

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА СВОЙСТВА АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА

Ячеистый бетон автоклавного твердения – материал, позволяющий обеспечить современный уровень теплоизоляции в однослойной ограждающей конструкции. В Украине, в основном, производятся изделия из конструкционно-теплоизоляционного газобетона пониженной плотности, особенно на мощных современных предприятиях, которые введены в действие в последние годы.

Исследование строительных конструкций, изготовленных на основе изделий из ячеистого бетона, позволили значительно расширить возможности их использования в практике отечественного строительства. В то же время, учитывая значительную начальную влажность этого материала, обусловленную технологией изготовления изделий, следует тщательным образом проанализировать влияние этого фактора на эксплуатационные характеристики и показатели тепловой надежности конструкций.

На сегодня в нашей стране и в ряде других накоплен значительный опыт изучения состояния микроклимата в жилых домах, построенных с применением ячеистого бетона в ограждающих конструкциях. Некоторыми исследователями выполнено сравнение показателей микроклимата в панельных домах и домах со стенами из ячеистого бетона. По результатам этих наблюдений установлено, что снижение влияния происходит через определенный промежуток времени при достижении строительными конструкциями эксплуатационных показателей влажности. Параметры микроклимата отвечают оптимальным значением для помещений со стенами из ячеистого бетона и составляют: температура $t=20-22$ °C и относительная влажность 40–55 % .



Рис. 1. Последствия от высокой технологической влажности автоклавного ячеистого бетона при нарушении правил эксплуатации

В Украине основные физико-технические и эксплуатационные требования к ячеистым бетонам регламентируют следующие нормативные документы:

- ДСТУ Б В.2.7-45:2010 “Строительные материалы. Бетоны ячеистые. Общие технические условия”;
- ДСТУ Б В.2.7-137:2008 “Блоки из ячеистого бетона стеновые мелкие. Технические условия”;
- ДСТУ Б В.2.7-164:2008 “Строительные материалы. “Изделия из ячеистых бетонов теплоизоляционные. Технические условия”.

Все эти стандарты содержат требования относительно ограничения отпускной влажности ячеистых бетонов и изделий из них (% по массе, не более):

- согласно ДСТУ Б В.2.7-45:2010:
 - 35 – для бетонов марок от D200 до D400 и для бетонов марок D500-D1100, изготовленных на других кремнеземных компонентах;
 - 30 – для бетона марки D500, изготовленного на песке;
 - 25 – для бетонов марок D600-D1100, изготовленных на песке;
- согласно ДСТУ Б В.2.7-137:2008:
 - 35 – для бетонов, изготовленных с использованием зол и других вторичных продуктов промышленности;
 - 25 – для бетонов, изготовленных с использованием песка.

Сегодня в Украине больше половины всех автоклавных ячеистых бетонов производится по литьевой технологии. Это автоматически означает их несоответствие действующим отечественным стандартам относительно ограничения по отпускной влажности.

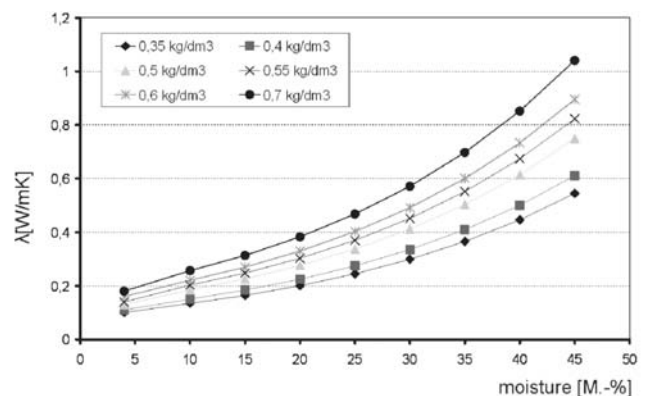


Рис. 2. Величина λ_{moist} рассчитанная для разных плотностей в сухом состоянии и влажности от 4% до 45% по массе в соответствии с EN ISO 10456 с применением фиксированного поправочного коэффициента $f_u = 4$ (согласно DIN EN 1745)

Следует отметить также, что в гармонизированном европейском стандарте на стеновые изделия из автоклавного ячеистого бетона EN 771-4:2003 отсутствуют требования относительно нормирования отпускной влажности.

Вопросы влияния повышенной отпускной влажности ячеистого бетона на основные теплотехнические и эксплуатационные показатели являются актуальными и остаются дискуссионными. Значительная часть ученых приводят данные о негативном влиянии высокой влажности, другая – отрицает такие последствия.

Эксплуатационная влажность стеновых конструкций из ячеистого бетона по результатам исследований ведущих специалистов других стран не превышает 5% по массе.

Показатель эксплуатационной влажности ячеистого бетона, полученный путем обобщения результатов исследований в натуральных условиях различных конструктивных элементов, составляет 4–6% по массе. Эта величина достигается, как правило, через 1–2 года эксплуатации зданий.

Сравнительные исследования ячеистых бетонов автоклавного твердения, изготовленных по ударной и литьевой технологиям для определения скорости снижения отпускной влажности до уровня равновесной эксплуатационной, до сих пор в Украине не выполнялись.

Согласно ДБН В.2.6-31:2006 величина расчетного содержания влаги по массе в условиях эксплуатации для ячеистых бетонов принята 4–6%. Данные значения включены в нормы на основании результатов зарубежных исследований.

Определение же скорости выхода на эксплуатационные показатели ограждающих конструкций, выполненных из ячеистого бетона, является важной задачей, поскольку:

1) отечественными нормативными документами (ДСТУ Б В.2.7-45:2010; ДСТУ Б В.2.7-137:2008) допускается отпускная влажность автоклавного газобетона, изготовленного на песке, до 25 % по массе (в основном, это характерно для изделий, изготовленных по виброударной технологии);

2) для изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения, производимых по литьевой технологии, послеавтоклавная влажность достигает 35–45% по массе и более;

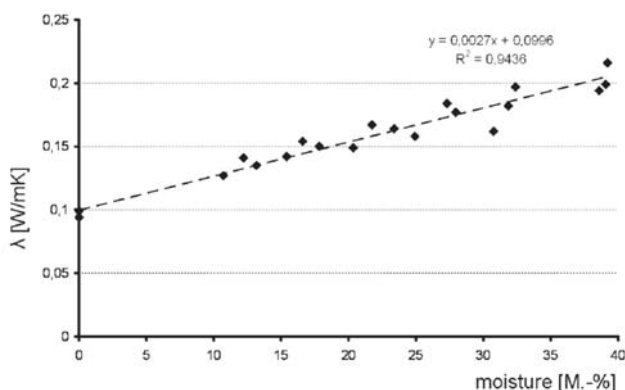


Рис. 3. Зависимость величины λ от содержания влажности, определенная для класса автоклавного газобетона P2 0.35 (завод Xella Schrobenuhausen, Германия)

3) на всех отечественных предприятиях склады готовой продукции не отапливаются, то есть в осенне-зимний период отсутствуют условия для досушивания изделий перед отправкой потребителю;

4) на современных технологических линиях практически сразу после выгрузки из автоклава изделия упаковывают в термоусадочную пленку, которая наряду с защитными свойствами препятствует выходу избыточной влаги из материала.

Высокое содержание влаги может вызывать целый ряд негативных последствий для строительных материалов в результате действия следующих процессов: физических (поочередное замораживание-оттаивание, набухание при увлажнении и усадка при высыхании), химических (насыщение углекислотой, коррозия, кристаллизация солей) или микробиологических (образование плесени).

В отличие от морозного разрушения, которое происходит исключительно при отрицательных температурах, химические и биологические процессы протекают постоянно при любой температуре.

Актуальность проблемы влияния влажностного состояния ячеистых бетонов на механические и теплофизические свойства и их изменения во времени обусловлена тем, что в составе всех физико-климатических влияний среды влажностные действуют постоянно. От влажностного состояния бетона зависят, практически, все основные его характеристики – прочность, деформативность, теплопроводность, морозостойкость. То есть влажность материала определяет напряженно-деформированное состояние конструкции, которое трансформируется во времени в соответствии с изменением влажности.

Последствия высокой отпускной влажности материала при несоблюдении норм эксплуатации приведены на рис. 1.

Ячеистый бетон является капиллярно-пористой системой, которая отличается достаточно высокой способностью отдавать влагу в окружающую среду, невзирая на то, что абсолютное большинство пор этой системы являются замкнутыми.

Как известно, влажностное состояние материалов ограждающей конструкции определяет ее долговечность, пригодность конструкции к эксплуатации и уровень тепловых потоков в отапливаемый период

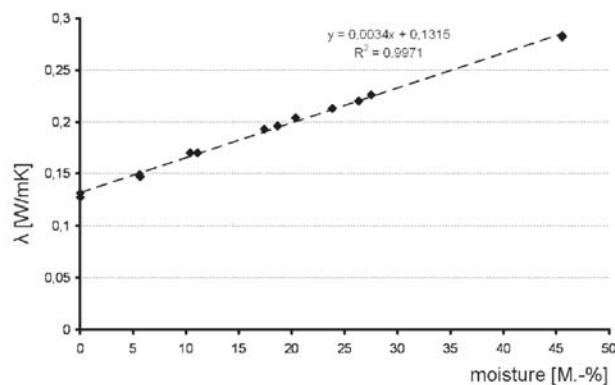


Рис. 4. Зависимость величины λ от содержания влажности определенная для класса автоклавного газобетона P4 0.6 (завод Xella Alzenau, Германия)

года. Существуют следующие виды влаги, которая находится в ограждающей конструкции:

- строительная (технологическая);
- грунтовая или осмотическая ;
- атмосферная или метеорологическая ;
- эксплуатационная.

Влияния грунтовой и метеорологической влаги на ухудшение эксплуатационного влажностного режима стеновых ограждающих конструкций возможно избежать за счет эффективных конструктивных решений.

Эксплуатационная влага является функцией теплофизических параметров материалов ограждающих конструкций, а также начальной (строительной) влажности слоев материалов.

Строительная влага – это влага, которая присутствует в материале в результате технологии его производства и находится под действием химической, физико-химической и физико-механической связи со «скелетом» материала.

Влияние влажности на основные теплофизические параметры ячеистого бетона изучали ряд зарубежных и отечественных ученых, что приведено в литературе [1–7].

Невзирая на большой объем накопленных данных, научная и прикладная информация отличаются определенной фрагментарностью. В основном, все исследования направлены на выяснение влияния высокого уровня влажности на теплопроводность автоклавного ячеистого бетона, повышение расходов на отопление помещений, а также вероятность появления плесени из-за образования тепловых мостиков.

В связи с этим очевидна необходимость систематизации существующих представлений с позиции современного структурного материаловедения и разработка на этой основе общих теоретических подходов к вопросу управления свойствами ячеистых бетонов при изменении их влажности. Анализ и систематизация процессов взаимодействия бетонов со средой, влагопереноса в их структуре основываются на теориях адсорбции и поверхностных явлений, капиллярности и фильтрации.

Согласно действующим европейским стандартам, влияние влажности вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\text{moist}} = \lambda_{10, \text{dry}} \times F_m, \quad (1)$$

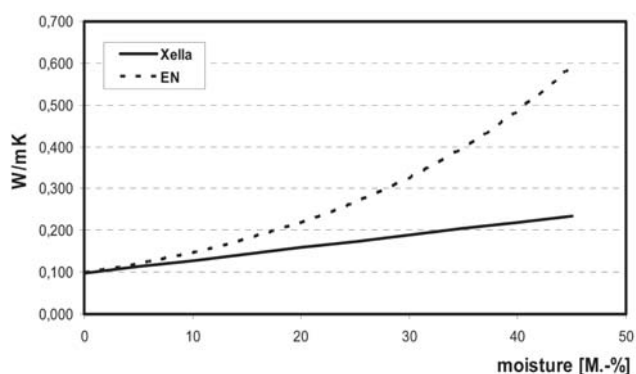


Рис. 5. Зависимость величины λ от влажности. Результаты измерений (Xella, сплошная линия) в сравнении с данными, вычисленными согласно Европейским нормам (EN ISO 10456, DIN EN 1745, пунктирная линия)

где λ_{moist} – теплопроводность во влажном состоянии, Вт/(м·К)

$\lambda_{10, \text{dry}}$ – теплопроводность в сухих условиях, Вт/(м·К)

F_m – переводной коэффициент влажности (согласно EN ISO 10456).

Переводной коэффициент влажности F_m вычисляется по формуле

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)} \quad (2)$$

где f_u – поправочный коэффициент, который учитывает влажность по массе (согласно DIN EN 1745, табл. A.10, величина f_u для автоклавного ячеистого бетона составляет 4 кг/кг);

u_1 – содержание влаги за массой для предельных условий первого пункта;

u_2 – содержание влаги по массе для предельных условий второго пункта.

Через экспоненциальный характер функции, при вычислении по формуле (2), получают завышенные величины λ , когда применяют ее для высоких уровней влажности (рис. 2). По результатам исследований, проведенных компанией Y_{tong} известно, что даже влажность 35–45% по массе, характерная для ячеистых бетонов на выходе из автоклава, в большинстве случаев приводит к удвоению значения λ вместо шестикратного увеличения, которое вычисляется согласно европейским стандартам.

Зависимость величины λ от содержания влажности, которая определена для класса автоклавного газобетона P2 0.35 (завод Xella Schrobenuhausen, Германия) приведено на рис.3, для класса автоклавного газобетона P4 0.6 (завод Xella Alzenau, Германия) – на рис. 4.

Для вычисления использована формула
$$\lambda_{\text{moist}} = \lambda_R / 1,05 + 0,76 \cdot u \cdot \rho \text{ (кг/дм}^3\text{)} \quad (3)$$

Для вычисления использована формула
$$\lambda_{\text{moist}} = \lambda_R / 1,05 + 0,064 \cdot u \cdot \rho \text{ (кг/дм}^3\text{)} \quad (4)$$

На рис. 5 приведены результаты измерений, проведенных специалистами Xella с вычислениями, выполненными согласно европейским стандартам (средняя плотность в сухом состоянии $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_R = 0,1 \text{ Вт/(м·К)}$). Измеренные значения показы-

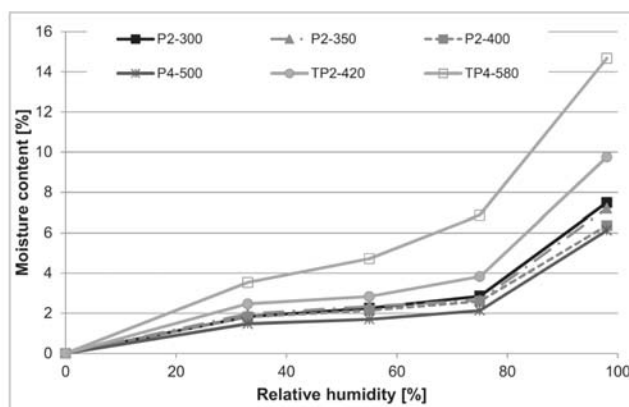


Рис. 6. Кривые величин равновесной адсорбционной влажности образцов автоклавного ячеистого бетона при температуре +23°C

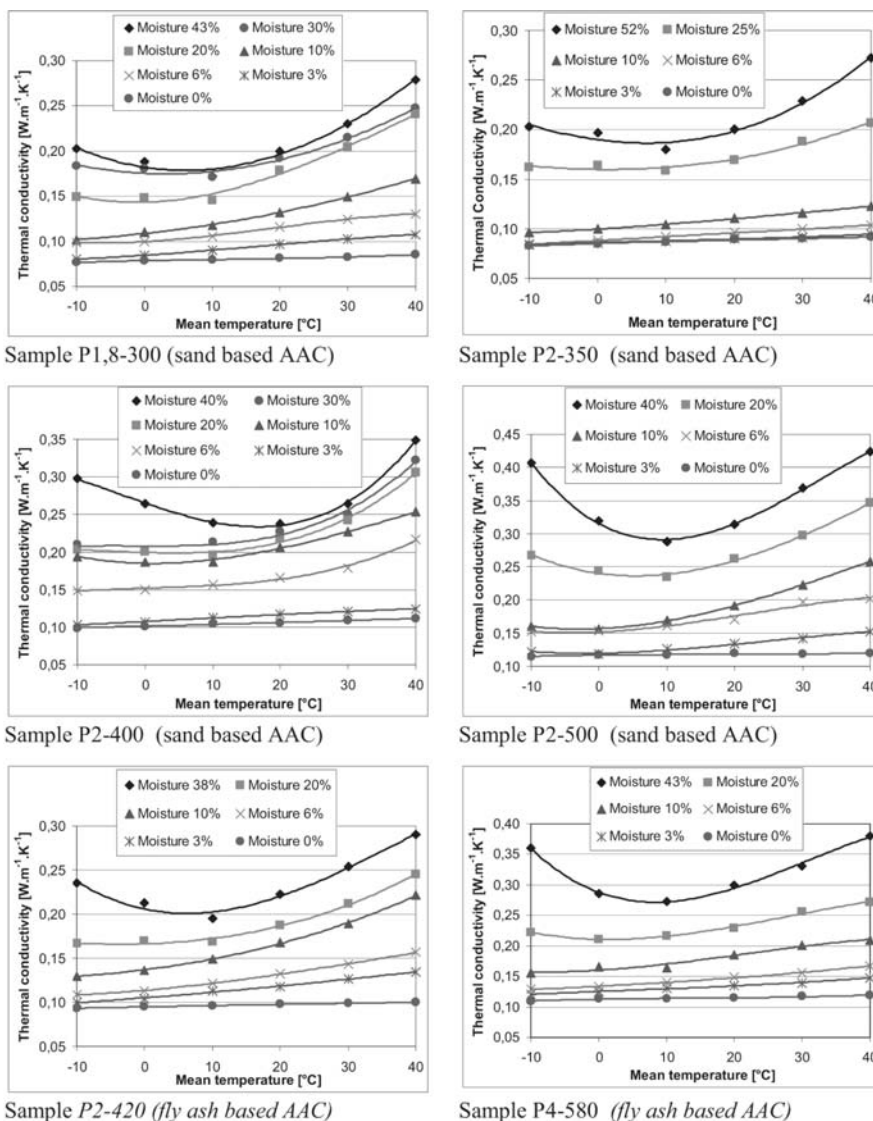


Рис. 7. Зависимость теплопроводности от температуры образцов ячеистого бетона при разных значениях влажности и температурном градиенте 10 К

вают значительно меньшую совокупную погрешность и отсутствие экспоненциального увеличения зависимости влажности, по сравнению с вычисленными.

Во время исследований, проведенных в Чехии [8] относительно определения влияния влажности на теплоизоляционные свойства ячеистого бетона, были изучены четыре вида автоклавного газобетона, изготовленного на основе песка, и два вида автоклавного газобетона, изготовленного на основе золы. Все опытные образцы были получены из стеновых блоков, которые изготавливаются заводами автоклавного ячеистого бетона в Чехии. В ходе эксперимента исследовали образцы средней плотностью 300, 350, 400, 500 и 600 кг/м³. Диапазон влажности: 0%, 3%, 6%, 10%, 20%, 40%. Первые четыре значения влажности близкие к значениям сорбционной влажности пористого бетона. Влажность 20% и 40% отвечает отпускной и послеавтоклавной влажности ячеистого бетона. Диапазон температур: 10°C, 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C. Температуры были избраны относительно выполнения фактических условий эксплуатации ячеистых бетонов.

Результаты исследований приведены на рис. 6-7.

Согласно результатам исследований [8] образцы ячеистого бетона с влажностью после автоклава 30-35% и выдерживания на протяжении 7 месяцев в климатической камере при постоянной температуре ($t = 20 \pm 2$)°C и относительной влажности воздуха $\phi = 45 \pm 5$ % имеют значительно меньшую влажность (рис. 8).

По данным рис. 8 видно, что за семь месяцев испытаний в климатической камере величину сорбционной влажности 6% имеют образцы толщиной 10 см, у образцов большей толщины влажность составляет от 12% до 18%.

Таким образом, по результатам большого количества исследований получены данные о влажностном состоянии и физико-технических характеристиках ячеистых бетонов в различные временные периоды после изготовления и установки изделий в ограждающие конструкции зданий. Для подтверждения результатов в институте НИИСМИ проводятся натурные исследования – изготовлены фрагменты стен из автоклавного ячеистого бетона, на которых будет прослеживаться процесс установления равновесной влажности стены.

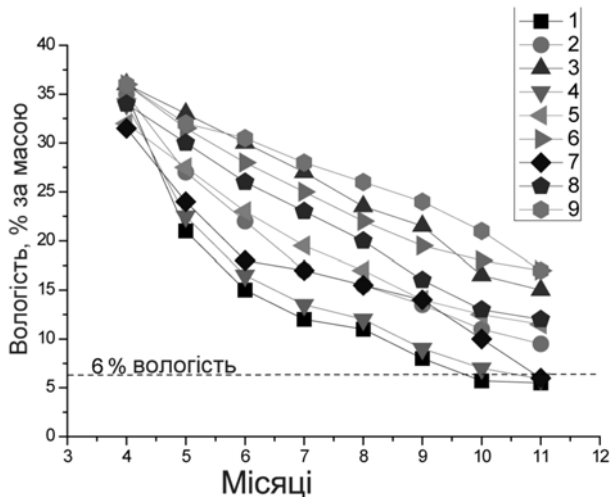


Рис. 8. Кинетика высыхания образцов автоклавного ячеистого бетона ($t = 20 \pm 2$ °C; $\phi = 45 \pm 5\%$) при средней плотности: 1, 2, 3 – 400 кг/м³; 4, 5, 6 – 500 кг/м³; 7, 8, 9 – 600 кг/м³; толщине: 1, 4, 7–10 см; 2, 5, 8 – 15 см; 3, 6, 9 – 20 см

ЛИТЕРАТУРА

1. Drochytka R., Zach J., Hroudova, J., 2010. Problematic of Determination of Design Thermal Values of Cellular Concrete Masonry Structures. Conference Testing and Quality in Civil Engineering. Brno, Brno University of Technology, 279-287. ISBN 978-80-214-4144-6.
2. Spooner D.C., 1982. Autoclaved Aerated Concrete: Moisture and Properties. Elsevier Scientific Publishing Co.

УДК 666.97

Корныло И.М., канд. экон. наук, доцент;

Сушицкая Т.А., ассистент,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

В условиях роста стоимости энергоресурсов на передний план выдвигается необходимость разработки новых энергоэффективных конкурентоспособных конструктивно-технологических решений зданий. Реализация данных решений предполагает развитие строительного комплекса и производства строительных материалов, изделий и конструкций с применением инновационных, в том числе энергосберегающих технологий. Технологии эффективных строительных материалов должны обеспечивать:

- возможность практически неограниченного увеличения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций при минимальном увеличении их стоимости;
- низкую трудоемкость, высокую сборность и минимальные сроки возведения зданий и надстроек, сокращение инвестиционного цикла;
- максимальную экономическую эффективность строительства и реконструкции, низкую себесто-

imostь вновь возводимых зданий, максимальную дополнительную площадь надстроек.

Материалом, отвечающим данным требованиям, является ячеистый бетон, который широко используется в строительстве как один из эффективных строительных материалов. Этот материал заслуживает особого внимания в результате эффективных физико-механических свойств, таких, как низкая теплопроводность, негорючесть, биологическая и радиологическая стойкость. Изделия из ячеистых бетонов, имея такие достоинства, как долговечность, низкую теплопроводность, низкую плотность, наилучшим образом адаптированы к климатическим и экономическим условиям Украины. Кроме того, ячеистые бетоны не содержат вредных для здоровья человека химических и синтетических веществ, обладают повышенной паропроницаемостью и гигроскопичностью, в результате чего создается благоприятный микроклимат в помещении.

имость вновь возводимых зданий, максимальную дополнительную площадь надстроек.

Материалом, отвечающим данным требованиям, является ячеистый бетон, который широко используется в строительстве как один из эффективных строительных материалов. Этот материал заслуживает особого внимания в результате эффективных физико-механических свойств, таких, как низкая теплопроводность, негорючесть, биологическая и радиологическая стойкость. Изделия из ячеистых бетонов, имея такие достоинства, как долговечность, низкую теплопроводность, низкую плотность, наилучшим образом адаптированы к климатическим и экономическим условиям Украины. Кроме того, ячеистые бетоны не содержат вредных для здоровья человека химических и синтетических веществ, обладают повышенной паропроницаемостью и гигроскопичностью, в результате чего создается благоприятный микроклимат в помещении.

имость вновь возводимых зданий, максимальную дополнительную площадь надстроек.

Материалом, отвечающим данным требованиям, является ячеистый бетон, который широко используется в строительстве как один из эффективных строительных материалов. Этот материал заслуживает особого внимания в результате эффективных физико-механических свойств, таких, как низкая теплопроводность, негорючесть, биологическая и радиологическая стойкость. Изделия из ячеистых бетонов, имея такие достоинства, как долговечность, низкую теплопроводность, низкую плотность, наилучшим образом адаптированы к климатическим и экономическим условиям Украины. Кроме того, ячеистые бетоны не содержат вредных для здоровья человека химических и синтетических веществ, обладают повышенной паропроницаемостью и гигроскопичностью, в результате чего создается благоприятный микроклимат в помещении.

имость вновь возводимых зданий, максимальную дополнительную площадь надстроек.

Материалом, отвечающим данным требованиям, является ячеистый бетон, который широко используется в строительстве как один из эффективных строительных материалов. Этот материал заслуживает особого внимания в результате эффективных физико-механических свойств, таких, как низкая теплопроводность, негорючесть, биологическая и радиологическая стойкость. Изделия из ячеистых бетонов, имея такие достоинства, как долговечность, низкую теплопроводность, низкую плотность, наилучшим образом адаптированы к климатическим и экономическим условиям Украины. Кроме того, ячеистые бетоны не содержат вредных для здоровья человека химических и синтетических веществ, обладают повышенной паропроницаемостью и гигроскопичностью, в результате чего создается благоприятный микроклимат в помещении.

имость вновь возводимых зданий, максимальную дополнительную площадь надстроек.

Материалом, отвечающим данным требованиям, является ячеистый бетон, который широко используется в строительстве как один из эффективных строительных материалов. Этот материал заслуживает особого внимания в результате эффективных физико-механических свойств, таких, как низкая теплопроводность, негорючесть, биологическая и радиологическая стойкость. Изделия из ячеистых бетонов, имея такие достоинства, как долговечность, низкую теплопроводность, низкую плотность, наилучшим образом адаптированы к климатическим и экономическим условиям Украины. Кроме того, ячеистые бетоны не содержат вредных для здоровья человека химических и синтетических веществ, обладают повышенной паропроницаемостью и гигроскопичностью, в результате чего создается благоприятный микроклимат в помещении.