

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

Р. П. РЕЙЗМАН,

кандидат технических наук

Ячеистые бетоны, являющиеся одним из наиболее эффективных видов строительных материалов, с каждым годом находят все более широкое применение в строительстве.

Однако отсутствие до настоящего времени нормативных указаний по расчету конструкций из этих материалов вынуждает проектировщиков, зачастую без должного обоснования, применять нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций (НиТУ 123-55) к расчету конструкций из ячеистых бетонов. Это в ряде случаев не обеспечивает конструкциям нормативного запаса прочности и поэтому недопустимо. Кроме того следует отметить, что к заводам-изготовителям ячеистых бетонов не предъявляется требований в части однородности продукции, а предусматриваемые некоторыми нормативными документами допуски в части объемного веса и прочности не выдерживаются. Это приводит к завышению объемного веса и снижению теплозащитных свойств ограждающих конструкций против запроектированных.

Положительные результаты, полученные в Эстонской ССР в период 1953—1957 гг. при возведении одно-двухэтажных зданий из пеносиликальцитных и пенокукермитовых* блоков, позволили начать подготовку к строительству трех-четырёхэтажных зданий с несущими стенами из этих ячеистых бетонов.

Соответственно возникла и необходимость уточнить ряд вопросов, связанных с расчетом конструкций из ячеистых бетонов по предельному состоянию.

Ниже излагаются некоторые результаты исследований, проведенных автором в Институте строительства и строительных материалов АН ЭССР в 1956—1957 гг.

1. О коэффициенте однородности ячеистых бетонов

Для расчета конструкций по первому предельному состоянию необходимо знать величину коэффициента однородности по прочности (K_6), равного отношению расчетного сопротивления $R_{расч}$ к нормативному R^n

$$K_6 = \frac{R_{расч}}{R^n}. \quad (1)$$

Величина коэффициента однородности определяется в первом приближении методами математической статистики на основе анализа достаточно большого количества опытных данных и вычисляется по следующей формуле:

* Пеносиликальцит — автоклавный пенобетон из известково-песчаной смеси, обработанной в дезинтеграторе.[1]

Пенокукермит — бесцементный пенобетон на сланцезольном вяжущем.[2]

$$k_{6R} = \frac{R_{cp}}{R^H} \left(1 - \frac{3\sigma_R}{R_{cp}} \right) = \frac{R_{cp}}{R^H} \left(1 - 3c_{vR} \right), \quad (2)$$

где k_{6R} — коэффициент однородности ячеистого бетона по прочности,

σ_R — среднее квадратичное отношение для прочности,

$c_{vR} = \frac{\sigma_R}{R_{cp}}$ — изменчивость прочности,

R_{cp} — среднеарифметическое значение прочности.

Для определения величины коэффициента однородности ячеистых бетонов были использованы результаты испытаний образцов, проводившихся лабораториями нескольких заводов*. Основные данные и результаты математической обработки приведены в табл. 1.

Ячеистые бетоны в отличие от других конструктивных строительных материалов, в том числе и бетонов, имеют два параметра — прочность и объемный вес, — у которых наблюдается разброс частных значений относительно их среднего значения.

Для большинства ячеистых бетонов названные параметры имеют между собой корреляционную связь, т. е. прочность ячеистого бетона зависит в какой-то степени от его объемного веса. Специфика технологии и, особенно, возможные на производстве отклонения от оптимальных условий уменьшают корреляционную связь между этими двумя параметрами.

Как видно из табл. 1, ни один из заводов не выдерживал точно проектный объемный вес ячеистого бетона, допуская отклонения от среднего значения. Понижение объемного веса обычно снижает прочность бетона, а завышение увеличивает его теплопроводность.

Так, например, стены первых домов, изготовленных Опытным заводом МПСМ ЭССР в 1955 г., вследствие завышения объемного веса пеносиликальцита имели недостаточные теплозащитные свойства, составлявшие, как показали расчеты и непосредственные теплотехнические измерения [5], всего 80% от требуемых нормами, что повлекло за собой промерзание углов и даже стен.

Таким образом, оценка однородности ячеистых бетонов по объемному весу стала необходимой для того, чтобы уметь правильно определять теплозащитные свойства ограждающих конструкций с учетом вероятных отклонений объемного веса от проектного.

По аналогии с уже прочно установившимся понятием коэффициента однородности по прочности (k_{6R}) целесообразно для материалов, имеющих переменный объемный вес, ввести понятие коэффициента однородности по объемному весу (k_γ), равного отношению максимального вероятного объемного веса ($\gamma_{max} = \gamma_{cp} + 3\sigma_\gamma$) к проектному (нормативному) γ^H , т. е.

$$k_\gamma = \frac{\gamma_{max}}{\gamma^H}. \quad (3)$$

Как показал анализ заводских данных, отклонения объемных весов от нормативного хорошо подчиняются так называемому «нормальному» закону распределения.

Величина коэффициента однородности по объемному весу может быть вычислена по формуле (4), аналогичной формуле (2):

* Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность администрации заводов, любезно предоставивших необходимые данные.

Таблица 1

Показатели	Пену-кермит з-да „Кукер-мит“	Пеносили-кальцит Опытного з-да МПСМ ЭССР	Газобетон з-да „Сипо-рекс“, Рига	Пено-бетон треста № 86, Харьков	Пеносили-кальцит Опытного з-да МПСМ ЭССР*
Проектный объемный вес материала γ^H , кг/м ³	1000	900	1000	800	900
Количество испытаний	227	502	347	478	218
Вид гидротермальной обработки	пропарка 40 часов при 80°C	автоклавная обработка: 8—10 часов при 8—9 ати			
Период испытания образцов заводской лабораторией, от — до	8 VII 55— 7 VI 56	18 V 55 — 25 II 56	29 V — 8 XI 55	3 V — 28 VIII 56	1 VIII— 31 XII 56
Средняя весовая влажность образцов, %	0	16,8	0—5	0—3	—
Средний объемный вес γ_{cp} , кг/м ³	1006	1100	1052	841	935
Минимальный наблюдавшийся объемный вес, кг/м ³	800	900	740	600	810
Максимальный наблюдавшийся объемный вес, кг/м ³	1290	1300	1150	1100	1095
Среднее квадратичное отклонение σ_γ для объемного веса, кг/м ³	99	81	72	80	52
Изменчивость объемного веса $c_{v\gamma}$	0,098	0,073	0,068	0,095	0,056
Показатель однородности по объемному весу κ_γ	1,30	1,50	1,27	1,35	1,21
Расчетный объемный вес γ при вероятности 0,15% (обеспеченность $3\sigma = 99,8\%$), кг/м ³	1280	1350	1270	1080	1080
Проектная марка материала R^H , кг/см ²	35	60	35	35	60
Средняя прочность R_{cp} , кг/см ²	50,4	98	37	33	75
Минимальная наблюдавшаяся прочность, кг/см ²	24	25 (17)**	19	9	30—35
Максимальная наблюдавшаяся прочность, кг/см ²	114	198	74	95	115—125
Среднеквадратичное отклонение σ_R для рассеяния прочностных показателей, кг/см ²	16,5	31	7,5	12,3	15,7
Изменчивость прочности c_{vR}	0,328	0,316	0,203	0,372	0,209
Показатель однородности с учетом асимметрии κ_{oR}	0,467	0,39	0,645	0,264	0,54
Расчетная прочность R при обеспеченности $3\sigma = 99,8\%$, кг/см ²	16,3	23,5	22,5	9,2	33,6
Произведение $c_{v\gamma} \cdot c_{vR} = \varrho$	0,0320	0,0231	0,0138	0,0353	0,0118
Коэффициент корреляции r между γ и R	0,320	0,226	0,32	—	0,226

* На основании справки завода. Все остальные данные выписывались непосредственно из журналов заводских лабораторий.

** Величины менее 25 кг/см² в расчет не принимались, как явный брак.

Примечание. Математическая обработка результатов испытаний производилась младшим научным сотрудником ИССМ АН ЭССР И. И. Штейном в соответствии с требованиями, изложенными в работах [3, 4].

$$\kappa_{\gamma} = \frac{\gamma_{\text{ср}}}{\gamma_{\text{н}}} \left(1 + \frac{3\sigma_{\gamma}}{\gamma_{\text{ср}}} \right) = \frac{\gamma_{\text{ср}}}{\gamma_{\text{н}}} \left(1 + 3c_{v\gamma} \right), \quad (4)$$

где σ_{γ} — среднее квадратичное отклонение для объемного веса,
 $\gamma_{\text{ср}}$ — среднеарифметическое значение объемного веса,
 $c_{v\gamma} = \frac{\sigma_{\gamma}}{\gamma_{\text{ср}}}$ — изменчивость объемного веса.

В формуле (4) величина $3c_{v\gamma} = \frac{3\sigma_{\gamma}}{\gamma_{\text{ср}}}$ берется с положительным зна-

ком, так как она характеризует нежелательное увеличение объемного веса против проектного.

Величина коэффициента однородности κ_{γ} для обследованных заводов колеблется от 1,21 до 1,5, т. е. в отдельных случаях наблюдались объемные веса в 1,5 раза превышавшие нормативный. Такие отклонения следует считать недопустимыми и нехарактерными, и объясняются они только отсутствием должного контроля на заводе-изготовителе.

Так, например, после того, как Опытному заводу МПСМ ЭССР было указано на недопустимость подобных отклонений, неоднородность пеносиликальцита по объемному весу была резко уменьшена и коэффициент однородности (κ_{γ}) был снижен до 1,21.

При совпадении же среднеарифметического и нормативного объемных весов величина коэффициента однородности для пеносиликальцита становится менее 1,2, что позволяет эту величину рекомендовать как нормативную для всех заводов.

Таким образом, чтобы выполнять указание СНиП*, требующее, чтобы сопротивление ограждения теплопередаче было во всех случаях не менее $R_0^{\text{тр}}$, в расчет следует вводить расчетный объемный вес γ , равный произведению коэффициента однородности по объемному весу (κ_{γ}) на нормативный объемный вес ($\gamma^{\text{н}}$), т. е.

$$\gamma = \kappa_{\gamma} \cdot \gamma^{\text{н}}. \quad (5)$$

Экспериментальные кривые распределения прочности образцов ячеистых бетонов на сжатие обычно имеют небольшую положительную асимметрию.

Величины коэффициентов однородности ячеистых бетонов по прочности, вычисленные с учетом асимметрии по ГОСТ 6901—54, оказались значительно меньшими, чем для обычных бетонов, находясь в пределах от 0,26 до 0,65.

Величины коэффициентов однородности ниже 0,45 могут быть объяснены только низким уровнем налаженности производства. Это подтверждается работой Опытного завода МПСМ ЭССР за второй период, когда величину коэффициента однородности удалось поднять с 0,39 до 0,54.

На первое время представляется целесообразным рекомендовать в качестве нормативной величину коэффициента однородности 0,45 с тем, чтобы по мере совершенствования технологии повысить ее.

При строгом соблюдении технологии эта величина может быть легко достигнута заводами портланд-цементного пенобетона и, очевидно, пеносиликата. Можно полагать, что для пенобетонов из некондиционного сырья, каковыми в настоящее время являются известь и особенно мест-

* Гл. II — В 3, § 3, п. 7 и примеч. 2 к п. 14.

ные вяжущие типа сланцезольного вяжущего (кукермит), рекомендуемая величина коэффициента однородности по прочности будет достижима с большими трудностями, чем для портланд-цементных ячеистых бетонов.

Для того, чтобы обеспечить выполнение расчетных предпосылок и создать в строительных конструкциях необходимый запас прочности, заводы-изготовители, выпускающие строительные детали из ячеистых бетонов, должны обеспечить выполнение требований и в части однородности продукции. Для этого следует систематически, не реже одного раза в квартал, производить определение величин K_{γ} , K_{6R} , $c_{v\gamma}$ и c_{vR} и в случае недопустимо большого рассеяния принимать меры по устранению дефектов технологии.

Вышеперечисленные изменчивости и коэффициенты однородности позволяют оценивать работу завода и качество выпускаемого материала. Коэффициент однородности по объемному весу K_{γ} и изменчивость $c_{v\gamma}$ характеризуют в первую очередь точность дозирования и отсутствие вспучивания или усадки пеномассы.

Так, работа Опытного завода МПСМ ЭССР во второй период (табл. 1, последняя графа), характеризующая наименьшими из всех рассматриваемых заводов величинами K_{γ} и $c_{v\gamma}$, должна быть признана наилучшей.

Коэффициент однородности K_{6R} и изменчивость c_{vR} характеризуют главным образом постоянство сырьевой шихты и термовлажностной обработки. По этим показателям завод «Сипорекс» в г. Риге, выпускающий материал с наименьшим c_{vR} и наибольшим K_{6R} , должен считаться лучшим из рассматриваемых. В целом оценку однородности продукции, выпускаемой заводом, правильнее всего производить на основе изменчивостей прочности c_{vR} и объемного веса $c_{v\gamma}$. Чем однороднее продукция, тем меньшими должны быть отклонения от среднего значения и тем меньшей должна быть площадь (рис. 1), ограниченная сторонами квадрата, равными $\gamma_{cp} \pm 3\sigma_{\gamma}$ и $R_{cp} \pm 3\sigma_R$, что соответствует нахождению в рассматриваемом квадрате 99,1% всей продукции завода. При этом делается допущение, что рассеяние прочности также подчиняется «нормальному» закону распределения.

Принимая γ_{cp} и R_{cp} за единицу и выражая σ в долях от них, после несложных преобразований легко получить, что площадь квадрата равна $36 c_{v\gamma} \cdot c_{vR}$.

Таким образом, произведение изменчивостей, которое можно именовать показателем рассеяния продукции (q), будет характеризовать качество продукции в целом:

$$q = c_{v\gamma} \cdot c_{vR}. \quad (6)$$

Меньшие значения q будут соответствовать большей однородности продукции.

Из обследованных заводов наиболее однородную продукцию выпускали Опытный завод МПСМ ЭССР (во второй период) и рижский за-

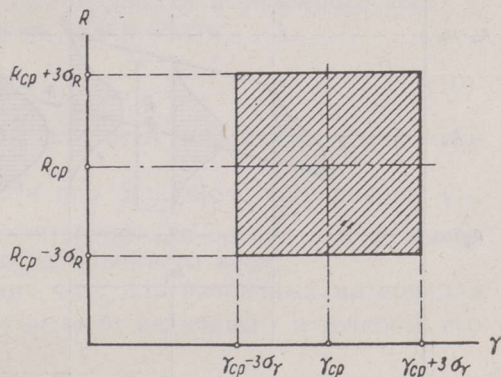


Рис. 1. Схема вычисления показателя рассеяния ячеистых бетонов $q = c_{v\gamma} \cdot c_{vR}$.

вод «Сипорекс», а наименее однородную — завод Строительного треста № 86 г. Харькова, у которого производство изменчивостей наибольшее.

Трудоемкость этих вычислений при проведении их по способу сумм^[6] составляет три-четыре часа, благодаря чему они могут быть проведены в любой заводской лаборатории.

Однако для сравнения качества материалов, выпускаемых по различным технологиям, значение величины показателя рассеяния (σ) продукции недостаточно, так как она может быть получена при весьма различных значениях изменчивостей. Поэтому надлежит найти другой показатель для оценки качества материалов.

Лучшим ячеистым бетоном будет, очевидно, тот, который при равном объемном весе будет иметь наибольшее расчетное сопротивление R или, что равнозначно, наибольшее среднее значение временного сопротивления и наибольший коэффициент однородности. Последнему соответствует наименьшая величина изменчивости. Для такого сравнения необходимо отобрать результаты с минимальными отклонениями объемного веса от среднего, ограничиваясь, например, величинами отклонений, не превышающими $\pm 0,02\gamma_{\text{ср}}$.

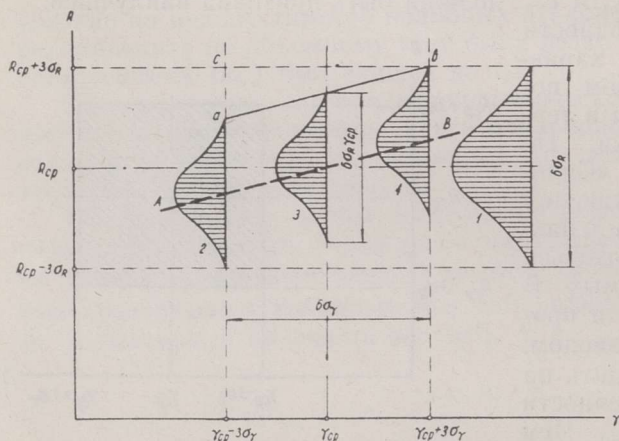


Рис. 2. Схема вычисления изменчивости прочности ячеистого бетона $c_{vR\gamma_{\text{ср}}}$ при объемном весе $\gamma_{\text{ср}}$.

Так как для получения надежных выводов желательно иметь результаты не менее 150 испытаний, а на заводах не всегда удается отобрать требуемое число данных из-за больших колебаний объемного веса, то изменчивость материала по прочности ($c_{vR\gamma_{\text{ср}}}$) в указанных узких пределах колебания объемного веса можно определить методами математической статистики.

На рис. 2 изображена корреляционная

зависимость между γ и R для ячеистого бетона, охватывающая 99% всей продукции завода. Площадь 1 характеризует рассеяние прочностных показателей для всей рассматриваемой совокупности образцов при колебании объемного веса $\gamma_{\text{ср}} \pm 3\sigma_{\gamma}$. Площади 2, 3 и 4 характеризуют рассеяние прочностных показателей при объемном весе $\gamma_{\text{ср}} - 3\sigma_{\gamma}$, $\gamma_{\text{ср}}$ и $\gamma_{\text{ср}} + 3\sigma_{\gamma}$. С достаточной для данных целей точностью может быть принято, что рассеяние во всех случаях подчиняется «нормальному» закону.

Для оценки качества материала необходимо определить величину рассеяния для $\gamma_{\text{ср}}$, выражаемую средним квадратичным отклонением для прочности $\sigma_{R\gamma_{\text{ср}}}$.

Из рис. 2 следует, что

$$6\sigma_{R\gamma_{\text{ср}}} = 6\sigma_R - ac = 6\sigma_R - cb \cdot \text{tg}abc. \quad (7)$$

При этом предполагается, что σ_R для площадей 2, 3 и 4 равны, что подтверждается и анализом данных о продукции Опытного завода МПСМ ЭССР за первый период.

Линия АВ является графиком линейного корреляционного уравнения, связывающего объемный вес и прочность ячеистого бетона, и может быть вычислена по следующей формуле [6]:

$$R = R_{cp} + r \frac{\sigma_R}{\sigma_\gamma} (\gamma - \gamma_{cp}), \quad (8)$$

где r — коэффициент корреляции между объемным весом и прочностью ячеистого бетона, вычисляемый методами математической статистики,

γ — заданный объемный вес,

R — прочность, соответствующая заданному объемному весу с наибольшей для данной совокупности вероятностью.

Тогда, возвращаясь к выражению (7), и зная, что $\operatorname{tg} abc = r \frac{\sigma_R}{\sigma_\gamma}$ и $cb = 6\sigma_\gamma$, получим

$$6\sigma_{R\gamma_{cp}} = 6\sigma_R - 6\sigma_\gamma \cdot r \cdot \frac{\sigma_R}{\sigma_\gamma}. \quad (9)$$

Переходя для удобства сравнения к относительным величинам (путем деления величин σ на средние значения прочности и объемного веса) и произведя соответствующие сокращения, будем иметь:

$$c_{vR\gamma_{cp}} = c_{vR}(1 - r), \quad (10)$$

где c_{vR} — изменчивость прочности для всей рассматриваемой совокупности,

$c_{vR\gamma_{cp}}$ — изменчивость прочности при объемном весе равном γ_{cp} .

Эта величина и может служить критерием для оценки изменчивости материала при различной изменчивости объемного веса.

Расчеты показывают, что значения $c_{vR\gamma_{cp}}$ для различных материалов мало различаются между собой и зависят от величины r и точности его определения.

II. Определение теплозащитных свойств ограждающих конструкций из ячеистых бетонов (по предельным состояниям)

Определение теплозащитных свойств ограждающих конструкций в настоящее время производится с использованием средних значений коэффициентов теплопроводности материалов, без учета рассеяния этих свойств, неизбежного в процессе производства.

Особенно большое рассеяние тепловых свойств наблюдается у новых эффективных материалов. Так, например, крупные блоки из пено-силикальцита, выпускавшиеся Опытным заводом МПСМ ЭССР, имели в 1955—1956 гг. значительные отклонения от проектных величин (табл. 2).

Почти такие же отклонения размеров и объемных весов наблюдались нами и на других заводах ячеистого бетона.

Поэтому следует считать недопустимым стремление ряда проектных организаций, в целях снижения строительной стоимости здания, проектировать ограждения с сопротивлением теплопередаче, равным минимально допускаемому нормами. При существующем уровне производства строительных материалов это неизбежно поведет к недостаточным теплозащитным свойствам значительной части ограждений.

При теплотехническом расчете по первому предельному состоянию

Таблица 2

Показатели	Единица измерения	Проектная величина	Наблюдалось	
			min	max
Общая толщина блока	см	30	29	32
Толщина фактурного слоя	см	4	5	8
Толщина слоя ячеистого бетона	см	26	22,5	26,0
Объемный вес ячеистого бетона	кг/м ³	900	900	1300
Объемный вес фактурного слоя	кг/м ³	1650	1450	1850
Влажность ячеистого бетона	% по весу	5	15	22
Общее сопротивление теплопередаче	м ² час град ккал	1,12	0,8	не определялось

необходимо, чтобы сопротивление ограждения теплопередаче было не менее требуемого нормами, т. е. чтобы *

$$R_0 \geq R_0^{\text{тр.}} \quad (1)$$

Величина сопротивления теплопередаче R_0 при расчете по предельным состояниям в общем должна вычисляться по следующей формуле:

$$R_0 = R_B + R_1 + R_2 + \dots + R_N = R_B + \frac{\xi_1 \cdot \delta_1}{\rho_1 \cdot \kappa_{\lambda_1} \cdot \lambda_1} + \frac{\xi_2 \cdot \delta_2}{\rho_2 \cdot \kappa_{\lambda_2} \cdot \lambda_2} + \dots + R_N, \quad (2)$$

где ρ — коэффициент условий работы слоя материала ограждения, учитывающий повышение его теплопроводности в зависимости от влажности;

κ_{λ} — коэффициент однородности материала по теплопроводности, учитывающий отклонение величины коэффициента теплопроводности от проектной величины вследствие неизбежного рассеяния объемного веса;

ξ — коэффициент, учитывающий неизбежные отклонения толщин слоев от предусмотренных проектом.

Сумма величин R_B и R_N обычно не превышает $0,2 R_0$ и не зависит от свойств материалов. Поэтому изучение изменчивости этих величин должно быть предметом специальных исследований.

Величины отклонений δ и γ , а следовательно, и λ от проектных величин, как показали результаты обследования продукции ряда заводов, хорошо подчиняются так называемому закону «нормального» распределения.** Поэтому вероятность появления какого либо значения δ или γ легко может быть вычислена с использованием средств математической статистики и теории вероятности.

Как это принято в теории расчетов по предельным состояниям, вероятность появления величины R_0 меньшей $R_0^{\text{тр}}$ не должна превышать

* Условные обозначения во всех случаях, кроме специально оговоренных, по СНиП.

** Здесь и далее предполагается, что для ячеистых бетонов λ зависит только от объемного веса γ и не зависит от структуры и химического состава бетона.

0,15%, что соответствует отклонению от среднего значения на утроенную величину среднего квадратичного отклонения σ .

Величины δ и γ являются независимыми варьирующимися величинами. В этом случае вероятности появления их, дающие минимальное значение R_0 , могут быть вычислены с использованием теории вероятности (правило умножения вероятности) [7].

$$P(R_0 \leq R_0^{пр}) = P(\delta_1)P(\delta_2) \dots P(\lambda_1)P(\lambda_2) \dots = 0,0015. \quad (3)$$

Если бы влияние величин δ и λ на теплозащитные свойства конструкции были бы равными, то вычисление этих вероятностей было бы чрезвычайно простым. В противном случае (как это обычно и имеет место на практике) задача чрезвычайно усложняется и не может быть решена элементарным путем.

Однако, сделав некоторые допущения, можно упростить задачу. Если учесть, что конструкции из ячеистых бетонов обычно имеют не свыше трех слоев и что сопротивление теплопередаче слоя ячеистого бетона составляет не менее $0,6 R_0$, то влияние отклонений от проектных величин δ и всех λ , кроме значения λ для ячеистого бетона, становится незначительным и ими с достаточной для практических целей точностью можно пренебречь. В этом случае значения вероятностей $P(\delta)$ и всех $P(\lambda)$, кроме $P(\lambda_{яч. бет.})$, будут равны единице и формула (3) примет следующий вид:

$$R_0 = R_B + \frac{\delta_1^{ср}}{\rho_1 \cdot \lambda_{1ср}} + \frac{\delta_2^{ср}}{\rho_2 \cdot \kappa_{\lambda_2} \cdot \lambda_2} + \dots R_H, \quad (4)$$

где $\delta^{ср}$ и $\lambda_{ср}$ — средние значения этих величин.

Так как фактурный слой, как показали наблюдения, обычно находится в воздушносухом состоянии, то и величину ρ_1 можно принять равной единице, что еще более упростит формулу (4).

Как видно из табл. 2, толщина фактурного слоя отклоняется от своего среднего значения на $\pm 1,5$ см. Мало вероятно, чтобы удалось снизить величину этого колебания. Поэтому в тех случаях, когда фактурный слой по условиям морозостойкости назначается толщиной не менее 35 мм*, проектная толщина фактурного слоя должна предусматриваться равной 5 см, с учетом неизбежного по технологическим причинам рассеивания.

Расчетная толщина слоя ячеистого бетона в этом случае будет равна

$$\delta_2^{ср} = B - (\delta_1^{ср} + \delta_3^{ср}) - \Delta, \quad (5)$$

где B — проектная толщина ограждения;
 Δ — величина отрицательного допуска, равная 0,5 см для крупных блоков и 1,0 см для ограждений из мелких блоков^[4] (на практике величина Δ для крупных блоков доходила до 1,5 см);
 $\delta_1^{ср}$; $\delta_3^{ср}$ — средние толщины отделочных слоев, назначаемые с учетом неизбежных по технологическим причинам допусков.

Величины λ могут быть взяты по СНиП (гл. 2 — В 3, § 1) для средних значений объемных весов материалов слоев.

Величина коэффициента однородности по теплопроводности k_λ для

* СНиП, гл. II—Б, § 2, п. 4, примеч. 3.

ячеистых бетонов может быть назначена исходя из данных о рассеянии объемного веса этих материалов.

Считая, что с достаточной для практических целей точностью изменение теплозащитных свойств в пределах изменения объемного веса ячеистого бетона от γ_n до $k_\gamma \cdot \gamma_n$ подчиняется линейному закону, на основании литературных данных [5, 8] были вычислены величины k_λ по соотношению

$$k_\lambda = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_n}, \quad (6)$$

где λ_{\max} — значение коэффициента теплопроводности ячеистого бетона с объемным весом $k_\gamma \cdot \gamma_n$.

Рекомендуемые значения k_λ в зависимости от k_γ помещены в табл. 3.

Таблица 3

Величина k_γ	1,2	1,30	1,50
Величина k_λ	1,15	1,25	1,40

Как было указано выше, величина k_λ , равная 1,2, вполне достижима для заводов ячеистых бетонов и должна ими обеспечиваться. Соответственно должна выбираться и величина k_λ .

Значение величины коэффициента условий работы ячеистого бетона ρ , отражающего влияние влажности материалов на теплопроводность, были вычислены по формуле

$$\rho = \frac{\lambda_n}{\lambda_{10}}, \quad (7)$$

где λ_n и λ_{10} — значение коэффициентов теплопроводности ячеистых бетонов соответственно при расчетной и равновесной влажности, принимавшейся равной 10% по весу.

Величины ρ для ограждающих конструкций из ячеистого бетона рекомендуется принимать по данным табл. 4.

Таблица 4

Расположение паро- или гидроизоляционных слоев	Вид ячеистого бетона	Значение ρ при				Время, необходимое для достижения эксплуатационной влажности (в годах)
		технологической влажности материала	равновесной влажности материала в помещении с влажностным режимом			
			сухим	нормальным	влажным	
Без паро- и гидроизоляционных слоев	пропаренный автоклавный	1,60	1,25	1,25	—*	5**
		1,35	1,0	1,0	—*	2
Изоляционный слой у холодной поверхности ограждения	то же	1,60	1,25	1,45	—*	5**
		1,35	1,10	1,35	—*	2
Изоляционный слой у теплой поверхности ограждения	то же	1,60	1,0	1,10	1,25	5**
		1,35	0,9	1,0	1,0	2
Изоляционные слои у теплой и холодной поверхностей ограждения ***	то же	1,60	1,60	1,60	—*	—
		1,35	1,35	1,35	—*	—

* Применение ячеистых бетонов не рекомендуется.

** Наблюдения не закончены, срок ориентировочный.

*** Предполагается, что влажность ячеистых бетонов, равная технологической, остается неизменной.

Как видно из этой таблицы, значения q особенно велики в начальный период эксплуатации здания, когда ячеистые бетоны еще сохраняют технологическую влажность.

Поэтому необходима проверка ограждения по второму предельному состоянию, которое заключается в обеспечении отсутствия выпадения конденсата на внутренней поверхности стены, т. е. в удовлетворении условия

$$\tau_{в} \geq \tau_{р}. \quad (8)$$

В этом случае определение температуры внутренней поверхности стены $\tau_{в}$ должно производиться с использованием значений q для материалов, имеющих технологическую влажность, а относительная влажность воздуха в помещении 10—80%.

Расчет ограждающих конструкций по предлагаемому методу повлечет за собой необходимость увеличения сопротивления теплопередаче в среднем на 20—30% по сравнению с $R_0^{тп}$. Этого можно достигнуть либо за счет понижения объемного веса ячеистого бетона, либо увеличением толщины его слоя.

В первом случае возможно получить одновременно с улучшением теплозащитных свойств некоторое снижение стоимости одного квадратного метра ограждения за счет экономии сырьевых материалов. Поэтому этот метод может быть рекомендован в первую очередь для 1—2-этажных домов. Увеличение же толщины слоя ячеистого бетона на 20% вызовет незначительное удорожание 1 м² ограждения. Это удорожание окупится экономией на топливе через 10 лет, не считая снижения расходов на строительство систем отопления. При перспективной стоимости ячеистых бетонов на вновь строящихся заводах в 120—130 руб./м³ экономически целесообразно еще более увеличить R_0 стены, доведя его до 2—3 м² час град/ккал. Такое увеличение толщины стены окупится экономией на топливе уже через 5 лет и поэтому экономически весьма целесообразно.

Из вышеизложенного следует, что проектирование ограждений из ячеистого бетона с сопротивлением теплопередаче, равным минимально допускаемому по СНиП, недопустимо, так как оно не обеспечивает выполнения санитарно-гигиенических требований и экономически нецелесообразно, повышая эксплуатационные расходы.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Хинт, Заводское производство силикальцитных изделий, Строительные материалы, изделия и конструкции, № 3, 1955.
2. Р. П. Рейзман, Пенoкyкepмит — бeсцeмeнтный пeнoбeтoн нa слaнцeзoльных вяжyщих и издeлия из нeгo, Лeнингpaд, 1956.
3. Методы определения удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетонов (ГОСТ 6901-54).
4. Технические условия на методы оценки прочности и однородности бетона $\left(\frac{\text{ТУ 200-54}}{\text{МСП-МХП}} \right)$.
5. А. Э. Алумяз, Тепло-влажностные свойства крупноблочных стен из пенoкyкepмита и пeнoсилкaльцита, Изв. АН ЭССР. Серия техн. и физ.-мат. наук, т. VI № 1, 1957.
6. Н. Л. Леонтьев, Статистическая обработка результатов наблюдений, Гослесбумиздат, 1952.
7. Н. В. Дунин-Барковский и Н. В. Смирнов, Теория вероятностей и математическая статистика в технике, Общая часть, М., 1955.

8. А. У. Франчук, Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов, Стройиздат, 1949.
9. Технические условия на производство и приемку строительных и монтажных работ, Раздел II, Каменные и печные работы, М., 1956.
10. Н. С. Стрелецкий, К вопросу о переводе расчетов строительной физики на методику расчетов по предельным состояниям, Строительная промышленность, № 1, 1954.

*Институт строительства и строительных материалов
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
4 VII 1957

MÖNINGAID MULLBETOONIST KONSTRUKTSIOONIDE ARVUTAMISE ISEÄRASUSI

R. Reisman,

tehniliste teaduste kandidaat

Resüme

Artiklis käsitletakse uurimistulemusi, mis kirjeldavad erinevate mullbetooni liikide, nagu vahtsilikaltsiidi, põlevkivituhast ja portlandtsemendist vahtbetooni ning portlandtsemendist gaasbetooni tugevuse ja mahukaalu seaduspäraseid kõrvalekaldumisi projekteeritavatest suurustest.

Soovitatakse mullbetoonide tugevuse ühtsuskoefitsiendiks võtta 0,45.

Samuti antakse mullbetoonide mahukaalu ühtsuskoefitsiendi mõiste ja tema suurus, mis võrdub 1,2-ga, ning tehakse ettepanekuid mullbetoonide omaduste hindamiseks matemaatilise statistika meetodite abil.

Artikli teises osas esitatakse mullbetoonist pürdekonstruksioonide soojustehnilise arvutamise meetod, mis võimaldab arvestada materjalide soojusisolatsiooniliste omaduste hajuvust, elementide mõõtmete kõrvalekaldumist projekteeritud suurustest, ning niiskuse mõju.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Ehituse ja Ehitusmaterjalide Instituut*

Saabus toimetusse
4. VII 1957

EINIGE EIGENTÜMLICHKEITEN DER BERECHNUNG VON KONSTRUKTIONEN AUS ZELLENBETON

R. Reisman

Zusammenfassung

Der Artikel behandelt gesetzmässige Abweichungen von der normalen Festigkeit und dem normalen Volumengewicht bei verschiedenen Arten von Zellenbeton (Schaum-Silikalzit, Brennschieferasche-Schaumbeton, Portlandzement-Schaumbeton und Portlandzement-Gasbeton).

Es wird ein Homogenitätskoeffizient der Festigkeit der Zellenbetone, gleich 0,45, ermittelt, der Begriff des Homogenitätskoeffizienten ihres Volumengewichts bestimmt und die Grösse des letzteren Koeffizienten, gleich 1,20, vorgeschlagen.

Vorschläge werden gemacht zur Abschätzung der Qualität der Zellenbetone vermittelt Methoden mathematischer Statistik.

Der zweite Teil des Artikels enthält eine Methode für die thermotechnische Berechnung der Konstruktionen aus Zellenbeton. Die Methode erlaubt es, die in der Praxis unvermeidliche Dispersion des Wärmeschutzvermögens der Materialien in Rechnung zu ziehen, gleichwie die Einwirkung der Feuchtigkeit und die Abweichung der tatsächlichen Dimensionen der Bauteile von ihren projektierten Werten.

*Institut für Bauwesen und Baumaterialien der
Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen
am 4. Juli 1957