

Применение стержневой неметаллической композитной арматуры для армирования ячеистобетонных изделий автоклавного твердения

Лаповская С.Д., д.т.н., зам. директора по научной работе
Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов и изделий «НИИСМИ»
(Украина, Киев)

АННОТАЦИЯ

В статье проанализирована перспективность применения стержневой неметаллической композитной арматуры для изготовления армированных конструкций из ячеистого бетона автоклавного твердения.

ABSTRACT: The article analyzes the prospects of application of non-metallic composite reinforcement rod for the manufacture of reinforced concrete structures of aerated autoclaved.

Как известно, строительная промышленность является стратегически важной для экономики отраслью как в локальном, так и в глобальном масштабе. Например, в ЕС эта отрасль является крупнейшим отраслевым работодателем, обеспечивающим работой более 15 млн человек и приносящим около 500 млрд евро ВВП ежегодно [1].

В странах ЕС на жилые дома приходится около 40% от общего потребления энергии. Для достижения цели Киотского протокола по сокращению выбросов парниковых газов необходимо сконцентрироваться на строительном секторе как одном из наиболее энергоемких. С этой целью Европейской комиссией в 2011 г. разработано Руководство по устойчивому строительству и принят «План по повышению энергоэффективности», в которых жилые здания определены как сектор с наибольшим потенциалом для экономии энергии. Европейская директива по энергетической эффективности зданий (EPBD) требует для жилых домов максимального снижения потребления первичных энергоносителей и перехода на возобновляемые источники энергии. Однако в умеренных и холодных климатических зонах чаще наблюдается дефицит возобновляемых источни-

ков энергии. Т.е. потребление первичной энергии должно быть минимальным, а необходимое для функционирования дома количество энергии должно производиться (солнечные батареи, энергия ветра и т.д.) или на месте, или максимально близко к дому [2–4].

Это неотвратимо ставит вопрос о роли традиционных методов строительства и традиционных материалов, таких как автоклавный ячеистый бетон (АЯБ), который обеспечивает структурную прочность и теплоизоляцию. Последние данные по международным исследованиям АЯБ, в том числе таких его свойств, как экологичность, огнестойкость, возможность повторного использования и переработки, а также удельные расходы ресурсов и энергоэффективность, свидетельствуют о перспективности применения этого прогрессивного строительного материала для удовлетворения цели ЕС по стандартам «приближенного к нулевому потреблению энергии» для всех новых зданий в 2020 году [5–9].

Ячеистый бетон – достаточно прочный, легкий и простой строительный материал, который может быть использован для устройства наружных ограждающих конструкций и внутренних перегородок. АЯБ требует незначи-

тельного количества энергии в процессе производства и позволяет значительно экономить энергию в течение жизненного цикла здания. Кроме того, в перспективе отходы после утилизации зданий из ячеистого бетона могут быть повторно использованы или переработаны. Экономичные энергоэффективные наружные стены из АЯБ позволяют достичь широкого диапазона величин термического сопротивления как в многослойном, так и однослойном выполнении ограждающих конструкций.

Перспективность применения ячеистого бетона при возведении энергоэффективных зданий подтверждается реализацией проектов жилых домов, разработанных в Великобритании на выполнение Code for Sustainable Homes [2–3] и проектов жилых домов, разработанных исследовательским центром концерна Xella [8].

Как известно, одним из способов повышения термической однородности ограждающих конструкций является уменьшение количества швов. Для отечественных производителей ячеистого бетона это означает увеличение доли выпуска армированных изделий (крупно-размерных блоков, стеновых панелей, плит покрытий и т.д.).

Традиционно для армирования ячеистобетонных панелей и плит используется конструктивная и рабочая металлическая арматура (проволочная класса Вр-I или стержневая классов А-I и А-III).

Металлическая арматура, применяемая для армирования ячеистобетонных конструкций, должна быть защищена от коррозии с помощью специальных покрытий, т. к. высокая пористость и паропроницаемость ячеистобетонной матрицы, а также более низкий по сравнению с тяжелым бетоном уровень рН способствует развитию коррозионных процессов в арматуре.

Для покрытия арматурных стержней и каркасов, как правило, применяют различные мастики на битумной основе, цементно-латексные эмульсии и др. композиции, которые имеют высокую адгезию к арматурной стали, стойкость в условиях автоклавной обработки и достаточную деформативность, исключая образование трещин в покрытии при деформации арматуры.

В Украине проектирование армированных ячеистобетонных конструкций выполняют по СНиП 2.03.01–84 «Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов»; при производстве ар-

мированных конструкций руководствуются рекомендациями СН 277–80. Оба этих документа разработаны с учетом уровня развития промышленности 90-х годов XX века.

В последнее время в мире при производстве армированных бетонов все более широкое применение находят композиционные материалы и технологии. На строительном рынке широко распространяется новый армирующий элемент – высокопрочная неметаллическая арматура из композитных материалов.

Стержневая неметаллическая композитная арматура (НКА) выпускается периодического профиля из стеклянного или базальтового ровинга, пропитанного химически стойким полимером. Для пропитки используется термореактивное вяжущее на основе синтетических (полиэфирных или эпоксидных) смол.

Металлическая арматура в составе ячеистобетонных изделий и конструкций является одним из наиболее ответственных и уязвимых элементов. При недостаточной толщине и сплошности защитного покрытия арматура корродирует под воздействием влаги и щелочной среды ячеистого бетона, что уменьшает срок эксплуатации, требует проведения внеочередных ремонтов и приводит к разрушению железобетонных изделий и конструкций. Одним из способов повышения сроков эксплуатации железобетонных конструкций является увеличение сечения арматуры, что приводит к повышенному ее расходу.

Металлическая арматура вследствие высокой теплопроводности при недостаточной толщине защитного слоя часто становится мостиком холода, снижающим термическое сопротивление ограждающих конструкций. При избыточном увлажнении армированной ячеистобетонной конструкции в холодный период года может наблюдаться образование льда вокруг арматурных стержней, что также приводит к преждевременному разрушению конструкции.

Применение неметаллической композиционной арматуры для производства армированных ячеистобетонных конструкций является актуальным и перспективным направлением.

Технические характеристики позволяют применять базальтопластиковую и стеклопластиковую арматуру в промышленно-гражданском и дорожном строительстве в бетонных конструкциях зданий и сооружений различного назначения, для усиления мостов, в ограждающих конструкциях, в том числе подвергаемых в процессе эксплуатации действию общей коррозии и агрессивных сред, работающих при

систематических воздействиях температур не выше (+100) °С и не ниже (-70) °С. При этом бетонные конструкции могут быть из тяжелого, мелкозернистого, легкого, неавтоклавного ячеистого и поризованного бетонов, а также из напрягающего бетона.

Применение НКА при производстве строительных конструкций позволяет снизить их стоимость и повысить долговечность, при этом по удельным прочностным показателям базальтопластиковая арматура существенно превосходит традиционную арматуру (табл. 1). По результатам длительных исследований НИИЖБ долговечность строительных конструкций с использованием НКА превышает 100 лет, что обусловлено высокой химической стойкостью арматуры к большинству известных агрессивных сред – газовая среда повышенных концентраций, хлористые соли, калийные соли, сульфатная среда, морская вода и т.д.

Технические преимущества применения НКА: небольшой удельный вес, коррозионная, химическая и биологическая стойкость, низкая теплопроводность, сопоставимый с бетонной матрицей коэффициент линейного теплового расширения способствуют повышению эксплуатационной надежности и долговечности конструкций и изделий. Экономические преимущества применения НКА для армирования бетонных конструкций: увеличение межремонтного периода для конструкций, уменьшение расходов на содержание и ремонт, увеличение срока службы конструкций в 2–3 ра-

за, возможность проведения монтажных и регламентных работ без использования специальных грузоподъемных механизмов и техники, уменьшение расходов на транспортировку конструкций и их элементов на место монтажа за счет меньшего веса.

В Украине применение НКА для армирования железобетонных конструкций на основе тяжелого и легкого бетона регламентируется ДСТУ Б В.2.6–145:2012.

В соответствии с этим документом НКА рекомендуется применять в качестве продольной рабочей арматуры растянутой зоны изгибаемых, внецентренно сжатых и растянутых элементов, а также поперечной арматуры, устанавливаемой по конструктивным требованиям. НКА отнесена к IV группе арматурных сталей, предельная ширина раскрытия трещин не должна превышать 0,4 мм.

Вопрос применения НКА при производстве армированных конструкций из ячеистых бетонов автоклавного твердения в настоящее время изучен недостаточно.

В большинстве случаев ячеистые бетоны автоклавного твердения производятся при температуре среды 186–200 °С, при этом температура ячеистобетонного массива превышает 100 °С. В соответствии со строительными нормами температура применения НКА ограничена 100 °С, т. к. при более высоких температурах возможно разрушение полимерного покрытия арматурных стержней и потеря их жесткости. При этом рабочая температура базальтового волокна достигает 600 °С.

Таблица 1

Сравнительные характеристики металлической и композитной арматуры

Характеристики	Металлическая арматура класса А-Ш (А400С) ГОСТ 5781-82	Неметаллическая композитная арматура	
		стекло-пластиковая	базальто-пластиковая
Материал	Сталь 35ГС, 25Г2С	стеклянные волокна диам. 13–16 мкм	базальтовые волокна диам. 10–16 мкм
Временное сопротивление при растяжении, МПа	360	1200	1300
Модуль упругости, МПа	200000	55000	71000
Относительное удлинение, %	25	2,2	2,2
Плотность, т/м ³	7	1,9	1,9
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	50,2-54,4 при температуре 100 °С	0,036	0,031 -0,038
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	0,103-0,137	1×10 ¹²	1×10 ¹¹
Коэффициент линейного теплового расширения при температуре 20 °С, 1/°С	(11,9-12,8)×10 ⁻⁶	6,5×10 ⁻⁶	9×10 ⁻⁶

Таким образом, для НКА возможно расширить диапазон рабочих температур при условии использования более термостойкого покрытия.

Институт НИИСМИ совместно с НИИВМ им. В.Д. Глуховского КНУСА в настоящее время разрабатывает защитное покрытие на основе геоцемента для стержневой базальтовой арматуры, которую предполагается использовать при производстве армированных конструкций из ячеистого бетона автоклавного твердения.

Отличительной особенностью искусственного камня на основе геоцементов является то, что основными структурообразующими фазами являются минералы, подобные природным неорганическим полимерам каркасной структуры (типа цеолитов и фельдшпатоидов), а дополнительными – низкоосновные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция и магния слоистой структуры. Разработанная в НИИВМ технология направленного синтеза цеолитоподобных новообразований в составе продуктов твердения геоцементов предусматривает получение на начальном этапе цементирующей фазы в аморфизованном высокодисперсном состоянии, в котором щелочные соединения прочно связаны в водонерастворимые алюмосиликатные комплексы. В процессе отверждения в условиях обычных температур и давлений эти комплексы проявляют полимерные свойства и высокую адгезию к различным материалам [10–13]. Вещественный состав цеолитоподобных продуктов, в которых щелочь прочно связана в химических соединениях, описывается формулой $[Me ((SiO_2)_z AlO_2)_n] \cdot mH_2O$, где $z = 1, 2, 3$; Me – катион K^+ или Na^+ ; n – степень поликонденсации.

Отличительной особенностью геоцементов со структурной формулой $Na_2O (K_2O) \cdot Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ является то, что, изменяя соотношение основных оксидов SiO_2 / Al_2O_3 , $Na_2O (K_2O) / Al_2O_3$, варьируя количество молекул воды, вводя добавки-модификаторы как неорганического, так и органического типа, можно получать материалы с различными свойствами, высокой долговечностью и областями использования.

Нами разработана базовая двухкомпонентная геоцементная защитная композиция (ГЗК). Сухой и жидкий компоненты смешивались ручным смесителем до однородной массы. Полученную геоцементную дисперсию наносили на поверхность базальтовой арматуры вручную с помощью кисти.

Отверждение арматурных стержней с геоцементным покрытием производили в воздушном потоке, нагретом до температуры $60^\circ C$ в течение 20–30 мин.

Контроль качества геоцементного покрытия производили следующим образом:

- технологическая вязкость – по вискозиметру Суттарда;
- толщина покрытия после нанесения и его отверждения на арматуре – с помощью магнитного толщиномера;
- адгезия покрытия к базальтовой арматуре – методом нормального силового отрыва.

На предварительном этапе исследований было принято решение изучить взаимодействие полученного геоцементного покрытия с сырьевыми смесями, не содержащими газообразователь. Растворную смесь готовили из цемента, извести, молотого песка, гипса и воды при соотношении компонентов, принятом для конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона марки по средней плотности D500. В/Т отношение составляло 0,45.

Подготовленные отрезки НКА помещали в металлические формы-балочки $40 \times 40 \times 160$ мм, которые заполнялись растворной смесью. После схватывания смеси и набора достаточной прочности образцы извлекались из форм и подвергались автоклавной обработке в лабораторном автоклаве при температуре $190^\circ C$ и давлении 1,2 МПа по режиму 2 + 8 + 2 ч.

На следующем этапе исследований сырьевая смесь содержала газообразователь (алюминиевая пудра). В/Т отношение составляло 0,65.

Целью экспериментальных исследований является определение следующих параметров полученных образцов армированного плотного силикатного бетона и ячеистого бетона:

- исследование контактных зон между ГЗК и плотным силикатным бетоном, ГЗК и ячеистым бетоном, ГЗК и НКА (электронная микроскопия, исследование новообразований);
- исследование параметров сцепления НКА, покрытой ГЗК с ячеистобетонной матрицей и сопоставление полученных данных с требованиями к традиционной стальной арматуре;
- исследование прочностных и эксплуатационных характеристик образцов армированного ячеистого бетона.

Выводы

Стабильное строительство является проблемой, которая требует совместных усилий со стороны исследователей, производителей строительной продукции, строителей, архитекторов, разработчиков и даже политиков, а также от граждан независимо от того, являются ли они строителями, владельцами квартир или их арендаторами. В последней версии Европейской Директивы по энергоэффективности зданий призывают до конца 2020 года строить все новые здания с приближенным до нуля потреблением энергии. Термин “ноль” до сих пор не был четко определен, но ожидается, что “нулевой уровень” будет сосредоточен на потреблении зданием первичной энергии.

Строительная отрасль сталкивается с огромным количеством изменений с точки зрения будущего строительства. Даже если большая часть сохранения первичной энергии происходит от использования возобновляемых источников энергии, главным местом для снижения потребления энергии всегда были отопление и вентиляция здания, которые находятся под воздействием энергетической эффективности оболочки здания.

Наружные ограждающие конструкции из АЯБ имеют достаточную прочность и долговечность, они негорючие и могут быть использованы для достижения высоких уровней энергосбережения в жилищном строительстве. В монолитном исполнении АЯБ является высокоэффективной основой для домов с приближенным к нулю потреблением энергии. Дома будущего будут более инженерными. Но влияние ограждающих конструкций зданий не будет автоматически аннулировано. Хорошо изолированные и герметичные оболочки необходимы для достижения отрицательного энергетического баланса в доме. Таким образом, даже в эпоху низкого энергопотребления отдельно или в сочетании с новыми композиционными материалами автоклавный ячеистый бетон как материал с высоким потенциалом развития, будет предлагать решения проблем, связанных с повышенными требованиями по энергоэффективности наружных ограждающих конструкций.

Литература

1. European Union's policy and regulatory perspectives on sustainable construction /Vicente Leoz-Argüelles / 5th International Conference on AAC “Securing a sustainable future”. Poland, Bydgoszcz, September 14–17, 2011, UTLS.
2. Promoting AAC solutions for sustainable construction challenges in Europe /Jos Cox/5th International Conference on AAC “Securing a sustainable future”. Poland, Bydgoszcz, September 14–17, 2011, UTLS.
3. Designing with AAC to achieve sustainable houses / Cliff Fudge/5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete “Securing a sustainable future”. Poland, Bydgoszcz, September 14–17, 2011, UTLS.
4. www.zerocarbonhomes.org website of the Zero Carbon Hub, Milton Keynes.
5. Department for Communities and Local Government, 2006. Code for Sustainable Homes-A step-change in sustainable home building practice, www.communities.gov.uk, London.
6. Department for Communities and Local Government, 2010. Code for Sustainable Homes-Technical Guide, www.communities.gov.uk, London.
7. www.passivhaus.org.uk, website of the BRE, Watford.
8. Construction of a nearly-zero energy house with AAC under different European climate conditions / Torsten Schoch /5th International Conference on AAC “Securing a sustainable future”. Poland, Bydgoszcz, September 14–17, 2011, UTLS.
9. Towards nearly zero-energy buildings. Definition of common principles under the EPBD. Final report – Executive Summary ec.europa.eu.
10. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны / [под общ. ред. проф. В.Д. Глуховского]. – К.: Вища школа, 1979. – 232 с.
11. Скурчинская, Ж.В. Синтез аналогов природных минералов с целью получения искусственного камня: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.23.05 “Строительные материалы и изделия” / Ж.В. Скурчинская. – Львов, 1973. – 24 с.
12. Гузий, С.Г. Щелочные алюмосиликатные вяжущие композиции на основе глинозема: основы синтеза, технологии получения и применения: Доклад 9.2 [Электронный ресурс] / С.Г. Гузий // Высокотемпературные материалы и технологии в XXI веке: научно_практ. конференция (Москва, 12–13 ноября 2008 г.) – М., РХТУ им. Д.И. Менделеева.
13. Исследование фазового состава продуктов твердения щелочных алюмосиликатных связывающих агентов на коррозионную стойкость минералоподобного искусственного камня / П.В. Кривенко, Ж.В., О.М. Скурчинская Петропавловский [та ін.] // Химическая промышленность Украины. – 1998. – № 4. – С. 66–71.