

ПОРИСТЫЕ БЕТОНЫ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

*Докт. техн. наук ОПЕКУНОВ В. В., докт. техн. наук, проф. ЛЫСОВ В. П.,
канд. техн. наук, доц. ГОЛУБЕВ Н. М.*

*Белорусский национальный технический университет,
Национальная академия Украины*

В последние годы проблема ресурсосбережения в странах СНГ приобретает характер не отраслевой, а общенародной (мало сказать «государственной») заботы. Очевидно, что она непосредственно связана с комплексом задач по обеспечению экономической безопасности государств и проблемой выживания в целом.

Действующий в настоящее время нормативный уровень сопротивления теплопередаче R_n ограждающих конструкций требует применения в конструкциях, например, стен композиционных материалов строительного назначения (КМСН) с улучшенными физико-техническими свойствами (так, в Беларуси и Украине [2, 4] $R_n \geq 2,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). Стена должна не только не промерзать (это «первичный» и примитивный уровень комфортности), но и максимально «экономить» расход энергоресурсов при эксплуатации зданий (верхней «опасной» границы R_t не существует, а фактически достижимый уровень R_t косвенно характеризует общий технический уровень строительного производства в стране [1–4]). Рекомендуемые для применения в составе теплой стены КМСН должны обеспечить сопротивление теплопередаче $R_t \geq R_n$.

К стенам и материалам предъявляется комплекс технических и теплофизических требований, которые изложены в нормативных документах. Наиболее важными являются критерии: прочность R или несущая способность R_t , воздухо- и паропроницаемость F ; эксплуатационная W_s (нестабильный параметр, зависит от условий эксплуатации) и сорбционная W_c (физико-химический показатель) огнестойкости; влажность, атмосферо- и морозостойкость M ; степень изотропности; усадка U ; коэффи-

циенты теплопроводности λ и размягчения КР и др.

Стены могут быть несущими (Н), самонесущими (СН) или с применением навесных панелей (плит). Для обеспечения повышенной комфортности в помещении и уменьшения вероятности конденсатообразования и влагонакопления в толще стены следует соблюдать условие

$$F_1 < F_2, \quad (1)$$

где F_1, F_2 – паропроницаемость соответственно внутренних и наружных слоев стены.

Особое место среди КМСН занимают пористые бетоны. Эта часть бетонов имеет благоприятное соотношение между средней плотностью в сухом состоянии ρ и R .

Будем руководствоваться следующей классификацией пористых бетонов по критерию ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$): конструкционные ($\rho > 800$; $R > 4,0 \text{ МПа}$); конструктивно-теплоизоляционные или теплоэффективные (ТЭ, $500 \leq \rho \leq 800$, $R \cong \cong 1,5 \dots 10,0 \text{ МПа}$); теплоизоляционные (ТИ, $\rho < 500$; $R < 3,5 \text{ МПа}$).

В табл. 1 приведены перечень основных пористых бетонов, которые выпускают в странах СНГ, а также примерный относительный объем их производства. Некоторые пористые бетоны (например, бетон с кодом 1–1 в табл. 1) начали производить в СНГ промышленным способом лишь с 1960-х гг.

Физико-технические свойства газобетонов автоклавного твердения (ГАТ) настолько удачны, что сопоставимы со свойствами «лидера» – древесины. Именно ГАТы имеют наибольшее значение для выживания и последующей комфортной жизни.

Таблица 1

Основные пористые бетоны, производимые в странах СНГ

Пористый бетон	Код	Доля в объеме производства, %
Газобетон автоклавного твердения	1-1	>61,3
Пенобетон автоклавного твердения	1-2	<5,0
Автоклавный ячеистый бетон с поверхностной гидрофобизацией	1-3	<1,0
Неавтоклавный цементный газобетон	2-1	<1,0
Неавтоклавный цементный пенобетон	2-2	<1,0
Неавтоклавный цементный ячеистый бетон с поверхностной гидрофобизацией	2-3	<0,5
Цементный бетон на основе пористых заполнителей (пенополистирола, керамзита и т. п.)	3-1	<25,0
Цементный негидрофобизированный перлитобетон, изготовленный путем перемешивания сухих компонентов	4-1	<1,0
Цементный перлитобетон, изготовленный путем перемешивания сухих компонентов, с поверхностной гидрофобизацией	4-2	<0,5
Перлитогипсобетон	4-3	<0,5
Перлитобетон на основе неорганических вяжущих систем	4-4	<0,5
Перлитобетон на основе органических вяжущих систем	4-5	<1,0
Гипсобетон на основе пористых органических заполнителей (пенополистирола и т. п.)	5-1	<0,5
Гипсобетон на основе пористых неорганических заполнителей	5-2	<1,0
Газо-, пеногипс	5-3	<0,1
Гипсобетон с волокнистым наполнителем	5-4	<0,1

Микроструктура ГАТов представлена в основном кристаллитами из низкоосновных (НО) и высокоосновных (ВО) гидросиликатов кальция (ГСК). Фазовый состав цементирующего вещества определяет практически все физико-технические свойства пористых бетонов [1–3].

При изготовлении пористых бетонов применяют специальные сложные методы подготовки сырьевых компонентов, которые способствуют формированию структуры с заданными R , M , U , W_c , степенью изотропности и однородности.

Из приведенной информации следует, что ТЭ и ТИ строительными изделиями являются изделия из ТЭ и ТИ бетонов. Вместе с тем на

основе ТИ и ТЭ изделий можно получить и холодную стену. Все дело в уровне R_T у стены.

Создание однослойных теплых стен типа Н и СН с применением пористых бетонов при обеспечении рациональной толщины стен ($D = \lambda R_T$) возможно при соответствующем развитии стройиндустрии (из стран СНГ ГАТы с $\rho < 600 \text{ кг/м}^3$ в промышленных объемах производят в Беларуси, России).

Можно смонтировать двухслойные стены с применением ТЭ ячеистых и легких бетонов (основной слой) и ТИ изделий из различных КМСН. При использовании жестких ТИ КМСН (неорганических волокнистых или пластмассовых) возникает законный вопрос о надежности и долговечности ТИ слоя стены и защитно-декоративного покрытия, их паропроницаемости. Статистических данных по этому вопросу пока нет. В некоторых случаях в такой конструкции стены не соблюдается одно из «условий комфортности» (1). Импортные (не стран СНГ) системы утепления фасадов имеют высокий «рейтинг», благодаря «коммерческой» настойчивости продавцов. Есть причины и социально-психологического характера, объясняющие популярность «не наших» разработок.

Достаточно приемлемый вариант для массового строительства – многослойные стены типа Н и СН с применением твердых (ГОСТ 16381 «Материалы строительные теплоизоляционные») ТИ бетонов с $\rho \leq 300 \text{ кг/м}^3$ на основе долговечного неорганического сырья.

Промышленность СНГ производит разнообразную номенклатуру твердых ТИ КМСН. Многообразие есть, а объемов производства нет, потому что каждый материал имеет свои недостатки, не позволяющие создать надежную фасадную систему утепления массового применения.

Особое место среди твердых КМСН занимают ТИ цементные перлитобетоны [3]. Достоверно известно, что ТИ цементный перлитобетон, произведенный по отдельной технологии, по сравнению с ТИ негидрофобизированным ГАТом обладает улучшенными физико-техническими свойствами: уменьшенными λ , U , повышенными изотропностью и однородностью структуры, R и регулируемой W_c . В Украине производятся и соответствующие ТИ перлитцементные изделия (ПЦИ, коммерческое

нестандартизированное название «Перизол») [3, 4].

Обратим внимание на некоторые наиболее важные свойства пористых бетонов, позволяющие применять их в составе конструкций теплых стен.

С производством пористых бетонов всегда связана проблема повышения их прочности. Параметр R пористых бетонов в общем случае может быть описан уравнением [1, 2]

$$R = f(P_{i(i=1-9)}, R_a, R_m, R_c), \quad (2)$$

где $P_{i(i=1-9)}$ – характеристики физико-химических особенностей микро- и макро-структуры бетона; R_a – адгезионная прочность контакта «микрозаполнитель – матрица»; R_m – когезионная прочность матрицы; R_c – то же микрозаполнителя.

Степень влияния указанных факторов на параметр R зависит от заданного уровня ρ . Управление этими и другими факторами позволяет повысить долговечность изделий из пористых бетонов. Соотношение между R_a , R_m , R_c определяет механизм разрушения пористых бетонов.

Аналитическое решение задачи по определению R анизотропных ячеистых бетонов практически сводится к сложнейшему расчету на прочность (несущую способность) и устойчивость межпоровой перегородки в виде «микро-стен» с переменной толщиной и высотой, сложенной по методу «бутовой кладки» [2]. Эта задача может быть решена только в общем виде, так как конкретное решение предполагает наличие численных значений нагрузок на перегородку, определить которые практически возможно, используя методы теории вероятности и математической статистики. Отсюда следует, что параметр R является векторным и имеет статистическую природу (при предоставлении информации об R ячеистых бетонов, особенно газобетонов, следует указывать направление испытаний и значения коэффициентов вариации).

Итак, при заданном уровне ρ межпоровая перегородка должна быть как можно плотнее, а для этого следует выполнять специальные технологические мероприятия, например: обеспечивать необходимое качество сырья и точность его дозирования; применять способы пригото-

вления сырьевой смеси и формирования сырца с максимальными однородностью (изотропностью), пористостью при минимальном водотвердом отношении; применять современные методы контроля и управления качеством.

Данные многочисленных исследований свидетельствуют о том, что статистическая зависимость между R и ρ ($150 \leq \rho \leq 1000 \text{ кг/м}^3$) в ячеистых бетонах является нелинейной и характеризуется способом их структурообразования.

Применяемая для оценки качества ячеистого бетона зависимость $R = K\rho^2$ неадекватна. Критерий K (коэффициент конструктивного качества ячеистого бетона) следует исключить из практики сравнительной оценки качества различных ячеистых бетонов как не имеющий четкого физического смысла. Он может быть применен только на конкретном заводе «для внутреннего пользования» при стабильном сырье и отлаженной технологии.

В общем случае условие $R = R_{\max}$ для ячеистых бетонов выполнимо при $R_c \geq R_a$; $R_c \geq R_m$ и $R_m \leq R_a$.

Общеизвестно, что среди ячеистых бетонов альтернативы ГАТам как стеновым материалам нет и в будущем, исходя из известного достигнутого уровня мировых знаний в области ячеистых бетонов, не предвидится.

В странах СНГ изделия из ГАТа производятся в основном по прогрессивной резательной технологии, процесс увеличения объемов производства устойчиво идет «по нарастающей», поэтому, например в Беларуси и России, стало возможным массовое строительство с применением однослойных стен типа Н и СН из качественных негидрофобизированных ГАТов с $\rho < 600 \text{ кг/м}^3$, имеющих соответствующий уровень λ .

Известно, что улучшение эксплуатационных свойств ячеистых бетонов достигается при $W_s < W_c$, что может быть обеспечено за счет гидрофобизации изделий, а также формирования улучшенной макро- и микро-структуры.

Уровень W_c и W_s материалов определяет не только их физико-механические, но и теплофизические свойства конструкций.

В общем случае проявление сорбционных свойств у КМСН связано с ад(аб)сорбцией газообразной воды с установлением водородных

связей между полярными молекулами воды и активными центрами на поверхностях КМСН.

Термодинамические и физико-химические свойства воды зависят прежде всего от температуры, а протекание процесса сорбции описывается уравнением Гиббса и существенно зависит от природы, т. е. минерально-фазового состава и состояния поверхности, КМСН и газового состава среды эксплуатации КМСН [1–3].

В соответствии с ГОСТ 12852.6 «Бетон ячеистый. Метод определения сорбционной влажности» проведены исследования параметра W_c у ТИ и ТЭ пористых бетонов с различной ρ [3]. Некоторые данные об уровне W_c негидрофобизированного ГАТа при относительной влажности среды 75,5 % (среда над раствором NaCl) представлены в табл. 2.

Из приведенных в [3] данных следует, что W_c у ТИ и ТЭ негидрофобизированного автоклавного газобетона, а также W_c негидрофобизированного автоклавного пенобетона находятся практически на одном уровне, который несколько ниже уровня W_c негидрофобизированного ГАТа.

Таблица 2

Сорбционная влажность негидрофобизированного автоклавного газобетона

ρ , кг/м ³	284	305	403	521	605	710	802
W_c , мас. %	10,3	9,3	8,2	7,8	7,8	7,9	7,9

По мере уменьшения W_c бетоны можно расположить в ряд: негидрофобизированный неавтоклавный газобетон на основе кварцевого песка → негидрофобизированный неавтоклавный цементный пенобетон на основе кварцевого песка → негидрофобизированный перлитцементный бетон → гидрофобизированный перлитцементный бетон → гидрофобизированный монолитный перлитцементный бетон.

В [3] показано, что решение задачи по повышению R у ГАТов путем синтеза увеличенного количества НО ГСК приводит и к решению задачи по уменьшению их W_c .

Если стеновые изделия из ТЭ пористых бетонов производятся массово, то промышленное производство твердых ТИ материалов с применением долговечного неорганического сырья в СНГ не развито. Не производятся соответ-

ственно и твердые ТИ изделия с $\rho \leq 300$ кг/м³, в том числе из ГАТов с улучшенными физико-техническими (прежде всего сорбционными) свойствами. Достижением на уровне СНГ является производство в Беларуси из негидрофобизированного ГАТа плит с $\rho \leq 300$ кг/м³; $\lambda \leq 0,185$ Вт/(м·К). Вместе с тем в СНГ нет примеров успешного применения ТИ изделий из ячеистых бетонов, в том числе из негидрофобизированных ГАТов, для внешней тепловой изоляции стен домов.

Схемы применения негидрофобизированных ГАТов (гидрофобизированные в заводских условиях по ряду причин получить не удастся) в качестве ТИ слоя стен существенно зависят от уровня ρ и габаритов сборных (плитных) изделий.

Достаточно «опасна» в неармированных изделиях усадка при высыхании. Она заключается в том, что деформация цементирующей матрицы (прежде всего портландцементной составляющей) происходит не вследствие наличия внешнего силового воздействия, а является результатом достаточно длительных процессов превращения клинкерных фаз в кристаллогидратные соединения в среде с определенным газовым составом. Известно, что ГСК автоклавного происхождения подвержены усадке и набуханию в меньшей мере.

Процесс усадки является разрушительным (образуются усадочные трещины в различных зонах пористого бетона), т. е. $U > U_{кр}$, в строительных изделиях некоторого критического размера (вспомните, как выглядит пересушенная солнцем растрескавшаяся на «многоугольники» поверхность грунтовой площадки или стенка с лохматыми обоями, достигшие состояния, при котором в грунте и бетоне $U > U_{кр}$).

В общем случае

$$U = \varphi(\rho, n, N, C, G), \quad (3)$$

где n – объемная доля цементирующего вещества; N – размеры изделия; C – степень завершенности структурообразования КМСН ($C \leq 1$); G – параметры среды эксплуатации КМСН.

Несмотря на введение параметра C , качественная зависимость (3) не отражает сложные физико-химические процессы, протекающие при эксплуатации изделий из пористых бетонов

и приводящие к их усадке. Для обеспечения усадки $U \leq U_{кр}$ необходимо прежде всего при заданном ρ уменьшить, например, в цементных бетонах (бетоны с кодами (2-1)-(4-1), табл. 1) количество негидратированных частиц цемента (это связано с параметрами n и C), что в процессе эксплуатации предотвратит или существенно «ослабит» процесс контракции. При $n \rightarrow n_{мин}$ будет иметь место не только повышение R бетона, но и уменьшение скорости процесса усадки, которая в общем случае зависит прежде всего от факторов ρ , C и G и имеет наибольшее значение у ТИ изделий.

На процесс усадки изделий из ГАТа наибольшее влияние оказывает параметр G . Целесообразно применение крупноразмерных плит из ГАТов для тепловой изоляции промышленного оборудования при $W_c = 0$.

В последние годы некоторые «предприимчивые» заводы освоили производство относительно дешевых неармированных ТЭ и ТИ изделий из неавтоклавных цементных ячеистых бетонов (НЦЯБ) с неудовлетворительными физико-техническими и потребительскими свойствами (прежде всего трещиностойкостью R , анизотропией свойств) путем применения непроизводительного оборудования (бетоны с кодами (2-1)-(2-3), табл. 1). Как правило, резательная технология и физико-химическая активация сырья не применяются [1, 2, 4]. НЦЯБ получают в виде газо-, пенобетонов, поризуя цементное тесто. Полученную смесь разливают в секционные или индивидуальные формы. Иногда в смесь добавляют мелкие пески или минеральные отходы. Изделия из НЦЯБ строители применяют при возведении, например, перегородок и элементов стен (самонесущих и ТИ слоев) различных объектов, в том числе домов. Иногда эти изделия применяются и в конструкциях несущих стен малоэтажных зданий.

Это пример того, как при решении технической проблемы параметром оптимизации принята цена, а не физико-технические свойства материала.

Известно, что для получения НЦЯБ (этот бетон абстрактно-теоретически принято считать менее энергоемким по сравнению с ГАТами) с уменьшенной U (не говоря уже о карбонизационной усадке), W_c и повышенной R необходимо обязательно производить специаль-

ную подготовку как матрицы (вяжущей системы композиционного состава), так и микрозаполнителя, т. е. нужны соответствующие затраты энергии на специальном оборудовании, которое у нас не выпускается. Однако даже при выполнении этих энергоемких, технологически сложных операций физико-технические свойства НЦЯБ объективно не достигают уровня свойств ГАТов и других ячеистых бетонов автоклавного твердения. Исходя из этого ведущие фирмы практически не производят изделия из НЦЯБ, а в СССР технологии его производства были отнесены к категории неактуальных и даже бессмысленных, потому что человечество знает ГАТы, которые «спасут» его от перерасхода невозполнимых ресурсов.

Конструкционные неармированные изделия из НЦЯБ с $\rho > 800 \text{ кг/м}^3$, поскольку они у нас уже массово производятся (справедливости ради скажем, что и в России есть изобретатели, которые «насаждают» оборудование для производства изделий из этого бетона, не сопровождая продажу рекомендациями по составу сырьевых смесей), следует применять при выполнении, например, каменной кладки при возведении стен хозяйственных построек.

В неотапливаемых помещениях (условно говоря, $G < 0$) проявляются «единство и борьба» процессов усадки и набухания пористых бетонов. В таких объектах, учитывая наши климатические особенности (не стоит «остро» вопрос об обеспечении морозостойкости), применение НЦЯБ (имеют $U > U_{кр}$ в нормальных ($G > 0$) для жизни живых организмов условиях) наиболее целесообразно. При условии контроля КР и λ нет никаких препятствий и для эксплуатации изделий из конструкционных НЦЯБ в помещениях с повышенной влажностью.

Натурные исследования подтверждают известную рекомендацию о том, что можно использовать конструкционные НЦЯБ (ориентировочно при $\rho > 1000 \text{ кг/м}^3$) с допустимой усадкой при малоэтажном строительстве монолитным способом или возведении самонесущих стен в каркасных строениях. При этом в качестве вяжущих следует применять специальные сырьевые смеси, а не только портландцемент.

Надеяться на применение при производстве НЦЯБ с $\rho < 800 \text{ кг/м}^3$ расширяющихся цементов (безусадочных цементов на основе сульфатоалюминатного или оксидного расширения) не следует, так как их мало и они дорогие.

Заметим еще одно важное обстоятельство. В СНГ качественные стеновые ячеистые бетоны активно используют и для возведения перегородок. Применение мелких блоков толщиной 80–100 мм, например из ТЭ ГАТов, для устройства перегородок не дает ожидаемого эффекта, так как звукоизолирующие свойства таких перегородок не бесспорны. Ни в одном нормативном документе нет данных об индексах изоляции различных шумов перегородок из ГАТов с различной ρ . А точность размера по толщине у таких перегородочных плит, а необходимость нанесения штукатурного слоя? Нет сомнения в том, что и испытания на прочность перегородки из ТЭ ГАТа (не говоря о НЦЯБ) не выдержат. Не следует дефицитной стеновой ТЭ ГАТ использовать для производства некачественных перегородочных изделий.

С 1970-х гг. в Западной Европе в массовом порядке начали развиваться технологии производства сборных перегородок на основе изделий из гипсового вяжущего. Производятся не только каркасные перегородки с применением гипсокартона, но и монтажные элементы в виде пазогребневых плит под названием «Промонта». В СНГ такие плиты уже применяются, но не массово. Достаточно подробно эта проблема обсуждена в [1, 2, 4].

Таким образом, внедрение в строительное производство и ремонтные работы изделий из ТЭ и ТИ НЦЯБ, которые сейчас выпускают наши предприятия с нарушением основных положений физико-химии строительного материаловедения, не будет способствовать повышению технического уровня и качества строительной продукции в СНГ. Только проблемы вместе с «ситуативной» прибылью себе создадим, вместо ожидаемого «добра».

В любом случае при наличии намерения применить НЦЯБ в составе ограждающих или иных конструкций следует прогнозировать влияние параметра G на основные физико-технические свойства бетона в процессе его эксплуатации.

В ПЦИ, изготовленных по отдельной технологии, независимо от уровня значений параметров ρ , N , C и G , соблюдается условие $U \leq U_{кр}$. Отметим, что за два десятилетия наблюдений усадочные трещины не замечены даже в ПЦИ (бетон с кодом 4–1, табл. 1), изготовленных по неэффективной технологии полусухого формования [1–3].

В процессе эксплуатации КМСН возможна ситуация, когда часть ад(аб)сорбированной воды перейдет в разряд хемосорбированной или кристаллизационной с фактическим образованием новых соединений в структуре КМСН. Для исключения этого опасного явления необходимо уменьшить в бетоне количество негидратированных частиц цемента при $n \rightarrow n_{\min}$, что в процессе эксплуатации существенно «ослабит» контракцию, приводящую к увеличению поверхности сорбции и в итоге R_t конструкции, так как в общем случае

$$\lambda = f(W_s, t, C), \quad (4)$$

где W_s – влажность КМСН; t – температура среды.

Это возможно, если в процессе производства, например ТИ цементосодержащих бетонов, будет обеспечено высокое качество ячеистобетонной смеси традиционного состава или вяжущей системы, применяемой при изготовлении цементных перлитобетонов, за счет физико-химической активации сырья [1, 2].

В строительном материаловедении принято упрощенно считать, что теплопередача осуществляется за счет конвекции (при размере пор до 0,1 мкм она практически не наблюдается, так как молекулы газов воздуха не имеют необходимой подвижности, т. е. не могут «разогнаться»), теплопроводности и переноса тепловой энергии электромагнитными волнами (об этом мало что известно).

В ГАТах высокая анизотропия не только параметра R , но и λ . В цементных перлитобетонах и коэффициент анизотропии, и значения λ меньше. Это связано с тем, что параметр λ уменьшен в бетонах с повышенным содержанием аморфного компонента, но ГСК зависит от размеров кристаллов в кристаллитах и степени дефектности кристаллической решетки вещества [2].

Физико-химический смысл параметра C изменяется в зависимости от способа структурообразования пористого бетона, точнее – его цементирующего вещества. Аналитическое решение задачи по описанию условий, при которых C имеет технологически достижимое в конкретных заводских условиях значение $C = C_{\max}$ или теоретически максимальное в лабораторных условиях значение (в общем случае $C \leq 1$), не выполнено, потому что сегодня нет общепризнанного определения оптимальной микроструктуры искусственных камней как автоклавного, так и гидравлического твердения. Есть общепризнанные задачи и цели, которые необходимо решить и достичь, чтобы обеспечить условие $C \rightarrow 1$ при определенном уровне значений параметра G и четком представлении о назначении бетона. Для современных заводских технологий производства пористых бетонов этого достаточно.

Из приведенной информации следует, что сложно аналитическим путем получить интегральные зависимости U и λ от технологических факторов, не учитывая действие во времени τ неопределенной функции $C = \psi(\tau)$.

В срединных слоях стен возможно применение изделий из ТИ негидрофобизированных автоклавных ячеистых бетонов традиционного состава без ограничений, тем более что в зимний период при пониженных температурах вода снижает свою химическую активность, а λ имеет пониженные значения.

Для повышения долговечности изделий из негидрофобизированных автоклавных яче-

стых бетонов целесообразно избегать прямого интенсивного воздействия влаги на ТИ изделия, а также несколько пассивировать известными приемами сорбционные свойства фасадной поверхности ТИ плит из ГАТов.

С применением пористых бетонов можно разработать различные теплые стены и другие ограждающие конструкции (перекрытия, покрытия, плоские и криволинейные теплозащитные конструкции в энергетике и т. д.) по схеме, представленной на рис. 1. Стена типа Н или СН достаточно эффективна, например при наличии внешнего ТИ слоя из гидрофобизированного бетона с $\rho < 300 \text{ кг/м}^3$ (табл. 3). В такой стене соблюдается условие (1).

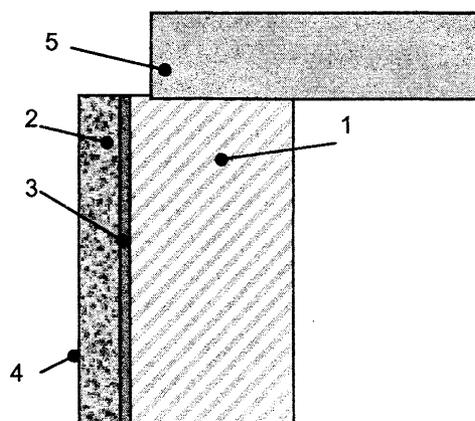


Рис. 1. Конструктивная схема теплой стены: 1 – основной слой (тяжелый бетон, керамический кирпич, силикатный кирпич или плотный силикатный бетон, ТЭ или конструкционный бетон с ячеистой или зернистой структурой или с применением пористых заполнителей); 2 – ТИ слой из изделий «Перизол-Г»; 3 – клеевой слой; 4 – защитно-декоративный слой (краска, штукатурка и т. п.); 5 – плита перекрытия

Таблица 3

Рекомендуемая для производства номенклатура изделий из цементных перлитобетонов с улучшенными физико-техническими свойствами

Цементный перлитобетон и способ производства изделий	Бетон средней плотности в сухом состоянии, кг/м ³				
	теплоизоляционный			теплоэфф-	конструкционный
	<300	300–400	400–500	твивный	>800
Негидрофобизированный; И, ПР; МО; М	ТП, ТВ 3	ТП, ТВ 3	ТП, ТВ	БСМВ	БСМН, БСМВ, П
Гидрофобизированный; И, ПР; МО; М	ТФ, ТК 3	ТФ, ТК 3	БСМН, БСМВ ТФ, ТК	БСМН, БСМВ	БСМН, БСМВ. П

Примечание. БСМН – блоки стеновые мелкие для наружных стен; БСМВ – то же для внутренних стен; П – плиты для перегородок мелкоразмерные; З – звуковая изоляция; ТП – тепловая изоляция промышленного оборудования при температуре эксплуатации до 700 °С; ТФ – наружная тепловая изоляция фасадов; ТВ – внутренняя тепловая изоляция стен; ТК – тепловая изоляция внутри каменной кладки; МО – изделия, получаемые с применением мобильного оборудования; И – изделия, получаемые формованием в индивидуальных формах (кассетах); ПР – изделия, получаемые прессованием; М – возможность применения бетона в монолитном строительстве.