

УДК 691.328.34

*С.Б. БЕЛАНОВИЧ, генеральный директор, Н.П. САЖНЕВ, канд. техн. наук, советник руководителя, Н.К. ШЕЛЕГА, начальник производства ЗСК, ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» (п. Чисть, Молодечненский р-н Минской обл., Республика Беларусь), С.Л. ГАЛКИН, зам. директора по науке УП «ЦНТУС» (г. Минск, Республика Беларусь)*

## Применение армированных автоклавных ячеисто-бетонных изделий

*Приведены свойства автоклавного ячеистого бетона, позволяющие производить конструкции, превосходящие по свойствам изделия из тяжелого бетона и древесины за счет сочетания прочностных и теплотехнических показателей, а также стойкости в условиях пожара. Показано, что комплексное применение ячеисто-бетонных изделий, включая армированные, позволяет уменьшить собственную массу стен, перегородок, перекрытий и покрытий, обеспечить теплотехнические и противопожарные показатели без применения теплоизоляционных материалов.*

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, армирование автоклавных ячеисто-бетонных плит, номенклатура, комплексное применение ячеисто-бетонных изделий.

Для детального рассмотрения преимуществ, которые предоставляет применение армированных ячеисто-бетонных изделий, следует остановиться на специфических свойствах автоклавного ячеистого бетона. Именно эти свойства позволяют использовать данный бетон для самых разнообразных целей.

### Прочность, плотность и теплопроводность

Следует особо подчеркнуть, что указанные характеристики применительно к ячеистому бетону находятся в функциональной зависимости друг от друга, при этом технологические особенности производства данного материала позволяют варьировать в определенных пределах деформационно-прочностные показатели независимо от плотности и теплопроводности. Это дает возможность выбирать оптимальное сочетание показателей физико-технических характеристик автоклавного ячеистого бетона с учетом функционального назначения армированных изделий.

Как правило, для изготовления армированных изделий используют конструкционно-теплоизоляционный автоклавный ячеистый бетон со средней прочностью в пределах 2–10 МПа и плотностью в сухом состоянии в диапазоне 500–800 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность такого бетона в сухом состоянии согласно ТКП 45–2.04–43–2006 «Строительная теплотехника» составляет 0,12–0,25 Вт/(м·°C), а при эксплуатационной влажности (5% при плотности 500–700 кг/м<sup>3</sup> и 7% при плотности 800 кг/м<sup>3</sup>) – 0,16–0,33 Вт/(м·°C). Необходимо отметить, что ячеистый бетон, как любой пористый материал с большим суммарным объемом макро- и микропор (70% и более) и воздухопроницаемыми стенками твердой фазы (за счет развитой сети капилляров), в теплотехническом отношении весьма чувствителен к изменению его влажности. Этот фактор в обязательном порядке должен учитываться при расчете тепловых потерь помещений с наружными ограждающими конструкциями из ячеистого бетона в начальный период эксплуатации зданий. Для расчетного опре-

деления коэффициента теплопроводности при фактической влажности можно использовать формулу, полученную путем преобразования зависимостей из ISO 10456–2007 «Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values»:

$$\lambda_w = \lambda_0 \cdot e^{0,04 \cdot w},$$

где  $\lambda_w$  – коэффициент теплопроводности ячеистого бетона при фактической влажности;  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности ячеистого бетона в сухом состоянии (по нормам проектирования);  $W$  – фактическая влажность по массе ячеистого бетона, %.

### Звукоизолирующие свойства

Автоклавный ячеистый бетон за счет своей структуры имеет хорошие звукоизолирующие качества, поэтому однослойные конструкции в подавляющем большинстве случаев обеспечивают выполнение нормативных требований по звукоизоляции помещений. Сопротивление ячеисто-бетонных конструкций распространению прямого шума зависит от их массы и возрастает с увеличением плотности бетона и толщины элемента. Повышению звукоизолирующей способности также способствуют защитно-декоративные слои и отделочные слои в виде штукатурки, обшивки листовыми материалами и др.

Для плит перекрытий и панелей межквартирных стен из условий обеспечения требуемых параметров звукоизоляции при прочих равных условиях используют, как правило, бетон с большей плотностью, поскольку теплопроводность таких изделий в отличие, например, от панелей наружных стен менее актуальна. И наоборот, для элементов, используемых в наружных ограждающих конструкциях, показатель теплопроводности в большинстве случаев имеет решающее значение, что приводит к необходимости применения бетона с меньшей плотностью для улучшения теплозащитных характеристик.



Рис. 1. Ячеисто-бетонные плиты перекрытий: а — спакетированные для транспортировки; б — монтаж плит на строительной площадке

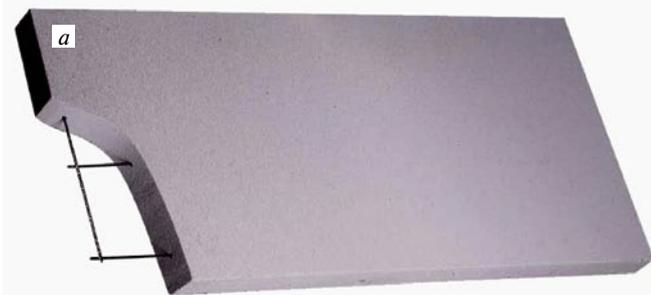


Рис. 2. Ячеисто-бетонные плиты с однорядным армированием для устройства настила по несущей балочной системе

### Огнестойкость

Автоклавный ячеистый бетон относится к группе негорючих материалов, не воспламеняющихся при прямом воздействии огня, а также не распространяющих пламя по поверхности и не выделяющих при нагреве токсичных и дымообразных продуктов. Эти качества обеспечивают ячеисто-бетонным изделиям и конструкциям класс пожарной опасности К0 по классификации СНБ 2.02.01–98 «Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов» и высокие показатели огнестойкости по критериям потери несущей способности (R), целостности (E) и теплоизолирующей способности (I). Так, например, согласно данным натурных огневых испытаний плиты перекрытий из бетона класса по прочности при сжатии В3,5 и средней плотности D700 по серии Б1.043.1–2.08 имеют предел огнестойкости REI 90, что позволяет их применять в зданиях всех степеней огнестойкости согласно классификации СНБ 2.02.01–98.

По данным зарубежных исследований огнестойкости конструкций из автоклавного ячеистого бетона, обобщенных в [1] и нашедших отражение в руководствах и пособиях (например, AAC Design Handbook / MHE International LLC, 2005. 234 pp.; CSR Hebel Technical Manual. January 2006. 334 pp.; E-Crete Technical Design Manual. 2005. 116 pp.; Part IV. Fire Resistance / MHE Structural Manual Handbook. // MHE International LLC, 2009. 16 pp.), предел огнестойкости может достигать 4 ч.

Благодаря своим противопожарным свойствам автоклавный ячеистый бетон находит применение также в конструкциях противопожарных преград.

Уникальные теплотехнические характеристики ячеистого бетона в условиях высоких температур, в том числе пожара, обеспечивают несущую способность армированных изделий и конструкций за счет уменьшения глубины прогрета поперечного сечения и увеличения периода живучести (до нагрева до температуры условной текучести 500°C) рабочей арматуры.

Анализируя свойства ячеистого бетона, необходимо остановиться на таком известном в среде специалистов, но тем не менее крайне редко используемом показателе, как «коэффициент конструктивного качества», представляющий собой отношение прочности материала при сжатии к его относительной средней плотности. Относительная средняя плотность материала является безразмерной величиной и в свою очередь определяется как отношение плотности материала к плотности воды (приблизительно 1000 кг/м<sup>3</sup> при температуре 20°C). Исходя из приведенных определенных коэффициент конструктивного качества автоклавного ячеистого бетона в рассмотренных выше диапазонах прочности и плотности изменяется в пределах 4–12,5 МПа (по показателю средней прочности). Для сравнения у тяжелого бетона прочностью 30–50 МПа этот параметр составляет 13,3–22,2 МПа, у дерева – 33–55 МПа.

На первый взгляд может показаться, что автоклавный ячеистый бетон является менее эффективным по сравне-



Рис. 3. Панели вертикальной разрезки с профилями «паз-паз»: а – спакетированные для транспортировки; б – в составе монтируемой стены

нию с тяжелым бетоном и древесиной, однако при этом следует принять во внимание в первую очередь огнестойкость, а также теплоизолирующие свойства ячеистого бетона. Безусловно, ячеисто-бетонные конструкции не могут конкурировать с конструкциями из других материалов во всех областях строительства, однако в ряде случаев они заметно превосходят своих конкурентов именно за счет сочетания прочностных и теплотехнических показателей, а также стойкости в условиях пожара.

#### Номенклатура и область применения армированных ячеисто-бетонных изделий

Типовая номенклатура армированных изделий, выпускаемых заводами ячеистого бетона, включает: плиты перекрытий и покрытий; панели наружных стен горизонтальной и вертикальной разрезки; панели внутренних стен и перегородок; перемычки; ступени.

Плиты перекрытий и покрытий (рис. 1) изготавливают, как правило, толщиной 250 мм и шириной 600(625) мм. Для обеспечения гибкости объемно-планировочных решений и сокращения объема монолитного бетона изготавливают плиты шириной 400 и 520 мм. Плиты покрытий могут также иметь толщину 200 мм. Их обычно применяют в качестве несущей системы скатных кровель, а также кровель с консольными свесами плит. При необходимости высота плит может быть увеличена до 300 мм. Однако на практике плиты толщиной более 250 мм встречаются достаточно редко. Это обусловлено тем, что толщина плит перекрытий, высота перемычек и мелких блоков привязаны к модулю 250 мм в целях упрощения монтажа здания и минимизации трудозатрат при комплексном применении ячеисто-бетонных изделий.

Длина плит может быть практически любой, но, как правило, не более 6 м (зависит от размеров формы), а форма плит в плане – прямоугольной или трапециевидной с одной или двумя скошенными торцовыми гранями. В последнем случае прошедшие автоклавную обработку плиты обрезают до проектных размеров в заводских или построечных условиях.

Боковые продольные грани плит могут иметь различные варианты профилей, однако во всех случаях их форма

позволяет выполнить замоноличивание межплитных швов при устройстве перекрытий и обеспечить совместную работу плит при вертикальной (поперечной) нагрузке.

Ячеисто-бетонные плиты толщиной от 50 до 100 мм включительно (рис. 2) с однорядным армированием используют для устройства настила (в качестве основания под полы) по несущим деревянным балкам в перекрытиях одноэтажных жилых домов с несущим деревянным каркасом, устраиваемым в построечных условиях. Панели аналогичной конструкции применяют при строительстве этих же домов в качестве наружной обшивки несущего деревянного каркаса и основы для штукатурных и окрасочных защитно-декоративных покрытий.

Армирование плит выполняют арматурными пространственными каркасами, состоящими из двух плоских сеток, соединенными между собой распорками, которые одновременно выполняют функцию фиксаторов проектного положения каркасов в стальной форме в процессе изготовления. Плиты толщиной не более 100 мм армируют одной плоской сеткой, расположенной посередине высоты (толщины) изделия.

Плиты перекрытий могут применяться как в зданиях с несущими стенами из ячеисто-бетонных блоков или панелей, так и в конструкциях с несущими стальными или деревянными балками или фермами. Легкая механическая обработка ячеистого бетона позволяет достаточно просто выполнять подрезку опорных участков плит, например при опирании на полки прокатных профилей, а также устраивать отверстия для пропуска инженерных коммуникаций.

Панели наружных стен вертикальной (рис. 3) и горизонтальной (рис. 4) разрезки изготавливают с наибольшим размером поперечного сечения 600(625) мм и максимальной длиной (высотой), определяемой соответствующим размером формы. Толщина панелей может быть любой и определяется конструкцией стен с учетом сопротивления теплоте-



**Рис. 4.** Панели горизонтальной разрезки с профилями «паз-гребень»: а – спакетированные для транспортировки; б – в составе стены строящегося здания

редаче, а также нагрузками, возникающими в процессе изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации.

Панели горизонтальной разрезки, в том числе простеночные элементы, изготавливают, как правило, с профилями горизонтальных граней, образующими при монтаже соединение типа «паз-гребень». Такое соединение предпочтительнее плоского стыка на тонкослойном растворе за счет фиксации взаимного положения панелей и повышения надежности этого участка стены в отношении продувания при возможных издержках в процессе монтажа.

Панели вертикальной разрезки могут иметь профили вертикальных боковых граней, образующих соединения как типа «паз-гребень», так и типа «паз-паз». Второй вариант является предпочтительным, поскольку позволяет разместить в образующейся полости арматурный стержень и замонолитить ее бетоном или раствором. Такая конструкция стыка повышает сдвиговую жесткость стены в собственной плоскости, исключает «клавишный эффект» при изгибе панелей из плоскости стены, а также повышает сопротивление продуванию. Последний фактор является весьма существенным, поскольку устройство вертикального шва на тонкослойном растворе в технологическом отношении является гораздо более сложным и трудоемким по сравнению с горизонтальным швом.

Армирование панелей выполняют так же, как и плит перекрытий, при этом продольные стержни сеток равномерно распределены вдоль вертикальных боковых граней. В связи с этим следует заметить, что несущие панели вертикальной разрезки должны в обязательном случае иметь косвенное поперечное армирование у верхнего и нижнего торцов. Если панель вертикальной разрезки проектируют как железобетонную, арматурный каркас должен иметь соответствующую нормам проектирования конструкцию, исключая возможность выпучивания продольных стержней, воспринимающих сжимающие усилия.

Панели горизонтальной разрезки являются, как правило, самонесущими. Их используют преимущественно в каркасных зданиях путем навешивания на колонны. Известны также случаи применения горизонтальных панелей для устройства ненесущих стен, опираемых на перекрытия.

Вертикальные панели могут применяться в конструкциях как несущих, так и ненесущих (поэтажно опертых) стен. Вертикальные панели толщиной 50–100 мм (Power Panel в номенклатуре изделий заводов Hebel в США) с однорядным армированием используют для обшивки стального или деревянного несущего каркаса (рис. 5) в качестве основания для нанесения защитно-декоративных покрытий.

Панели внутренних стен в конструктивном исполнении практически не отличаются от панелей наружных стен. Их изготавливают высотой «на этаж», соответствующей расстоянию в свету между несущими элементами перекрытий. В местах проемов применяют укороченные панели с высотой до нижней грани перемычек. Толщина панелей внутренних стен составляет, как правило, 200–300 мм в зависимости от конструкции перекрытия.

Перегородочные панели, так же как и панели внутренних стен, изготавливают в зависимости от расположения относительно проемов. Толщина перегородочных панелей, как правило, составляет 50–100 мм (из условий монтажа вручную бригадой из трех человек). Панели могут использоваться как самостоятельные сборочные единицы (в этом случае соединение таких панелей выполняется «в четверть»), так и в качестве заполнения стального или деревянного каркаса (рис. 6).

Перемычки заводского изготовления бывают двух типов – брусковые и арочные.

Брусковые перемычки (рис. 7) могут иметь практически любые размеры, однако на практике длина несущих перемычек ограничивается условиями совместной работы ячеистого бетона и поперечной стержневой арматуры в составе арматурных каркасов (сеток).



Рис. 5. Ячеисто-бетонные вертикальные панели в качестве обшивки деревянного (а) и стального (б) каркасов



Рис. 6. Перегородочные панели в процессе монтажа: а – в составе бескаркасной перегородки; б – в качестве заполнения каркаса

Арочные перемычки применяют значительно реже брусовых и в случаях, когда верхняя грань заполнения проемов в стенах имеет криволинейное очертание. Высота сечения типовых брусовых перемычек, а также высота арочных перемычек на опорах привязана к модулю 250 мм.

Ступени используют для устройства внутриквартирных лестниц, связывающих смежные уровни квартир. Номенклатура этих изделий включает как рядовые, так и поворотные элементы, что позволяет разнообразить интерьер помещений и использовать их пространство с максимальной эффективностью. Опорами ступеней является, как правило, кладка из ячеисто-бетонных блоков, однако при необхо-

димости могут быть использованы любые элементы с горизонтальными участками соответствующих размеров, расположенные в одной плоскости.

Ступени изготавливают, как правило, длиной 1100 мм. Ширина и высота ступеней отвечают наиболее распространенным эргономичным конструкциям внутриквартирных лестниц. Ширина типовых рядовых перемычек составляет 300, 335 и 375 мм, высота – 150 и 175 мм. Армирование ступеней осуществляют так же, как и остальных элементов.

Технология монтажа армированных ячеисто-бетонных изделий не отличается от приемов, используемых при возведении зданий из сборных элементов, изготовленных из



Рис. 7. Ячеисто-бетонные брусковые перемычки: а – в процессе монтажа; б – после установки в проектное положение

тяжелого или легкого бетона. Монтаж плит перекрытий, стеновых панелей и в некоторых случаях перемычек выполняются с применением грузоподъемных механизмов. Перемычки относительно небольшой массы, а также перегородочные панели и ступени устанавливаются в проектное положение вручную, используя для этого специальные монтажные приспособления.

Следует заметить, что для монтажа крупногабаритных ячеисто-бетонных армированных изделий не требуется техники и механизмов с большой грузоподъемностью. Расчетная масса плит перекрытий с номинальными размерами 6000×3600×3250 мм, изготовленных из бетона марки по средней плотности D700 с учетом отпускной влажности 35%, составляет около 900 кг, а стеновой панели с размерами 600×600×500 мм из бетона D500 при тех же условиях – 1300 кг.

Более мелкие элементы могут монтироваться с применением средств малой механизации, например манипуляторов, размещаемых на перекрытиях возводимых объектов.

#### Преимущества применения армированных ячеисто-бетонных изделий

Использование армированных ячеисто-бетонных изделий при строительстве зданий создает ряд преимуществ, обусловленных свойствами ячеистого бетона.

В зданиях малой и средней (до 5 этажей включительно) этажности комплексное применение армированных и неармированных (в виде мелких и крупных блоков) изделий позволяет уменьшить собственный вес несущего остова объекта и за счет этого сократить затраты нулевого цикла. Использование ячеистого бетона в элементах наружных стен исключает образование теплопроводных включений, повышает теплотехническую однородность ограждений и способствует обеспечению требуемого микроклимата помещений. При этом в силу конструктивных особенностей зданий с несущими стенами из ячеисто-бетонных изделий (блоков или панелей) расход монолитного железобетона и теплоизоляционных материалов, как правило, минимален и не оказывает влияния на стоимостные показатели конечной строительной продукции.

Следует подчеркнуть, что комплексное применение ячеисто-бетонных изделий, включая армированные, позволяет упростить процесс организации строительства за счет ком-

плектации материалами на одном предприятии и поставки их на строительную площадку по согласованному графику.

В каркасных зданиях армированные ячеисто-бетонные элементы также позволяют уменьшить собственную массу стен, перегородок, перекрытий и покрытий, обеспечить требуемые теплотехнические и противопожарные показатели без применения теплоизоляционных материалов. При этом следует отметить, что навесные стены из панелей в отличие от поэтажно опертых стен позволяют максимально использовать внутреннее пространство здания, ограничиваемое внешним контуром перекрытий, и являются однородной в теплотехническом отношении ограждающей конструкцией, не требующей дополнительного утепления в местах расположения колонн и перекрытий.

В заключение необходимо отметить, что производство и применение армированных ячеисто-бетонных изделий в Республике Беларусь регламентируется следующими основными техническими нормативно-правовыми актами (ТНПА): СТБ 1570–2005 «Бетоны ячеистые. Технические условия»; СТБ 1185–99 «Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для зданий и сооружений. Технические условия»; СТБ 1989–2009 «Плиты перекрытий и покрытий, панели для внутренних стен и перегородок из автоклавного ячеистого бетона. Технические условия»; СТБ 1332–2002 «Блоки лотковые и перемычки из ячеистого бетона. Технические условия»; СТБ 1330–2002 «Ступени лестничные из ячеистого бетона. Технические условия»; ТКП 45–5.03–137–2009 «Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления»; СНиП 2.03.01–84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» (в части конструкций из ячеистых бетонов).

#### Дополнительная обработка армированных изделий

При строительстве с использованием армированных или неармированных деталей из ячеистого бетона архитекторы часто требуют дополнительной обработки изготовленных при разрезке массива стандартных изделий. Армированные стеновые панели должны быть, например, уменьшены по длине и ширине или обрезаны для использования в качестве фронтовых плит. Для этого изделия подвергаются дополнительной обработке – распиловке и др. Установка для дополнительного распиливания армированных изделий выполнена в виде продольно и поперечно движущей-

ся мостовой плиты. Изделия укладываются на план-шайбу установки, полотно пилы движется по встроенному в установку лазерному лучу, указывающему направления распиливания; таким образом, производят требуемый распил армированного изделия, в том числе и брусовых перемычек.

После замены плиты на дисковую фрезу установка может использоваться для фрезерования поверхностей стеновых плит, фрезерования пазов различной ширины и с различными интервалами друг от друга для оформления различных архитектурных поверхностей стен.

На специальной фрезерной установке производится изготовление U-образных (лотковых) блоков, которые применяются при строительстве зданий для производства армированных перемычек и армированных обвязочных поясов при возведении системы зданий.

В заключение следует отметить, что завод строительных конструкций ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» – единственное предприятие в СНГ, которое выпускает с 1997 г. полный комплекс изделий на дом из ячеистого бетона: стеновые мелкие и крупные блоки, армированные стеновые панели наружных и внутренних стен, плиты покрытия и перекрытия, брусовые и армированные перемычки, лотковые блоки для несущих перемычек и лестничные ступени.

На заводе внедрена система менеджмента качества в соответствии с требованием ENISO 9001:2000 и его национальный аналог СТБ ИСО 9001:2001. Продукция завода сертифицирована в Республике Беларусь, Российской Федерации, Украине, Литве, Латвии и др. странах. Получен ЕС сертификат системы контроля производства на блоки I категории.

Кроме того, в 2013 г. на территории Республики Беларусь будет введен в действие новый СТБ EN 12602–2009 «Сборные армированные элементы из ячеистого бетона» взамен существующего. Этот норматив, включающий положения по расчету и конструированию армированных изделий, в сочетании с действующими на территории Республики Беларусь европейскими нормативными документами (СТБ EN) позволит использовать в отечественном строительстве результаты зарубежных научных исследований и практический опыт, повысить эксплуатационную надежность и долговечность объектов строительства.

Технология производства армированных изделий, номенклатура и физико-механические свойства продукции, а также деформационно-прочностные и теплотехнические показатели конструкций и опыт их применения в гражданском строительстве подробно изложены в [2, 3].

#### Список литературы

1. Aroni S., G.J. de Groot, M.J. Robinson, G. Svanholm, F.H. Wittman Autoclaved Aerated Concrete – Properties, Testing and Design. RILEM Recommended Practice / Abingdon, Taylor&Francis Group, 1993. 404 pp.
2. Галкин С.Л., Сажнев Н.П., Соколовский Л.В. Применение ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика. Минск: Стринко, 2006, 446 с.
3. Сажнев Н.П., Беланович С.Б., Бухта Д.П. и др. Наружные ограждающие конструкции зданий из крупноразмерных ячеисто-бетонных изделий // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 2–8.



**ФОРУМ** ХХIII МЕЖДУНАРОДНАЯ  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

**УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ**

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ

**МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

**24–27 сентября** **УФА–2013**

БВК БАШКИРСКАЯ  
ВЫСТАВОЧНАЯ  
КОМПАНИЯ

тел.: (347) 253 14 33, 253 38 00, 241 74 19  
e-mail: stroy@bvkexpo.ru, www.bvkexpo.ru

[www.stroybvk.ru](http://www.stroybvk.ru)