

УДК 666.973:69.056.53

*В.Н. МОРГУН, канд. техн. наук, Южный федеральный университет;
А.Ю. БОГАТИНА, канд. техн. наук, Ростовский государственный университет путей сообщения;
Л.В. МОРГУН, д-р техн. наук, П.В. СМИРНОВА, канд. техн. наук,
Ростовский государственный строительный университет (Ростов-на-Дону)*

Достижения и проблемы современного крупнопанельного домостроения

Анализ требований к эффективности и комфортности жилья требует грамотного применения стеновых материалов. Современное материаловедение предлагает российскому строительному комплексу экологические и технически эффективные материалы, применение которых в широкой практике позволит поднять крупнопанельное домостроение на новый технологический и качественный уровень.

Ключевые слова: крупнопанельное домостроение, ячеистые бетоны, автоклавные материалы, фибропенобетон, фибропеножелезобетон.

О принципиальной возможности скоростного возведения зданий из бетонов впервые заявил Ле Корбюзье, который сформулировал знаменитые «пять отправных точек современной архитектуры». Важно понимать, что дизайнерские новации архитекторов могут быть воплощены в жизнь, только когда эксплуатационные свойства строительных материалов обеспечивают возможность их достижения.

26 апреля 1954 г. в нашей стране при Мосгорисполкоме было создано Главное управление по жилищному и гражданскому строительству (Главмосстрой), основной задачей технической политики которого явилось внедрение в практику строительства **индустриальных технологий возведения зданий**. Первые 20 лет работы этой организации (<http://www.glavmosstroy.ru>) обогатили Москву на 45,4 млн м² жилой площади, в то время как довоенный жилой фонд составлял всего около 13,4 млн м². К 1966 г. около 40% общего годового объема жилищного строительства принадлежало домам, возведенным из крупных панелей, что стало возможным благодаря развитию стройиндустрии, опирающейся на технологию крупнопанельного домостроения.

Середина XX в. во всем мире характеризуется интенсивным развитием методов индустриального проектирования и возведения зданий. Индустриальные способы стали технически осуществимыми потому, что социум уделял огромное внимание и направлял необходимые материальные ресурсы на развитие технологии легких бетонов слитной (керамзитобетон, перлитобетон, шунгизитобетон и др.) и ячеистой (пено- и газобетоны) структур.

К концу XX в. очень распространенными стали крупные панели из автоклавного газобетона. Опыт эксплуатации зданий из таких бетонов насчитывает более 80 лет и показывает, что они наиболее полно удовлетворяют требованиям энерго- и ресурсосбережения при обеспечении акустической комфортности, пожарной и экологической безопасности [1]. Почти единственным недостатком конструкций из автоклавных ячеистых бетонов является низкая прочность

материала при растяжении, составляющая 5–8% от прочности на сжатие [1, 2]. Именно это свойство налагает ряд важных ограничений на методы производства работ при возведении зданий и эксплуатационную надежность конструкций, из которых они состоят.

Причиной низкой прочности на растяжение всегда являются разрывы сплошности в структуре твердой фазы, которые возникают в ходе технологической переработки сырья при изготовлении конкретного вида материала [2, 4]. Формирование высокой однородности и прочности возможно при упорядочении структуры компонентов, получаемой в результате фазовых переходов при изготовлении материалов. В настоящее время практическим решением таких задач занимаются нанотехнологии.

По мнению А.И. Гусева [3], к нанотехнологиям относятся не только наночастицы, широко применяемые в электронике, но и **технологические процессы, которые способны обеспечивать принципиальное изменение свойств известных материалов за счет перехода их составляющих в нанокристаллическое состояние**. То, что природа научилась создавать в процессе эволюции, человек сможет осуществлять, опираясь на достижения научно-технического прогресса. Если в наномир двигаться по пути организации процессов структурообразования, то можно создавать наноструктурированные материалы с уникальными свойствами.

В каменных материалах при улучшении демпфирующих свойств, корреляционно связанных с прочностью при растяжении, прочность при сжатии уменьшается. Если в результате совершенствования технологии в материале вместе с прочностью растут и демпфирующие свойства [3], то это свидетельствует о появлении нанокристаллов в его структуре. Слои нанокристаллов, которые способны обеспечивать комплексное повышение прочности и демпфирующих свойств материалов, получают разными способами, в том числе осаждением коллоидных частиц на поверхность подложки. Именно такой способ достижения высо-

ких эксплуатационных свойств ячеистыми бетонами неавтоклавного твердения реализован в технологии фибропенобетонов.

Рыночные преобразования, начавшиеся после 1991 г., показали, что современная стройиндустрия РФ находится на уровне, недостаточном для успешной работы строительного комплекса. Вступили в действие новые теплотехнические требования к ограждающим конструкциям зданий, и большинство выпускаемых материалов перестало соответствовать новым требованиям. Переориентация строительного комплекса на новый уровень сопротивления ограждающих конструкций теплопередаче способствовала повышению потребности в эффективных теплоизоляционных материалах. Казалось бы, чего проще, правильно применяй их и достигай высокой эффективности. Однако практика показывает, что именно с правильностью применения и возникают проблемы.

Широко рекламируется и, к сожалению, применяется на практике технология крупнопанельного деревянного домостроения, позволяющая быстро возводить дома из панелей на деревянном каркасе, обшитом снаружи цементно-стружечной плитой толщиной 16 мм, а изнутри – гипсоволокнистым листом толщиной 12 мм. Внутреннее пространство каркаса заполняют минеральной ватой толщиной 150 мм. Панели изготавливают в заводских условиях, они имеют точные размеры и быстро собираются в готовый объект на строительной площадке. Достоинства такого способа очевидны и всегда проявляются в зданиях мобильного типа, т. е. таких, в которых возможна замена теплоизоляционного слоя в случае утраты им эксплуатационных свойств. А недостатки проявляются не в момент сдачи объекта приемочной комиссии, а позже, после некоторого (3–8 лет) срока эксплуатации.

При эксплуатации дома, построенного по такой технологии, пар, всегда диффундирующий от теплого к холодному через воздухо- и паропроницаемый гипсоволокнистый лист, будет проникать в утеплитель, где и накопится в виде конденсата. Цементно-стружечная плита, практически паро- и воздухонепроницаемая, не позволит сконденсированной влаге испариться.

Влага, скопившаяся во внутреннем теплоизоляционном слое стеновой конструкции, в ходе ее эксплуатации будет способствовать утрате первоначально достигнутого уровня теплоизоляции; развитию неравномерных усадочных деформаций в теплоизоляционном и ограждающих слоях; ухудшению эстетических свойств ограждающих поверхностей.

В увлажненном теплоизоляционном материале возникают благоприятные условия для гниения деревянного (или коррозии металлического) каркаса и разрушения гипсоволокнистого листа. Эти процессы обозначаются появлением мокрых пятен внутри помещений, развитием плесени и грибов. Приведенные недостатки вовсе не исключают применения данной технологии в строительстве. Надо лишь учитывать, что она годится для возведения зданий мобильного типа или складских, поскольку в таких зданиях либо предусматривается периодическая замена теплоизоляционного слоя, либо отсутствуют условия для транспортирования пара через конструкцию стены. Такая технология не может быть полезной при строительстве капитальных зданий, предназначенных для длительной эксплуатации. Аналогичные претензии можно предъявить практически к лю-

бым видам трехслойных панелей потому, что пар из плотного материала в пористый диффундирует всегда, а обратно не перемещается.

В России также активно применяют аналог вышеприведенной технологии – технологию «Русская стена», в которой меняется только вид утеплителя: вместо минеральной ваты применяют вспененный пенополистирол (ППС). Хорошо известно, что ППС обладает низкой тепло- и огнестойкостью. До возгорания при $t = 80\text{--}90^\circ\text{C}$ в ППС развивается деструкция, приводящая к изменению объема и выделению вредных веществ. Оценка работы ППС в составе трехслойных строительных конструкций показывает, что под оштукатуренной поверхностью ППС физически нестабилен [5]. Статистика чрезвычайных ситуаций последних 10 лет отражает тот факт, что растет число пожаров с большим количеством жертв, основной причиной которых является уровень токсичности строительных и отделочных материалов.

Напрашивается вывод, что изменение свойств пенополистирола от воздействия неконтролируемых случайных факторов потенциально опасно, если он применен в качестве утеплителя стен зданий, и экономически невыгодно при эксплуатации в течение более 10 лет. Для использования в капитальном строительстве необходимы такие материалы, свойства которых удовлетворяют комплексным требованиям по экологичности, теплоэффективности, пожаро- и взрывобезопасности, комфортности и долговечности, надежности и ремонтпригодности, предъявляемым к ним не только на момент возведения, но и в ходе всего периода эксплуатации зданий.

Очень привлекательным стеновым теплоизоляционным материалом является ячеистый бетон. Эффективность его применения в строительстве признана во всем мире и не имеет себе равных. Однако следует хорошо разбираться в разновидностях этого материала, для того чтобы не только правильно его применять, но и обеспечивать возведенный объект наивысшим уровнем теплоэффективности, комфортности, долговечности, надежности и ремонтпригодности.

Ячеистые бетоны автоклавного и естественного твердения существенно различаются по таким эксплуатационным свойствам, как прочность при сжатии и влажность после термообработки. Формально у автоклавных бетонов эти качества лучше, то есть прочность выше, а влажность ниже. Однако мало кто учитывает тот факт, что конкретная величина прочности при сжатии назначается не потому, что конструкция получит соответствующие сжимающие нагрузки при монтаже или эксплуатации, а потому, что прочность при растяжении у каменных материалов редко превышает 10% от прочности при сжатии. Для успешного монтажа конструкций из такого материала следует обеспечивать такой уровень прочности при растяжении, который составляет не менее 1 МПа. У автоклавных ячеистых материалов это соотношение снижается до 6–8%. То есть даже если конструкция изготовлена из автоклавного бетона плотностью 1000 кг/м^3 , при классе по прочности В10 величина R_{bt} не достигает до требуемого уровня.

Автоклавные материалы при совершенствовании технологической обработки сырья способны наращивать прочность на сжатие, почти не увеличивая ее при растяжении. Такие материалы после завершения тепловой обработки достигают максимума своей прочности и в дальнейшем только деградируют. А материалы, отвердевав-

шие без применения тепловой обработки, через год после изготовления, как правило, удваивают величину, достигнутую к 28 дням твердения [6, 7].

Комплексная оценка технико-экономической привлекательности ячеистых бетонов показывает, что для изготовления материалов неавтоклавного твердения требуется минимальное количество энергии, а динамика стоимости энергоресурсов носит лавинообразный характер. Поэтому с экономической точки зрения технология ячеистых бетонов естественного (неавтоклавного) твердения привлекательна. Для традиционных пено- и газобетонов естественного (неавтоклавного) твердения характерен такой важный недостаток, как высокая усадка при твердении, продолжительность проявления которой может превышать 180 дней с момента изготовления изделия [6].

Учитывая экономическую привлекательность ячеистых бетонов неавтоклавного твердения, очень важен поиск тех технологических приемов, которые способны обеспечивать как повышение их прочности при растяжении, так и существенное снижение усадочной деформативности либо ее исключение [7]. Эффективным, обеспечивающим устранение перечисленных недостатков, является дисперсное армирование пенобетонов синтетическими волокнами, которое способствует повышению их прочности при растяжении в 5–10 раз [7, 8], что влечет за собой довольно значительный перечень преимуществ, проявление которых чрезвычайно важно при изготовлении изделий, их транспортировании, монтаже и эксплуатации законченных строительных объектов. Дисперсно-армированный пенобетон неавтоклавного твердения называют фибропенобетоном (ФПБ).

Мелкоштучные и погонажные изделия из ФПБ в Южном федеральном округе (Ростов-на-Дону) промышленным образом изготавливаются с июля 2002 г. Освоена следующая номенклатура изделий: блоки стеновые и теплоизоляционные плотностью от 250 до 900 кг/м³; галтели плотностью 400 и 500 кг/м³; перемычки брусковые и арочные; карнизные изделия.

ФПБ отличается [8] от существующих видов ячеистых бетонов: повышенной прочностью при растяжении и вязкостью разрушения; пониженной теплопроводностью и усадочной деформативностью.

Что дает строительному делу такое изменение свойств материала? Прежде всего возможность получения высокоточных изделий сложной формы. Универсальные формообразующие свойства смесей позволяют изготавливать изделия любой конфигурации (рис. 1). Пазовая конструкция стенового блока в сочетании со вторым классом точности раз-



Рис. 1. Стеновой блок из ФПБ



Рис. 2. Дом с криволинейным фасадом



Рис. 3. Межкомнатная перегородка из блоков пазопропной формы после выполнения кладочных работ



Рис. 4. Интерьер после проведения электротехнических работ, крепления отопительного оборудования и шпательования стен

меров предопределяет пониженные требования к уровню квалификации рабочих, осуществляющих кладку, и делает такую продукцию привлекательной для частных застройщиков, военных строителей и тех регионов страны, в которых ощущается дефицит квалифицированных строителей (рис. 1). Технологически просто изготавливать изделия криволинейной формы, которые позволяют не ограничивать полета архитектурных фантазий (рис. 2).

Реализация принципа «паз-шпонка» (рис. 3), достигаемая за счет прочности материала при растяжении, исключает появление выколов и трещин при воздействии случайных ударных нагрузок, позволяет отказываться от оштукатуривания поверхности стен, выполненных из таких мелкоштучных изделий потому, что степень шероховатости не превышает 2 мм. То есть для получения гладкой поверхности стены вполне достаточно шпательования (рис. 3, 4).

Сравнение теплопроводности равноплотных газо-, пено- и ФПБ, приведенное в таблице, показывает, что последние выгодно (на 15–20%) отличаются в лучшую сторону, при этом паропроницаемость ФПБ меньше. Паропроницаемость ФПБ плотностью 700 кг/м³ соответствует кирпичной кладке на цементно-песчаном растворе, плотность которого составляет не менее 1800 кг/м³.



Рис. 5. Карнизные элементы офисного здания «Купеческий двор» на этапе строительства



Рис. 6. «Купеческий двор» после ввода в эксплуатацию

В современных зданиях каркасного типа, стены которых состоят из трех слоев материалов, нагрузки на оконные блоки компенсируются перемычками. Железобетонные перемычки ухудшают теплотехнические свойства ограждающих конструкций, поэтому над оконным проемом часто устанавливают не одну перемычку по толщине стены, а несколько тонких, между которыми прокладывают минераловатные теплоизоляционные слои после их слезивания, строители пока не дают ответа. Если железобетонные перемычки заменить теплоэффективными брускового или арочного типа из фибропеножелезобетона, то исключается потребность в дополнительной теплоизоляции этого элемента стеновых конструкций.

При возведении зданий внутри существующей застройки возникает ряд сложных организационных и технологических проблем, к числу которых относятся жесткое ограничение границ стройплощадки; сложность обслуживания строящегося объекта крановым оборудованием; отсутствие площадей для складирования изделий из сборного железобетона и др.

Применение изделий из железобетона с фибропенобетоном позволяет успешно решать такие сложности потому, что монтаж даже крупноразмерных элементов не всегда требует применения мощного кранового оборудования. Именно такие проблемы были успешно решены при возведении офисного центра «Купеческий двор» в историческом центре г. Ростова-на-Дону (рис. 5, 6). Здание возводилось в стесненных условиях существующей застройки в исторической части города, поэтому башенный кран мог обслуживать только часть объекта. Карнизные изделия, украшающие его фасад, должны были сочетать в себе малую массу с требуемыми геометрическими размерами, архитектурной выразительностью и атмосферостойкостью. Для этого были изготовлены фибропеножелезобетонные изделия сложной геометрической формы, способные эксплуатироваться без специальной защиты от атмосферных воздействий.

В 2010 г. инициативной группой специалистов г. Ростова-на-Дону изготовлена и испытана под действием длительно действующей нагрузки плита перекрытия из

Вид ячеистых бетонов	Прочность, МПа		Морозо- стойкость, циклы	Паропрони- цаемость, мг (м·ч·Па)	Теплопроводность, Вт/(м·°С)			Теплоусвоение (при периоде 24 ч), Вт/(м²·°С)	
	при сжатии	при растяжении и при изгибе			сухого	для условий эксплуатации			
						А	Б	А	Б
ФПБ 300	0,5–0,7	0,1–0,3	25	0,23	0,069	0,09	0,11	1,37	1,68
ФПБ 400	0,7–1,5	0,2–1	50	0,21	0,078	0,10	0,13	1,53	1,99
ФПБ 500	1–2,5	0,5–1,8	75	0,18	0,088	0,13	0,16	1,99	2,44
ФПБ 600	1,5–3,5	0,7–2,5	100	0,15	0,113	0,17	0,21	2,60	3,21
ФПБ 700	2,5–5	1–2,8	100	0,13	0,142	0,21	0,24	3,21	3,67
ФПБ 800	3,5–7,5	1,5–4	Более 100	0,10	0,171	0,24	0,27	3,67	4,12
АГБ*400	1–2	Не норм.	Не нор.	0,23	0,1	0,13	0,16	1,53	1,99
АГБ 600	2–3	Не норм.	До 75	0,17	0,14	0,17	0,2	2,6	3,21
ПБ 400	0,5–1	Не норм.	Не норм.	0,23	0,1	0,13	0,16	1,53	1,99
ПБ 600	1,5–2,5	Не норм.	До 35	0,17	0,14	0,17	0,2	2,6	3,21

Примечания: ФПБ – неавтоклавный фибропенобетон; АГБ – автоклавный газобетон; ПБ – неавтоклавный пенобетон.



Рис. 7. Загрузка плиты из фибропеножелезобетона (ФПЖБ) при регистрации прогибов

фибропенобетона размером $900 \times 300 \times 4800$ мм и плотностью 800 кг/м^3 , армированная объемными металлическими каркасами (рис. 7, 8). Как показали испытания, достижение допустимого прогиба величиной $6,85$ мм имело место после превышения нагрузки в 73 Па. Эта нагрузка в $2,4$ раза превысила нормативную, предъявляемую к пустотным железобетонным плитам класса В20. При удельной нагрузке 220 Па прогиб плиты в средней части пролета достиг 35 мм, однако видимых трещин в растянутой зоне изделия обнаружено не было. Плита не получила местного смятия и в местах опирания. При дальнейшем нагружении плиты до 890 Па кинетика прогибов не регистрировалась. Вес брутто испытанной плиты $1,2$ т, что как минимум на 15% легче пустотной железобетонной плиты такой же площади.

Опыт применения изделий из фибропенобетона и результатов испытаний плиты перекрытия из фибропеножелезобетона показывают, что материал может успешно применяться в самых различных областях домостроения потому, что его свойства обеспечивают достижение высокой энергоэффективности в сочетании с возможностью получения гладких лицевых поверхностей любой конфигурации (рис. 1–5); высокой атмосферостойкостью (табл. и рис. 6); низкой материалоемкостью при высоких конструктивных свойствах (рис. 7, 8).

Перечисленные технологические и физико-механические свойства фибропенобетонов способны обеспечивать надежное соблюдение проектных механических, теплотехнических и акустических свойств современных зданий. Однако широкое и достойное применение этого безопасно и экологичного материала ограничено рядом не зависящих от авторов социально-экономических факторов. Важнейшим из них является разрыв между утвержденным Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и подзаконными актами, обеспечивающими возможность его исполнения на практике. Опытно-промышленная апробация технологии фибропенобетона, опирающаяся только на личную инициативу авторов патен-



Рис. 8. Вид плиты из ФПЖБ при максимальной нагрузке

тов и представителей малых предприятий, показала возможности высокой эффективности применения этого материала в строительном комплексе. Дальнейшее ее развитие сдерживается отсутствием инвестиций, позволяющих исключить влияние человеческого фактора на качество выпускаемой продукции, и документов, регламентирующих возможности получения и правила применения фибропенобетонов в строительстве.

Список литературы

1. Ухова Т.А. Перспективы развития производства и применения ячеистых бетонов // Строительные материалы. 2005. № 1. С. 18–20.
2. Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов / Под ред. Е.М. Чернышева, Е.И. Шмитько. Воронеж: ГАСУ, 2002. 344 с.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 416 с.
4. Герсга А.Н., Выровой В.Н. Иерархия процессов кластерообразования // Строительные материалы. 2006. № 8. / Наука. С. 21–22.
5. Маркевич А.И., Охота Б.Г. Для тех, кто заработал возможность выбирать. Сб. тр. «Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве». Севастополь, 2007. С. 236–248.
6. Застава М.М. К оценке усадки и ползучести ячеистых бетонов. Сб. трудов «Ячеистые бетоны». Вып. 2. Л.: Стройиздат, 1972. С. 21–29.
7. Моргун В.Н. Теоретическое обоснование закономерностей конструирования структуры пенобетонов. Мат. международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008». Т. 1. Современные проблемы строительного материаловедения и технологии. Кн. 1. Воронежская ГАСА, 2008. С. 333–337.
8. Моргун Л.В., Богатина А.Ю. Смирнова П.В. Моргун В.Н., Набокова Я.С. О ячеистом бетоне пониженной сейсмостойкости // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 73–76.