УДК 691.32

В.Н. МОРГУН[1], канд. техн. наук (morgun_vlad@bk.ru),
Л.В. МОРГУН[2], д-р техн. наук (konst-lvm@yandex.ru), А.В. ВИСНАП[2], бакалавр

[1] Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42)
[2] Ростовский государственный строительный университет (344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162)

Применение арматуры в изделиях из фибропенобетонов

Из анализа проблем строительного комплекса следует, что многослойные стеновые конструкции обладают рядом эксплуатационных недостатков, которые налагают ограничения на их эксплуатационную надежность. Поэтому ограждающие стеновые конструкции целесообразно изготовлять однослойными. Использование для этих целей фибропенобетона позволяет не только расширить номенклатуру крупноразмерных энергосберегающих строительных изделий, но и прогнозировать успешное применение для их изготовления стеклопластиковой арматуры.

Ключевые слова: фибропенобетон, арматура стеклопластиковая, арматура металлическая, однослойные ограждающие конструкции.

V.N. MORGUN[1], Candidate of Sciences (Engineering) (morgun_vlad@bk.ru);
L.V. MORGUN[2], Doctor of Sciences (Engineering) (konst-lvm@yandex.ru), A.V. VISNAP[2], Bachelor
[1] Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)
[2] Rostov State University of Civil Engineering (162, Sotcialisticheskaya Street, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation)

The Use of Reinforcement in Products Made of Fiber-Foam-Concretes

The analysis of the building complex problems demonstrates that multilayer wall structures possess some operational shortcomings which limit their operation reliability. Therefore, enclosing wall structures is reasonable to produce single-layer. The use of fiber-foam-concrete for these purposes makes it possible not only to expand the nomenclature of large-size energy-saving building products, but also forecast the successful application of glass-plastic reinforcement for their manufacturing.

Keywords: fiber-foam concrete, glass-plastic reinforcement, metal reinforcement, one-layer enclosing structures.

Для обеспечения строительного комплекса конкурентоспособными строительными материалами отраслевая наука должна динамично соответствовать его потребностям и быть восприимчивой к достижениям технического прогресса. Важнейшими инновационными направлениями развития производства строительных материалов являются повышение качества, энергоэффективности и экологичности продукции, а также снижение энергоемкости ее изготовления [1]. Снижение средней плотности стеновых строительных материалов позволяет увеличивать объемы строительства, способствует снижению материалоемкости возводимых сооружений, улучшает их теплотехнические свойства и энергосбережение.

Особенно важно снижение материалоемкости строительных конструкций при сохранении или улучшении эксплуатационных свойств материалов, из которых они изготовлены, потому что в настоящее время сформировалась устойчивая тенденция к повышению этажности зданий, увеличению габаритов сооружений и массы технологического оборудования. Это предопределяет рост нагрузок на основания, которые далеко не всегда обладают достаточно высокой несущей способностью и их свойства могут налагать ряд конструктивных ограничений на возводимые сооружения.

Повышение энергоэффективности и снижение материалоемкости сооружений в современном строительном комплексе РФ достигается преимущественно за счет применения трехслойных ограждающих конструкций. Опыт их эксплуатации показывает, что многослойные стены возводятся с многочисленными дефектами. В них часто отсутствуют анкера и гибкие связи для крепления облицовок, а опорные уголки не всегда устанавливаются. Опирание кирпичной облицовки на перекрытия или металлические уголки не соответствует проекту и т. д. Достаточно часто при проектировании и возведении зданий с трехслойными стенами не учитываются параметры их паро- и воздухопроницаемости. Пересечение сеток или стеклопластиковых связей с пароизоляцией приводит к ухудшению санитарно-гигиенических свойств жилья (плесень внутри помещений) и к существенному ухудшению сопротивления стен теплопередаче [2, 3].

Основными причинами повреждений и разрушений кирпичной облицовки многоэтажных зданий со стенами из трехслойных конструкций, по мнению специалистов ЦНИИСК им. Кучеренко, являются низкое качество и нарушение технологии производства строительных работ [4]. Многие специалисты полагают, что важнейшим направлением, повышающим качество и энергоэффективность зданий, является фактор «сборности» и применения однослойных ограждающих конструкций [2, 3], которые предопределяют снижение количества операций и трудозатрат на стройплощадке и значительно повышают качество строительно-монтажных работ.

Именно поэтому у строителей существует распространенное и достаточно обоснованное мнение, что автоклавный газосиликат в настоящее время один из лучших стеновых материалов. И если во второй половине XX в. [4] из него изготавливали не только блоки, но и армированные стеновые панели, то сейчас – преимущественно мелкоштучные изделия. Необходимость соблюдения высоких требований к сопротивлению теплопередаче предопределила широкое распространение в практике строительства трехслойных ограждающих конструкций и применение для устройства стен только мелкоштучных изделий из автоклавного газосиликата.

И если ранее согласно требованиям в конструкции панели было достаточно толщины газосиликата в 150–200 мм при плотности 500–600 кг/м^3, то в настоящее время ее следовало бы как минимум удвоить. А свойства материала по прочности при растяжении не позволяют соблюсти это требование. Прочность при растяжении и изгибе у автоклавных газосиликатов составляет 8–10% от прочности при сжатии, т. е. ее недостаточно, для того чтобы крупноразмерное изделие значительной толщины можно было бы распалубливать и траспортировать на объект без накопления в нем дефектов в виде трещин. Именно поэтому, несмотря на прекрасные теплотехнические свойства и достаточную прочность при

Рис. 1. Испытание фибропенобетонной перемычки, содержащей металлический каркас

сжатии, панели из автоклавного газосиликата стройиндустрией в настоящее время практически не производятся. Хотя многоэтажные здания из них по-прежнему прекрасно эксплуатируются во многих городах [2, 3], но по величине сопротивления теплопередаче они уже не соответствуют требованиям СНиПа.

Развитие технологии пенобетонов неавтоклавного твердения позволило в начале XXI в. создать промышленную технологию пенобетона, дисперсно-армированного синтетическими волокнами, – фибропенобетона [5, 6]. Дисперсное армирование пенобетонов синтетическими волокнами позволяет в разы повышать прочность при растяжении и энергоемкость разрушения строительных конструкций, существенно улучшать санитарно-гигиенические свойства помещений. В таблице представлены физико-механические свойства фибропенобетонов.

Из таблицы следует, что фибропенобетон плотностью 600 кг/м^3 обладает такой же паропроницаемостью, что и древесина сосны, а при плотности 800 кг/м^3 соответствует кладке из облегченного кирпича. Пенобетон, дисперсно-армированный синтетическими волокнами, по характеру и энергоемкости разрушения под действием нагрузок принципиально отличается от известных разновидностей ячеистых бетонов.

На рис. 1 представлен фрагмент испытаний перемычки из фибропенобетона плотностью 700 кг/м^3, изготовленной на предприятии стройиндустрии в г. Ростове-на-Дону. Фибропенобетон армирован металлическим каркасом, идентичным тому, который используется для армирования перемычек, изготавливаемых из тяжелого бетона классов В15–В20. На снимке видно, что под действием нормативной нагрузки в растянутой зоне армированного металлическим каркасом газонаполненного бетона появились трещины, однако до разрушения ему еще далеко. Из этого следует, что пенобетон, дисперсно-армированный волокнами и обладающий прочностью при сжатии существенно меньшей, чем бетон слитной структуры класса В20 (см. таблицу), утрачивает способность к хрупкому разрушению и обеспечивает повышение несущей способности железобетонной строительной конструкции за счет весьма существенного повышения прочности на растяжение при изгибе. Под действием изгибающих нагрузок фибропенобетон претерпевает следующие стадии деформирования:

1. Совместная упругая деформация фибры и бетона, которая проявляется в стадии упругого деформирования бетона (в бетонах, не содержащих дисперсной арматуры, предел упругой деформативности соответствует моменту разрушения или разделения материала на части).

2. При появлении в растянутой зоне бетона первой трещины в работу сопротивления механической нагрузке включаются те объемы материала, которые связаны с фиброй силами поверхностного сцепления. Поэтому материал не разделяется на части. В случае снятия нагрузки берега полученных трещин смыкаются. Если нагрузка продолжает расти, то развитие берегов трещин идет в замедленном темпе, вплоть до достижения предела упругой деформативности фибры.

3. Достижение предела упругой деформативности фибры переводит фибропенобетон в состояние пластического течения дисперсной арматуры.

4. Разрыв или выдергивание волокон из бетона характеризует полное разрушение материала, которое не всегда выражается разделением изделия на части.

Последнее особенно важно для строительных объектов, попадающих в условия чрезвычайной ситуации, обусловленной землетрясением или взрывом, потому что лавинообразно разрушающиеся строительные конструкции приводят к большому числу жертв. В то время как постепенное разрушение конструкций из фибропенобетона позволит либо избежать их вообще, либо резко снизить тяжесть их последствий.

Учитывая преимущества фибропенобетона по показателям прочности при растяжении по сравнению с пенобетоном и даже тяжелыми бетонами слитной структуры, была разработана и создана армированная металлическим каркасом плита перекрытия с габаритными размерами 4800×900×300 мм [7]. При плотности фибропенобетона 730 кг/м^3 испытуемое изделие показало, что его деформативность по величине прогибов под длительно действующей нагрузкой меньше, а несущая способность в момент достижения предельного прогиба выше в 2,4 раза относительно соответствующих деформаций при использовании тяжелого бетона класса В17,5.

В строительных изделиях, содержащих арматурные каркасы, сцепление возникает в результате трения бетона о сталь. Со временем оно возрастает в результате усадки цементного камня и обжатия им арматурных стержней. Наибольшее влияние на сцепление металлической арматуры с бетоном оказывает сопротивление бетона усилиям смятия и среза, возникающее между выступами на поверхности арматуры, т. е., механическое зацепление арматуры за бетон обеспечивает около 75% от общей величины сцепления. Сцепление стержневой арматуры периодического профиля с бетоном в 2–3 раза выше по сравнению со сцеплением гладкой арматуры.

Плотность, кг/м^3	Прочность, МПа		Относительная паропроницаемость, мг/м^2·ч	Морозостойкость, циклы	Теплопроводность, Вт/(м·°С)		
	при сжатии	растяжение при изгибе			сухого	А	Б
600	1,5–3,5	0,7–2,5	0,15	Более 80	0,113	0,17	0,21
700	2,5–4	1,0–2,8	0,13	Более 80	0,142	0,21	0,24
800	3,5–5	1,5–3	0,1	Более 100	0,171	0,24	0,27
900	5–7,5	1,5–3	0,07	Более 100	0,21	0,27	0,31

Повышение максимальных напряжений в бетоне при вырыве арматуры периодического профиля специалисты объясняют повышением качества контактной зоны между бетоном и арматурой. При этом подчеркивается, что такое явление имеет место только в том случае, когда затвердевший материал обладает минимальной пористостью [8].

Любые разновидности ячеистых бетонов обладают пористостью, многократно превышающей объем пор в бетонах слитной структуры. Поэтому на прочность их сцепления с арматурой периодического профиля, безусловно, влияют все вышеперечисленные факторы, но дополнительно, по нашему мнению, должны влиять явления массопереноса в период начального формирования структуры, т. е. до начала схватывания цемента. Именно поэтому был выполнен ряд экспериментальных исследований по оценке влияния вида и средней плотности пенобетонов на прочность их сцепления с металлической и стеклопластиковой арматурой периодического профиля.

Они показали, что эффективность, проявляемая конструкционным ФПБ при изготовлении плит перекрытия, при армировании их металлическими каркасами может быть повышена (рис. 2). Основанием для такого утверждения являются результаты эксперимента по оценке прочности сцепления металлической (МА) и соответствующего диаметра стеклопластиковой арматуры (СПА) с фибропенобетонами конструкционного назначения.

Испытаниям на сцепление с арматурными стержнями подвергались образцы, изготовленные из равноплотных материалов, армированных стержнями обоих видов арматуры диаметром 12 мм. Результаты механических испытаний на продавливание показали, что прочность сцепления фибропенобетона с арматурой периодического профиля имеет важную для практики особенность. Стеклопластиковая арматура обладает существенно лучшим сцеплением по сравнению с металлической (рис. 2).

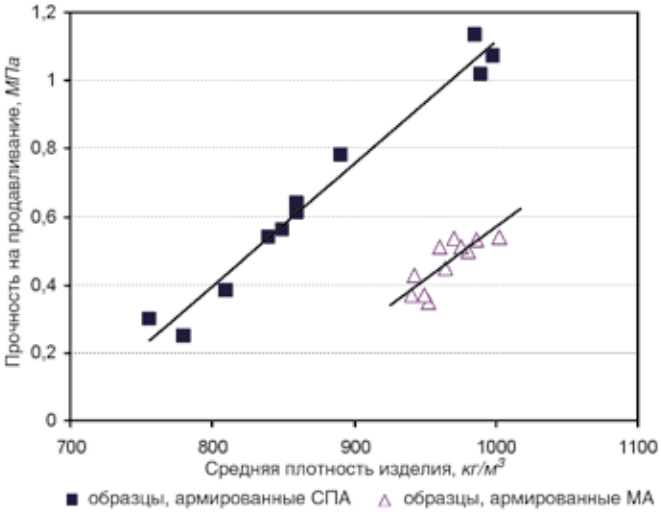

Рис. 2. Влияние вещественной природы стержневой арматуры на прочность ее сцепления с фибропенобетонами

Анализируя полученный результат, можно утверждать, что такие существенные различия в прочности сцепления предопределены прежде всего более плотным и прочным контактным слоем фибропенобетонной матрицы. Причиной упрочнения фибропенобетона в зоне контакта со стеклопластиковой арматурой является интенсификация массопереноса в период раннего формирования структуры смеси за счет более высокого энергетического потенциала поверхности полимера по сравнению с металлом.

Отсюда следует, что при изготовлении строительных изделий из фибропенобетона в тех случаях, когда противопожарные требования не накладывают ограничений на возможность применения стеклопластиковой арматуры, для повышения несущей способности энергоэффективных строительных конструкций целесообразно применять стержневую стеклопластиковую арматуру либо сочетать ее с металлической.

Список литературы

1. Федеральный закон № 261–ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности»
2. Копсов Э.В., Тарасевич Б.П., Сулейманов А.М. Строительство и проекты домов: строить трехслойные стены и жить в них нельзя! Материалы круглого стола в Республике Татарстан. 25.05.2012 г. http://rekonstroy-oskol.ru/a73522-stroit-trehslojnye-steny.html (дата обращения 04.02.2015).
3. Пинскер В.А., Вылегжанин В.П. Газобетон в жилищном строительстве с максимальным его использованием. *Ячеистые бетоны в современном строительстве-2007: материалы международной научно-практической конференции*. СПб. 2007. С. 8–21.
4. Лившиц Д.В., Пономарев О.И., Фролов А.А., Ломова Л.М. Особенности монолитных зданий с фасадами из облегченной кладки // *СтройПРОФИль*. 2009. № 6. С. 53–58.
5. Моргун В.Н., Моргун Л.В., Богатина А.Ю., Смирнова П.В. Достижения и проблемы современного крупнопанельного домостроения // *Жилищное строительство*. 2013. № 3. С. 41–45.
6. Yoo-Jae K. and J. Hu. Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete containing surfactant. *Advances in Civil Engineering*. 2010. No. 1, pp. 1–8.
7. Патент РФ 106636. Плита перекрытия / Набоков С.М., Набокова Я.С., Чумакин Е.Р. Заяв. 11.03.2011. Опубл. 20.07.2011. Бюл. № 20.
8. Шахова Л.Д. Технология пенобетона (теория и практика). М.: АСВ, 2010. 246 с.

References

1. The federal law No. 261-FZ of November 23, 2009. “About energy saving and increase of power effectiveness”.
2. Kopsov E.V., Tarasevich B.P., Suleimanov A.M. Construction and projects of houses: it is impossible to build triplex walls and to live in them! Materials “A round table in the Republic of Tatarstan” of 25.05.2012. http://rekonstroy-oskol.ru/a73522-stroit-trehslojnye-steny.html (date of access 04.02.2015). (In Russian).
3. Pinsker V.A., Vylegzhanin V.P. Aerocrete in housing construction with its maximal use. *Cellular concretes in the modern construction-2007. Materials of the international scientific and practical conference*. SPb. 2007, pp. 8–21. (In Russian).
4. Livshits D. V., Ponomarev O. I., Frolov A. A., Lomova L. M. Features of monolithic buildings with facades from the facilitated laying. StroiPROFIl’. 2009. No. 6, pp. 53–58. (In Russian).
5. Morgun V.N., Morgun L.V., Bogatina A.Yu., Smirnova P.V. Achievements and problems of modern large-panel housing construction *Zhilishchnoe stroitel’stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 3, pp. 41–45. (In Russian).
6. Yoo-Jae, K. and J. Hu. Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete containing surfactant. *Advances in Civil Engineering*. 2010. No. 1, pp. 1–8.
7. Patent RF 106636. Plita perekrytiya [Overlapping plate] Nabokov S.M., Nabokova Ya.S., Chumakin E.R. Declared 11.03.2011. Published 20.07.2011. Bulletin No. 20. (In Russian).
8. Shakhova L.D. Tekhnologiya penobetona (teoriya i praktika). [Technology of foam concrete (theory and practice)] Moscow: ASV. 2010. 246 p.