

УДК 666.97.035

**ВЛИЯНИЕ ОКСИДА ЦИНКА (ZnO) НА ПРОЧНОСТЬ СЖАТИЯ
БЕТОНА**

Винтер В.В., аспирант кафедры СПиЭН, ст. преподаватель кафедры АДигК
Научный руководитель: Гилязидинова Н.В., к.т.н., доцент кафедры СПиЭН
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Показатель прочности бетона при сжатии служит ключевым критерием в строительном производстве, поскольку именно он определяет технологическую эффективность работ, надежность возводимых конструкций и прогнозируемый срок службы зданий.

Прочностные характеристики возводимых железобетонных конструкций напрямую зависят от контролируемого протекания процессов твердения бетона. Как ускоренное, так и замедленное схватывание бетонной смеси в равной степени несет в себе риски для достижения проектных прочностных значений. Неконтролируемое ускорение схватывания бетона в свою очередь резко сокращает время на возможность укладки и вибрационной обработки бетонной смеси, что создает высокие риски при работе со сложными формами и густоармированными конструкциями и их дальнейшей безопасной эксплуатации в виду возможности образования дефектов, снижающих прочностные характеристики.

Следует отметить, что при ускоренном схватывании бетонной смеси, возникают процессы интенсивного экзотермического разогрева цементного камня, которые провоцируют значительный температурный градиент между поверхностью и ядром конструкции, что приводит к росту термических напряжений, способных инициировать трещинообразование еще на этапе набора прочности.

Помимо вышеуказанных обстоятельств, ускоренное схватывание бетонной смеси нарушает естественный процесс гидратации вяжущего, сопровождающаяся повышенной усадочной деформацией, что негативно сказывается на формировании плотной микроструктуры бетона, так как его итоговая прочность снижается, а показатели морозостойкости и сопротивляемости внешним воздействиям не достигают проектных значений.

Замедленное же схватывание бетона, напротив, сдвигает срок набора начальной прочности, тем самым увеличивая риск расслоения бетонной смеси, потери подвижности, в результате чего нарушается равномерность формирования цементного камня, что в конечном итоге также ведет к снижению прочности и долговечности возводимой конструкции.

В ранее проведенном исследовании [1] было установлено, что добавление в бетонную смесь оксида цинка (ZnO) в объеме 2% от массы цемента

снижает его скорость схватывания без образования дефектов в виде растрескивания, повышения усадки и т.д. Результаты данного исследования в полном объеме противоречат иным исследованиям [2, 3].

Румянцевой В.Е. и др. [4] при исследовании прочности и трещиностойкости бетона с комбинированной добавкой из стеарата кальция (0,5 масс. %), нитрата калия (0,5 масс. %) и наноразмерного оксида цинка (0,5 масс. %) было установлено, что введение данной добавки в цементную смесь при изготовлении бетона, в количестве 0,5 % от массы цемента обеспечивают формирование улучшенных эксплуатационных характеристик и повышенной стойкости к жидкостной коррозии.

Оксид цинка известен фунгицидным действием [5-6], также улучшает структурообразование при твердении и повышает механическую прочность бетона [7-9].

Следует отметить, что ни одно из проведенных исследований не отражает оценки значения прочности на сжатие бетона с содержанием только оксида цинка в качестве добавки.

Таким образом, оценка прочности бетона при возведении различных строительных конструкций с учетом малочисленности исследований и противоречивости мнений о влиянии оксида цинка на свойства бетонной смеси является все более актуальной задачей. В данной статье рассмотрена возможность использования оксида цинка, являющегося продуктом побочного образования в металлургической промышленности, в качестве добавки в бетонную смесь для оценки влияния на прочность сжатия бетона.

Оксидом цинка является неорганическое химическое соединение цинка и кислорода с формулой ZnO . Данное химическое соединение представлено в виде белого порошка нерастворимого в воде обладающего полупроводниковыми свойствами и высокой температурой плавления ($\approx 1975^\circ C$). Образуется оксид цинка как побочный продукт в металлургической, гальванической и химической промышленности.

Для проведения эксперимента поставлена задача получения бетона, отвечающего следующим параметрам и характеристикам:

- Используемое вяжущее: цемент М500;
- Подразделение в зависимости от средней плотности: тяжелый;
- Мелкий заполнитель: песок фракцией 0-5 мм;
- Крупный заполнитель: щебень фракцией 5-20 мм;
- Добавки: оксид цинка (ZnO) в объеме 2% от массы цемента;
- Классификация бетонной смеси по подвижности: сильноподвижная ПЗ (осадка конуса 10-15 см);
- Режим твердения: естественный;
- Предполагаемый класс бетона: В30.

Подбор компонентов бетонной смеси контрольного образца необходимо произвести в соответствии с требованиями ГОСТ 27006-2019 «Бетоны. Правила подбора состава» [10].

Для получения предварительных сравнительных данных использованы образцы кубической формы с длиной ребра 100мм в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [11].

Первые сутки образцы выдерживались в условиях лабораторной температуры. Затем извлеченные образцы были помещены в камеру с нормальными условиями твердения, действуя аккуратно во избежание повреждения граней. Температурный режим твердения поддерживается на уровне $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

На 7-е сутки при распалубке экспериментальных кубов была проведена предварительная оценка предела прочности при сжатии для исследуемых бетонных смесей с добавлением оксида цинка при помощи гидравлического пресса МС-1000, рассчитанного на усилие до 1000 кН. Также определение прочности образцов было выполнено и на 28-е сутки.

В результате проведенной оценки было установлено, что на 7-е сутки прочность на сжатие образцов без добавления оксида цинка составила 27,4-28,4 МПа, что соответствует 70% прочности для бетона класса В30. Прочность на сжатие образцов с добавлением оксида цинка (в объеме 2% от массы цемента) составила 2,5-3,1 МПа.

На 28-е сутки прочность на сжатие образцов без добавления оксида цинка составила 39,1-40,5 МПа, что соответствует заданной прочности для бетона класса В30. Прочность на сжатие образцов с добавлением оксида цинка (в объеме 2% от массы цемента) составила 7,5-8,6 МПа. Растрескивание, повышенная усадка и иные дефекты на поверхностях образцов на 7-е и 28-е сутки не установлены.

Сниженная прочность образцов с добавлением оксида цинка указывает на замедление процесса схватывания и твердения бетона связанного с блокированием гидратации цемента при котором ионы цинка (Zn^{2+}) взаимодействуют с алюминатами и силикатами цемента, образуя на поверхности частиц цемента защитную пленку. Данный процесс тормозит реакцию воды с клинкерными минералами (C_3S , C_2S). Кроме того, в виду плохого растворения оксида цинка в воде (H_2O) повышается щелочность смеси, что может замедлять активацию отдельных компонентов цемента в бетонной смеси.

В результате проведенного экспериментального исследования установлено, что введение оксида цинка (ZnO) в количестве 2% от массы цемента оказывает существенное ингибирующее воздействие на процессы структурообразования бетона. Полученные данные свидетельствуют о критическом снижении прочностных характеристик как на 7-е сутки, так и на 28-е сутки, что не позволяет достичь проектного класса бетона В30.

Полученные результаты вступают в противоречие с отдельными исследованиями, которые выявили положительное влияние оксида цинка на структурообразование и биоцидные свойства бетона при малых дозировках (в объеме 0,5% от массы цемента) или в составе комбинированных добавок.

Таким образом, несмотря на перспективность использования оксида цинка как техногенного продукта металлургической промышленности, его

применение в качестве самостоятельной добавки для тяжелых бетонов класса В30 признано нецелесообразным. Установленное замедление набора прочности нивелирует технологические преимущества и не позволяет обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики конструкций. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию дозировок оксида цинка в составе бетона, изучение его совместимости с пластифицирующими добавками и оценку эффективности в составе комплексных модификаторов для достижения баланса между регулированием сроков схватывания и сохранением проектной прочности.

Список литературы:

1. Винтер, В.В. Влияние оксида цинка (ZnO) на скорость схватывания бетона / В. В. Винтер. — Текст : непосредственный // XVII Всероссийская 70 научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ». — Кемерово : ФГБОУ ВО "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева", 2025. — С. 63401.1-63401.4.
2. Боченек А., Курдовски В., Шелаг Х. Влияние цинка на свойства портландцемента // Тр. III Всероссийской (II Всемирной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12—16 мая 2014 г.). Т. VI. С. 144—156.
3. Барбанягрэ В.Д. Мономинеральные вяжущие в системе CaO—Al₂O₃—ZnO // Труды 10-й МКХК. 1997. Т. 1. С. 8.
4. В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова, А. А. Гальцев [и др.]. Прочность и трещиностойкость бетона с добавкой на основе стеарата кальция // Современные проблемы гражданской защиты. — 2024. — № 3(52). — С. 71-82.
5. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism / A. Sirelkhatim, S. Mahmud, A. Seenii [et al.]. Nano-Micro Letters, 2015, vol. 7, pp. 219–242.
6. Хамраева З.Т., Шонахунов Т.Э., Ахмедова З.Р. [и др.] Изучение антимикробной активности наночастицы серебра и оксида цинка на целлюлозном носителе // Uni versum: химия и биология: электрон. научн. журн. - 2023. - № 9 (111).
7. Arefi M. R., Rezaei-Zarchi S. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Effect on the Compressive Strength and Setting Time of Self-Compacted Concrete Paste as Cementitious Composites. International Journal of Molecular Sciences, 2012, vol. 13, issue 4, pp. 4340–4350.
8. Silatikunsatid T., Jaitanong N., Narksitipan S. A Study on Influence of Zinc Oxide in Cement Composite Materials. Key Engineering Materials, 2018, vol. 772, pp. 95–99.
9. Konovalova V.S. Investigation of the Effect of Volumetric Hydrophobization on the Kinetics of Mass Transfer Processes Occurring in Cement Concretes during Corrosion. Materials, 2023, vol. 16, issue 10. Article no. 3827.
10. ГОСТ 27006-2019. Бетоны. Правила подбора состава [Текст]. — Введ. 2020-01-01. — М. : Стандартинформ, 2019 год (дата обращения 30.03.2026).

11. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М. : Стандартиформ, 2018 год (дата обращения 30.03.2026).