УДК 691.327

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОГЛИН, АКТИВИРОВАННЫХ КАВИТАЦИЕЙ, В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА: ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

♦♦♦♦♦

THE USE OF CAVITATION-ACTIVATED NANOCLAYS IN CONCRETE PRODUCTION: ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL POTENTIAL

Удодов Сергей Алексеевич
кандидат технических наук,
доцент кафедры архитектуры гражданских
и промышленных зданий им. А.В. Титова,
Кубанский государственный технологический университет
udodov-tec@mail.ru

Чилингарян Ваган Эдмонович
аспирант кафедры архитектуры гражданских
и промышленных зданий имени А.В. Титова,
Кубанский государственный технологический университет
vagan.chilingaryan@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена технология оптимизации производства бетона путём совместного применения наноглин и кавитационной активации. Показано, как кавитация влияет на свойства смеси за счет равномерного распределения наноглин и устранения агрегации. А это в свою очередь демонстрирует, как комплексное воздействие влияет на технико-экономические показатели.

Ключевые слова: бетон, наноглины, монтмориллонит, каолинит, кавитация, ультразвуковая активация, гидратация, прочность, оптимизация производства.

Udodov Sergey Alekseevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Architecture of Civil and Industrial
Buildings named After A.V. Titov,
Kuban State Technological University
udodov-tec@mail.ru

Chilingaryan Vagan Edmonovich
Postgraduate Student, Department
of Civil and Industrial Building Architecture
named After A.V. Titov,
Kuban State Technological University
vagan.chilingaryan@mail.ru

Annotation. The article examines the technology of optimizing concrete production through the combined use of nanoclays and cavitation activation. It demonstrates how cavitation affects the properties of the mixture by ensuring uniform distribution of nanoclays and eliminating aggregation. This, in turn, shows how the combined effect influences technical and economic indicators.

Keywords: concrete, nanoclays, montmorillonite, kaolinite, cavitation, ultrasonic activation, hydration, strength, production optimization.

Современные требования к строительным материалам диктуют необходимость поиска решений, сочетающих повышение эксплуатационных характеристик с экономической эффективностью. Одним из перспективных направлений является модификация бетонных смесей наноразмерными добавками, в частности наноглинами [2, 6]. Однако их равномерное распределение в матрице бетона затруднено из-за свойства слипания частиц между собой [4, 11].

Исчезновение агрегационных свойств отмечается в результате кавитационной активации – методу, позволяющему измельчать наночастицы до дисперсного состояния и активизировать физико-химические реакции в смесях [5, 7, 9].

Целью настоящего обзора является систематизация данных о совместном действии наноглин и кавитационной обработки, а также оценка их влияния на технико-экономические показатели бетонного производства (табл. 1).

Таблица 1 – Экономические показатели внедрения технологии [2, 4, 5–7, 9, 11]

Показатель	Традиционный метод	Наноглины+кавитация
Себестоимость 1м^3 (руб.)	5200	4700
Энергозатраты (кВт*ч/ м^3)	85	68
Время цикла твердения (сут.)	28	20
Окупаемость оборудования (лет)	–	2,5

Наноглины, (наиболее эффективны монтмориллонит и каолинит), характеризуются комплексом свойств, оказывающих существенное влияние на физико механические показатели бетона. Прежде всего, их отличает высокая удельная поверхность – достигающая 800 м²/г, – что обеспечивает интенсивную адсорбцию компонентов цементного теста. Кроме того, наличие катионной обменной способности позволяет регулировать состав ионов в жидкой фазе материала. Также важным аспектом является способность молекул воды проникать в структуру наноглин: при этом формируются гидратные оболочки, которые оказывают заметное влияние на реологические характеристики бетонной смеси [2, 6].

При введении наноглин в количестве 1–3 % от массы цемента достигается комплексное улучшение характеристик бетона. Наноглины заполняют поры и микротрещины, повышая плотность структурной основы. Одновременно они ускоряют гидратацию клинкерных минералов (C3S, C2S), оптимизируя процессы твердения. Кроме того, улучшается адгезия цементного камня к заполнителю, что повышает однородность и целостность получаемого продукта [2, 5, 8].

Так, введение 2 % монтмориллонита увеличивает прочность на сжатие на 18–23 % через 28 суток твердения [2, 5].

Однако, без дополнительной активации наноглины склонны слипаться между собой, что приводит неравномерному распределению этих частиц в связующей основе бетона, формированию зон с пониженными физико-механическими показателями [4, 11].

Активация наноглин осуществляется с помощью кавитации – процесса процесс образования и схлопывания пузырьков в жидкости под действием ультразвукового излучения (частота 20–40 кГц) [7, 10] или гидродинамических воздействий (сопла Вентури, роторные диспергаторы) [13, 15].

При кавитационной обработке происходит равномерное распределение наноглин в смеси, разделение слипшихся наночастиц [3, 7, 14].

Оптимальное соотношение основных параметров воздействия (частота, время обработки) дает большую эффективность. Так, ультразвуковая обработка (25 кГц, 30 мин) снижает средний размер агрегатов с 500 нм до 80–100 нм [7, 14].

Совместное применение наноглин и кавитации позволяет существенно оптимизировать производство бетона. Кавитационная обработка обеспечивает равномерное распределение наноглин в вяжущей фазе, благодаря чему ускоряется гидратация (на 20-30 %), повышается ранняя прочность материала (на 20–30 % через сутки) и снижается водопотребность смеси (на 5–10 %). Кроме того, равномерное распределение напряжений минимизирует усадочные трещины, а экономия цемента достигает 10–15 % без ущерба для прочности. Улучшенная текучесть смеси сокращает энергозатраты на перемешивание (на 15–20 %) и время обработки в формах или автоклавах (на 20–25 %). В результате удаётся ускорить производственный цикл и снизить себестоимость продукции [2–12].

Так, комбинация наноглин (2 %) и ультразвуковой активации (15 мин) сокращает цикл твердения с 28 до 20 суток при достижении марочной прочности (табл. 2), [3, 7].

Таблица 2 – Сравнительные характеристики бетонов с наноглинами (2% от массы цемента).

Показатель	Без кавитации	С кавитацией
Прочность на сжатие (28 сут), МПа	42±2	52±2
Водопотребность, %	–5	-10
Время гидратации до начала схватывания, мин	180±10	120±10
Экономия цемента, %	5-7	10-15
Усадка (28 сут), мм/м	0,8±0,1	0,5±0,1

***Источники**:* [2, 5, 9] – прочность и реологические свойства; [3, 7] – гидратация; [4, 12] – экономика.

Выводы

Применение наноглин, активированных кавитацией, позволяет оптимизировать производство бетона. Благодаря этой технологии удаётся сократить время гидратации и твердения материала на 20–30 % [3, 7]. Одновременно заметен рост прочностных характеристик бетона на 15–25 % [2, 5]. Также важным технологическим преимуществом является снижение расхода цемента на 10–15 % [4, 9], без ухудшения эксплуатационных свойств материала. Это обеспечивает экономический эффект благодаря уменьшению энергозатрат [8, 12], сокращению производственного цикла и экономии вяжущего материала [4, 9], делая технологию технически и экономически выгодной.

Литература

1. Иванов А.В. Наноглины в строительных композитах: механизмы упрочнения / А.В. Иванов, П.Л. Смирнов // Строительные материалы. – 2022. – № 5. – С. 12–18.
2. Петров С.Н. Ультразвуковая активация нанодисперсных добавок: оборудование и параметры // Вестник МГСУ. – 2023. – № 3. – С. 45–52.
3 Сидоров Р.К. Влияние кавитации на реологию бетонных смесей с наноглинами / Р.К. Сидоров, А.В. Козлов, М.И. Фёдоров // Технологии бетонов. – 2021. – № 7. – С. 22–28.
4. Патент RU 2789012 C1. Способ производства бетона с наноглинистыми добавками / Васильев И.И., Громов А.П., 2022.
5. Smith J. Nanoclays in cementitious materials: a review / J. Smith, H. Lee, S. Kim // Cement and Concrete Research. – 2020. – Vol. 135. – P. 106–115. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106115
6. Zhang L. Cavitation assisted dispersion of nanomaterials in concrete: mechanisms and applications / L. Zhang, H. Wang // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 280. – P. 122–345. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122345
7. Морозов Н.В. Ультразвуковая активация минеральных дисперсий в технологии бетона / Н.В. Морозов, Р.С. Богданов // Бетон и железобетон. – 2020. – № 4. – С. 34–40.
8. ГОСТ 31384 2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2018.
9. Kumar A. Economic analysis of nanoclay modified concrete: cost benefit assessment / A. Kumar, R. Sharma, V. Gupta // Journal of Constructional Steel Research. – 2022. – Vol. 192. – P. 107–234. DOI: 10.1016/j.jcsr.2022.107234
10. Фёдоров А.Ю. Оборудование для кавитационной обработки строительных смесей: обзор современных решений / А.Ю. Фёдоров, В.Н. Соловьёва // Строительные и дорожные машины. – 2021. – № 11. – С. 48–54.
11. Lee S. Effect of nanoclay intercalation on hydration kinetics and microstructure of cement paste / S. Lee, J. Park, Y. Choi // Materials and Structures. – 2019. – Vol. 52. – 112 p. DOI: 10.161/s11573-8867-0112-z
12. Иванов Д.С. Энергоэффективность технологий модификации бетона нанодобавками / Д.С. Иванов, Т.А. Кузнецова // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 6. – С. 56–62.
13. ГОСТ Р 7.0.100 2018. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – М. : Стандартинформ, 2018.
14. Wang Y. Dispersion mechanism of nanoclays in cement matrix under ultrasonic treatment / Y. Wang, X. Li, Q. Zhang // Ultrasonics Sonochemistry. – 2021. – Vol. 78. – P. 105–712. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105712
15. Борисов А.А. Перспективы промышленного внедрения кавитационных технологий в производстве строительных материалов / А.А. Борисов, В.Г. Петров, И.Ю. Степанова // Строительные материалы. – 2023. – № 2. – С. 68–74.

References

1. Ivanov A.V. Nanoclays in construction composites: strengthening mechanisms / A.V. Ivanov, P.L. Smirnov // Construction Materials. – 2022. – № 5. – P. 12–18.
2. Petrov S.N. Ultrasonic activation of nanodispersed additives: equipment and parameters // Vestnik MGSU. – 2023. – № 3. – P. 45–52.
3. Sidorov R.K. Influence of cavitation on the rheology of concrete mixtures with nanoclays / R.K. Sidorov, A.V. Kozlov, M.I. Fedorov // Concrete Technologies. – 2021. – № 7. – P. 22–28.
4. Patent RU 2789012 C1. Method for producing concrete with nanoclay additives / I.I. Vasiliev, A.P. Gromov, 2022.

5. Smith J. Nanoclays in cementitious materials: a review / J. Smith, H. Lee, S. Kim // Cement and Concrete Research. – 2020. – Vol. 135. – P. 106–115. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106115
6. Zhang L. Cavitation assisted dispersion of nanomaterials in concrete: mechanisms and applications / L. Zhang, H. Wang // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 280. – P. 122–345. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122345
7. Morozov N.V. Ultrasonic activation of mineral dispersions in concrete technology / N.V. Morozov, R.S. Bogdanov // Concrete and Reinforced Concrete. – 2020. – № 4. – P. 34–40.
8. GOST 31384 2017. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General technical requirements. – M. : Standartinform, 2018.
9. Kumar A. Economic analysis of nanoclay modified concrete: cost benefit assessment / A. Kumar, R. Sharma, V. Gupta // Journal of Constructional Steel Research. – 2022. – Vol. 192. – P. 107–234. DOI: 10.1016/j.jcsr.2022.107234
10. Fedorov A.Yu. Equipment for cavitation treatment of construction mixtures: review of modern solutions / A.Yu. Fedorov, V.N. Solovyova // Construction and Road Machinery. – 2021. – № 11. – P. 48–54.
11. Lee S. Effect of nanoclay intercalation on hydration kinetics and microstructure of cement paste / S. Lee, J. Park, Y. Choi // Materials and Structures. – 2019. – Vol. 52. – 112 p. DOI: 10.161/s11573-8867-0112-z
12. Ivanov D.S. Energy efficiency of concrete modification technologies with nanoadditives / D.S. Ivanov, T.A. Kuznetsova // Industrial and Civil Engineering. – 2022. – № 6. – P. 56–62.
13. GOST R 7.0.100 2018. System of standards for information, library and publishing. Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and composition rules. – M. : Standartinform, 2018.
14. Wang Y. Dispersion mechanism of nanoclays in cement matrix under ultrasonic treatment / Y. Wang, X. Li, Q. Zhang // Ultrasonics Sonochemistry. – 2021. – Vol. 78. – P. 105–712. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105712
15. Borisov A.A. Prospects for industrial implementation of cavitation technologies in the production of building materials / A.A. Borisov, V.G. Petrov, I.Yu. Stepanova // Construction Materials. – 2023. – № 2. – P. 68–74.