

В.И. ТРАВУШ¹, д-р техн. наук, профессор, вице-президент РААСН (info@gorproject);
Д.В. КУЗЕВАНОВ², канд. техн. наук (sdn-2@mail.ru),
С.С. КАПРИЕЛОВ², д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (kapriellov@cstroy.ru),
Ю.С. ВОЛКОВ², канд. техн. наук, почетный член РААСН (volkov@cstroy.ru)

¹ ЗАО «Горпроект» (105064, г. Москва, Нижний Сусальный пер., 5, стр. 5А)

² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания

В разработанной Минстроем России «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года и на перспективу до 2035 года» указано, что одной из целей развития строительства на данную перспективу является снижение углеродного следа от воздействия строительной отрасли на окружающую среду. В работе анализируются факторы, которые позволяют основному строительному материалу – бетону внести существенный вклад в снижение углеродного следа по отношению к окружающей среде. Приводятся примеры европейских практик по решению этой проблемы, указана необходимость проведения соответствующих научно-исследовательских работ, касающихся оценки влияния производства цемента и бетона на повышение уровня углеродного следа, разработки методов решения указанной проблемы и учета этого фактора для практических нужд.

Ключевые слова: бетон, экология, окружающая среда, углеродный след.

Для цитирования: Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания // *Бетон и железобетон*. 2022. № 3 (611). С. 10–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-10-14>

V.I. TRAVUSH¹, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Vice-President of RAACS (info@gorproject);
D.V. KUZEVANOV², Candidate of Sciences (Engineering) (sdn-2@mail.ru),

S.S. KAPRIELOV², Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Academician of the RAASN (kapriellov@cstroy.ru),
Yu.S. VOLKOV², Candidate of Sciences (Engineering), Honorary Member of the RAASN (volkov@cstroy.ru)

¹ CJSC “Gorproekt” (building 5A, 5, Nizhny Susalny lane, Moscow, 105064, Russian Federation)

² Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZhB named after A.A. Gvozdev, JSC “Research Center “Construction” (building 5, 6, 2nd Institutskaya, Moscow, 109428, Russian Federation)

Concrete as an Ecological Factor in Reducing the “Carbon Footprint” in the Living Environment

The “Strategy for the development of the construction industry until 2030 and for the future until 2035” developed by the Ministry of Construction of Russia indicates that one of the goals of construction development for this future is to reduce the carbon footprint from the impact of the construction industry on the environment. The article analyzes the factors that allow the main building material – concrete to make a significant contribution to reducing the carbon footprint in relation to the environment. Examples of European practices in solving this problem are given, the need for appropriate research work is indicated regarding the assessment of the impact of cement and concrete production on increasing the carbon footprint, the development of methods to solve this problem and taking this factor into account for practical needs.

Keywords: concrete, ecology, environment, carbon footprint.

For citation: Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kapriellov S.S., Volkov Yu.S. Concrete as an ecological factor in reducing the “carbon footprint” in the living environment. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 3 (611), pp. 10–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-10-14>

К 2050 г. население земного шара, по прогнозу, возрастет до 9,8 млрд человек. Мировое строительство развивается в беспрецедентных объемах. Только в Китае ежегодно возводится 15 млн новых домов, в пять раз больше, чем в США и Европе. Мировое промышленное развитие сопровождается ростом экологических проблем. За последние 50 лет средняя тем-

пература атмосферы земного шара увеличилась на 2 градуса, это явление вызывает таяние арктических и антарктических льдов, подъем уровня Мирового океана, возмущения атмосферы (ураганы, торнадо, лесные пожары и др.). Причиной потепления атмосферы считается повышение содержания в ней углекислого газа CO₂, создающего парниковый эффект [1].

Следует отметить, однако, что существуют и другие точки зрения на причину потепления климата планеты, в частности отдельные специалисты считают, что потепление является результатом изменения угла наклона (осцилляция) оси вращения планеты относительно орбиты ее движения вокруг Солнца.

Источники выброса CO_2 многолики, это тепловые электростанции, металлургия, автотранспорт и т. д. Не остается в стороне и строительная отрасль.

В разработанной Минстроем России «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года и на перспективу до 2035 года» указано, что одной из целей развития строительства на обозримую перспективу является «снижение углеродного следа от воздействия строительной отрасли на окружающую среду», хотя строительство по этому показателю находится не в первых рядах среди остальных отраслей промышленности [2].

Основная доля повышения содержания CO_2 в атмосфере приходится на тепловые электростанции и автомобильный транспорт. Производство строительных материалов тем не менее вносит свой вклад: на производство цемента приходится 7% общемировых выбросов CO_2 [3].

Рост потребления природных ресурсов в строительной отрасли ведет к увеличению различных отходов самой этой отрасли. Производство 1 т цемента сопровождается выбросом в атмосферу одной тонны углекислого газа (CO_2). Возведение 1 м² жилой площади в пересчете на все виды использованных строительных материалов приводит к выбросу в атмосферу 1,8 т диоксида углерода [3].

Учитывая огромные объемы производства цемента в мире – 2,5 млрд т/г., на его производство приходится 7% всех мировых выбросов CO_2 , или 1,2 млрд т, или 200 кг на одного жителя Земли; кроме того, мировая цементная промышленность дает 3,7 млн т выбросов в атмосферу окиси азота (ингредиента кислых дождей), что ведет к загрязнению воздушного и водного бассейнов.

Общественную значимость борьбы против изменений климата применительно к Европе можно проиллюстрировать фактом избрания представителей партии «зеленых», которая проповедует эту доктрину, в коалиционное правительство такой страны, как Федеративная Республика Германия. В рекомендациях программы этой партии указано на необходимость преимущественного строительства ветровых и солнечных установок, гидроэлектростанций и атомных станций с соответствующим снижением числа (а в отдаленной перспективе и отказ от них) тепловых станций, работающих на угле, производящих как попутный продукт углекислый газ CO_2 , который накапливаясь в атмосфере, дает упомянутый парниковый

эффект. Строительство ветровых и солнечных установок требует использования таких дорогих энергоемких материалов, как алюминий и медь, которые для своего производства также нуждаются в немалых затратах энергии.

В «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [4] не даны предложения по применяемым строительным материалам, которые могут внести свой вклад в снижение углеродного следа, а такой материал есть и выпускается в значительных объемах. Это бетон, и он может сыграть ощутимую роль в решении проблем экологии. Бетон и железобетон являются доминирующим строительным материалом. В настоящее время 70% населения земного шара живет в домах, построенных с применением железобетона [5].

В октябре 2021 г. в Лондоне сорок крупнейших мировых компаний – производителей цемента (80% мирового производства, исключая Китай) взяли обязательство сократить к 2030 г. выбросы CO_2 на 25%, что отвечает целям ограничения глобального потепления. Это означает, что выбросы в атмосферу CO_2 к этому сроку сократятся на 5 млрд т. Намеченное снижение выбросов CO_2 гипотетически эквивалентно объему выбросов от двигателей пассажирских авиалайнеров за 15 млрд рейсов по маршруту Париж – Нью-Йорк [6].

Недавно созданная Европейская объединенная ассоциация цемента и бетона (Global Cement and Concrete Association – GCCA, (www.gccassociation.org)) поставила задачу к 2050 г. достичь углеродной нейтральности производства цемента и бетона в Евросоюзе. Иными словами, достичь положения, когда выбросы CO_2 в процессе производства цемента и бетона не будут приводить к увеличению его содержания в атмосфере. В качестве первого шага в этом направлении намечено уже к 2030 г. снизить на 25% выбросы CO_2 при производстве цемента и бетона. Стартовое заседание Ассоциации GCCA, на которой было принято указанное решение, собрало более тысячи специалистов из различных стран [7]. Подготовленный по результатам заседания документ собрал более 800 тыс. просмотров в Интернете. Отметим, что за последние тридцать лет, по данным Ассоциации, выбросы CO_2 при производстве цемента снизились на 20%. В период до 2030 г., то есть за 8 лет, намечено снижение сразу еще на 25%.

На долю строительного сектора приходится 14% общемирового ВВП. Мировой объем производства цемента и бетона в денежном выражении оценивается в 440 млрд долл. США в год. В мире для изготовления бетона ежегодно расходуется более 1 млрд т цемента [8].

В мире за 2020 г. было произведено 14 млрд м³ бетона, из них 40%, или 5,6 млрд м³, ушло на возведение жилья; к 2050 г. этот объем по прогнозу возрастет до 9,8 млрд м³. Европейская цементная промышленность насчитывает 200 заводов при числе работников 35 тыс. человек. Ежегодная производительность заводов составляет 180 млн т при обороте 15 млрд евро, что составляет 4,4% общемирового объема производства цемента. На долю промышленности по производству бетона приходится 10% от общеевропейского ВВП при числе занятых 1,3 млн человек.

В России эта отрасль также развивается успешно: по данным Минпромторга, в 2021 г. производство товарного бетона выросло на 43% по отношению к 2020 г., в то время как производство кирпича возросло лишь на 2,7%.

Производство стройматериалов в Европе является высокодоходной отраслью. Один евро, вложенный в производство цемента и бетона, дает мультипликативный эффект в 2,8 евро в общем ВВП. Продукция этого сектора составляет 10% совокупного общественного продукта в странах ЕС, в отрасли занято 13 млн работников.

В этих отраслях промышленности намечено снизить выброс парниковых газов на 55% к 2050 г., при этом планируется ежегодно обновлять не менее 3% общеевропейского жилого фонда. Все эти меры направлены на то, что окружающая среда должна стать углеродно-нейтральной, т. е. выбросы должны быть нейтрализованы в том числе путем расширения площадей зеленых насаждений.

Снижение расхода вяжущего на единицу объема бетона также может внести свой вклад в снижение выбросов CO₂. Подсчитано, что таким путем может быть получено снижение выбросов дополнительно на 5%.

На стадии эксплуатации готовых строительных объектов экологические требования в части снижения выбросов CO₂ можно выполнить путем повышения тепловой защиты зданий и снижения расхода энергии для поддержания комфортной среды обитания, но финансовые затраты вряд ли будут оправданы. На стадии проектирования и строительства конкретных объектов одним из ключевых факторов решения задачи снижения выбросов CO₂ является переход на преимущественное применение бетона как строительного материала. Основанием для такого перехода является то, что производство бетона требует значительно меньших затрат энергии, чем производство кирпича или металла.

Применение бетона в транспортном строительстве, помимо повышения надежности и долговечности сооружений, позволяет снизить выбросы парникового газа CO₂ от выхлопа движущегося автотранспорта суммарно на одну тонну в год на один

километр автодороги за счет пониженного расхода автомобильного топлива. Перспективно применение инновационных бетонов в транспортном строительстве, поскольку в России свыше трети протяженности автомобильных дорог федерального значения и мостовых сооружений на них требуют ремонта из-за ускоренной деградации примененных материалов. Анализ фактических сроков службы дорожных покрытий показывает, что в сопоставимых условиях эксплуатации цементобетонные дорожные покрытия имеют в среднем в два раза более продолжительный срок эксплуатации, чем асфальтобетонные.

В Евросоюзе в 2021 г. введен в действие евро-стандарт EN16757 «Экологичное строительство. Экологическая декларация строительных материалов. Правила для бетона и железобетона (Sustainability of construction work – Environmental product, declaration – Product category rules for concrete and concrete elements)» [9]. Стандарт содержит комплекс процедур по оценке экологичности бетона и железобетона на различных этапах жизненного цикла конструкций, начиная от изготовления и кончая утилизацией. Всего по вопросам экологической оценки строительных материалов и строительных работ (sustainability of construction) в настоящее время действуют шесть стандартов кроме упомянутого выше, которые касаются только бетона.

Это важный шаг к достижению Европой эконейтральной промышленности производства строительных материалов. К 2050 г. производство главного строительного материала – бетона должно в Евросоюзе выйти на нулевые показатели: тезис – «эконейтральный бетон».

Что касается в целом цементной промышленности, то, как уже указывалось, на ее долю приходится 7% общемирового объема выброса парниковых газов. В Европе выбросы CO₂ на 1 т производимого цемента в 1990 г. составляли 783 кг, но к 2030 г. эта цифра должна снизиться до 472 кг, а к 2050 г. выброс парниковых газов планируется снизить еще на 55%. Полностью исключить выбросы CO₂ пока невозможно, но достижение указанных показателей будет ощутимым вкладом в снижение углеродного следа. Страны Евросоюза намерены достичь углеродной нейтральности промышленного производства к 2050 г. [7].

Британский научно-исследовательский институт по строительству – British Research Establishment выполнил анализ экологической эффективности применения бетона на рециклированном заполнителе. За эталонный наиболее широко применяемый бетон был принят бетон класса по прочности при сжатии C28/35 (в числителе прочность, определенная по цилиндрам, в знаменателе – определенная по кубам, или кубико-

вая, МПа). Виды рециклированного заполнителя для бетона следующие:

- заполнитель из дробленого бетона;
- заполнитель из дробленого кирпича;
- смесь этих двух видов рециклированного заполнителя.

Кроме того, был рассмотрен бетон этого же класса с заполнителем из природных материалов.

Было показано, что абсорбция бетоном углекислого газа зависит главным образом от содержания цемента в единице его объема. Тип и порода крупного заполнителя оказывают небольшое влияние на этот показатель. При замене природного заполнителя на дробленый бетонный заполнитель в 100% объеме поглощение CO_2 на одну тонну бетона было всего на 10 кг ниже за расчетный период 100 лет [8].

В разделе упомянутой ранее «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года и на перспективу до 2035 г.» [2], посвященном строительным материалам, дана общая картина состояния этой отрасли без выделения приоритетов. Между тем необходимо было отметить, что применение в строительстве материалов, обладающих высокими прочностными показателями при изгибе и растяжении, а также высокой прочностью при сжатии, – один из важных путей выполнения требований экологии, улучшения качества строительства, повышения долговечности зданий и сооружений, в том числе и с учетом заданных климатических особенностей, и в конечном итоге повышение безопасности среды обитания человека. Первым по объемам применения в мире среди строительных материалов является бетон, с использованием которого выполняются разнообразные конструкции для гражданского и промышленного строительства. Средний расход энергии на отопление в железобетонных зданиях за счет тепловой инерции ограждающих конструкций вдвое ниже, чем в обычных.

Бетон вносит значимый вклад в достижение цели создания углеродно-нейтральной среды обитания, так как объемы применения бетона и железобетона более чем вдвое превышают объемы применения всех остальных строительных материалов, вместе взятых. На производство сборного и монолитного железобетона идет более 70% всего выпускаемого цемента и 30% нерудных строительных материалов, а в стоимостном выражении на бетон и железобетон приходится около 60% стоимости всех применяемых в строительстве материалов. Не последнюю роль играют экологические характеристики бетона.

Одним из важнейших экологических показателей стройматериалов является расход энергии на единицу продукции, который для железобетона на одну тонну в 16 раз ниже, чем для стали, и вдвое ниже, чем

количество энергии, необходимой для производства одной тонны кирпича. Снижение энергозатрат в определенной степени эквивалентно снижению выбросов в атмосферу CO_2 .

Таким образом, по уровню экологических, технических и экономических показателей железобетон является основным конструкционным материалом современности, лидируя в общей структуре мирового производства строительной продукции.

Абсолютный объем всего нового строительства ведется из бетона и железобетона. Инновации в этой области определяют прогресс всей отрасли производства строительных материалов.

Выводы

Бетон играет важную роль в снижении углеродного следа по отношению к окружающей среде, но в свете постановки экологических критериев как ключевых вопросы экологии бетона должны быть выделены в самостоятельную научную дисциплину. На повестку дня должно быть поставлено формулирование проблемы и проведение соответствующих научно-исследовательских работ, касающихся качественной и количественной оценки влияния производства бетона на повышение уровня углеродного следа.

Далее необходима разработка мер по снижению выбросов CO_2 на стадии производства исходных составляющих (цемента, заполнителей, добавок). Целесообразна подготовка методик по численному измерению поглощения CO_2 различными видами бетонов с различным расходом цемента, на различных заполнителях на стадии эксплуатации. Предстоит разработка нормативных документов, определяющих методы решения указанной проблемы и учета этого фактора для практических нужд [10].

Список литературы / References

1. Jenisch J., Gullot T. Our Concrete Future. Global Cement and Concrete Association – GCCA. Issue No. 21. October 2021.
2. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Проект. Минстрой, 2021. <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/>
2. Strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. Project. Minstroy, 2021. <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/> (In Russian)
3. Isidoro Miranda, Cemburo President. Concrete 2030 – Challenges and Opportunities. Amsterdam, ERMCO Representative Meetings, 2021.

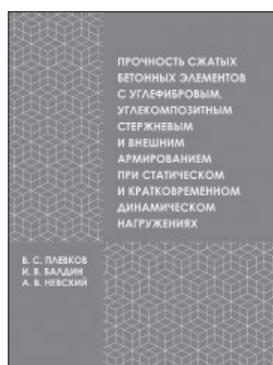
4. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879>
4. Ecological security strategy of the Russian Federation for the period up to 2025, approved by Decree of the President of the Russian Federation of April 19, 2017 No. 176. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879> (In Russian)
5. EN ISO 52016-3 Energy performance of buildings. Energy needs for heating and cooling, internal temperature and sensitive and latent heat loads. Part 2. Calculation proceedings regarding adaptive building envelope elements (ISO/DIS 520/c-3-2022)
6. Global Cement and Concrete Industry Announces Roadmap to Achieve Net-Zero CO₂ emissions by 2050. Global Cement and Concrete Association. London, 2021. <https://gccassociation.org>
7. Concrete Future. The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete. <https://gccassociation.org/concretefuture>
8. Abbe O. Assessing the Impact of Recycled Aggregate on Concrete. BRE Global, 2010, Report No 262127. www.breglobal.com
9. EN16757 Sustainability of construction work – Environmental product, declaration – Product category rules for concrete and concrete elements (Экологичное строительство. Экологическая декларация строительных материалов. Правила для бетона и железобетона CEN. 2021).
10. Травуш В.И., Шарипов Р.Ш., Волков Ю.С. Вопросы совершенствования строительных норм // *Бетон и железобетон*. 2021. № 4 (606). С. 3–7.
10. Travush V.I., Sharipov R.Sh., Volkov Yu.S. On the technical regulation of the construction process. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 4 (606), pp. 3–7. (In Russian).

Прочность сжатых бетонных элементов с углефибровым, углекомпозитным стержневым и внешним армированием при статическом и кратковременном динамическом нагружении

Авторы – [В.С. Плевков], И.В. Балдин, А.В. Невский

ISBN 978-5-6048004-3-0

Томск, Издательство ТГАСУ. 2022, 176 с.



Монография посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям сжатых бетонных конструкций с углекомпозитным стержневым армированием при статическом и кратковременном динамическом нагружении. Приведены результаты испытаний и диаграмма состояния углекомпозитной арматуры при растяжении и сжатии. Рассмотрены наиболее рациональные способы реализации ее высокого прочностного потенциала в статически и динамически нагруженных сжатых бетонных элементах при помощи углеродного фибрового и углекомпозитного внешнего армирования бетона. На основе опытных данных и результатов теоретических исследований сформулирован инженерный метод расчета прочности сжатых бетонных элементов с углеродным фибровым, углекомпозитным стержневым и внешним армированием. Приведены результаты численных и экспериментальных исследований сжатых бетонных элементов с различными параметрами углефибрового, стержневого и внешнего углекомпозитного армирования при статическом и кратковременном динамическом нагружении.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций.