

## Рациональное применение инертных минеральных добавок в технологии бетона

*М.О. Коровкин, Д.М. Гринцов, Н.А. Ерошкина*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза*

**Аннотация:** Рассмотрена роль инертных минеральных добавок в технологии бетона. Установлено, что инертные минеральные добавки целесообразно применять совместно с суперпластификаторами для приготовления бетонных смесей с высокой удобоукладываемостью при пониженных расходах цемента. Показано, что негативное влияние инертных добавок на прочность уменьшается при снижении водоцементного отношения за счет повышения доли продуктов гидратации цемента и снижения объема пор в цементном камне, приготовленном с применением инертных минеральных добавок. Установлено, что наиболее перспективное направление использования этих материалов – производство высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонов низких и средних классов с высокой морозостойкостью, водонепроницаемостью и коррозионной стойкостью.

**Ключевые слова:** бетон, инертная минеральная добавка, суперпластификатор, удобоукладываемость, прочность.

Одним из результатов эволюционного развития технологии бетона с применением суперпластификатора (СП) являются бетоны с повышенным содержанием активных и инертных минеральных добавок (МД). Введение этих материалов в состав бетона позволяет решить многие проблемы, возникающие при использовании высокоэффективных СП: снизить расслоение бетонной смеси, повысить ее текучесть за счет раздвижки зерен и снижения контактного взаимодействия крупного и мелкого заполнителя, а также использовать мелкие пески [1]. Кроме того, применение инертных МД – «разбавителей» цемента - позволяет получить бетоны низких и средних классов по прочности при пониженных водоцементных отношениях (В/Ц), что обеспечивает высокую морозостойкость, водонепроницаемость и коррозионную стойкость таких бетонов.

При совместном использовании СП с активными и инертными добавками наблюдается синергетический эффект, позволяющий повысить эффективность применения высокодисперсной МД, особенно такой, как микрокремнезем, введение которого в состав бетона без СП значительно

---

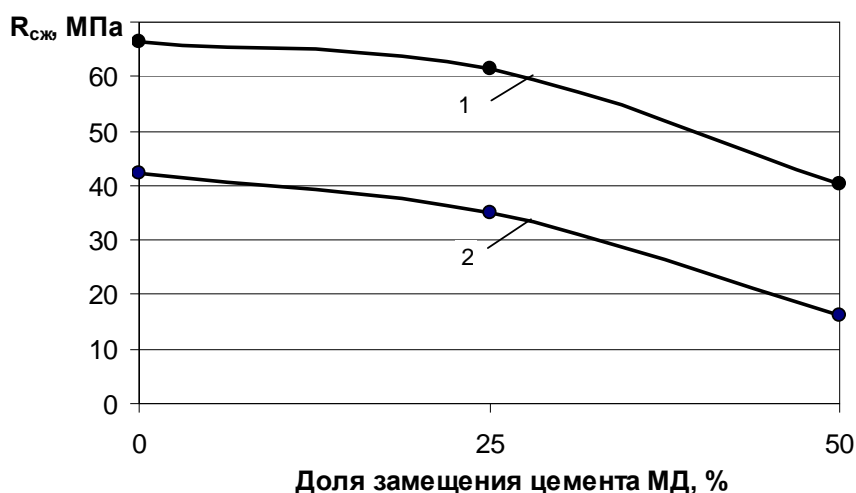
повышает водопотребность бетонной смеси, что приводит к существенному снижению технологических и эксплуатационных характеристик бетона. При этом негативное влияние повышения водоцементного отношения превышает положительные эффекты от использования этих высокоактивных МД. Несмотря на то что некоторые активные минеральные добавки незначительно повышают водопотребность смешанного цемента, их применение без СП не целесообразно [2].

Принято считать, что инертные МД, в отличие от активных МД, практически не оказывают влияния на состав продуктов гидратации цемента. Повышение прочности бетона достигается за счет различных эффектов, например получения более плотной структуры цементного камня при оптимизации гранулометрического состава МД [3]. В тоже время имеются данные о влиянии этих добавок на гидратацию цемента [4, 5]

Применение инертных МД, снижающих прочность бетона за счет эффекта разбавления, оправданно для бетонов, изготавливаемых с использованием цементов, активность которых значительно выше прочности бетона. Кроме того, эти добавки целесообразно применять совместно с СП для приготовления бетонных смесей с повышенной удобоукладываемостью при пониженном расходе цемента [6-8].

Исследование измельченного до удельной поверхности  $305 \text{ м}^2/\text{кг}$  кварцевого песка в качестве инертной МД, которая замещает цемент, было проведено на цементно-песчаном растворе состава 1:2 при (В/Ц) 0,3 и 0,5 и показало, что при замещении 50 % цемента инертной МД абсолютное снижение прочности не зависит от В/Ц и составляет приблизительно 24 МПа (см. рисунок). Однако относительное снижение прочности при увеличении доли инертной МД в составе смешанного цемента зависит от В/Ц: замещение 50 % цемента при В/Ц 0,5 приводит к снижению прочности на 60 %, а при В/Ц 0,3 прочность уменьшается только на 40 %.

---



Влияние доли замещения цемента измельченным песком на прочность при сжатии цементно-песчаного раствора при водоцементных отношениях 0,3 (1) и 0,5 (2)

Влияние снижения В/Ц на относительное уменьшение потери прочности при замещении цемента инертными МД можно объяснить увеличением объемной концентрации цементирующих продуктов гидратации вяжущего и уменьшением объема пор при снижении В/Ц. Кроме того, при использовании этих МД эффект разбавления цемента инертными частицами может снижаться за счет диффузионного переноса цементирующего вещества в зону контакта инертных частиц, который установлен в работе [9] для вяжущих систем с низким В/Ц.

С учетом уменьшения негативного влияния инертных МД на прочность при снижении водоцементного отношения использование этих добавок в большей степени оправданно при их совместном применении с суперводоредуцирующими химическими добавками. В связи с этим основными критериями выбора материала для получения инертной МД являются ее влияние на водопотребность смешанного цемента с добавкой СП, а также размалываемость в тех случаях, когда необходим помол добавки.



Оценку совместимости цемента, МД и СП, а также выбор их дозировки по реотехнологическому критерию и прочностным характеристикам целесообразно производить на растворной составляющей бетона. Использование этой методики позволит значительно снизить трудоемкость оптимизации состава бетона со значительным расходом МД.

Анализ влияния МД на удобоукладываемость бетонной смеси показывает, что наиболее рациональной областью использования этих материалов являются высокопластичные и самоуплотняющиеся смеси с добавкой СП, в которых обеспечение объема цементного теста, необходимого для высокой подвижности бетонной смеси, за счет повышенного расхода цемента не оправданно из-за повышения усадки, ползучести, тепловыделения и получения избыточной прочности. Использование в таких бетонах инертных МД можно рассматривать как получение в процессе приготовления бетонной смеси смешанного цемента с оптимальными для конкретной бетонной смеси свойствами и расходом. Недостаточно однородное перемешивание цемента с МД в бетоносмесителе может быть устранено за счет использования предварительного смешивания этих компонентов, после которого смешанный цемент загружается в бетоносмеситель. Для реализации этого технического решения в технологическую схему необходимо ввести специальный смеситель, а также дополнительный расходный бункер и дозатор для МД. Оснащение бетоносмесительного узла дополнительным оборудованием связано с затратами, которые могут быть оправданы только при производстве достаточных объемов высокопластичных и самоуплотняющихся бетонных смесей. Другой способ введения инертной МД в бетонную смесь, обеспечивающий равномерное распределение добавки в смешанном вяжущем, – совместный помол цемента с добавкой – не позволяет изменять соотношение компонентов смешанного цемента, которое необходимо для

---

приготовления оптимальных составов бетонных смесей с различными свойствами. В любом случае производство бетона с инертными МД связано с проведением организационных и технических мероприятий. Затраты на эти мероприятия вряд ли будут оправданы в условиях низкой доходности и раздробленности производства бетонной смеси, а также низкого технического уровня возведения монолитных конструкций.

В условиях заводского производства сборных железобетонных конструкций, когда преимущества применения инертных МД в технологии бетона могут быть достигнуты в условиях одного технологического комплекса, бетоны с такими добавками будут широко применяться при производстве самоуплотняющихся или высокоподвижных смесей в различных видах стендовой технологии, когда исключение операции виброуплотнения позволяет значительно повысить производительность и улучшить условия труда. Основная проблема, которая будет сдерживать развитие технологии таких бетонов, – качество заполнителя, прежде всего его зерновой состав и содержание в крупном заполнителе лещадных зерен.

Один из факторов, которые будут способствовать широкому использованию инертных МД в технологии бетона, – большие объемы производства отсевов дробления щебня, содержащие значительную долю пылевидных фракций, которые в настоящее время не находят применения и накапливаются в отвалах [10].

Инертные минеральные добавки могут найти применение в высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонах низких и средних классов с высокой морозостойкостью, водонепроницаемостью и коррозионной стойкостью. Для реализации этой технологии необходимы технические и организационные мероприятия, проведение которых будет целесообразно только при значительном увеличении объемов производства высокоподвижных бетонных смесей.

---

## Литература

1. Курочка П.Н., Гаврилов А.В. Бетоны на комплексном вяжущем и мелком песке // Инженерный вестник Дона. 2013. №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562/.

2. Кайс Х.А., Морозова Н.Н. Свойства природного цеолита для получения высокопрочного мелкозернистого бетона // Строительные материалы. 2017. № 6. С. 63-68.

3. Гаврилов А.В., Курочка П.Н. Соотношение размера частиц в полидисперсных структурах как первый шаг к оптимизации составов композиционных вяжущих // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1596/.

4. Krauss H.-W., Budelmann H. Effects of fine-grained inert mineral additives on fresh and hardening concrete // International RILEM Conference on Material Science – MATSCI. Aachen, 2010. Vol. III. pp. 357-357.

5. Zajac M., Rossberg A., Le Saout G., Lothenbach B. Influence of limestone and anhydrite on the hydration of Portland cements // Cement and Concrete Composites. 2014. Vol. 46, № 2. pp. 99-108.

6. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2008. № 10. С. 4-6.

7. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 103-106.

8. Гринцов Д.М., Коровкин М.О. Проблемы развития технологии бетонов с низким расходом цемента // Наука и образование: проблемы развития строительной отрасли: сб. науч. тр. Междунар. науч. конф. Пенза: ПГУАС, 2017. С. 112-115.

9. Калашников В.И., Калашников С.В. К теории твердения композиционных цементных вяжущих // Актуальные вопросы строительства: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Саранск: МГУ, 2004. С. 119-124.

---



10. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 20-23.

### References

1. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562/).

2. Kays Kh.A., Morozova N.N. Stroitel'nye materialy. 2017. № 6. pp. 63-68.

3. Gavrilov A.V., Kurochka P.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1596/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1596/).

4. Krauss H.-W., Budelmann H. International RILEM Conference on Material Science – MATSCI. Aachen, 2010. Vol. III. pp. 357-357.

5. Zajac M., Rossberg A., Le Saout G., Lothenbach B. Cement and Concrete Composites. 2014. Vol. 46, № 2. pp. 99-108.

6. Kalashnikov V.I. Stroitel'nye materialy. 2008. № 10. pp. 4-6.

7. Kalashnikov V.I. Stroitel'nye materialy. 2011. № 3. pp. 103-106.

8. Grintsov D.M., Korovkin M.O. Nauka i obrazovanie: problemy razvitiya stroitel'noy otrasli: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch. konf. [Science and education: problems of development of the construction industry: scientific. tr. Intern. sci. conf.]. Penza: PGUAS, 2017. pp. 112-115.

9. Kalashnikov V.I., Kalashnikov S.V. Aktual'nye voprosy stroitel'stva: Mater. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Actual construction issues: Mater. Intern. sci.-tech. conf.]. Saransk: MGU, 2004. pp. 119-124.

10. Kalashnikov V.I. Stroitel'nye materialy. 2008. № 3. pp. 20-23.