

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИМИ И МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Анисимов С.Н., Кононова О.В., Минаков Ю.А., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О.

*ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), e-mail: KononovaOV@volgatech.net, ansernik3@gmail.com*

Исследовано влияние содержания добавки молотого цементного камня на прочность и водопотребность тяжелого бетона с добавлением пластифицирующих добавок Glenium® ACE 430 и Кратасол. Установлено, что суперпластификаторы позволяют скомпенсировать рост водопотребности бетонной смеси от присутствия минеральной добавки. Поликарбоксилатный суперпластификатор Glenium® ACE 430, в количестве 1 % от массы цемента, позволяет уменьшить водопотребность бетонной смеси на 15 % в условиях равноподвижности. Пластификатор Кратасол на основе модифицированного лигносульфоната натрия в количестве 0,4 % от массы цемента, уменьшает водоцементное отношение на 8 %. Установлено повышение прочности составов бетона, содержащих 5 % минеральной добавки. Совместное использование 5 % минеральной добавки и 1 % суперпластификатора Glenium ACE 430 позволяет увеличить прочность в возрасте 3 календарных дней – на 20 %, в возрасте 28 календарных дней – на 27 %.

Ключевые слова: бетон, молотый цементный камень, суперпластификатор, подвижность, водопотребность, прочность.

## PLASTICIZING AND MINERAL ADDITIVES HEAVY CONCRETES STRENGTH STUDY

Anisimov S.N., Kononova O.V., Minakov Y.A., Leshkanov A.Y., Smirnov A.O.

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, Lenin square, 3), e-mail: KononovaOV@volgatech.net, ansernik3@gmail.com*

The influence of the ground cement stone additive content to the heavy concrete with the addition of plasticizers Glenium® ACE 430 and Kratasol strength and water demand studied. It was found that the superplasticizers allows to compensate the concrete mix water demand growth in the mineral additives presence. Glenium® ACE 430 polycarboxylatesuperplasticizer in an amount of 1 % by the cement weight, helps to reduce the concrete mix water requirement by 15% in equal flow ability conditions. 0.4 % of the cement weight based on modified sodium lignosulfonate Kratasol plasticizer, reduce the water-cement ratio at 8%. The concrete compositions containing 5% of mineral additives strength increase found out. The 5 % mineral admixture and 1% Glenium ACE 430 superplasticizer joint use can increase 3 days age strength at 20 %, and 28 days age strenght at 27 %.

Keywords: concrete, ground cement stone, superplasticizer, mobility, water demand, strength.

В настоящее время проблемы повышения прочности и долговечности бетона успешно решаются методом его модифицирования [2]. Управление структурообразованием цементных систем с помощью добавок позволяет получать высокопрочные бетоны с низкой проницаемостью и высокой коррозионной стойкостью [1; 2; 5].

Среди применяемых в технологии бетона модификаторов особое место занимают две большие группы добавок – минеральные добавки и суперпластификаторы (СП). Суперпластификаторы чаще применяют в бетонах с высокими расходами цемента, а минеральные добавки – в составах с низким содержанием цемента. Совместное использование минеральных и органических добавок является главным отличием современных бетонов от классического бетона [2; 6; 7].

Использование активных минеральных добавок способствует повышению прочности, плотности, коррозионной стойкости, экономии цемента в производстве бетона. При введении активных минеральных добавок в бетонную смесь увеличивается концентрация дисперсных частиц в цементном тесте, что снижает расслоение бетона. В твердеющем бетоне увеличивается степень гидратации цемента в раннем возрасте. На поверхности минеральных добавок отлагаются продукты гидратации цемента, а мельчайшие ее частички служат центрами кристаллизации [3; 7].

В качестве активных минеральных добавок применяют добавки различной природы происхождения: природные и искусственные (техногенные). Природные добавки представляют собой измельченные вулканические и осадочные горные породы, диатомит, вулканический пепел, туф. К техногенным добавкам относятся отходы или попутные продукты различных производств, такие как: микрокремнезем, бой силикатного и керамического кирпича, керамическая пыль, отходы от добычи и обработки каменных материалов, зола-унос, шлаки и т. д. [6; 7; 10]. В их состав также включают минеральные добавки в виде тонкомолотого цементного камня. Тонкое измельчение может быть осуществлено в высокоэнергетических мельницах и роторно-пульсационных агрегатах. Применение в бетоне таких добавок позволяет решить проблему их утилизации, значительно улучшить экологическую ситуацию и снизить себестоимость строительных изделий и конструкций [3; 9].

Тонкомолотый цементный камень приводит к формированию микроструктуры цементного камня с четкими срастаниями отдельных блоков в монолитную массу. Кристаллы портландита имеют не механические, а химические связи с частицами цемента, плотно обросшими новообразованными продуктами гидратации в виде губчатых агрегатов из микрокристаллического вещества. Данной спецификой микроструктуры объясняется более высокая прочность цементного камня, синтезированного при введении тонкомолотого цементного камня, и подтверждается роль этой добавки как центра кристаллизации продуктов гидратации [9].

При использовании минеральных добавок, в виду их высокой дисперсности, значительно увеличивается водопотребность бетонной смеси. Поэтому необходимо вводить в их состав суперпластификаторы, которые обеспечивают высокую подвижность и связность бетонных смесей при низких значениях водоцементного отношения, длительную сохраняемость их свойств [3; 6; 7]. Применение некоторых техногенных минеральных добавок требует значительных затрат на их помол. В частности, помол старого бетона – энергоемкий процесс.

Представляется целесообразным ограничить дисперсность молотого цементного камня из старого бетона до степени грубого помола.

**Целью исследования** являлось изучение влияния минеральной добавки на основе молотого цементного камня с удельной поверхностью  $100 \text{ м}^2/\text{кг}$  на прочность тяжелого бетона с добавлением пластифицирующих добавок.

### **Материалы и методы исследования**

Исследовано влияние содержания добавки молотого цементного камня (МЦК) с удельной поверхностью  $S_{уд} = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$  на прочность тяжелого бетона, модифицированного поликарбоксилатным суперпластификатором Glenium® ACE 430 компании BASF [4] и пластификатором Кратасол на основе модифицированного лигносульфоната натрия производства ОАО «Пигмент» [8].

В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Ульяновскцемент». В качестве крупного заполнителя использовался плотный доломитовый щебень, с прочностью по дробимости 1200, состоящий из смеси двух фракций: 5/10 мм – 60 % и 10/20 мм – 40 % по массе. В качестве мелкого заполнителя применялся мелкозернистый природный кварцевый песок с модулем крупности  $M_k=1,9$ .

Смеси приготавливались в лабораторном смесителе. Суперпластификаторы вводились в бетонную смесь с последней третью воды затворения после 5-ти минутного перемешивания. После этого смесь дополнительно перемешивалась в течение 3 минут. Подвижность смесей определялась по осадке конуса.

Из подвижных бетонных смесей виброуплотнением, в течение 10 с, формовались образцы-кубы размерами  $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ . В процессе твердения в нормальных условиях в возрасте 3, 7 и 28 суток на испытательном прессе периодически контролировалась их прочность на сжатие.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В таблице представлены составы равноподвижных бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости ПЗ ( $ОК=12 \pm 1 \text{ см}$ ). Содержание молотого цементного камня в бетоне варьировалось от 5 до 15 % от массы цемента.

Анализ водопотребности равноподвижных бетонных смесей показывает, что увеличение содержания молотого цементного камня приводит к росту водоцементного отношения до 5 %. Скомпенсировать рост водопотребности бетонной смеси можно с помощью суперпластификаторов. Присутствие добавки Glenium® ACE 430, в количестве 1 % от массы цемента, уменьшает водопотребность бетонной смеси на 15 %. Добавка Кратасол, в количестве 0,4 % от массы цемента, позволяет снизить водоцементное отношение на 8 %.

Составы тяжелого бетона с добавками молотого цементного камня

| № состава | Составы тяжелого бетона, $\text{кг}/\text{м}^3$ | Содержание добавок, % от массы цемента | Водоцементное |
|-----------|---|--|---------------|
|-----------|---|--|---------------|

|    | Щебень | Песок | Цемент | МЦК | GleniumACE 430 | Кратасол | отношение |
|----|--------|-------|--------|-----|----------------|----------|-----------|
| 1  | 1310   | 800   | 300    | 0   | -              | -        | 0,55      |
| 2  | 1310   | 800   | 300    | 5   | -              | -        | 0,56      |
| 3  | 1310   | 780   | 300    | 10  | -              | -        | 0,57      |
| 4  | 1310   | 760   | 300    | 15  | -              | -        | 0,57      |
| 5  | 1310   | 800   | 300    | 0   | 1              | -        | 0,47      |
| 6  | 1310   | 800   | 300    | 5   | 1              | -        | 0,47      |
| 7  | 1310   | 780   | 300    | 10  | 1              | -        | 0,48      |
| 8  | 1310   | 760   | 300    | 15  | 1              | -        | 0,50      |
| 9  | 1310   | 800   | 300    | 0   | -              | 0,4      | 0,51      |
| 10 | 1310   | 800   | 300    | 5   | -              | 0,4      | 0,52      |
| 11 | 1310   | 780   | 300    | 10  | -              | 0,4      | 0,52      |
| 12 | 1310   | 760   | 300    | 15  | -              | 0,4      | 0,53      |

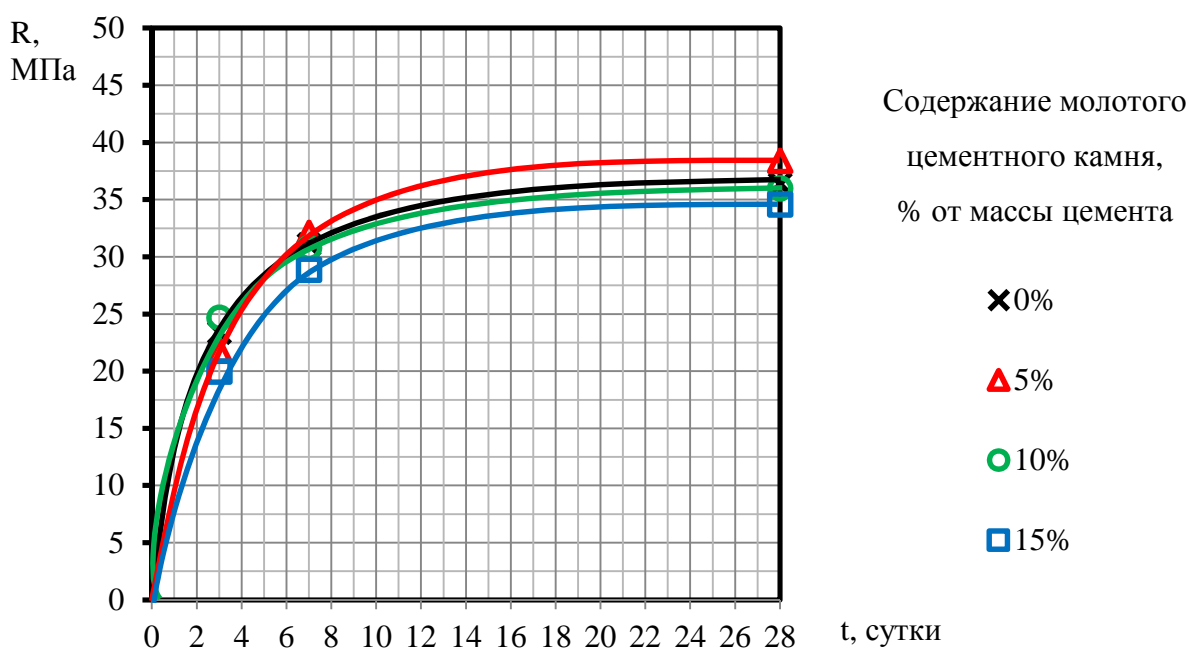


Рис.1. Влияние содержания молотого цементного камня на прочность тяжелого бетона

На рисунке 1 приведено влияние содержания молотого цементного камня (МЦК) на прочность тяжелого бетона. Исследованиями установлено повышение прочности бетона при введении 5 % МЦК с 36,4 до 38,4 МПа. При этом отмечен рост водопотребности бетонной смеси. Повышение прочности можно объяснить как остаточной гидратационной активностью, так и наполняющим эффектом МЦК. При введении минеральной добавки в бетонную смесь возникает дополнительная поверхность раздела: «добавка – вода». На поверхности минеральной добавки отлагаются продукты гидратации цемента, а мельчайшие ее частички могут служить центрами кристаллизации [7; 9]. Дальнейшее увеличение содержания добавки свыше 5 % приводит к снижению прочностных показателей бетона,

что обусловлено повышением водоцементного отношения равноподвижных бетонных смесей.

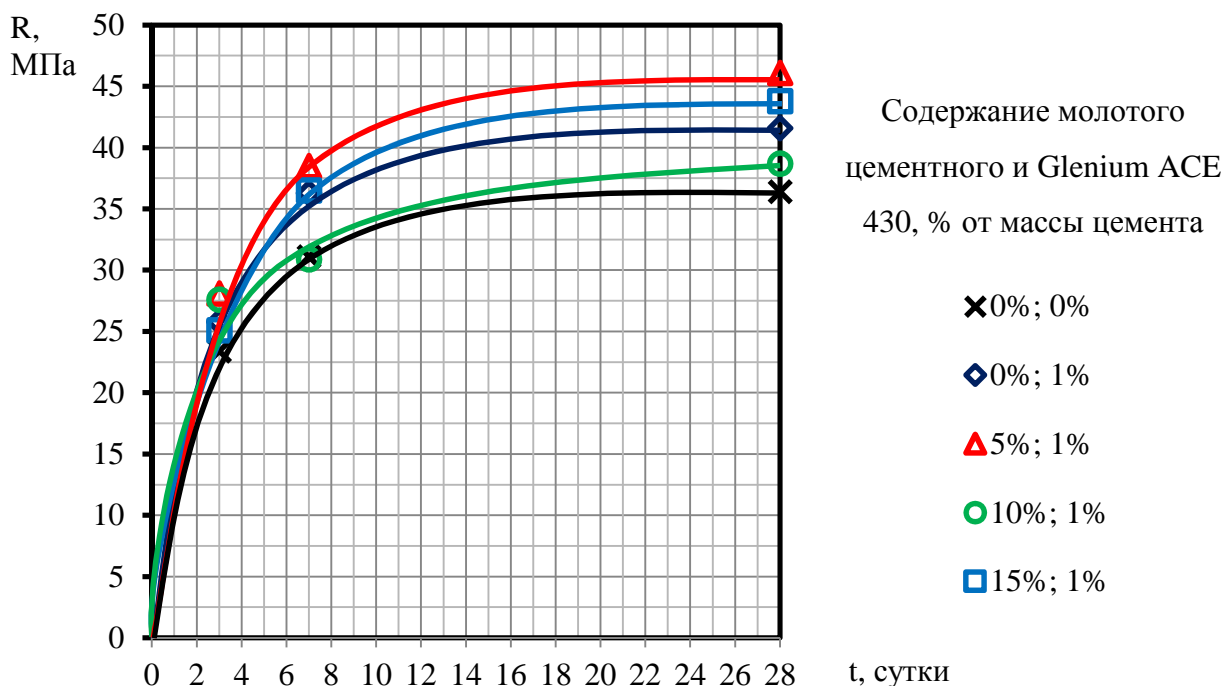


Рис.2. Влияние содержания молотого цементного камня на прочность тяжелого бетона, модифицированного добавкой Glenium ACE 430

На рисунке 2 показано влияние содержания молотого цементного камня на прочность тяжелого бетона, модифицированного поликарбоксилатным суперпластификатором Glenium ACE 430. Добавление суперпластификатора приводит к росту прочности состава с 23,4 до 25,8 МПа (на 10 %) в возрасте 3 суток; и с 36,4 до 41,6 МПа (на 14 %) – в возрасте 28 суток по сравнению с бездобавочным. В присутствии добавки Glenium ACE 430 также наблюдается рост прочности состава, содержащего 5 % МЦК. Совместное применение 5 % МЦК и добавки Glenium ACE 430 позволяет увеличить прочность на 27 % (с 36,4 до 46,1 МПа) по сравнению с бездобавочным составом. Повышение прочности объясняется уплотнением структуры и активизацией процесса гидратации цемента [7]. Дальнейшее повышение содержания МЦК приводит к повышению водопотребности составов и к понижению прочности.

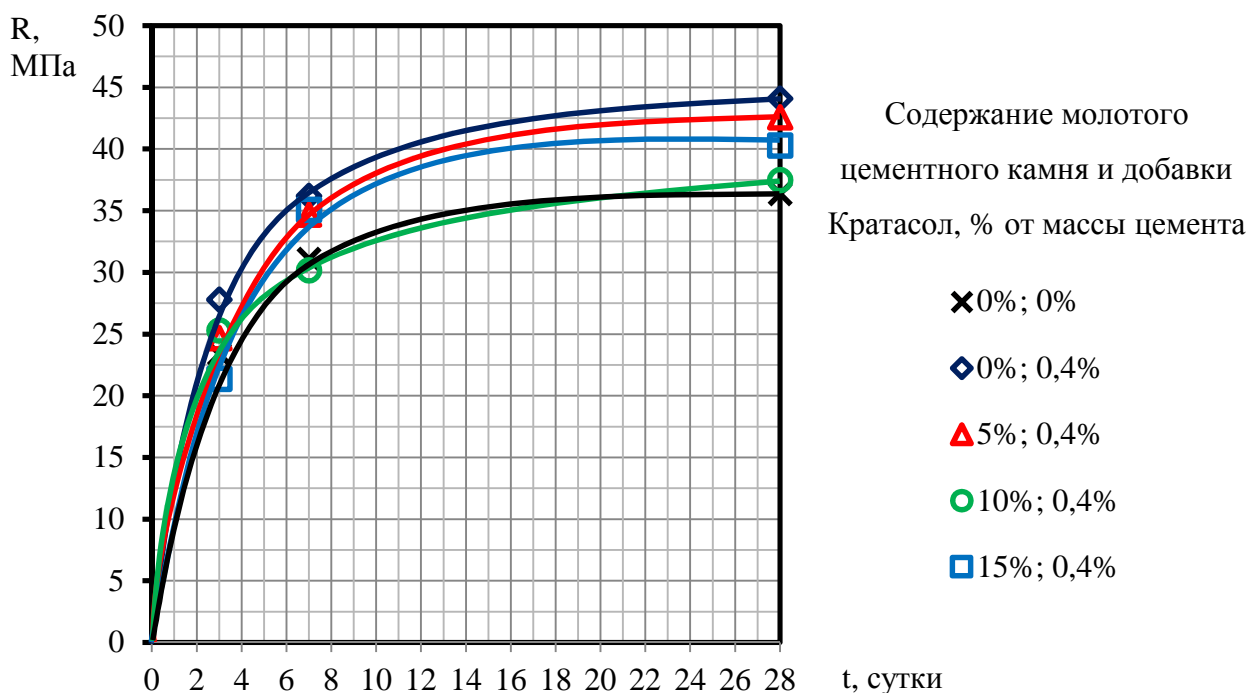


Рис.3. Влияние содержания молотого цементного камня на прочность тяжелого бетона, модифицированного добавкой Кратасол

На рисунке 3 приведено влияние содержания МЦК на прочность тяжелого бетона, с добавкой пластификатора Кратасол на основе модифицированного лигносульфоната натрия. Добавление Кратасола приводит к росту прочности состава в среднем на 20 % по сравнению с контрольным бездобавочным образцом. При введении МЦК в составы, содержащие Кратасол, не наблюдается улучшение прочностных показателей бетонных смесей. Следовательно, нецелесообразно использование Кратасола в бетоне с добавками на основе МЦК.

### Выводы

1. Исследованиями установлено повышение прочности непластифицированного бетона при введении 5 % молотого цементного камня с удельной поверхностью  $100 \text{ м}^2/\text{кг}$  при одновременном росте водопотребности бетонной смеси. Повышение прочности бетона обусловлено как остаточной гидратационной активностью цементного камня, так и его наполняющим эффектом.
2. Установлен рост прочности бетона при совместном введении суперпластификатора Glenium ACE 430 и 5 % МЦК. Совместное применение 5 % МЦК и добавки Glenium ACE 430 позволяет увеличить прочность бетона на 27 % в сравнении с бездобавочным составом.
3. При введении молотого цементного камня в составы бетона, содержащие Кратасол, не наблюдается улучшение прочностных показателей бетонных смесей.

## Список литературы

1. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
2. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С.4-7.
3. Горбунов С.П. Оптимизация составов тяжелых бетонов применением тонкодисперсных добавок // Вестник юргу. серия: стр-ство и арх-ра. – 2012. – №17 (276). – С. 30-35.
4. Добавки в бетон. Технический каталог; ноябрь, 2009. – М.: «BUSFConstructionChemicals», 2009. – 136 с.
5. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Лешканов А.Ю. Влияние поликарбоксилатных суперпластификаторов на структурообразование цементных паст // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5–5. – С. 945-948; URL:[www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10003291](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10003291) (дата обращения: 31.07.2015).
6. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О. Влияние кварцевого наполнителя и суперпластификатора Glenium® ACE 430 на раннюю прочность мелкозернистого бетона с ускорителем твердения // Фунд. исследования. – 2014. – № 11–7. – с. 1901-1905; URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10005133](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10005133) (дата обращения: 31.07.2015).
7. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками: уч.-практич. пособие. – М.; Вологда: Изд. Инфра-Инженерия, 2014. – 160 с.
8. Кратасол ПФМ улучшенный. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://krata.ru/productsru/details/125/55/dobavki-dlya-betona> (дата обращения: 31.07.2015).
9. Соловьева Л.Н. Конструкционно-теплоизоляционные бетоны на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук // БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – 23 с.
10. Buchenau G, Gesteinsmehle für selbstverdichtenden Beton / G. Buchenau, B. Hillemeier // Betonwerk+Fertigteiltechnik. – 2001. – № 11. – S.32-38.

### Рецензенты:

Краснов А.М., д.т.н., профессор, профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Салихов М.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительных технологий и автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Пенза.