

УДК 699.82

DOI: 10.46548/21vek-2020-0950-0003

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ РАСТВОРОВ,
ДЛЯ НАДЕЖНОГО УКРЕПЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ**

© 2020

Панфилова Марина Ивановна, кандидат химических наук, доцент кафедры ФиСА
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: 012340@mail.ru)

Зубрев Николай Иванович, кандидат технических наук,
профессор кафедры «Высшая математика и естественные науки»
Российский университет транспорта (МИИТ)
(125190, Россия, г. Москва, улица Часовая, 22/2, e-mail: nzubrev@mail.ru)

Новоселова Ольга Викторовна, кандидат физико-математических наук,
старший преподаватель кафедры ФиСА
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: olganovoselova51@rambler.ru)

Ефремова Сания Юнусовна, доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»
Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: s_sharkova@mail.ru)

Шмуневская Анна Олеговна, студент
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: annashmunevskaya@gmail.com)

Аннотация. Рассмотрена возможность выбора бентонитовой глины за счет вовлечения 3D-НКМ — нанокристаллического модификатора в композитный раствор на этапе процесса отверждения. Наиболее информативные показатели, по которым можно ранжировать бентониты для использования их в композитных растворах являются реологические свойства. Среди модифицированных бентонитов высокие реологические показатели имеют бентониты марок П2Т2А и П1Т1. Исследовано структурообразование в композитных растворах с различным содержанием 3D-НКМ – модификатором во времени. Проанализировано изменение прочности до времени отверждения растворов, то есть до перехода его в твердое состояние путем измерения прочности композитного раствора на основе бентонита марки П1Т1 и марки П2Т2А при водоцементном соотношении 2:1 в присутствии 5% жидкого стекла. Установлено, что при введении модификатора в композитный раствор структурообразование системы увеличивается. Выявлено, что наибольшая скорость структурообразования достигается при использовании композитного раствора на основе бентонита марки П2Т2А с оптимальной добавкой 3D-НКМ нанокристаллического модификатора 0,208%, к массе цемента.

Ключевые слова: 3D-НКМ — нанокристаллический модификатор, композитные растворы, время отверждения, алюмосодержащие добавки, бентонит, структурообразование.

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF COMPOSITE SOLUTIONS FOR
RELIABLE STRENGTHENING OF FOUNDATIONS**

©2020

Panfilova Marina Ivanovna, candidate of chemical Sciences, associate Professor of the Department of FISA
Research Moscow state University of civil engineering national
(26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia, e-mail: 012340@mail.ru)

Zubrev Nikolay Ivanovich, candidate of technical Sciences,
Professor of the Department of Higher mathematics and natural Sciences »
Russian University of transport (MIIT)
(22/2 chasovaya street, Moscow, 125190, Russia, e-mail: nzubrev@mail.ru)

Novoselova Olga Viktorovna, candidate of physical and mathematical Sciences,
senior lecturer of the FISA Department
Research Moscow state University of civil engineering national
(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: olganovoselova51@rambler.ru)

Sania Yunusovna Efremova, doctor of biological Sciences, Professor,
Professor of the Department of Biotechnology and technosphere security»
Penza state University of technology
(440039, Russia, Penza, baidukova passage/Gagarin street, 1A / 11, e-mail: s_sharkova@mail.ru)

Smolewska Anna Olegovna, student
Research Moscow state University of civil engineering national
(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: annashmunevskaya@gmail.com)

Abstract. The possibility of selecting bentonite clay due to the involvement of a 3d-hkm — nanocrystalline modifier in the composite solution at the stage of the curing process is considered. the most informative indicators that can be used to rank bentonites for use in composite solutions are rheological properties. among modified bentonites, p2t2a and p1t1 bentonites have high rheological parameters. structure formation in composite solutions with different contents of 3d-hkm modifier over time was studied. the change in strength before the curing time of solutions, that is, before its transition to a solid state, was analyzed by measuring the strength of a composite solution based on p1t1 and p2t2a bentonite at a water-cement ratio of 2:1 in the presence of 5% liquid glass. it was found that when a modifier is introduced into a composite solution, the structure formation of the system increases. it was found that the highest rate of structure formation is achieved when using a composite solution based on p2t2a bentonite with the optimal addition of a 3d-hkm nanocrystalline modifier of 0.208% to the mass of cement.

Keywords: 3d-hkm-nanocrystalline modifier, composite solutions, curing time, aluminum-containing additives, bentonite, structure formation.

Введение. Устойчивость и безопасная эксплуатация гражданских сооружений обеспечивается наличием надежных и прочных фундаментов. При длительной эксплуатации постепенно происходит их ослабление и создается опасность их частичного нарушения, которое может привести, в конечном счете, к катастрофическим последствиям. Для укрепления таких фундаментов их пропитывают различными укрепляющими составами, в которые в последнее время в качестве добавок вводят различные модифицирующие добавки, введение которых позволяет получить предельную упаковку и уплотнение системы, за счет изменения физико-химических процессов у поверхности раздела фаз [4].

Примером эффективного применения для получения цементных материалов повышенной прочности являются модификация углеродных трубок, представляющих собой смесь нанотрубок и нановолокна [5–7].

Современные направления в строительстве связывают также, с алумосодержащими нанодобавками к которым относится 3D-НКМ – нанокристаллический модификатор (3D-НКМ) с общей формулой оксигидроксид алюминия $AlOOH$, представляющий собой орторомбическую кристаллическую структуру с элементарными ячейками: $a=2.87$, $b=12.23$, $c=3.70$ Å [8–12] (рис. 1).

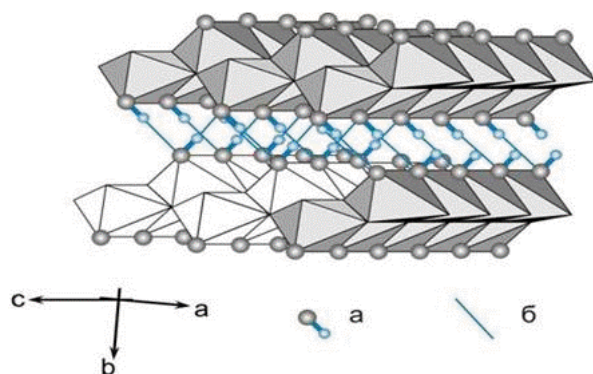


Рисунок 1 - Структура 3D-НКМ — нанокристаллического модификатора: а-ОН; б-водородная связь

В модификаторе ионы алюминия окружены шестью ионами кислорода, расположенными по вершинам неправильных октаэдров а размер агрегатов частиц находится в интервале 1-3 мкм (рис. 1), поэтому добавление такого модификатора способствует об-

разованию прочного цементного камня. Смеси используемые для крепления фундаментов, кроме цемента содержат бентониты, придающие системе устойчивость к расслоению, пластичность и способность легко проникать в трещины основания фундаментов [14–16].

На основании проведенных исследований путем сравнения их физико-химических и механических показателей большого числа различных марок бентонитов было обнаружено, что наилучшими показателями обладают бентониты марок П2Т₂А и П1Т1. При практически одинаковых технических показателях они отличаются только различным содержанием основного минерала монтмориллонита, определяющего основные свойства бентонитовой глины, такие как пластичность и водоудерживающую способность. На основании минералогического анализа было установлено, что для П2Т₂А, содержание монтмориллонита составило 75-80%, в то время как у П1Т1 - 90-92% [17].

Целью данной работы являлось исследование процесса отверждения композитного раствора на основе бентонита марок П1Т1 и П2Т₂А модифицированные 3D-НКМ.

Материалы и результаты исследования. Основными компонентами композитного раствора являются цемент и бентонит. В исследованиях использовали цемент марки 500. Увеличение прочности инъекционных растворов возможно за счет сродства состава 3D-НКМ модификатора, цемента и бентонита, в состав которых входят частицы алюминия и кремния.

Исследовали структурообразование в композитных растворах с различным содержанием 3D-НКМ во времени. Исследования по изменению прочности проводили для времени отверждения растворов, то есть до перехода их в твердое состояние, путем измерения прочности композитного раствора на основе бентонита марки П1Т1 и марки П2Т₂А при водоцементном соотношении 2:1 в присутствии 5% жидкого стекла. Прочность затвердевшего композитного раствора определяли на приборе Ребиндера с конусом. Содержание модификатора изменяли в пределах от 0,133% до 1% к массе цемента.

В полученных растворах определяли прочность при его структурообразовании до полной потери текучести (рис.2, 3).

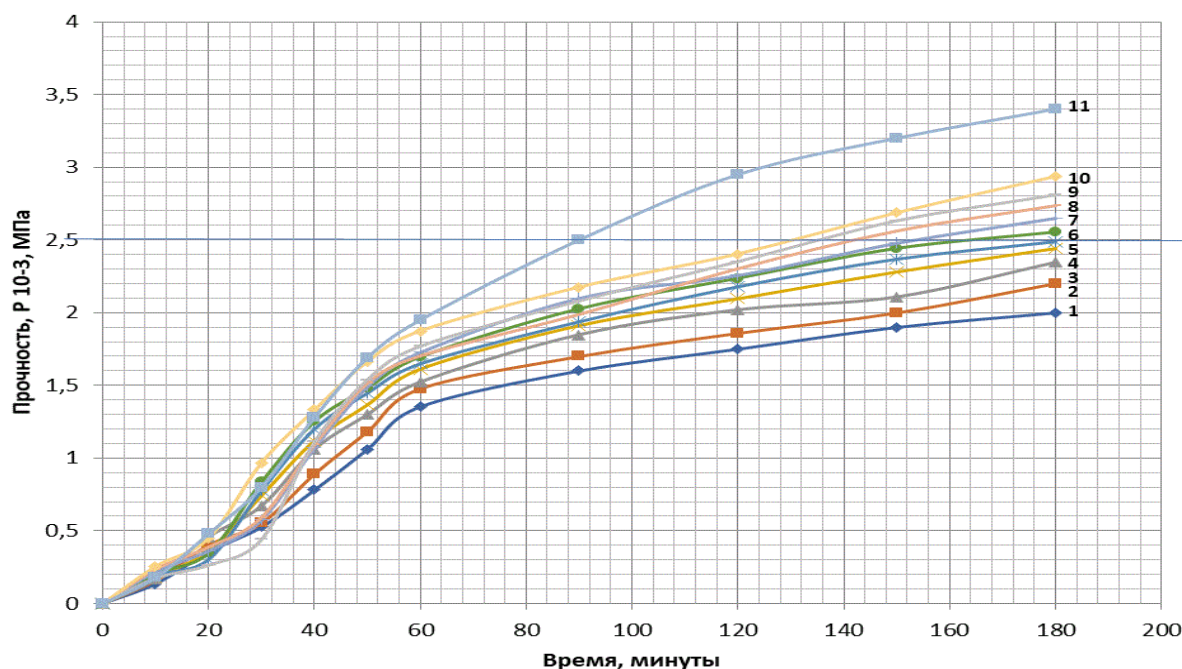


Рисунок 2 – Структурообразование смеси с бентонитом ППТ1 при содержании модификатора, в % к весу цемента: 1 – 0,000; 2-0,041; 3-0,100; 4-0,133; 5-0,700; 6-1,000; 7-0,700; 8-0,208; 9-0,249; 10-0,352; 11-0,306.

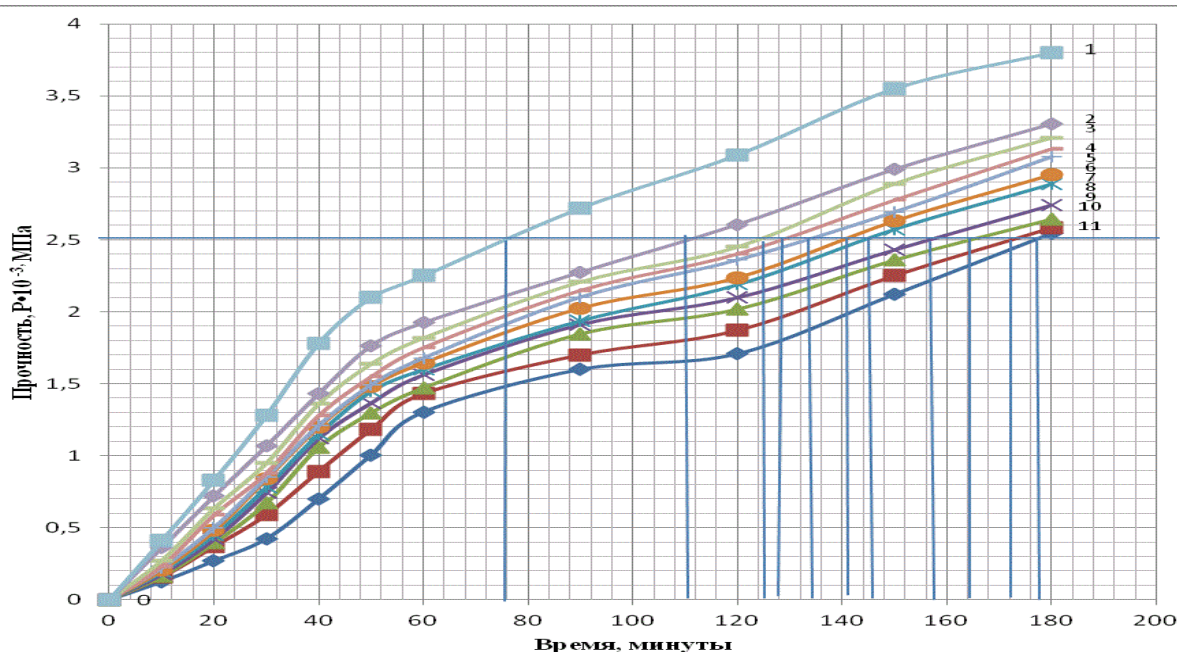


Рисунок 3 – Структурообразование смеси с бентонитом П2Т2А при содержании модификатора, в % к весу цемента: 1 – 0,208; 2-1,000; 3-0,700; 4-0,600; 5-0,352; 6-0,306; 7-0,249; 8-0,133; 9-0,100; 10-0,041; 11-0,000%

При введении наномодификатора в композитные системы скорость структурообразования смеси увеличивается для всех концентраций. Однако возрастание ее происходит нелинейно и при определенных концентрациях она увеличивается на 305, а затем происходит ее замедление. Для композитных растворов важным показателем является время потери текучести или так называемое время схватывания.

Обычно, для доставки инъекционного раствора

к месту закрепления необходимо сохранение подвижности раствора в зависимости от геолого-гидрологических условий и может изменяться от 40 мин до 3 часов.

Для определения времени отверждения смеси проводили прямую параллельно оси абсцисс, по местам пересечения со значением $2,5 \cdot 10^{-3}$ МПа, при которой происходит потеря текучести определяли продолжительность схватывания. На рисунках 4

и 5 приведены зависимость времени схватывания композитных растворов от содержания модификатора. Из графика видно, что наименьшим временем отверждения обладает смесь, содержащая 0,306% 3D-НКМ к массе цемента - 98 минут.

На рисунке 5 показана начальная стадия струк-

турообразования композитного раствора на основе бентонита марки П2Т₂А при различном содержании 3D-НКМ. Время достижения потери текучести раствора при добавлении 3D-НКМ уменьшается в 2,3 раза или на 130% меньше по сравнению с контрольным образцом.

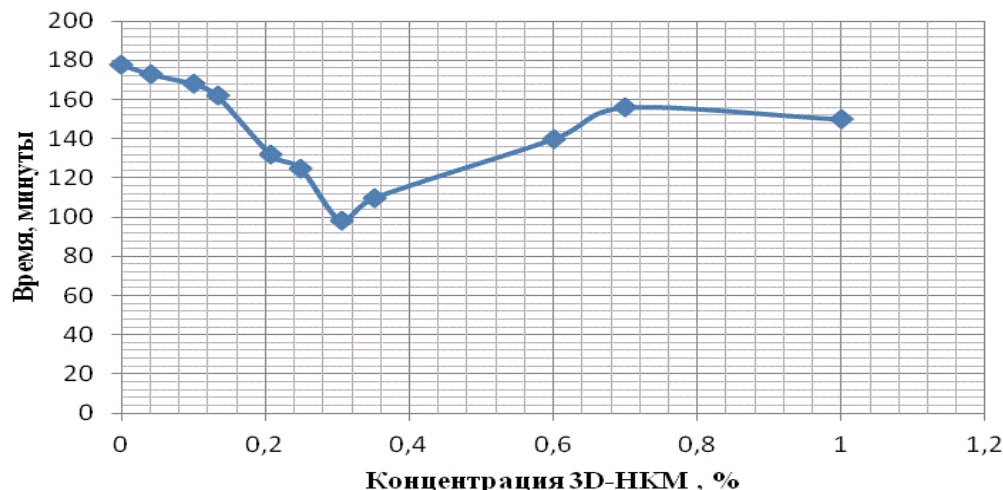


Рисунок 4 – Зависимость времени отверждения от содержания 3D-НКМ в смеси на основе бентонита марки П1Т1

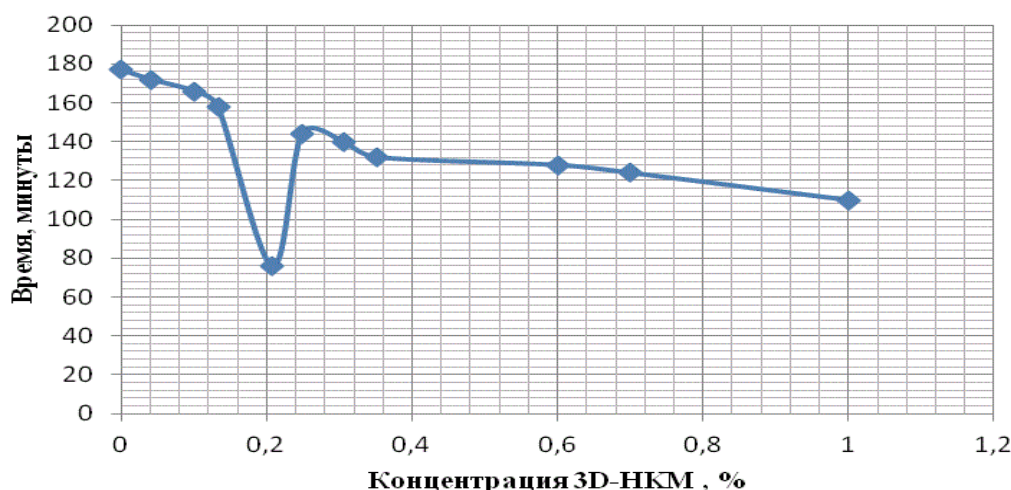


Рисунок 5 - Зависимость времени отверждения от содержания модификатора в смеси на основе бентонита марки П2Т₂А

Наибольшее снижение времени отверждения было отмечено при введении 0,306% добавки модификатора в присутствии П1Т1 и соответствует примерно 98 минут (рис.4). Однако при использовании бентонита П2Т₂А продолжительность схватывания раствора снижается при введении меньшей дозы модификатора. Так при введении 0,208% модификатора 3D-НКМ к массе цемента, время отверждения композитного раствора уменьшается до 76 минут (рис.5) для П2Т₂А.

Из графиков (рис.4,5) установлено, что наибольшая скорость структурообразования достигается при использовании композитного раствора на основе бентонита марки и П2Т₂А с оптимальной добавкой модификатора 0,208%, к массе цемента.

Заключение. Таким образом, установлено, что на

основании проведенных исследований и физико-химических характеристик дальнейшие исследования композитных растворов на основе 3D-НКМ целесообразно проводить с бентонитом марки П2Т₂А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Должиков П.Н., Страдниченко С.Г., Шубин А.А. Технические решения по тампонажу и закладка подземных пустот // Горный информационно-аналитический бюллетень МГТУ. 2005. - №11. - С.130-133.
2. Панфилова М.И., Зубрев Н.И., Устинова М.В., Леонова Д.А., Медведев В.В., Гульшин И.А. Перспективные направления развития композитов с добавками серы // Научное обозрение. - 2015, №14, С. 172-175.
3. Panfilova M., Zubrev N., Novoselova O., Efremova S. Composite grouting mortar based on 3D-NKM - Nanocrystalline

inoculant // MATEC Web of Conferences. - Volume 196. - 2018 г.

4. Орешкин Д.В. Модификация тампонажных материалов с полыми стеклянными сферами нанотехнологическими методами // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2007. - № 12. - С. 43 - 47.

5. P.M. Ajayan. Nanotubes from carbon. [Углеродные нанотрубки]. Chem. Rev. 1999, 99:1787-99.

6. J-P. Salvetat, J-M. Bonard, N.H. Thomson, A.J. Kulik, L. Forro, W. Benoit, et al. Mechanical properties of carbon nanotubes [Механические свойства углеродных нанотрубок]. Appl. Phys. Mater Sci. Process 1999, 69:255-60.

7. D. Srivastava, C. Wei, K. Cho. Nanomechanics of carbon nanotubes and composites. [Наномеханика углеродных нанотрубок и композитов]. Appl. Mech. Rev. 2003, 56:215-30.

8. Бричка С.Я. Природные алюмосиликатные нанотрубки: структура и свойства / С.Я. Бричка // Наноструктурное материаловедение. - 2009. - № 2. - С. 40 - 53.

9. Л.Ю. Котел, А.В. Бричка, А.Л. Петрановская, С.Я. Бричка. Рентгенографический анализ галлозитных нанотрубок, модифицированных оксидом церия (IV) / II Всеукраинская конференция молодых ученых «Современное материаловедение: материалы и технологии», Киев, Украина, 2001. - С. 125.

10. Бухало, А. Б. Теплоизоляционный неавтоклавный пеногазобетон с нанодисперсными модификаторами: Авто-реф. дис. ... канд. техн. наук - Белгород, 2010. - 27с.

11. А.В. Берш, Ю.Л. Иванов, Ю.А. Мазалов, С.И. Корманова, А.В. Лисицын. Патент на изобретение «Способ получения бемита и водорода» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. (Заявка 2007146570/15, 18.12.2007 // Описание изобретения к патенту. Опубликовано 11.08.2009.

12. Назаров В. В., Валесян Е. К., Медведкова Н. Г. Влияние условий синтеза на некоторые свойства гидрозолей бемита // Коллоидный журнал. -1998. -Т.60. - №3. - С. 395 - 400.

13. Голикова Е.В., Иогансон О.М., Федорова Т.Г. и др. Электроповерхностные свойства и агрегативная устойчивость водных дисперсий а-А120з, у- А1203 и у- А120(ОН) // Поверхность. 1995. - №9. - С.78 - 79.

14. Kojima Y., Usuki A., Kawasumi M., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O. Synthesis of nylon 6-clay hybrid by montmorillonite intercalated with ϵ -caprolactam // J. Polym. Sci., Part A, 1993, V.31. - P. 983-986.

15. Kojima Y., Usuki A., Kawasumi M., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O. One-pot synthesis of nylon 6-clay hybrid // J. Polym. Sci., Part A, 1993, V.31. - P. 1755-1758.

16. Yano K., Usuki A., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O. Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid // J. Polym. Sci., Part A, 1993, V.31. - P. 2493-2498.

17. Устинова М.В., Зубрев Н.И. Композитные системы с добавлением золы (монография) М.: ИНФРА-М, 2018. - 71с.

Статья поступила в редакцию 20.04.2020

Статья принята к публикации 10.06.2020