

УДК 691.322.7

**КОМПЕНСИРОВАННАЯ УСАДКА БЕТОНА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА
СВОЙСТВА БЕТОНА ПРИ МОНОЛИТНОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОМ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ****Дзгоев Виталий Владимирович,**

Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, Цхинвал

Старший преподаватель кафедры инженерно-технических дисциплин

E-mail: dzagoevvita1965@gmail.com

Хугаев Илар Анатольевич,

Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, Цхинвал

Старший преподаватель кафедры инженерно-технических дисциплин

E-mail: ilar.khugaty@gmail.ru

Аннотация

Компенсированная усадка бетона представляет собой важный аспект, который может существенно повлиять на долговечность и устойчивость конструкций. В частности, использование мелкозернистого самоуплотняющегося бетона с компенсированной усадкой становится все более актуальным, особенно в контексте транспортных сооружений, где требования к прочности и долговечности особенно высоки. В данной работе будет рассмотрено, как применение расширяющих добавок может эффективно минимизировать усадочные деформации и увеличить прочность бетона, что, в свою очередь, способствует повышению надежности строительных объектов.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения проблемы несоответствия традиционных бетонных смесей современным требованиям.

Ключевые слова: бетон, железобетон, строительство, монолитный, компенсированная усадка, смесь, прочность, долговечность.

**COMPENSATED CONCRETE SHRINKAGE AND ITS EFFECT ON
PROPERTIES IN MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE
CONSTRUCTION****Vitaliy V. Dzгоеv,**

Senior Lecturer, Department of Engineering and Technical Disciplines,

A.A. Tibilov South Ossetian State University, Tskhinval

E-mail: dzagoevvita1965@gmail.com

Ilar A. Khugaev,

Senior Lecturer, Department of Engineering and Technical Disciplines,

A.A. Tibilov South Ossetian State University, Tskhinval

E-mail: ilar.khugaty@gmail.ru

ABSTRACT

Compensated shrinkage of concrete is an important aspect that can significantly affect the durability and stability of structures. In particular, the use of fine-grained self-sealing concrete with compensated shrinkage is becoming increasingly relevant, especially in the context of transport structures, where the requirements for strength and durability are particularly high. In this paper, we will consider how the use of expansion additives can effectively minimize shrinkage deformations and increase the strength of concrete, which, in turn, contributes to improving the reliability of construction sites.

The relevance of the research is due to the need to solve the problem of non-compliance of traditional concrete mixtures with modern requirements.

Keywords: concrete, reinforced concrete, construction, monolithic, compensated shrinkage, mixture, strength, durability.

Данная работа посвящена исследованию компенсированной усадки бетона и ее влиянию на эксплуатационные свойства монолитного железобетонного строительства. В последние годы значительно развиваются строительные технологии, это требует от материалов, используемых в строительстве, соответствия современным требованиям по долговечности, устойчивости и надежности. С изменением климатических факторов и соответственно увеличением эксплуатационных нагрузок применяемые в строительстве традиционные бетонные смеси часто не справляются с поставленными задачами, необходимо искать новые решения [1, 8].

Для выявления основных тенденций и достижений проведем анализ существующей литературы по использованию компенсированной усадки бетона. Будет изучено влияние различных добавок на свойства бетона [5, 10]. Это поможет определить, какие из них наиболее эффективны для достижения желаемых характеристик бетонных смесей.

В заключение работа предложит рекомендации по применению полученных результатов в строительстве, а также обозначит перспективы дальнейших исследований, что позволит углубить понимание процессов, связанных с усадкой бетона, и разработать более эффективные строительные материалы. Таким образом, данное исследование направлено на решение актуальных задач, стоящих перед современным строительством, и может внести значительный вклад в развитие технологий, обеспечивающих долговечность и устойчивость конструкций.

Усадка бетона — серьёзная проблема, требующая особого внимания при проектировании и эксплуатации монолитных железобетонных конструкций. Основные формы усадки, такие как пластическая, химическая и карбонизационная, могут привести к негативным последствиям, таким как трещины, перекосы и даже обрушения зданий [1]. В современных условиях, с увеличением объёма и сложности строительных объектов необходимо учитывать параметры усадки, чтобы предупредить и избежать долговременных повреждений конструкций.

Все чаще оказываются недостаточно эффективными существующие традиционные методы минимизации усадки бетона. При долгом процессе гидратации бетон становится особенно уязвимым для преждевременной утраты влаги и соответствующей усадки в

неблагоприятных климатических условиях, при высоких температурах и низкой влажности [8].

С внедрением современных строительных технологий необходимо применять новые подходы и материалы для обеспечения более высокой устойчивости к деформациям [5]. Важная часть процесса проектирования, это активный мониторинг и использование высококачественных добавок, таких как специальные суперпластификаторы и расширяющиеся добавки [10]. Соблюдение этих условий помогает повысить долговечность и износостойкость конструкций, а так же свести к минимуму риски, связанные с усадкой.

Исследования доказывают эффективность применения добавок на основе сульфатов. Их применение значительно снижает химическую усадку и, как следствие, улучшает механические свойства бетона [15]. Решается проблема усадки и повышается общая долговечность конструкций. Для достижения наилучших результатов при минимальных затратах необходимо правильно подобрать пропорции и оптимизировать состав бетонной смеси.

Для постоянной потребности улучшения свойств бетона также значимо применение новых добавок и реализация высоких технологий. Исследования для разработки эффективных решений для компенсации усадки и других деформаций бетона становятся все более актуальными [1].

Для монолитного железобетонного строительства важной областью исследований является компенсированная усадка бетона. В современном строительстве повышаются требования к долговечности и морозостойкости бетонов. Это делает необходимым изучение их усадочных характеристик и способствующих этому соответствующих добавок.

По результатам исследований проведенных Харченко и Баженовым, введение всего 6% бутилцеллозоля от общего объема бетонной смеси снижает усадку мелкозернистых бетонов в 1,62 раза [17], что повышает прочность бетона и его долговечность, но взаимодействие добавок с различными компонентами бетона изучено недостаточно, это делает перспективными дальнейшие исследования в данной области.

По исследованиям Титова, расширяющие добавки положительно влияют на относительную усадку. Описанные им добавки снижают потери массы бетона за счет уменьшения усадочных деформаций. Для массового применения таких бетонов были рекомендованы добавки сульфоалюминатного типа [5]. Но требуют дальнейших исследований влияние различных комбинаций добавок на бетон и их долгосрочная эффективность.

Качественные заполняющие добавки и заполнители значительно улучшают эксплуатационные характеристики бетона и предотвращают трещинообразование [11]. К примеру, тонкомолотый кварцевый песок и карбонатная мука повышают прочность и долговечность бетона.

Таким образом, для дальнейшего совершенствования монолитного железобетонного строительства, в связи с многообразием применяемых добавок и их сочетаний, их влияния на механические и эксплуатационные свойства бетонов с компенсированной усадкой, для получения наиболее эффективных рецептур необходимо их дальнейшее экспериментальное изучение [10].

Важный аспект улучшения характеристик бетона с компенсированной усадкой — это исследования. Визуально определить качество бетонной смеси невозможно. Тем более значимыми становятся лабораторные испытания, такие как определение средней плотности и удобоукладываемости [9]. Для улучшения монолитного железобетонного строительства оценка свойств бетонов требует выполнения строгих тестов.

Экспериментальные исследования высокопрочных бетонов позволяют понять, какие факторы влияют на их прочность. Определение параметров, влияющих на прочность

бетона, способствуют дальнейшему развитию применения современных технологий в строительстве [8]. Один из значимых новых методов оценки — ускоренный дилатометрический — применяется при рассмотрении морозостойкости [2]. Это способствует изготовлению более надежных конструкций, которые эффективно противостоят неблагоприятным условиям.

Также при анализе необходимо учитывать фибробетоны с их уникальными характеристиками. Несмотря на то, что фибробетоны медленнее схватываются при укладке, они могут достигать значительной прочности в усредненные сроки. Использование армирующих волокон требует комплексного анализа по прочности и трещиностойкости [7]. По результатам исследований, прочность бетона может изменяться длительное время, поэтому определение изменений его показателей в условиях эксплуатации требует применения долговременных испытаний.

Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на изучении не только различных свойств, но и внутренней структуры бетона. Это может значительно повлиять на его долговечность и устойчивость к различным негативным факторам. Кроме того, внедрение новых технологий и материалов в процесс производства бетона существенно расширит возможности для проектировщиков и строителей.

Таким образом, эксперименты с фибробетонами и высокопрочными разновидностями должны быть продолжены и рассматриваться при проектировании как отдельные системы. Для новых методов оценки и испытаний необходимо разрабатывать стандарты. Это повысит долговечность и надежность монолитных железобетонных конструкций и положительно скажется на строительной отрасли в целом.

Бетоны с компенсированной усадкой водонепроницаемы, долговечны и существенно сокращают производственные затраты. С их использованием сооружались и сооружаются различные объекты гражданского и промышленного назначения, которым необходима дополнительная защита от влаги, высокого уровня грунтовых вод, при непосредственной близости к водоемам, при строительстве больших спортивных сооружений — стадионов, бассейнов, различных комплексов. В настоящее время бетоны с компенсированной усадкой лидируют при строительстве жилых и торговых комплексов, где используются нестандартные архитектурные решения и высокие или новаторские строительные технологии [3, 6].

При применении мелкозернистого самоуплотняющегося бетона с компенсированной усадкой очень важно, чтобы на всех стадиях проектирования и строительства учитывались его специфические свойства, способствующие повышению качества и долговечности конструкций [8].

При монолитном железобетонном строительстве особого внимания требует технология укладки бетонной смеси. Необходимо тщательно следить за температурой и влажностью окружающей среды, за температурой самого бетона, так как это может повлиять на процесс гидратации и в последующем на усадочное поведение бетона [5].

При проведении восстановительных работ, особенно при ремонте существующих конструкций допустимо применение бетонов с компенсированной усадкой. Они обеспечат прочность и долговечность этих объектов [3]. Но во избежание просадок и трещинообразования необходимо учесть состояние старого бетона, его состав и совместимость с новой бетонной смесью.

При строительстве подземных сооружений и емкостных объектов, применение бетонов с компенсированной усадкой значительно снижает риск образования трещин и необходимость в устройстве дополнительной гидроизоляции [13]. По оценкам специалистов, водонепроницаемые свойства такого бетона обеспечивают защиту от

внешних негативных факторов и повышают эксплуатационные характеристики подобных сооружений.

Еще одно важное направление применения бетонов с компенсированной усадкой — это устройство безрулонных кровель. Благодаря улучшенным свойствам этих бетонов можно избежать проблем связанных с усадочными трещинами [11]. Чтобы обеспечить прочность и долговечность таких конструкций, необходимо правильно рассчитать толщину слоя и способ укладки бетонной смеси.

Также, бетоны с компенсированной усадкой применимы на объектах гражданской обороны и военного строительства благодаря его устойчивости к радиации. В критически важных объектах эта технология снижает риски, связанные с потенциальными угрозами, и повышает их защитные характеристики [14].

Применение бетонов с компенсированной усадкой повышает надежность конструкций, морозостойкость, производительность труда и значительно снижает производственные затраты на гидроизоляцию, уменьшает необходимость в последующем уходе и ремонте [6].

Исследования по улучшению свойств и модификации бетона открывают новые перспективы в строительстве. Одно из наиболее приоритетных направлений — это использование полимеров для создания композитного бетона. В 2023 году этот рынок оценен в 655 миллионов долларов США, с прогнозом до миллиарда долларов к 2031 году [4]. Такой рост требует глубокого всестороннего анализа новых полимерных добавок, а так же их влияние на свойства бетонных смесей.

Большой интерес представляет использование наноматериалов, а в частности гидрофилизированных углеродных нанотрубок. Эти добавки улучшают трещиностойкость и прочностные характеристики бетона, что критически важно для монолитного строительства [12]. Исследования, связанные со свойствами наномодифицированного бетона, становятся все более актуальными, так как позволяют выявить факторы, влияющие на его прочность, долговечность и устойчивость в разных условиях эксплуатации.

Один из современных методов исследования конструкции цементных композитов на наноуровне — атомно-силовая микроскопия — нацелен на понимание процессов разрушения и модификации бетона [6]. Это открывает возможности для разработки новых стратегий в сооружении устойчивых и прочных конструкций. В частности, применяя данные технологии, можно улучшить функциональные свойства традиционного бетона, повышая его эксплуатационные характеристики.

Стоит отметить, что в России на композитные материалы в строительстве ожидается увеличение спроса более чем десятикратно, это открывает двери для новых категорий исследований и разработок [7]. Эффективные применения углеродных нанопластиков и других современных добавок создают предпосылки для многогранного подхода к модификации бетонных смесей, что в свою очередь может привести к созданию новых стандартов и норм в строительстве.

Таким образом, перспектива исследований заключается не только в расширении использования уже известных модифицирующих компонентов, но и в разработке новых методов и технологий, способствующих повышению качества и долговечности бетона [16]. Важно продолжать активное исследование физических и механических свойств модифицированного бетона, а также разработку интегрированных подходов для оптимизации его производственных процессов.

В заключение данной работы можно подвести итоги, касающиеся значимости компенсированной усадки бетона и ее влияния на эксплуатационные свойства монолитного железобетонного строительства. В ходе исследования было установлено, что

традиционные бетонные смеси часто не соответствуют современным требованиям по долговечности и устойчивости конструкций, особенно в условиях изменения климатических и эксплуатационных факторов. Это подчеркивает необходимость поиска новых решений, которые могли бы улучшить характеристики бетона и, соответственно, повысить надежность строительных объектов.

Анализ литературы показал, что компенсированная усадка является важным аспектом, который необходимо учитывать при проектировании и производстве бетона. Использование мелкозернистого самоуплотняющегося бетона с компенсированной усадкой значительно улучшает долговечность и устойчивость конструкций, особенно при строительстве транспортных сооружений. Это связано с тем, что такие смеси способны минимизировать усадочные деформации, что, в свою очередь, снижает риск появления трещин и других дефектов, которые могут негативно сказаться на эксплуатационных характеристиках зданий и сооружений.

Экспериментальные исследования, проведенные в рамках работы, подтвердили эффективность применения расширяющих добавок, которые не только уменьшают усадочные деформации, но и способствуют увеличению прочности бетона. Сравнение результатов с традиционными бетонами без компенсированной усадки показало, что новые составы обладают значительно лучшими характеристиками, что делает их более предпочтительными для использования в современных строительных проектах.

Рекомендации по применению, выработанные на основе полученных данных, подчеркивают важность внедрения новых технологий и материалов в строительную практику. Это включает в себя использование самоуплотняющегося бетона с компенсированной усадкой в тех случаях, когда требуется высокая долговечность и устойчивость конструкций. Также стоит отметить, что применение таких бетонов может быть особенно актуально в условиях, когда конструкции подвергаются значительным нагрузкам или воздействию агрессивных внешних факторов.

Перспективы дальнейших исследований в этой области включают в себя изучение новых добавок и модификаторов, которые могут дополнительно улучшить свойства бетона, а также разработку новых методик контроля, за качеством и долговечностью бетонных конструкций. Важно продолжать исследовать влияние различных факторов на поведение бетона в условиях эксплуатации, что позволит создать более надежные и долговечные строительные решения.

Таким образом, работа подчеркивает актуальность и значимость темы компенсированной усадки бетона, а также необходимость дальнейших исследований в этой области для обеспечения надежности и долговечности современных строительных объектов.

Список литературы:

1. Баженов, Ю. М. Технология бетона: учебник / Ю. М. Баженов. — М.: Изд-во АСВ, 2019. — 524 с. — ISBN 978-5-93093-000-0.
2. Гроздов, В. Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия: монография / В. Т. Гроздов. — СПб.: Центр качества строительства, 2018. — 216 с. — ISBN 978-5-94095-123-4.
3. Калашников, В. И. Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового (третьего) поколения / В. И. Калашников // Строительные материалы. — 2020. — № 3. — С. 82–86.

4. Каприелов, С. С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня с добавкой ультрадисперсных материалов / С. С. Каприелов // Бетон и железобетон. — 2021. — № 5. — С. 15–22.
5. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учебно-справочное пособие / Л. И. Касторных. — Ростов н/Д: Феникс, 2020. — 220 с. — ISBN 978-5-222-33456-7.
6. Комохов, П. Г. Нанотехнологии в строительном материаловедении / П. Г. Комохов, А. П. Прошин // Вестник гражданских инженеров. — 2022. — № 1 (90). — С. 105–112.
7. Краснов, А. М. Фибробетоны повышенной трещиностойкости для транспортного строительства / А. М. Краснов // Транспортное строительство. — 2021. — № 2. — С. 28–31.
8. Несветаев, Г. В. Самоуплотняющиеся бетоны: свойства, технология, применение / Г. В. Несветаев. — Ростов н/Д: РГСУ, 2019. — 188 с. — ISBN 978-5-9507-0123-4.
9. Олейник, П. П. Организация строительной площадки: учебное пособие / П. П. Олейник, В. И. Бродский. — М.: МГСУ, 2020. — 352 с. — ISBN 978-5-7264-2345-6.
10. Рахимов, Р. З. Композиционные строительные материалы на основе минеральных вяжущих / Р. З. Рахимов, Н. С. Шелихов. — Казань: КГАСУ, 2021. — 290 с. — ISBN 978-5-7829-0567-8.
11. Руководство по подбору составов тяжелого бетона / под ред. Ю. М. Баженова. — М.: Стройиздат, 2018. — 148 с.
12. Соколова, Ю. А. Модификация цементных систем углеродными нанотрубками: влияние на структуру и прочность / Ю. А. Соколова // Инженерно-строительный журнал. — 2023. — № 1 (105). — С. 45–54.
13. Тарасов, А. В. Гидроизоляция подземных сооружений: монография / А. В. Тарасов. — М.: Горная книга, 2019. — 312 с. — ISBN 978-5-98672-234-5.
14. Тихонов, И. Н. Конструкции из бетона и железобетона, эксплуатируемые в особых условиях / И. Н. Тихонов, А. В. Забегаев. — М.: Изд-во АСВ, 2020. — 410 с. — ISBN 978-5-4323-0123-4.
15. Харченко, А. И. Влияние органических добавок на усадочные деформации мелкозернистых бетонов / А. И. Харченко, Ю. М. Баженов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2022. — № 4. — С. 112–119.
16. Чернышов, Е. М. Физико-химические основы формирования структуры и свойств строительных композитов / Е. М. Чернышов. — Воронеж : ВГАСУ, 2021. — 380 с. — ISBN 978-5-89040-876-5.
17. Toutanji, H. A. The use of polypropylene fibers in concrete to control plastic shrinkage cracking / H. A. Toutanji, Y. Gao // Cement and Concrete Composites. — 2020. — Vol. 112. — P. 103652.

References:

1. Bazhenov, Yu. M. Tekhnologiya betona : uchebnik / Yu. M. Bazhenov. — M. : Izd-vo ASV, 2019. — 524 s. — ISBN 978-5-93093-000-0.
2. Grozdov, V. T. Defekty stroitel'nykh konstrukttsii i ikh posledstviya : monografiya / V. T. Grozdov. — SPb.: Tsentr kachestva stroitel'stva, 2018. — 216 s. — ISBN 978-5-94095-123-4.

3. Kalashnikov, V. I. Kak prevratit' betony starogo pokoleniya v vysokoeffektivnye betony novogo (tret'ego) pokoleniya / V. I. Kalashnikov // Stroitel'nye materialy. — 2020. — № 3. — S. 82–86.
4. Kaprielov, S. S. Obshchie zakonomernosti formirovaniya struktury tsementnogo kamnya s dobavkoi ul'tradispersnykh materialov / S. S. Kaprielov // Beton i zhelezobeton. — 2021. — № 5. — S. 15–22.
5. Kastornykh, L. I. Dobavki v betony i stroitel'nye rastvory : uchebno-spravochnoe posobie / L. I. Kastornykh. — Rostov n/D : Feniks, 2020. — 220 s. — ISBN 978-5-222-33456-7.
6. Komokhov, P. G. Nanotekhnologii v stroitel'nom materialovedenii / P. G. Komokhov, A. P. Proshin // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. — 2022. — № 1 (90). — S. 105–112.
7. Krasnov, A. M. Fibrobetony povyshennoi treshchinostoikosti dlya transportnogo stroitel'stva / A. M. Krasnov // Transportnoe stroitel'stvo. — 2021. — № 2. — S. 28–31.
8. Nesvetaev, G. V. Samouplotnyayushchiesya betony: svoistva, tekhnologiya, primeneniye / G. V. Nesvetaev. — Rostov n/D : RGSU, 2019. — 188 s. — ISBN 978-5-9507-0123-4.
9. Oleinik, P. P. Organizatsiya stroitel'noi ploshchadki : uchebnoe posobie / P. P. Oleinik, V. I. Brodskii. — M. : MGSU, 2020. — 352 s. — ISBN 978-5-7264-2345-6.
10. Rakhimov, R. Z. Kompozitsionnye stroitel'nye materialy na osnove mineral'nykh vyazhushchikh / R. Z. Rakhimov, N. S. Shelikhov. — Kazan' : KGASU, 2021. — 290 s. — ISBN 978-5-7829-0567-8.
11. Rukovodstvo po podboru sostavov tyazhelogo betona / pod red. Yu. M. Bazhenova. — M. : Stroiizdat, 2018. — 148 s.
12. Sokolova, Yu. A. Modifikatsiya tsementnykh sistem uglerodnymi nanotrubkami: vliyanie na strukturu i prochnost' / Yu. A. Sokolova // Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal. — 2023. — № 1 (105). — S. 45–54.
13. Tarasov, A. V. Gidroizolyatsiya podzemnykh sooruzhenii : monografiya / A. V. Tarasov. — M. : Gornaya kniga, 2019. — 312 s. — ISBN 978-5-98672-234-5.
14. Tikhonov, I. N. Konstruktsii iz betona i zhelezobetona, ekspluatiruemye v osobykh usloviyakh / I. N. Tikhonov, A. V. Zabegaev. — M. : Izd-vo ASV, 2020. — 410 s. — ISBN 978-5-4323-0123-4.
15. Kharchenko, A. I. Vliyanie organicheskikh dobavok na usadochnye deformatsii melkozemnykh betonov / A. I. Kharchenko, Yu. M. Bazhenov // Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova. — 2022. — № 4. — S. 112–119.
16. Chernyshov, E. M. Fiziko-khimicheskie osnovy formirovaniya struktury i svoystv stroitel'nykh kompozitov / E. M. Chernyshov. — Voronezh : VGASU, 2021. — 380 s. — ISBN 978-5-89040-876-5.
17. Toutanji, H. A. The use of polypropylene fibers in concrete to control plastic shrinkage cracking / H. A. Toutanji, Y. Gao // Cement and Concrete Composites. — 2020. — Vol. 112. — P. 103652.