

*Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 165-173.
ISSN 1998-8443 (print)*

*Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 2 (142). P. 165-173.
ISSN 1998-8443 (print)*

Научная статья

УДК 665.63

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-2-165-173

EDN: ERPIMO

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДОВ ПРИМЕНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА

Альберт Айратович Залятдинов¹, Рауза Хатиповна Садреева²,
Рузана Фауизовна Закирова³

^{1, 2, 3}Альметьевский государственный нефтяной институт, Альметьевск, Россия

¹zalyatdinovaa@agni-rt.ru

²roza.hatipovna@yandex.ru

³r.zakirova@agni-rt.ru

Автор, ответственный за переписку: Рузана Фауизовна Закирова, r.zakirova@agni-rt.ru

Аннотация. Как известно, бетон занимает второе место после воды в общих ежегодных объемах по потреблению. В настоящее время не существует строительного материала, который мог бы заменить бетон. Он является основным конструкционным строительным материалом. Обязательным сырьевым материалом при производстве бетона является портландцемент. К сожалению, при производстве портландцемента выбрасывается двуокись углерода, что составляет до 8 % от мировых выбросов данного газа, и представляет собой реальную угрозу для экологии.

Всемирный деловой совет по развитию прогнозирует увеличение производства

цемента на 12-23 % к 2050 г. Это говорит о том, что надо искать методы производства портландцемента с наименьшими выбросами диоксида углерода и методы его утилизации и применения.

Цели исследований - изучение факторов, способствующих выбросам CO₂ при производстве портландцемента; анализ основных способов утилизации диоксида углерода.

Для решения поставленной задачи были исследованы популярные методы и оборудование для производства бетона с использованием диоксида, а также приборы для определения прочности бетона на сжатие и растяжение.

Ключевые слова: бетон из углекислого газа, строительные материалы, применение углекислого газа, карбонизация бетонных смесей

Для цитирования: Залятдинов А. А., Садреева Р. Х., Закирова Р. Ф. Исследование альтернативных методов применения диоксида углерода при производстве бетона // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 165-173. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-165-173>.

Original article

STUDY OF ALTERNATIVE METHODS FOR CARBON DIOXIDE APPLICATION IN CONCRETE PRODUCTION

Albert A. Zalyatdinov¹, Rauza K. Sadreeva², Ruzana F. Zakirova³

^{1, 2, 3}Almetyevsk State Oil Institute, Almetyevsk, Russia

¹zalyatdinovaa@agni-rt.ru

²roza.hatipovna@yandex.ru

³r.zakirova@agni-rt.ru

Corresponding author: **Ruzana F. Zakirova**, r.zakirova@agni-rt.ru

Abstract. It is known, concrete ranks second after water in the total annual volume of consumption. Currently, there is no construction material that could replace concrete. It is the main structural building material. The required raw material for concrete production is Portland cement. Unfortunately, the Portland cement production emits carbon dioxide, which accounts for up to 8 % of global emissions of this gas, and is a real threat to the environment.

The World Business Development Council predicts an increase in cement production by 12-23 % by 2050. This suggests that it is nec-

essary to look for methods for Portland cement production with the lowest carbon dioxide emission and methods for its recovery and use.

The purposes of the research are to study the factors contributing to CO₂ emission in Portland cement production; analysis of the main ways of carbon dioxide recovery.

To solve the problem, popular methods and equipment for concrete production of using dioxide, as well as devices for determining the compressive and tensile strength of concrete, have been investigated.

Keywords: carbon dioxide concrete, building materials, carbon dioxide application, carbonization of concrete mixtures

For citation: Zalyatdinov A. A., Sadreeva R. Kh., Zakirova R. F. Issledovanie al'ternativnykh metodov primeneniya dioksida ugleroda pri proizvodstve betona [Study of Alternative Methods for Carbon Dioxide Application in Concrete Production]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 2 (142), pp. 165-173. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-165-173>.

Цементная отрасль наряду с металлургией, электроэнергетикой, химией и машиностроением определяет экономический потенциал и уровень промышленного развития страны [1, 2].

Роль цемента в современном строительстве очень велика, его ничем невозможно равноценно заменить.

Цемент и изготавливаемые из него бетон и железобетон являются в настоящее время основными строительными материалами, которые используются в самых разнообразных областях строительства [3, 4].

Цемент в качестве вяжущего материала является одним из основных компонентов для большинства сухих строительных смесей. При этом цемент остается относительно простым, универсальным и дешевым веществом, для изготовления которого требуются широко распространенные материалы — известняк, мергель, глины, мел, гипс [5-7].

Производство цемента связано с многостадийной механической и высокотемпературной переработкой сырья, характеризуется высоким энергопотреблением и существенными выбросами в окружающую среду: на него приходится около 5 % энергии, потребляемой в мировой промышленности, а по выбросам CO_2 — основного парникового газа — цементное производство является одним из значительных источников выбросов парниковых газов наряду с тепловыми электростанциями [8].

На отечественных цементных предприятиях используется в основном мокрый способ подготовки сырьевой смеси, состоящей из твердой карбонатной (известняк) и мягкой глинистой (глина) компонент.

Мокрый способ, с одной стороны, позволяет облегчать измельчение материалов и улучшить их перемешивание, с другой стороны, увеличивает удельный расход тепла до 5,8-6,7 МДж/кг, что на 30-40 % выше по сравнению с сухим способом (в основном за счет тепла, расходуемого на испарение воды). Широкое распространение мокрого способа в России обусловлено и высокой влажностью исходных материалов, требующей его предварительной сушки.

Инвентаризация выбросов парниковых газов при производстве цемента включает расчет выбросов диоксида углерода, закиси азота и метана, источниками которых являются как основное производство, так и используемый на предприятии транспорт. Образование диоксида углерода при производстве цемента происходит в процессе декарбонизации известняка — разложения при нагреве карбоната кальция (CaCO_3), из которого в основном состоит известняк, и сжигания топлива, используемого для сушки и обжига.

Объем выбросов CO_2 в процессе декарбонизации, как правило, соответствует содержанию оксида кальция в клинкере (или карбоната кальция в исходном сырье) и имеет относительно постоянное значение (0,5 т

CO₂ на 1 т клинкера). Кроме этого, сырье, используемое для производства клинкера, может содержать небольшое количество органического углерода, который также в результате обжига сырьевой смеси превращается в CO₂. Количество CO₂, образующегося в результате сжигания топлива, зависит от его вида (уголь, мазут или природный газ) и качества [9].

Вклад в эмиссию парниковых газов различных источников и процессов:

- автотранспорт;
- процесс сжигания природного газа;
- процесс декарбонизации.

Наиболее радикальным способом снижения потребления топлива является переход на сухой способ производства цемента, при котором эффективность использования тепла (доля тепла, требуемого для протекания химических реакций) составляет порядка 45 %, что существенно выше, чем при мокром способе (30 %). Почти половина (41 %) тепловой энергии при мокром способе производства цемента идет на выпаривание воды. Перспектива перевода технологии производства цемента на сухой способ имеет ряд проблем, связанных в основном с большими финансовыми, материальными и временными затратами. Так, по предварительным расчетам затраты на модернизацию всей технологической цепочки составляют около 180 млн долларов. Учитывая высокую естественную влажность исходного сырья, возможен переход на комбинированный способ производства, при котором более половины содержащейся в шламе воды удаляется механическим отжимом, что позволяет снизить затраты на удаление воды в 10 раз, а объем инвестиций, по сравнению со строительством сухой линии, – в 5-8 раз.

Глобальное потепление – серьезная проблема, и множество ученых бьются над способами остановки или, по крайней мере, замедления этого разрушительного процесса. Углекислый газ играет серьезную роль в этом процессе. Использование диоксида углерода во благо человеку было бы замечательным способом борьбы с парниковым эффектом.

Образование углекислого газа происходит по двум причинам: сырье (в число которого входит известняк) нагревают, чтобы удалить из него химически связанный CO₂; при сжигании топлива для работы печи для обжига цемента происходит выброс большого количества углекислого газа. В этой связи необходимо изучать технологию производства строительных материалов и стремиться к сокращению объемов вредных выбросов.

При производстве портландцемента следующие факторы могут уменьшить выбросы CO₂:

1. Повышение термической и электрической эффективности работы обжиговой печи;
2. Использование альтернативных источников топлива;
3. Уменьшение доли клинкера в составе цементов;
4. Улавливание и хранение CO₂ в процессе производства портландцемента.

Повышение термической и электрической эффективности заключается во внедрении самых современных технологий на новых цементных заводах и в модернизации оборудования. Использование альтернативных источников топлива повлечёт за собой постепенную замену традиционных видов топлива. Смешанное топливо может снизить выбросы диоксида углерода на 20-25 % по сравнению с чистым углем. Клинкер – это основной компонент – полуфабрикат при производстве большинства разновидностей цемента. Минеральные компоненты, такие как молотый гранулированный доменный шлак, зола-унос и природные вулканические материалы, можно вводить в состав цемента, уменьшая долю клинкера в общем объеме.

Использование диоксида углерода в производстве бетона

Улавливание и хранение CO₂ – это новая и перспективная технология, пока ещё не внедренная в промышленном масштабе в производстве цемента, но имеющая большой потенциал. Углекислый газ улавливается сра-

зу после его выброса, сжимается в жидкость и затем транспортируется по трубопроводу в подземное хранилище прямо на месте производства цемента [10, 11]. Ограничением к реализации этих процессов может стать то, что физические и химические свойства альтернативных источников топлива значительно отличаются от традиционных. Многие из них обладают, например, низкой теплотой сгорания, высокой влажностью и т.д. Международное агентство по энергетике оценивает, что дополнительные расходы на реализацию программы, которые необходимы для снижения выбросов CO_2 к 2050 году, составят 840 млрд долларов. В заключение необходимо отметить, что все предложенные способы снижения выбросов углекислого газа целесообразнее внедрять в комплексе, т. к. использование указанных способов по отдельности не столь эффективно с точки зрения снижения выбросов.

Канадская компания CarbonCure Technologies разработала инновационную технологию, позволяющую выпускать бетон из диоксида углерода. За счет связывания углекислого газа применение данной технологии делает возможным снизить вредные выбросы и в то же время производить новейшие и более качественные строительные материалы. При производстве бетона по стандартной технологии происходит нагрев цемента в специально оборудованных печах. Это приводит к тому, что происходит выделение углекислого газа. Однако новая технология CarbonCure выделяется тем, что в ее основе лежит обратная реакция восстановления: используется CO_2 , полученный из цементных и других заводов. Путем модернизации существующих заводов по производству бетона, таких как Brampton Brick (Брамптон, Канада) с технологией CarbonCureTM, газобразный диоксид углерода вводится контролируемые дозы в смеситель, снабжающий камнеформовочную машину. В данном случае смеситель выступает в роли реакционного сосуда, в котором обеспечиваются интеграция CO_2 в традиционный производственный процесс и использование положи-

тельных свойств карбонизации свежего бетона в промышленных масштабах. Что происходит, когда CO_2 впрыскивается в бетон? Когда CO_2 добавляется к бетону во время смешивания, CO_2 реагирует с водой с образованием ионов карбоната. Затем карбонат быстро реагирует с ионами кальция, высвобождаемыми из цемента, что приводит к образованию минералов карбоната кальция (известняка) нанометрового размера. Конверсия CO_2 в твердые минералы карбоната кальция означает, что CO_2 постоянно связывается в бетоне и никогда не высвободится обратно в атмосферу. Испытания образцов цилиндров производились с использованием трех принципов:

- смешанная с углекислым газом бетонная смесь не претерпевала изменений количества воды;
- в ходе второго теста была приготовлена партия смеси, при производстве которой оператор, ориентируясь на визуальные показатели, добавлял дополнительную воду после подачи CO_2 ;
- для итогового испытания была использована улучшающая уплотнение добавка.

Результаты:

- без введения дополнительной воды и улучшающих добавок плотность изготовленных блоков упала на 5 % по сравнению с контрольными образцами, изготовленными по традиционной технологии;
- блок с корректировкой количества воды был на 18-19 % прочнее контрольного стандартного блока;
- замес с добавками позволил получить блоки повышенной прочности (на 49 % прочнее контрольного блока).

Также было установлено, что карбонизация позволила улучшить показатели испытаний на водопоглощение по всем трем замесам: на 11 %, 18 % и 32 % соответственно. Преимущества использования технологии CarbonCureTM: наноразмерные минералы карбоната кальция действуют в качестве места зарождения реакции гидратации, которая дает прочность бетону. Производители

нового вида бетона отмечают среднее повышение прочности примерно на 10-19 % по сравнению с обычной технологией. Улучшение прочности на сжатие также позволяет производителям оптимизировать их смеси, которые обычно включают в себя сниженное количество цемента. В среднем, производители готового смешанного бетона CarbonCure могут уменьшить количество цемента на 5-8 % и сохранить первоначальную прочность на сжатие. При этом использование этой технологии может уменьшить расходы энергии при выпуске разных видов продукции, а также поможет получить специальные поощрения, например, экологичные сертификаты зданий LEED (стандарт LEED: Leadership in Energy and Environmental Design – «Руководство в энергоэффективном и экологическом проектировании»). По мнению экспертов, после проведения модернизации имеющегося оборудования для использования новой технологии компания, производящая строительные материалы, сможет снизить себестоимость выпускаемого бетона, а также увеличить его прочностные характеристики и сделать его более безопасным с экологической точки зрения. Согласно предварительным расчетам, для изготовления 100 тысяч бетонных блоков по данной новой технологии будет использовано такое же количество углекислого газа, сколько смогут усвоить 92 взрослых дерева в течение одного года. На сегодняшний день технология проходит тестирование на американских предприятиях, и, судя по результатам, она оправдывает себя. Ее можно использовать в нескольких производственных сегментах, она эффективна и удобна в использовании, что делает ее очень привлекательной для производителей. Особенно заинтересованы этой разработкой крупные известные предприятия, понимающие важность защиты и заботы об окружающей среде. Словом, инновационная разработка позволяет убить двух зайцев разом – и позаботиться об экологии, и сократить производственные издержки. 29 стран уже совместно работают над сокращением выбросов парниковых газов с целью значительно сократить

выбросы CO₂ к 2050 году: с 57 млрд до 14 млрд т.

Команда междисциплинарных исследователей из Лос-Анджелеса работает над уникальным решением. В их планах - создание замкнутого процесса, включающего захват углерода на трубах электростанций и его использование при создании нового строительного материала - углекислбетона CO₂NCRE-TE (англ. «concrete» - бетон) - с использованием технологий 3D-печати [12, 13].

Оригинальную технологию предложили инженеры из Solidia Technologies - использование CO₂ при производстве материалов с новыми свойствами, например, быстротсхватывающихся бетонов. Этот метод позволяет использовать те же производственные линии, что и при приготовлении бетона из портландцемента, а уменьшение выбросов диоксида углерода снижается на 30 %. Различие в технологиях присутствует только в химических процессах высыхания и схватывания. Вода для бетонных растворов предварительно насыщается CO₂, который, выделяясь из воды при экзотермической химической реакции, впитывается в поры образующейся бетонной структуры.

Преимуществом такого бетона является быстрое отверждение: для элемента толщиной 10 мм - до 6 ч, толщиной 250 мм - до 24 ч. Изделия же из обычного бетона на портландцементе обретают полную прочность в течение 28 дней [14].

В новом исследовании ученые из Токийского университета и сотрудники других исследовательских институтов разработали процесс, который снижает воздействие бетона на окружающую среду сразу несколькими способами. Во-первых, новый материал производится из старых бетонных обломков, которые часто выбрасываются. Это не только продлевает срок службы старых материалов, но и позволяет проводить процесс при температуре около 70 °C (158 °F), что гораздо ниже температуры, необходимой для обжига известняка, - более 1000 °C (1832 °F). Другим преимуществом является то, что углекислый газ, с которым он смешивается, может быть

получен как из промышленных выхлопов, так и прямо из воздуха.

В ходе испытаний группа специалистов создавала образцы блоков из одного из двух наиболее распространенных строительных отходов - затвердевшей цементной пасты (ЗЦП) или кремнеземистого песка. Процесс начинается с приготовления раствора бикарбоната кальция, состоящего из известнякового порошка, а также деионизированной воды и углекислого газа. Затем этот раствор заливается в форму, содержащую один из заполнителей: либо порошкообразный НСР, либо кварцевый песок, который затем нагревается до 70 °С. В итоге получается блок для строительства из нового материала, который команда назвала карбонатным кальциевым бетоном.

Но бетон из карбоната кальция все-таки не так прочен, как обычный бетон [14]. Средняя прочность на сжатие блоков составила 8,6 МПа, что гораздо ниже, чем у бетона, изготовленного из портландцемента, 20-40 МПа. Тем не менее, команда говорит, что он может применяться для строительства небольших зданий, и при дальнейшей работе будет усовершенствован.

Сотрудники американского Университета Пердью сумели увеличить способность бетона поглощать углекислый газ из атмосферы. Результаты научной работы были опубликованы в журнале Construction and Building Materials [15].

Ведущий автор исследования Мириан Велай-Лизанкос: *«Мы не можем ждать десятилетия, пока бетон поглотит углекислый газ, образующийся в процессе его производства. Моя команда заставляет сам бетон поглощать углекислый газ быстрее и в больших объемах. Мы не пытаемся изменить способ*

использования бетона; он просто будет делать полезную работу за нас».

Они предложили смешивать диоксид титана с цементным раствором. Диоксид титана уменьшает размер молекул гидроксида кальция, что позволяет увеличить объем поглощаемого углекислого газа. Для проверки свойств нового бетона ученые поместили его образцы в камеру с повышенной концентрацией CO₂ на сутки. Специалисты анализировали изменение массы образцов бетона, а также просканировали структуру пор материала при помощи трехмерного рентгеновского сканирования. Оказалось, что добавление диоксида титана увеличило абсорбцию бетона почти в два раза.

Выводы

Применение диоксида углерода для создания продуктов, обладающих экономической ценностью, может привести к снижению затрат на сокращение эмиссии или содержания этого газа в атмосфере. Процесс внедрения карбонизации в бетон может быть эффективным, так как значительно повышается его прочность. Можно выделить основные преимущества от изготовления бетона с использованием диоксида углерода (так называемого «зеленого бетона») по сравнению с бетоном без CO₂ в большом масштабе:

1. Крепкость;
2. Выгодность;
3. Экологичность;
4. Твердость;
5. Быстротвердение.

Использовать «экологичный» бетон будет вдвое эффективнее: во-первых, из-за его более низкой себестоимости, и, во-вторых, из-за большей долговечности сооружаемых из него зданий.

Список источников

1. Кондратьев В.Б. Мировая цементная промышленность // Перспективы. URL: <http://www.perspektivy.info/print.php?ID=142481> (да-

References

1. Kondratev V.B. Mirovaya tsementnaya promyshlennost' [World Cement Industry]. *Perspektivy*. Available at: <http://www.perspek->

та обращения: 15.01.2023).

2. Клайн Дж. Проектирование цементного завода будущего. Часть II // Цемент и его применение. 2019. № 1. С. 48-53. EDN: JBSRVТ.

3. Monteiro P.J.M., Miller S.A., Horvath A. Towards Sustainable Concrete // *Nature Materials*. 2017. Vol. 16. P. 698-699. DOI: 10.1038/nmat4930.

4. Gartner E.M., Macphree D.E. A Physico-Chemical Basis for Novel Cementitious Binders // *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 41, Issue 7. P. 736-749. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.006.

5. Cement Technology Roadmap 2019 // World Business Council for Sustainable Development. URL: <http://www.wbcsd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=11423&NoSearchContextKey=true> (дата обращения: 08.01.2023).

6. Эванс Л., Муттер М. Экологический рейтинг цемента // Цемент и его применение. 2019. № 4. С. 24-27. EDN: QOXTAY.

7. Meyer V., Sahu S., Dunster A. Properties of Solidia Cement and Concrete // *Proceedings of the 1st International Conference on Innovation in Lowcarbon Cement and Concrete Technology*. London, UK. 2019. P. 1-4.

8. Boden T., Andres R., Marland G. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions (V. 2017). DOI: 10.3334/CDIAC/00001_V2017.

9. Barcelo L., Kline J., Walenta G., Gartner E. Cement and Carbon Emissions // *Materials and Structures*. 2014. Vol. 47. P. 1055-1065. DOI: 10.1617/s11527-013-0114-5.

10. Andrew R.M. Global CO₂ Emissions from Cement Production // *Earth System Science Data*. 2018. Vol. 10, Issue 1. P. 195-217. DOI: 10.5194/essd-10-195-2018.

11. Steinour H. Some Effects of Carbon Dioxide on Mortar and Concrete // *American Concrete Institute Journal*. 2015. Vol. 30. P. 905-907.

12. Шмитко Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В. Химия цемента и вяжущих веществ. Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2016. 164 с. EDN: QNEAAB.

13. Scrivener K. Options for the Future of Cement // *Indian Concrete Journal*. 2014. Vol. 88. P. 11-21.

14. Невилль А.М. Свойства бетона. М.: Стройиздат, 2018. С. 269-271.

15. Katz A. Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete // *Cement and Concrete Research*. 2015. Vol. 33, Issue 5. P. 703-711. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)01033-5.

tivy.info/print.php?ID=142481 (accessed 15.01.2023). [in Russian].

2. Klain Dzh. Proektirovanie tsementnogo zavoda budushchego. Chast' II [Designing the Cement Plant of the Future. Part II]. *Tsement i ego primeneniye - Journal Cement and its Applications*, 2019, No. 1, pp. 48-53. EDN: JBSRVТ. [in Russian].

3. Monteiro P.J.M., Miller S.A., Horvath A. Towards Sustainable Concrete. *Nature Materials*, 2017, Vol. 16, pp. 698-699. DOI: 10.1038/nmat4930.

4. Gartner E.M., Macphree D.E. A Physico-Chemical Basis for Novel Cementitious Binders. *Cement and Concrete Research*, 2013, Vol. 41, Issue 7, pp. 736-749. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.006.

5. Cement Technology Roadmap 2019. *World Business Council for Sustainable Development*. Available at: <http://www.wbcsd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=11423&NoSearchContextKey=true> (accessed 08.01.2023).

6. Evans L., Mutter M. Ekologicheskii reiting tsementa [Environmental Ranking of Cement]. *Tsement i ego primeneniye - Journal Cement and its Applications*, 2019. № 4. С. 24-27. EDN: QOXTAY. [in Russian].

7. Meyer V., Sahu S., Dunster A. Properties of Solidia Cement and Concrete. *Proceedings of the 1st International Conference on Innovation in Lowcarbon Cement and Concrete Technology*. London, UK, 2019, pp. 1-4.

8. Boden T., Andres R., Marland G. *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions (V. 2017)*. DOI: 10.3334/CDIAC/00001_V2017.

9. Barcelo L., Kline J., Walenta G., Gartner E. Cement and Carbon Emissions. *Materials and Structures*, 2014, Vol. 47, pp. 1055-1065. DOI: 10.1617/s11527-013-0114-5.

10. Andrew R.M. Global CO₂ Emissions from Cement Production. *Earth System Science Data*, 2018, Vol. 10, Issue 1, pp. 195-217. DOI: 10.5194/essd-10-195-2018.

11. Steinour H. Some Effects of Carbon Dioxide on Mortar and Concrete. *American Concrete Institute Journal*, 2015, Vol. 30, pp. 905-907.

12. Shmitko E.I., Krylova A.V., Shatalova V.V. *Khimiya tsementa i vyazhushchikh veshchestv* [Chemistry of Cement and Binders]. Voronezh, Voronezh. gos. arkh.-stroit. un-t Publ., 2016. 164 p. EDN: QNEAAB. [in Russian].

13. Scrivener K. Options for the Future of Cement. *Indian Concrete Journal*, 2014, Vol. 88, pp. 11-21.

14. Nevill A.M. *Svoistva betona* [Concrete Properties]. Moscow, Stroiizdat Publ., 2018. pp. 269-271. [in Russian].

15. Katz A. Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete. *Cement and Concrete Research*, 2015, Vol. 33, Issue 5, pp. 703-711. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)01033-5.

Информация об авторах

• Залятдинов Альберт Айратович, кандидат технических наук
Альметьевский государственный нефтяной институт
Начальник центра научно-технических исследований
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Ленина, 2
e-mail: zalyatdinovaa@agni-rt.ru

• Садреева Рауза Хатиповна
Альметьевский государственный нефтяной институт
Заведующая лабораторией центра научно-технических исследований
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Ленина, 2
e-mail: roza.hatipovna@yandex.ru

• Закирова Рузана Фауизовна
Альметьевский государственный нефтяной институт
Лаборант центра научно-технических исследований
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Ленина, 2
e-mail: r.zakirova@agni-rt.ru

Information about the authors

• Zalyatdinov Albert A., Candidate of Engineering Sciences
Almetyevsk State Oil Institute
Head of the Center for Scientific and Technical Research
2, Lenin str. Almetyevsk, 423450, Russia
e-mail: zalyatdinovaa@agni-rt.ru

• Sadreeva Rauza Kh.
Almetyevsk State Oil Institute
Head of the Laboratory of the Center for Scientific and Technical Research
2, Lenin str. Almetyevsk, 423450, Russia
e-mail: roza.hatipovna@yandex.ru

• Zakirova Ruzana F.
Almetyevsk State Oil Institute
Laboratory Assistant of the Center for Scientific and Technical Research
2, Lenin str. Almetyevsk, 423450, Russia
e-mail: r.zakirova@agni-rt.ru

Статья поступила в редакцию 09.11.2022; одобрена после рецензирования 22.12.2022; принята к публикации 01.03.2023.

The article was submitted 09.11.2022; approved after reviewing 22.12.2022; accepted for publication 01.03.2023.