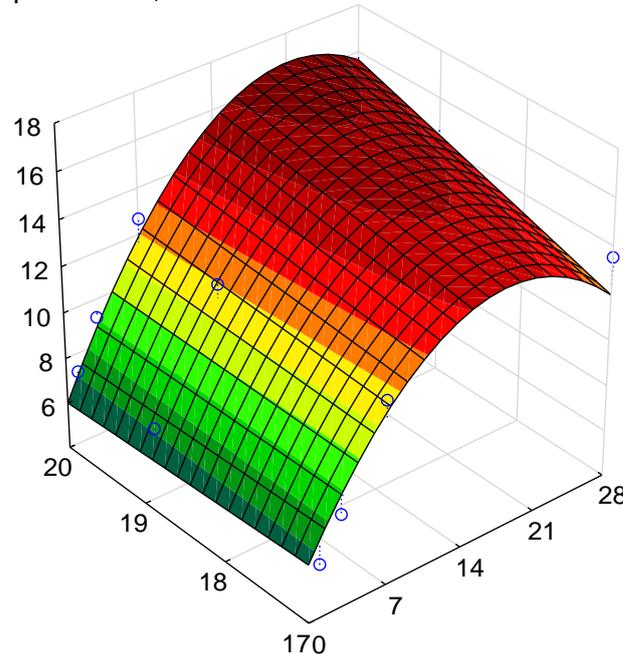


Рисунок 1 – Сроки схватывания

Зависимость прочности от содержания жидкого стекла и времени твердения приведена на рисунке 2.

## Зависимость прочности при сжатии от содержания жидкого стекла в бетонной смеси и времени твердения

Прочность при сжатии, МПа



Содержание жидкого стекла, %

Время твердения, сутки

Рисунок 2 – Прочность при сжатии

В следующем графике (рисунок 3) мы рассматриваем пластичность материала для оценки его консистенции, необходимой для определения возможности распалубки и резки свежееотформованного изделия. По этому графику мы видим, что в течение 10 минут набор пластической прочности у данных составов достигает отметки 20 Па.

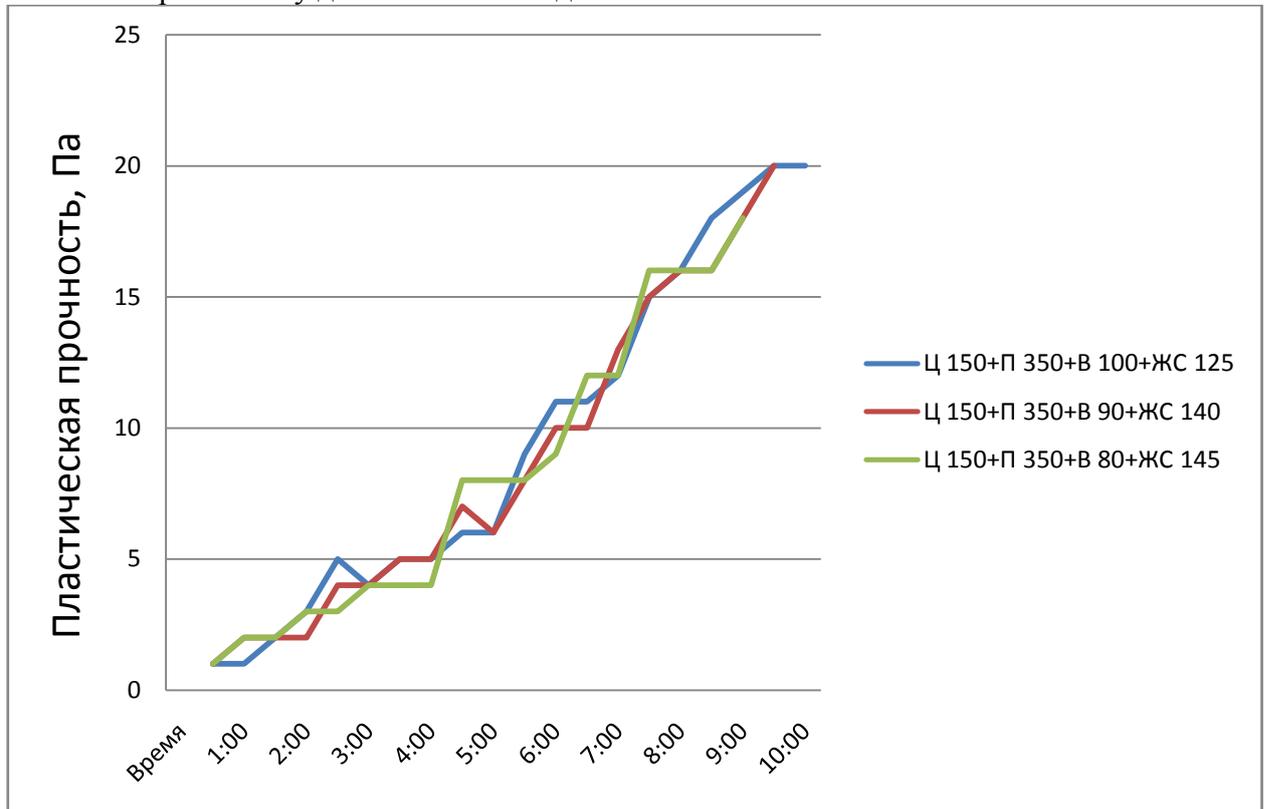


Рисунок 3 - Пластическая прочность

Так же к этой композиции мы добавили суперпластификатор С-3, который показал следующие результаты:

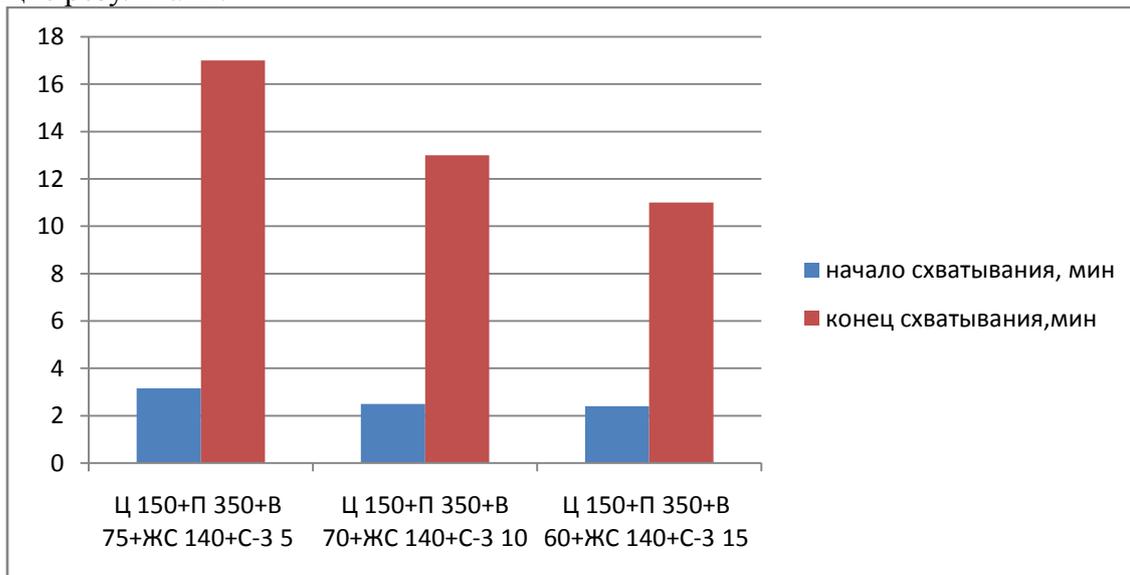


Рисунок 4 – Сроки схватывания композиции с добавкой С-3

**Зависимость прочности при сжатии от содержания добавки С-3 в бетонной смеси на основе жидкого стекла и времени твердения**

Прочность при сжатии, МПа

R=0,84

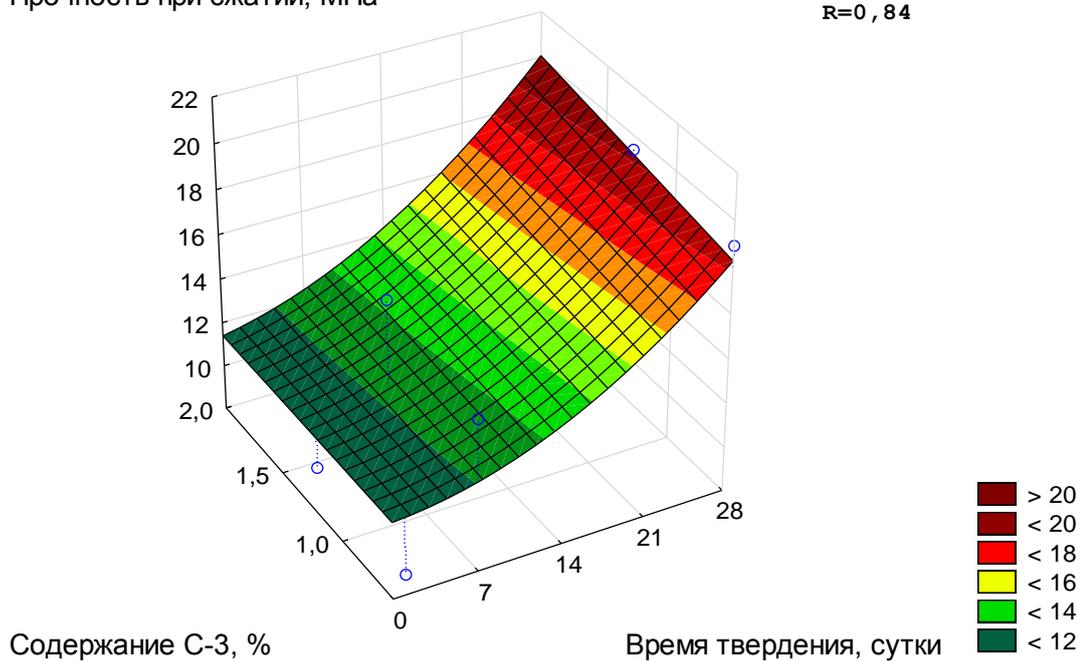


Рисунок 5 – Прочность при сжатии композиции с добавкой С-3

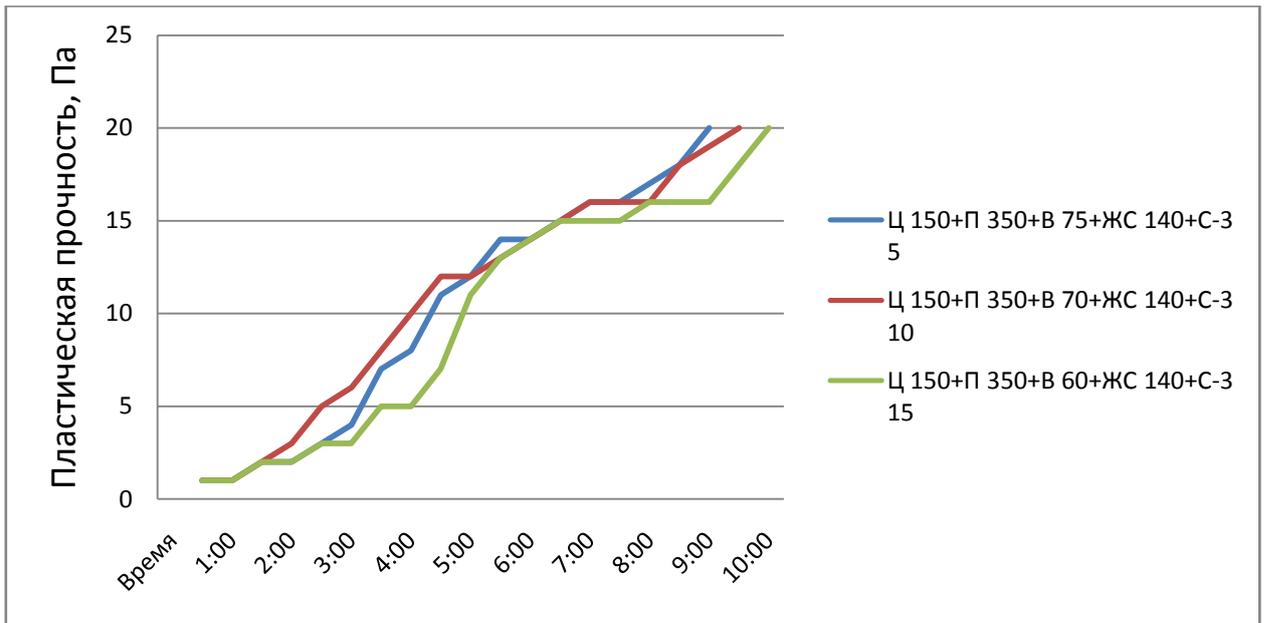


Рисунок 6 – Пластическая прочность композиции с добавкой С-3  
 Далее рассматриваем характеристики композиции с добавлением Глениум-115.

**Зависимость прочности при сжатии от содержания добавки Глениум-115 в бетонной смеси на основе жидкого стекла и времени твердения**

Прочность при сжатии, МПа

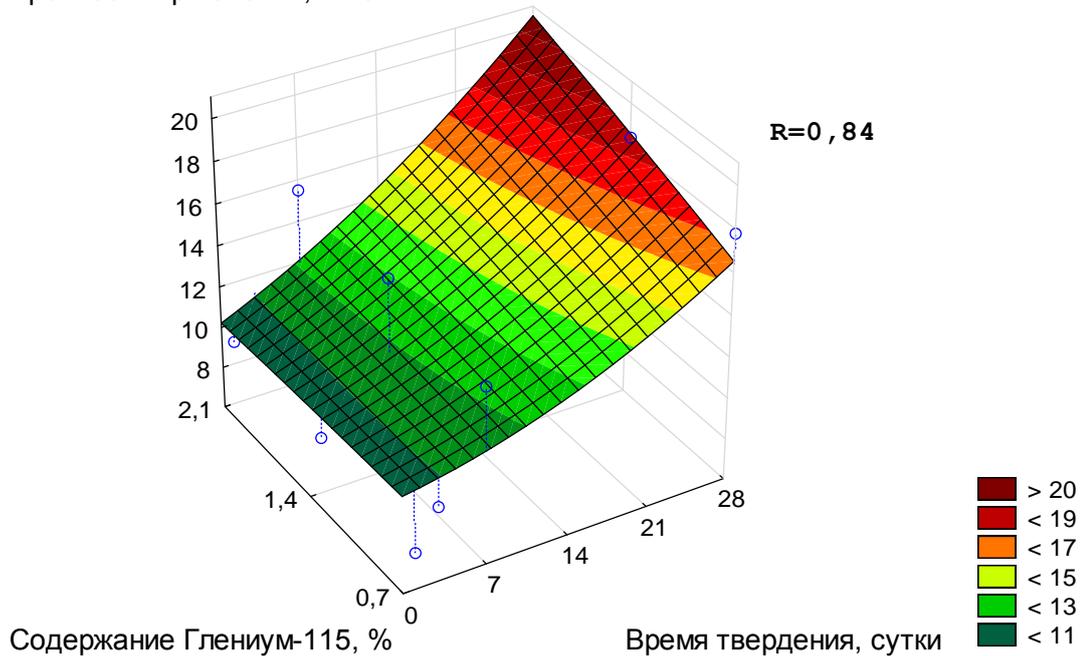


Рисунок 7 – Прочность при сжатии

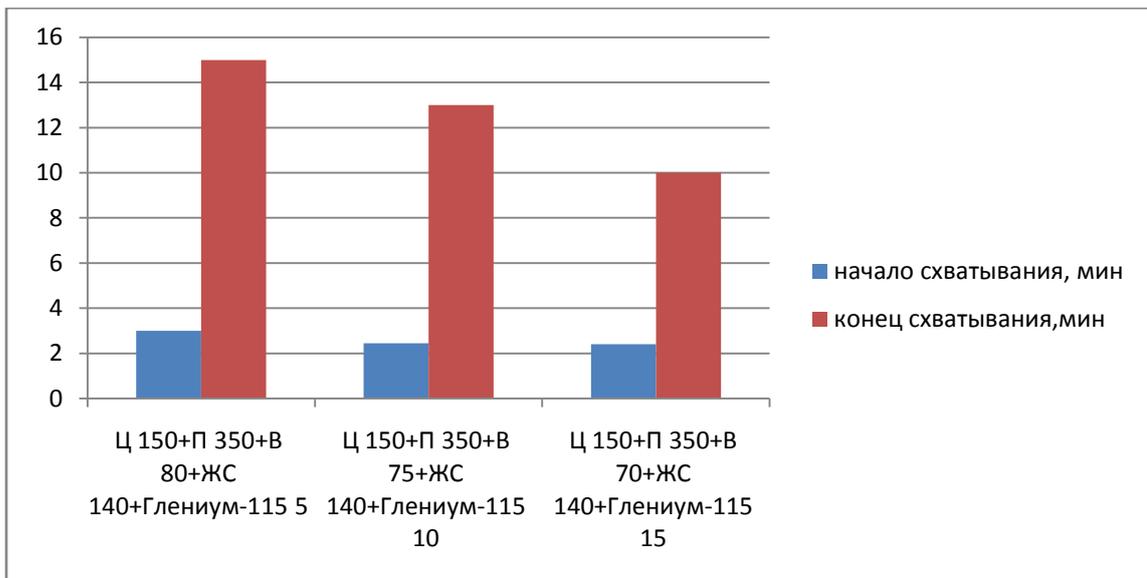


Рисунок 8 – Сроки схватывания

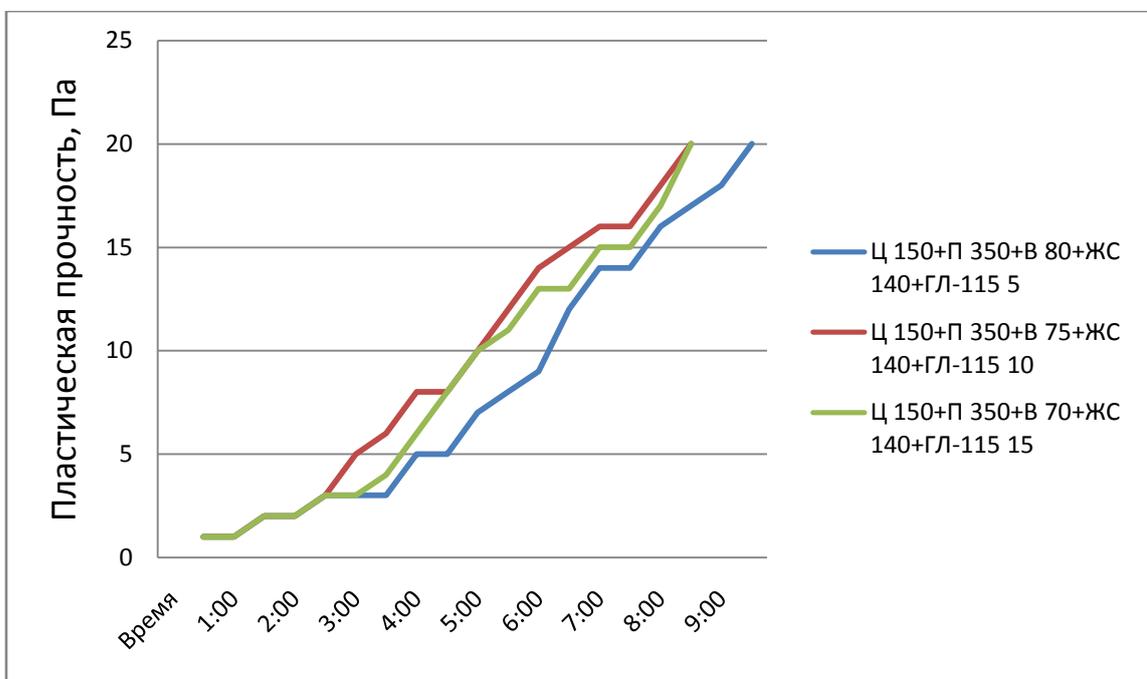


Рисунок 9 – Пластическая прочность

*Вывод:*

Наибольший показатель прочности показала композиция с добавлением жидкого стекла и С-3, но более быстрые сроки схватывания и набор прочности показала композиция с добавлением жидкого стекла и Глениум-115. Композиция песка, цемента и жидкого стекла показали похожие результаты, но они не достаточны для возведения конструкций.

# ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-КОНСТРУКЦИОННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Буйко О.В. – к.т.н., доцент

Шарая Е. В., Головина А. Д. - студент группы Спр-31

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В данной работе было исследовано влияние суперпластифицирующих и других добавок на прочность и плотность перегородок керамзитобетона. Определить их влияние на такие характеристики как прочность и плотность. Основной задачей являлось получение вяжущего с наибольшими показателями прочности в сочетании с наименьшей плотностью.

В качестве предполагаемых вяжущих были выбраны следующие составы: ПЦ с добавлением каменной муки (КМ), бетонного лома (БЛ), микрокремнезёма (МК) в композиции с суперпластификатором и воздухововлекающей добавкой.

Сначала была изготовлена серия образцов основанных на добавлении к ПЦ 5, 10, 20 и 30 процентов измельчённого щебня, бетонного лома и микрокремнезёма. Образцы изготавливались в виде кубиков с ребром 20 мм. Образцы проходили тепловлажностную обработку при температуре 80°, после чего подвергались испытанию на прочность при сжатии и для каждого образца, за тем серии образцов, находилась средняя плотность.

После испытания образцов были выявлены составы с наиболее высокими показателями по прочности и выбраны составы с учётом самых оптимальных процентных содержаний каменной муки, бетонного лома, микрокремнезёма и подобраны составы с суперпластификатором.

В результате испытания данной серии образцов был выявлен оптимальный состав для применения в изготовлении теплоизоляционно-конструкционных лёгких бетонов (керамзитобетонов) с повышенной прочностью.

Самую высокую прочность и сравнительно низкую среднюю плотность показал состав №3 (МК40г + ПЦ 400г + СП + ВВ), второе место занимает состав №6 (БЛ40г + ПЦ 400г + ВВ) и №1 (КМ40г + ПЦ 400г + СП + ВВ)

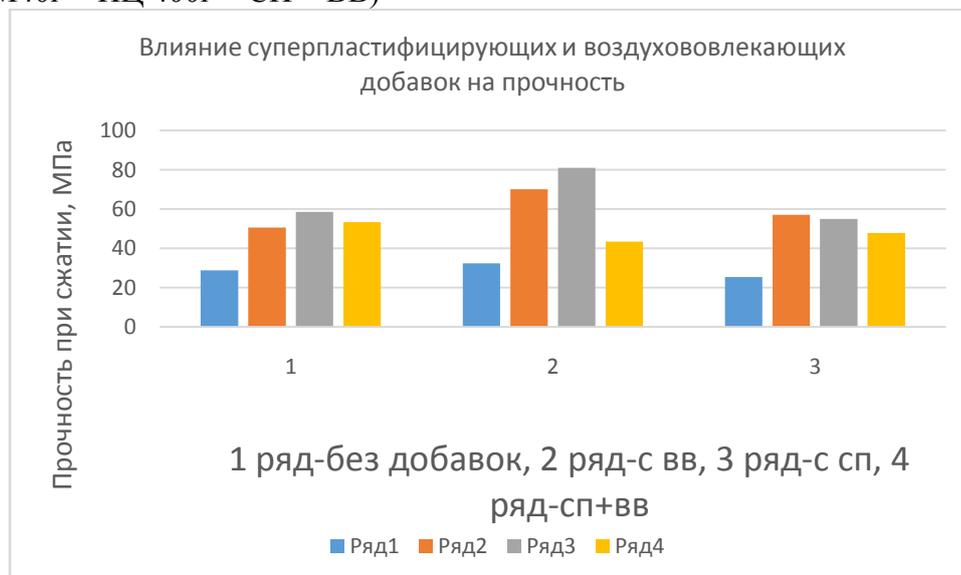


Рисунок 1 – Влияние суперпластифицирующих и воздухововлекающих добавок на прочность

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНОГО ГИПЕРПРЕССОВАННОГО КИРПИЧА НА РАЗНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Жданова Н.В. –к.т.н., доцент,

Шербаченко Т.В., Родин Е.Ю. - студенты группы Спр-31

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время на карьерах по добыче известняка для производства извести и портландцемента скапливаются отходы дробления с размерами частиц менее 5 мм, которые не используются в основном производстве. Поэтому существует проблема утилизации такого вида отходов. Одним из направлений современного развития отрасли строительных материалов является производство гиперпрессованных изделий, в качестве заполнителей в которых может применяться известняковый отсев.

Целью работы являлись исследования прочностных характеристик гиперпрессованных изделий на разных видах известнякового отсева.

В работе использовались портландцемент ЦЕМ II/B 32,5 Н, известняковый отсев №1 с карьера в селе Камышенка Алтайского края, известняковый отсев №2 с карьера в селе Ложок Новосибирской области, мраморный отсев.

Для проведения эксперимента формовались образцы цилиндры диаметром 5 см, высотой 5 см, из цементно-известняковой смеси с содержанием портландцемента 10, 15, 20 %. Удельное давление прессования составляло 40, 60, 80, 100 МПа. Твердение осуществлялось в нормальных условиях и при тепловлажностной обработке по режиму 3-6-3 при температуре 80 °С.

Исследования показали, что образцы, изготовленные на известняковом отсеве №1, достигают максимальной прочности при сжатии при расходе цемента 20 %, при этом не наблюдается значительное влияние удельного давления прессования на прочностные характеристики (рисунок 1). При расходе цемента 15 % прочность при сжатии составляет 21-22 МПа, что обеспечивает марку кирпича М200.

Применение в качестве заполнителя мраморного отсева позволяет достигать прочностных характеристик в интервале от 18 МПа до 31 МПа (рисунок 2). При этом на набор прочности оказывает влияние не только увеличение расхода цемента, но и увеличение удельного давления прессования. При содержании цемента в составе сырьевой смеси в количестве 15 % увеличение удельного давления прессования от 40 МПа до 100МПа приводит к изменению прочности при сжатии гиперпрессованного кирпича от 23 МПа до 25МПа, что обеспечивает марки М200-М250.

При твердении в нормальных условиях в течении 28 суток наибольшую прочность при сжатии имеют образцы изготовленные на известняковом отсеве №2 (рисунок 3).

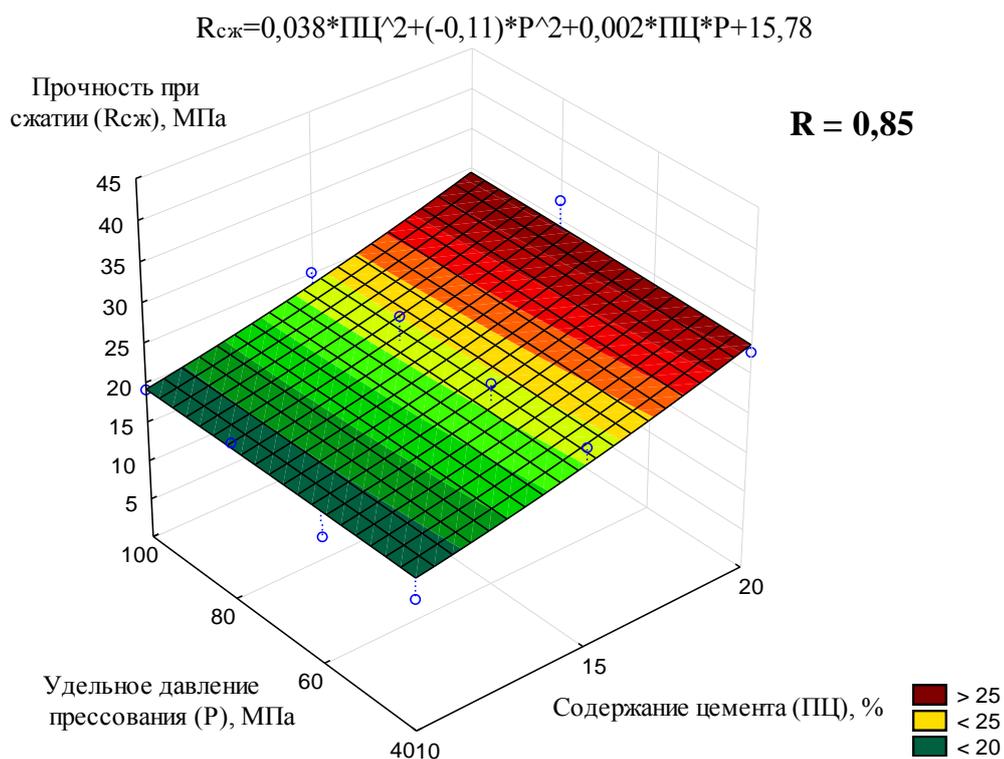


Рисунок 1 – Зависимость прочности при сжатии от содержания ПЦ и удельного давления прессования образцов на известняковом отсеве №1 твердевших 28 суток в нормальных условиях

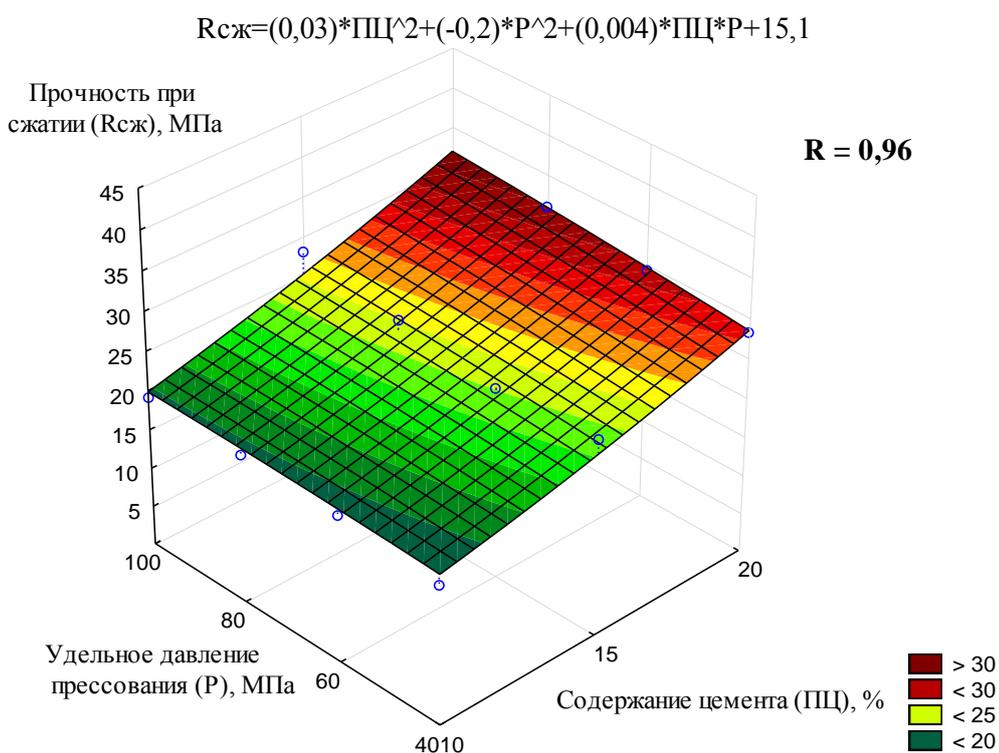


Рисунок 2 – Зависимость прочности при сжатии от содержания ПЦ и удельного давления прессования образцов на мраморном отсеве твердевших 28 суток в нормальных условиях

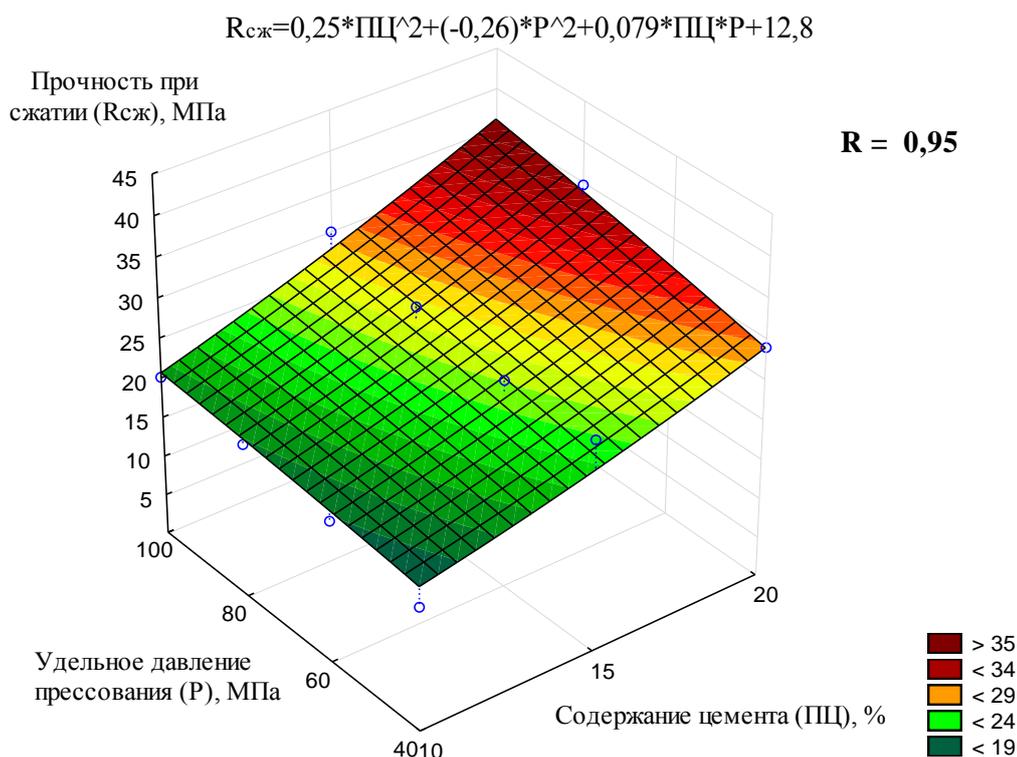


Рисунок 3 – Зависимость прочности при сжатии от содержания ПЦ и удельного давления прессования образцов на известняковом отсеве №2 твердевших 28 суток в нормальных условиях

Изменение прочности в большей степени зависит от содержания портландцемента чем от удельного давления прессования. Увеличение прочности при изменении содержания портландцемента от 10 до 20 % составляет от 19 до 29 МПа при удельном давлении прессования 40 МПа и от 20 до 35 МПа при удельном давлении прессования 100 МПа.

Тепловлажностная обработка по режиму 3-6-3 при температуре 80 °С обеспечивает для известнякового отсева №1 75 % от марочной прочности и для известнякового отсева №2 от 90 до 100 % от марочной прочности.

При содержании портландцемента 15% и твердении образцов в нормальных условиях (рисунок 4) изменение удельного давления прессования для кирпича на известняковом отсеве №1 оказывает не стабильное влияние на прочность при сжатии, которая составляет от 24,5 МПа до 26,5 МПа.

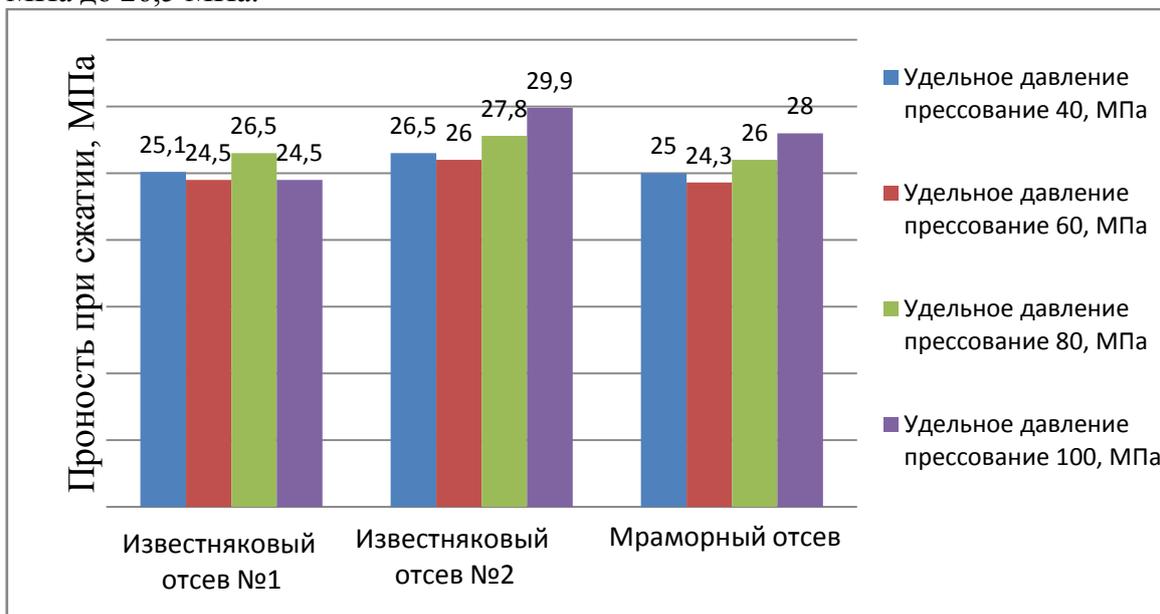


Рисунок 4 – Изменение прочности при сжатии гиперпрессованных образцов с содержанием портландцемента 15 %, твердением 28 суток в нормальных условиях

Образцы, изготовленные из известнякового отсева №2, показывают наибольшую прочность при сжатии, которая составляет от 26 МПа до 30 МПа при различных удельных давлениях прессования. Применение мраморного отсева в качестве заполнителя гиперпрессованного кирпича не позволяет добиться стабильной прочности при удельном давлении прессования 40 МПа и 60 МПа.

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать к промышленному производству гиперпрессованные изделия, изготовленные на любых видах известняковых отсевов с содержанием портландцемента 15 %, при удельном давлении прессования 80 МПа, показывающие наибольшие прочностные характеристики 26-28 МПа, обеспечивающие марку гиперпрессованного кирпича М250.