

А.Г. БУБЛИЕВСКИЙ^{1,✉}, С.Н. ЛАПЫРЕВ^{1,2}¹ Ассоциация «Железобетон», Рязанский пр-кт, д. 22, к. 2,
г. Москва, 109428, Российская Федерация² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт
бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ 2023 ГОДА В БЕТОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация

Аналитический обзор 2023 года подготовлен на основе анализа материалов и публикаций информационного центра Beton GmbH (Германия)*.

Бетонное строительство, технологии бетона и железобетона, углеродно-нейтральность, эффективность использования ресурсов – это центральные темы, над которыми сегодня работает информационный центр Beton GmbH (IZB) от имени немецких производителей цемента и бетона. Являясь аналитической платформой для производителей и движущей силой отрасли, центр продвигает новые области применения цементно-связанных строительных материалов и внедряет инновационные продукты и процессы. Учитывая исключительную важность цемента и бетона в строительстве, отрасль также несет особую ответственность за смягчение последствий изменения климата. Поэтому цементная промышленность Германии уже много лет активно ведет работы над сокращением выбросов углерода и сохранением природных ресурсов. Используя инновационные технологии, Германия планирует производить цемент и бетон с нулевым выбросом углерода к 2045 году. Важным элементом продвижения и обучения устойчивому строительству с использованием бетона является предоставление технических консультаций строителям, исполнителям работ, архитекторам и инженерам в области гражданского, дорожного, высотного и сельскохозяйственного строительства.

Основное внимание уделяется бетону и процессам, которые обеспечивают устойчивые, надежные решения, а также способствуют реализации крупных плановых идей в соответствии с основными мировыми трендами: эффективность с точки зрения климата, ресурсосбережение, энергосбережение.

Ключевые слова: бетонное строительство, устойчивое строительство, углеродно-нейтральность, энергоэффективность, энергосбережение, эффективность использования ресурсов, ресурсосбережение, повторное использование ресурсов

Для цитирования: Бублиевский А.Г., Лапырев С.Н. Основные тенденции 2023 года в бетонном строительстве // Бетон и железобетон. 2024. № 1 (620). С. 42–52. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-42-52](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-42-52)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.12.2023

Поступила после рецензирования 30.01.2024

Принята к публикации 01.02.2024

* Информационный центр Beton GmbH был основан в 1972 году немецкой цементной промышленностью с целью обеспечения универсальной потребности в информации о строительных материалах, скрепленных цементом, с помощью комплексной платформы. Его основной задачей является разработка и редактирование технических публикаций и предоставление экспертных консультаций архитекторам, инженерам-строителям или строительным компаниям, что является важной задачей, выполняемой совместно со специалистами-консультантами на федеральной территории.

A.G. BUBLIEVSKY^{1,✉}, S.N. LAPYREV^{1,2}¹ Association "Reinforced Concrete", Ryazansky Ave., 22, bld. 2,
Moscow, 109428, Russian Federation² Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

THE MAIN TRENDS OF 2023 IN CONCRETE CONSTRUCTION

Abstract

The analytical review of 2023 was prepared based on the analysis of materials and publications of the Beton GmbH information center (Germany).

Concrete construction, concrete and reinforced concrete technologies, carbon neutrality, and resource efficiency are the central topics that the Beton GmbH (IZB) information center is working on today on behalf of German cement and concrete manufacturers. As an analytical platform for manufacturers and the driving force of the industry, the center promotes new applications of cement-bonded building materials and introduces innovative products and processes. Given the critical importance of cement and concrete in construction, the industry also has a special responsibility to mitigate the effects of climate change. Therefore, the German cement industry has been actively working for many years to reduce carbon emissions and conserve natural resources. Using innovative technologies, Germany plans to produce cement and concrete with zero carbon emissions by 2045.

An important element of the promotion and training of sustainable concrete construction is the provision of technical advice to builders, contractors, architects and engineers in the field of civil, road, high-rise and agricultural construction. The main focus is on concrete and processes that provide sustainable, reliable solutions, as well as contribute to the implementation of major planned ideas in accordance with the main global trends: climate efficiency, resource conservation, energy conservation.

Keywords: concrete construction, sustainable construction, carbon neutrality, energy efficiency, energy conservation, resource efficiency, resource conservation, resource reuse

For citation: Bublevsky A.G., Lapyrev S.N. The main trends of 2023 in concrete construction. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 1 (620), pp. 42–52. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-42-52](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-42-52)

Author contribution statements

The authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 28.12.2023

Revised 30.01.2024

Accepted 01.02.2024

Основные направления реализации концепции устойчивого строительства

Декарбонизация цемента и бетона: пути смягчения последствий и стратегия действий

Что уже возможно при проектировании и выполнении строительных работ сегодня? Исходя из цели производства цемента и бетона с нулевым выбросом углерода к 2045 году, есть краткий обзор возможностей, которые архитекторы, проектировщики и строители уже сегодня могут использовать для значительного сокращения углеродного следа и использования ресурсов бетонных конструкций для строительства устойчивых сооружений. Мы показываем, какие действия и решения в области планирования могут наилучшим образом реализовать потенциал устойчивого развития бетона – от выбора строительных материалов и строительства до этапа использования и до конца срока службы, какие конкретные шаги можно предпринять для достижения экономии CO_2 , ресурсов или энергии уже сейчас и в какой степени. Кроме того, вот прогноз того, как достичь углеродной нейтральности к 2045 году и каковы потенциальные возможности экономии первичного сырья (рис. 1).

Как к 2045 году может быть реализован метод строительства из бетона с нулевым выбросом углерода?

Дорожная карта по выбросам углерода в цементной промышленности Германии дает ответы на этот вопрос. Это подчеркивает, что цель углеродной нейтральности может быть достигнута с помощью широкого спектра мер на всех уровнях цепочки создания стоимости – от производства клинкера, цемента и бетона до применения бетона в строительстве. В дополнение к представленным здесь подходам это включает, прежде всего, улавливание CO_2 на цементном заводе и его использование или переработку при использовании концептуальных решений технологии (Carbon Capture and Utilisation/Storage – CCUS). Совершенно новые цементы с очень низким содер-

жанием клинкера, которые в настоящее время находятся на стадии вывода на рынок, или использование водорода в качестве энергоносителя также будут играть решающую роль.

К 2045 году цементная промышленность Германии намерена добиться полного сокращения выбросов CO_2 , используя все доступные варианты снижения выбросов углерода в цепочке создания стоимости, включая внешние эффекты. При этом ежегодное снижение количества CO_2 за счет повсеместного использования технологий CCUS прогнозируется в 10,4 млн тонн. За счет использования топлива, содержащего биомассу, с одновременным улавливанием CO_2 , можно исключить дополнительно около 1,6 млн тонн CO_2 , которые отбираются из атмосферы и регистрируются как отрицательные выбросы. Таким образом, в расчетах общий объем выбросов сокращается более чем на 100 %. В качестве внешних эффектов, не поддающихся непосредственному влиянию, в этом сценарии учитывается естественное поглощение CO_2 в бетоне (рекарбонизация), а также небольшое снижение спроса на бетон к 2045 году.

Ресурсы будущего для цемента и бетона

Наряду с сохранением климата, сохранение природных ресурсов является одной из основных экологических проблем нашего времени. В исследовании, опубликованном Ассоциацией немецких цементных заводов (VDZ), были выявлены и оценены различные возможности сохранения ресурсов в рамках сценария до 2050 года.

Меры, рассмотренные в исследовании, приведут к общему сокращению использования первичного сырья в цепочке создания стоимости цемента и бетона в сценарии 2050 года в общем объеме 96,8 млн тонн в 2050 году, что на 41 % меньше, чем в 2020 году. Наибольший потенциал проявляется в производстве бетона (-52,1 млн тонн) за счет замены значительной части природного щебня в бетоне в будущем на повторно переработанный щебень.



Рис. 1. Основные составляющие достижения углеродной нейтральности к 2045 году
Fig. 1. The main components of achieving carbon neutrality by 2045

Дополнительные возможности открываются на уровне производства клинкера и цемента за счет использования песка из дробленого бетона и цемента соответственно, а также переработанной муки, полученной в результате переработки бетона и каменной кладки. В сценарии 2050 года эта мера может заменить более 4 млн тонн известняка. Тем не менее, особенно при производстве цемента, в результате уменьшения количества металлургического песка (шлака) и летучей золы также наблюдаются противоположные эффекты, требующие более широкого использования определенного первичного сырья. В первую очередь это известняк и обожженные глины, предназначенные для снижения содержания клинкера в цементе.

Использование углеродозффективных цементов и бетонов

Производство бетона связано с выбросом CO_2 – в среднем от 180 до 300 кг на м^3 , в зависимости от требуемой производительности. Интенсивность CO_2 при этом зависит в первую очередь от используемого цемента и его доли в обожженном известняке (портландцементном клинкере). Выбросы от переработки щебня и использования других исходных материалов, а также от транспортировки играют второстепенную роль.

В этой связи использование в бетоне углеродозффективных цементов является решающим рычагом при декарбонизации бетонных конструкций.

Углеродозффективные цементы и бетоны можно использовать практически во всех типичных областях применения в строительстве и гражданском строительстве. Потенциал смягчения последствий велик, особенно в случае внутренних и обычных внешних строительных конструкций, поскольку именно там используется около 60–80 % товарного бетона, производимого в Германии. Эти бетонные конструкции, как правило, подвергаются низкому или умеренному воздействию окружающей среды соответственно, что делает их очень подходящими для использования в бетоне, особенно при использовании углеродозффективных цементов. Это позволяет уже сегодня, без технических ограничений, достичь экономии CO_2 примерно на 20 % на м^3 бетона по сравнению со средним показателем (рис. 2).

Устойчивое строительство – к чему это приводит?

Чтобы соответствовать требованиям устойчивого строительства, важные направления могут быть заданы уже при планировании проекта. При этом необходимо учитывать различные факторы, которые особенно влияют на экологический баланс сооружения в течение его жизненного цикла. Опыт показывает, что для проектировщиков и архитекторов особенно важны региональность, снижение выбросов углерода, пригодность для вторичной переработки, а также энергосбережение и долговечность. Бетонные



Рис. 2. Снижение CO_2 примерно на 20 % при использовании углеродозффективных бетонов и цементов
Fig. 2. CO_2 reduction by about 20 % using carbon efficient concretes and cements

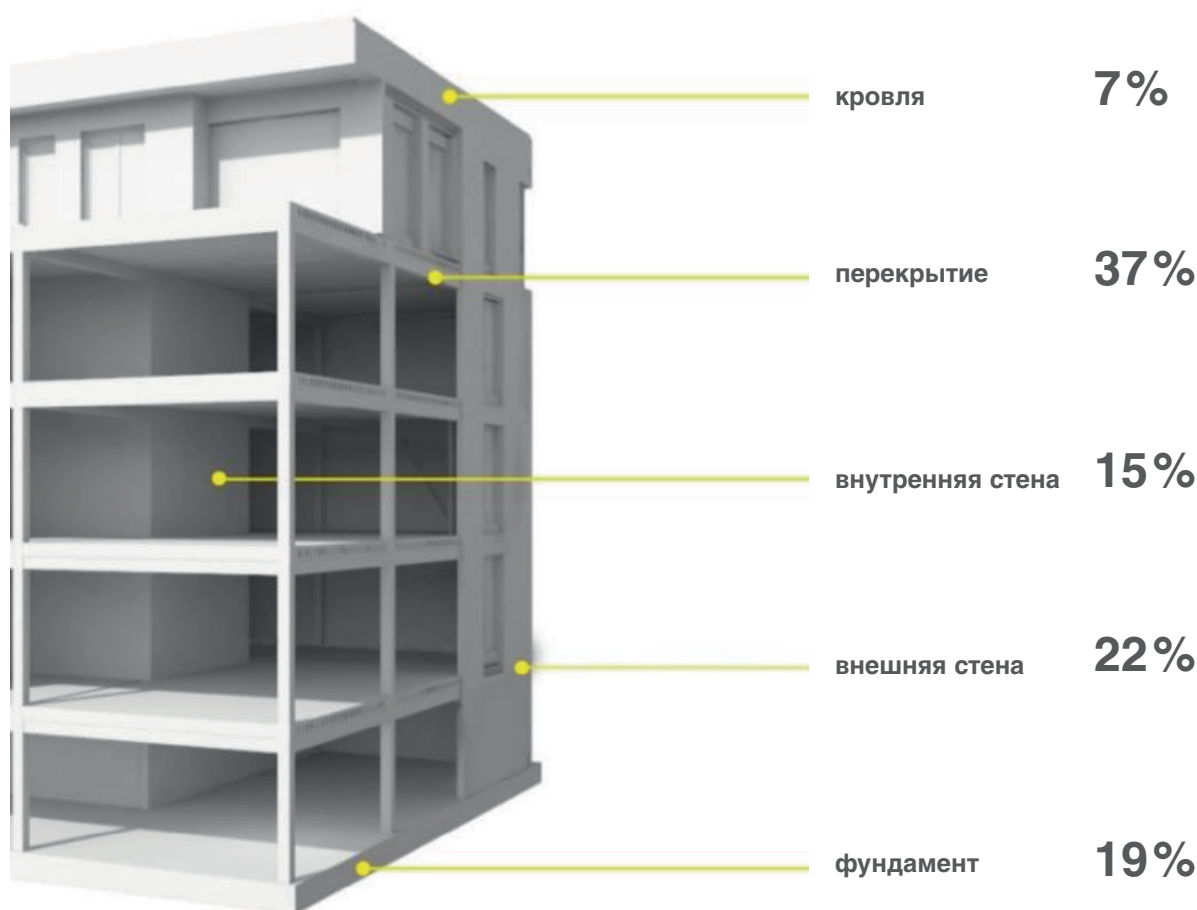


Рис. 3. Углеродный фон по элементам конструкции здания
Fig. 3. Carbon stock by building structural elements

конструкции и конструктивные элементы также обеспечивают тепловые преимущества при эксплуатации зданий. Это позволяет снизить потребление энергии при эксплуатации здания и обеспечивает комфортный микроклимат в помещении независимо от времени года. Кроме того, целенаправленно активируя бетонные конструкции для отопления и охлаждения, возможно внести важный вклад в интеграцию возобновляемых источников энергии для производства тепла и холода в зданиях.

Почему снижение выбросов углерода – это так сложно?

Предыстория заключается в том, что для производства цемента из известняка необходимо обжигать до клинкера. Этот процесс включает в себя высвобождение CO_2 , содержащегося в известняке. В результате этого процесса происходит выброс примерно двух третей от связанного объема углерода. Только треть выбросов приходится на производство энергии, необходимой для этого. Следовательно, даже при использовании 100 % возобновляемых источников энергии в производстве можно было бы предотвратить лишь

часть общих выбросов. Поэтому в будущем решающую роль в декарбонизации также будут играть новые технологии и инновации, благодаря которым производство цемента и бетонных конструкций претерпит фундаментальные изменения.

Углеродный след конструкции по компонентам

В зависимости от здания и метода строительства значения углеродного фона по элементам конструкции здания могут варьироваться, но они дают ориентир для оценки потенциала выбросов углерода и экономии ресурсов на всех этапах жизненного цикла уже на стадии планирования. При этом углеродный фон от строительства здания с массивной конструкцией обычно формируется в основном из конструкции и фундамента здания. Таким образом, меры по оптимизации выбросов углерода в бетонных конструкциях, каждый из элементов которых имеет собственное значение углеродного фона (рис. 3), в основном относятся к потолкам, наружным стенам, внутренним стенам, конструктивным элементам, контактирующим с землей, а также к фундаменту. Крыши, фасады, а также инженерное оборудование

зданий также способствуют выбросам углерода, но их значения сравнительно малы.

Потребности в тепле и электроэнергии на этапе эксплуатации зданий в настоящее время в основном являются причиной наибольшей доли выбросов парниковых газов. В зданиях, оцененных в 2021 г., при эксплуатации в течение 50 лет образуется $25 \text{ кг м}^2 \text{ NRF}^*$ а выбросов, при производстве конструкции получается около $7,5 \text{ кг м}^2 \text{ NRF}^*$ а.

Таким образом, оценка устойчивости сооружений должна проводиться на протяжении всего жизненного цикла, даже если по мере увеличения декарбонизации энергоснабжения важность эксплуатации в отношении выбросов в течение жизненного цикла будет снижаться. Кроме того, нельзя игнорировать и другие аспекты устойчивости, такие как потенциал сохранения ресурсов, влияние различных методов строительства на биоразнообразие и охрану окружающей среды или вклад коротких цепочек поставок в создание региональной стоимости на местном уровне.

Путь к углеродному нейтралитету в 2045 году

Благодаря экономичному планированию, использованию углеродозффективных цемента и другим мерам уже сегодня можно добиться значительной экономии углерода, ресурсов и энергии с помощью бетонных конструкций. Однако для достижения цели углеродного нейтралитета к 2045 году этого будет недостаточно. Кроме того, потребуются совершенно новые подходы к производству и применению цемента и бетона. Необходимо использовать эффективные методы строительства, которые обеспечивают сопоставимую производительность при меньшем объеме бетона.

После 2050 года будет виден дальнейший потенциал за счет расширения возможностей повторного использования компонентов или целых структур конструкции с помощью модульных методов строительства.

В качестве внешнего эффекта сценарий 2050 года рассматривал небольшое снижение спроса на строительство в качестве смягчающего фактора (-12,0 млн тонн). Что касается топлива, предполагается, что к 2050 году ископаемое топливо, которое все еще используется в некоторых частях, будет полностью заменено альтернативным топливом и экологически чистым водородом. В целом использование материалов, вероятно, будет иметь такой же масштаб (около 5 млн тонн).

Климатозффективное строительство из бетона

Модуль CO_2 Совета по устойчивому развитию бетона обеспечивает хорошее руководство по снижению выбросов CO_2 при бетонировании различных классов прочности бетона на сжатие за счет использования цемента с пониженным содержанием клинкера. Исходя из отраслевого эталона, он определяет четыре класса CO_2 на основе удельных выбросов парниковых газов на м^3 бетона в соответствующем классе прочности бетона. Бетоны класса CO_2 «Уровень 1» соответствуют экономии на 30 % по сравнению с эталонными, «Уровень 2» – на 40 %, «Уровень 3» – на 50 % и «Уровень 4» – на 60 %. Бетоны уровней 1 и 2, как правило, используются в конструкциях интерьера и обычных конструкциях экстерьера зданий и уже доступны сегодня в большинстве регионов.



Рис. 4. Конструктивные элементы потолочных систем с пониженным углеродным фоном
Fig. 4. Structural elements of ceiling systems with a reduced carbon background

Углеродно-нейтральные цементы с использованием улавливания CO₂

Чтобы производить цементы и бетоны с нулевым выбросом углерода, необходимо полностью исключить выбросы, связанные с сырьем в технологических процессах. Это пока невозможно с помощью технологий, доступных сегодня. Вот почему немецкие производители цемента и VDZ уже около 15 лет работают над улавливанием CO₂ на цементном заводе и его последующим использованием или хранением (улавливание и утилизация углерода / улавливание и хранение углерода). Первые пилотные и демонстрационные установки в Германии в настоящее время вводятся в эксплуатацию, в ближайшие несколько лет их будет еще больше. По состоянию на 2030 год, согласно дорожной карте отрасли по выбросам углерода, около 1 млн тонн CO₂ могут быть сокращены за счет его использования в качестве сырья или хранения, что также сделает доступными углеродно-нейтральные цементы и бетоны в среднесрочной перспективе.

Проектирование бетонных конструкций и конструкций с низким уровнем выбросов углерода из бетона

Для снижения углеродного следа бетонной конструкции уже сейчас применяются методики проектирования, основанные на применении концептуальных конструктивных решений, включающих основные элементы, имеющие пониженный углеродный фон. Рассмотрим данную методику на примере использования в бетонном строительстве различных потолочных систем, которые в общей структуре здания представляются наиболее значимыми по степени формирования углеродного фона (рис. 4).

Предварительно напряженные бетонные потолки требуют на 40 % меньше бетона и на 75 % меньше стали по сравнению с другими бетонными потолочными системами при сопоставимых статических требованиях к потолку. Также возможно уменьшение толщины компонента за счет уменьшения бетонного покрытия. Пролет длиной 7 м может быть достигнут при толщине потолка 15 см или 18 м при толщине потолка 40 см. Кроме того, использование пустотелых элементов позволяет значительно сократить расход материалов, не влияя на несущую способность (пустотелые потолки). Возможна интеграция труб отопления и вентиляции, а также активация бетонного сердечника. Предварительно напряженные бетонные сборные перекрытия также подходят для гибридного строительства из дерева и бетона, в частности, для экономичного удовлетворения требований звукоизоляции и противопожарной защиты.

Предварительно напряженные сэндвич-потолки – один из способов изготовления сборных потолочных систем с минимальным весом. Две внешние бетонные оболочки, а также бетонные ребра, расположенные между ними, обеспечивают статические характеристики. Между ребрами размещены вытеснитель-

ные тела, где статический бетон не требуется. Нижняя сэндвич-панель и ребра изготовлены из сборного материала. На строительной площадке инженерные коммуникации здания и верхняя бетонная сэндвич-панель дополняются. Система обеспечивает гибкую планировку помещений для различных нужд использования. Возможны пролеты до 20 м и экономия веса до 50 % по сравнению с массивными потолками. Системы сэндвич-потолков доступны в виде сборных или полуфабрикатов.

Монолитные пустотелые перекрытия также обеспечивают сопоставимую экономию (до 35 % сокращения бетона, до 15 % сокращения стали, до 20 % снижения углеродного следа). При толщине компонентов от 20 до 80 см проявляется большая гибкость полых потолочных систем. Особенно для больших пролетов установка пустотелых элементов, например из переработанного пластика, в местах с низким статическим напряжением потолка может снизить вес потолка. Меньший собственный вес позволяет уменьшить толщину потолка или увеличить пролет. Кроме того, он снижает нагрузку на компоненты, снимающую нагрузку. В последние годы был разработан ряд различных полых саржевых систем. Даже после демонтажа монолитных пустотелых перекрытий с использованием простых методов обработки (бетон / пластик / бумага различной плотности) можно добиться разделения материалов, которые можно повторно использовать в качестве переработанных для дальнейшей рециркуляции.

Инновационные формообразующие корпуса и системы опалубки

Инновацией в монолитных пустотелых перекрытиях являются экструзионные корпуса из переработанного картона, которые разрабатываются в настоящее время. Так называемый волокнистый формовочный материал изготовлен из переработанной бумаги и уже используется в упаковочной промышленности (например, в качестве картонной коробки для яиц).

Еще одним нововведением является потолочная опалубка произвольной формы с 3D-печатью, которая заменяет предварительно напряженные бетонные ребристые перекрытия, имеющие бетон только в тех местах, которые требуются статически. Потолочные системы разрабатываются, производятся и тестируются в Швейцарском федеральном испытательном центре в Цюрихе в реальных условиях в исследовательском здании. Этот тип «потерянной» опалубки позволяет изготавливать потолки произвольной формы из бетона открытого типа.

Энергосбережение благодаря высокой теплоемкости бетона

Высокая теплоемкость бетона может быть оптимизирована с точки зрения планирования. В то время как основное внимание уделяется теплотермическим потерям в ограждающей конструкции здания, внутренние массивные конструктивные элементы могут оказывать

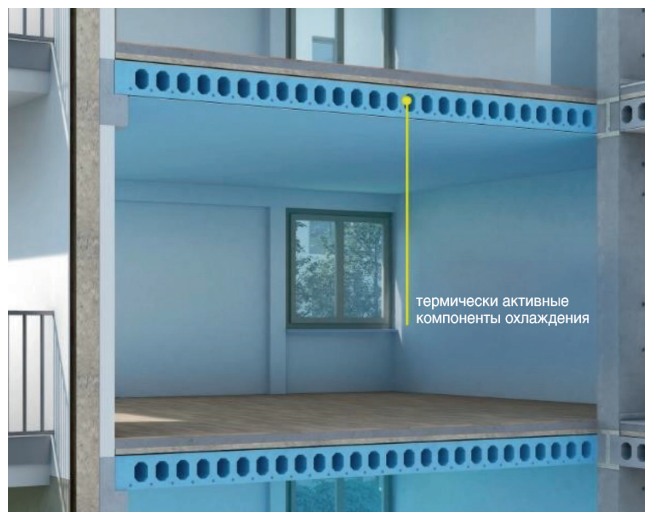
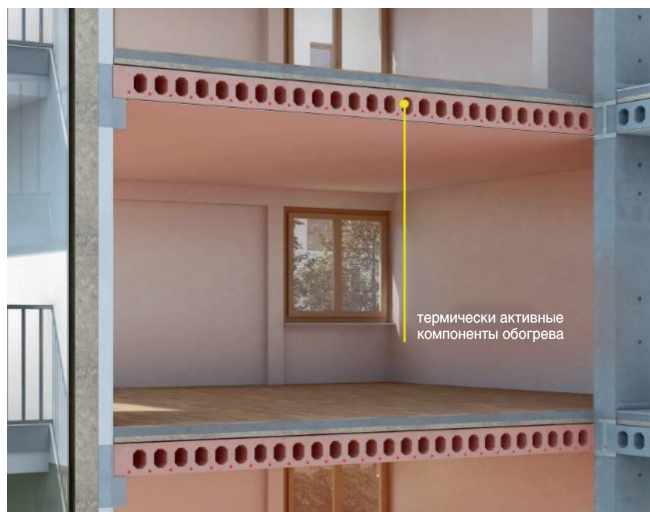


Рис. 5. Формирование термоактивных компонентов в бетонной конструкции
Fig. 5. Formation of thermoactive components in a concrete structure

регулирующее воздействие на температуру в здании. Благодаря соответствующему детальному планированию и детальному формированию конструкции из бетона могут быть спроектированы практически без мостиков тепла и визуально высокого качества. В частности, с помощью железобетонных многослойных фасадов и бетонных навесных стен можно оптимизировать здания с помощью термического регулирования. Справочная информация по этому поводу, а также обширная коллекция деталей содержатся в атласе планирования. Однако при этом следует обращать внимание на возможность повторного использования и долговечность используемых теплоизоляционных материалов. Интересные альтернативы также могут появиться с новыми концепциями ступенчатых или многослойных бетонных сечений, особенно в потолочных и стеновых системах.

Тепловая инерция бетона (при теплоемкости около $2400 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \text{ К})$) соответствует, прежде всего, ощущению комфорта человека. Поскольку температура наружного воздуха в Германии обычно опускается ниже 20°C ночью, даже летом, массивные компоненты могут снова остыть, а затем опять медленно поглощать дополнительное тепло в течение дня. Это означает, что при хорошей теплозащите существует небольшой перепад между температурой компонента и воздуха в помещении, который считается комфортным. Это свойство становится еще более эффективным в сочетании с активацией компонента. Исследования показали, что традиционные системы отопления должны повышать температуру в помещении на $1\text{--}2^\circ \text{C}$, чтобы создать сопоставимое ощущение комфорта.

Способность бетона удерживать тепло оказывает положительное влияние при эксплуатации по сравнению с более легкими методами строительства. Меньшая способность легких материалов (например, дерева) удерживать тепло приводит к большей потребности в теплоснабжении при содержании зда-

ния по сравнению с конструкцией из массива дерева. На примере типичного многоквартирного дома потребность в тепловой энергии деревянного дома в сравнении с железобетонным зданием в течение 50 лет выше на 5 %, при этом выбросы CO_2 более чем на 3 % выше. Это значение увеличивается при более длительном контроле.

Отопление и охлаждение бетоном: эффективное и возобновляемое

Термическая активация бетонных компонентов использует теплоизоляционную способность бетона, стабилизируя температуру в помещении как летом, так и зимой. Это не только обеспечивает комфортный климат в помещении без завихрения воздуха, но и снижает потребность в энергии для обогрева и охлаждения здания.

Так называемая активация конструктивного элемента, или бетонного сердечника, позволяет обогревать и охлаждать все типы высотных зданий в течение всего года. В сочетании с возобновляемыми источниками энергии потолки и стены в качестве термоактивных компонентов создают наилучшие условия для энергоэффективного и экономичного строительства. Это делается путем интеграции системы трубопроводов в бетонные компоненты, по которым подается горячая или холодная вода (рис. 5). Вода отдает тепло бетону или охлаждает его, отводя тепло.

Бетон обменивается теплом с пространством на 60 % за счет излучения и на 40 % за счет конвекции. Система работает в низкотемпературном энергосберегающем диапазоне, типичная тепловая мощность составляет от 25 до 30 Вт/м^2 , а охлаждающая способность – от 30 до 40 Вт/м^2 . Активированные бетонные элементы конструкции обеспечивают бесперебойную работу без движущихся частей и имеют срок службы, соответствующий конструкции. Нагревательные элементы большой площади – потолочные перекрытия и, возможно, вентиляционные отверстия. Настенные

элементы заменяют классический радиатор и кондиционеры из-за их большой массы. Низкие затраты энергии, необходимые для обогрева или охлаждения, могут преимущественно покрываться за счет возобновляемых источников энергии, например: тепла окружающей среды от геотермальной энергии или подземных вод, централизованного теплоснабжения, солнечной энергии, фотоэлектрической энергии или других источников энергии.

Активация компонентов позволяет распределять потребности в энергии во времени с помощью соответствующего регулирования и ограничивать подачу энергии в те периоды, когда возобновляемая электроэнергия доступна в избытке и, следовательно, недорого стоит. В частности, для предварительно напряженных бетонных перекрытий тепловые и охлаждающие перекрытия в настоящее время стали обычной и проверенной практикой. Здесь экономятся не только материалы, но и время строительства.

Инновации в энергосбережении бетона

Бетонный теплоаккумулятор. Бетон является отличным теплоаккумулятором благодаря плотности материала. Особенно при использовании солнечной и ветровой энергии необходимо создать емкости для хранения, чтобы компенсировать неравномерное обеспечение энергией. Стальные трубы, залитые термомасляным или водяным паром, залитые в высокотемпературный бетон, заполняют или опорожняют резервуар, также называемый накопителем тепловой энергии. Используются температуры до 450 °C. Он может хранить до 2 МВт энергии на модуль хранения.

Бетонная батарея. Идея электрической батареи, изготовленной из бетона, в настоящее время разрабатывается в Швеции. Небольшое количество углеродного волокна добавляется в мелкозернистый бетон для повышения электропроводности. В бетонный компонент конструкции, например в плиту перекрытия здания, вставляются металлические сетки из углеродного волокна – железо для анода, никель для катода. Это создает постоянно перезаряжаемую батарею для децентрализованного хранения солнечной энергии и ее доставки в здание по мере необходимости. В настоящее время ведутся исследования того, как низкая энергоемкость данного источника, по сравнению с классическими батареями, может быть компенсирована большими бетонными площадями в зданиях.

Планирование энергосбережения в строительстве

Возврат бетона в цикл обработки материалов

Даже сегодня использование дробленого бетона в качестве вторичного строительного материала является обычной практикой во многих областях. Бетонная крошка зарекомендовала себя как каменная крошка в бетоне или несвязанный несущий и морозостойкий слой в дорожном строительстве, заменяя там первичное сырье. Кроме того, повтор-

ное использование избыточного и остаточного количества после обработки является обычной практикой при производстве свежего бетона. Коэффициент использования бетона уже очень высок – более 90 %. При этом потенциал в первую очередь раскрывается в дорожном строительстве. Арматура, отделенная от бетона, на 100 % повторно поступает в цикл переработки в виде стального лома.

Учитывая, что в обозримом будущем количество твердого бетона, получаемого в результате демонтажа, будет увеличиваться, существует потенциал для значительного расширения переработки бетона в строительстве зданий в будущем. Тонны первичного сырья можно сэкономить за счет использования переработанного каменного песка в бетоне. Использование рециклинговых строительных материалов уже может быть включено в технологию. Следует учитывать региональную доступность и транспортные маршруты.

Использование переработанного бетона в строительстве зданий

Использование повторно переработанного щебня в несущих конструкциях регулируется нормативно и, следовательно, уже возможно сегодня. Уже в 1990-х годах были реализованы такие проекты, как административное здание Немецкого федерального фонда охраны окружающей среды (DBU) в Оснабрюке или Waldspirale в Дармштадте с использованием более 12 000 м³ переработанного бетона. Таким образом, эффективность так называемых R-бетонов подтверждена на протяжении многих лет и характеризуется высоким процентом их использования в конструкциях новых зданий (рис. 6).

Циклы использования материалов в цепочке формирования структуры цемента и бетона

В будущем необходимо больше использовать переработанный бетон, экономя таким образом природные ресурсы, например гравий и песок. В зависимости от класса воздействия и типа рециклированного каменного зерна до 45 % (сухих внутренних компонентов) природного каменного зерна может быть заменено рециклированным каменным зерном ≥ 2 мм. Помимо дробленого бетона, допускается также включение ограниченного количества других строительных материалов без какого-либо неблагоприятного воздействия на качество бетона. Это значительно повышает экономичность подготовки бетона. Например, в зависимости от типа рециркулируемой породы может содержаться до 10 % или до 30 % других компонентов, таких как кирпич, известняковый песчаник, а также небольшое количество других материалов. Бетоны с классом прочности на сжатие до C30/37 и WU могут быть изготовлены с использованием повторно обработанной каменной крошки. Но до сих пор этот потенциал для экономики в строительстве еще не полностью использован.



Рис. 6. Содержание переработанных бетонов в конструкции здания
Fig. 6. The content of recycled concrete in the building structure

С введением нового поколения стандартов DIN 1045 мелкодисперсная каменная крошка ≤ 2 мм (называемая бетонным дробленным песком, или переработанной мукой) также может быть использована в будущем, а пропорции крупнозернистой повторно переработанной каменной крошки могут быть увеличены в некоторых применениях.

Доступность переработанного каменного зерна

В настоящее время повторно переработанная каменная крошка еще не доступна повсеместно и в достаточных количествах для производства бетона. Важно активно стимулировать спрос на переработанный бетон и таким образом также стимулировать соответствующие цепочки создания стоимости и производственно-сбытовых циклов. Важным условием для этого является подготовка, то есть максимально чистое разделение различных материалов сноса, а также улучшенное отделение цементного камня от щебня.

Заключение

Что возможно при проектировании и выполнении строительных работ сегодня?

Бетон по праву называют строительным материалом XX века, и то, что он также обладает потенциалом стать строительным материалом XXI века, доказывают многочисленные технологические инновации в области бетона. Прошли те времена, когда бетон все еще был простой смесью цемента, воды и заполнителя. Сегодня высокотехнологичный бетон представляет собой многокомпонентную систему. Разумно изменяя и модифицируя эти компоненты, бетон может приобретать совершенно новые технологические и эксплуатационные свойства. В связи с этим большое внимание в эффективном развитии получили направления развития бетонных технологий: легкий бетон (LVB), самоуплотняющийся бетон (SVB), сверхпрочный бетон как кислотостойкий строительный материал, фибробетон с добавлением стального волокна или стекловолокна, самоочищающийся бетон.

При всем многообразии основ бетонных конструкций и конструктивных элементов в привычном восприятии бетон не исчерпал своих возможностей в развитии основных тенденций и мировых трендов: эффективность с точки зрения климата, ресурсосбережение, энергосбережение. Современные подходы уже сегодня позволяют обеспечивать тепловые преимущества зданий, снижая потребление энергии при его эксплуатации и обеспечивая комфортный микроклимат независимо от времени года. Кроме того, целенаправленно активируя бетонные конструкции для отопления и охлаждения, возможно внести важный вклад в интеграцию возобновляемых источников энергии для производства тепла и холода в зданиях.

Исходя из цели производства цемента и бетона с нулевым выбросом углерода к 2045 году, формируются новые возможности, которые архитекторы, проектировщики и строители уже сегодня могут использовать для значительного сокращения углеродного следа и использования ресурсов бетонных конструкций для строительства устойчивых сооружений. Успешные действия и решения в области планирования могут наилучшим образом реализовать потенциал устойчивого развития бетона – от выбора строительных материалов и строительства до этапа использования в течение всего срока службы.

Список литературы

1. Материалы и публикации Информационного центра Beton GmbH (Германия). URL: www.beton.org
2. DIN 1045 «Конструкции несущие из бетона, железобетона и напряженного бетона» – национальный стандарт Германии, разработанный немецким институтом по стандартизации (Deutsches Institut für Normung).

References

1. Materials and publications of the Beton GmbH Information Center (Germany). URL: www.beton.org
2. DIN 1045 “Load bearing structures made of concrete, reinforced concrete and stressed concrete” German national standard developed by the German Institute for Standardization (Deutsches Institut für Normung).

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Георгиевич Бублиевский✉, заместитель директора Ассоциации «Железобетон», руководитель ЭГ1.3 «Товарный бетон и раствор, сборные железобетонные изделия и конструкции», член НТС Минпромторга РФ, Москва
e-mail: bubalex@mail.ru

Alexander G. Bublevsky✉, Deputy Director of the Association “Reinforced Concrete”, Head of EG1.3 “Factory concrete and mortar, precast reinforced concrete products and structures”, Member of the STC of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation, Moscow
e-mail: bubalex@mail.ru

Сергей Николаевич Лапырев, руководитель направления промышленных технологий НИИЖБ им. А.А. Гвоздева; член консультационно-экспертного Совета Ассоциации «Железобетон», Москва
Sergey N. Lapyrev, Head of the Industrial Technologies, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Member of the Advisory and Expert Council, Association “Reinforced Concrete”, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author