

69-1  
A22

**Autoclaved  
Aerated  
Concrete**

**АВТОКЛАВНЫЙ  
ЯЧЕИСТЫЙ  
БЕТОН**



**Москва  
Стройиздат 1981**

# **Autoclaved Aerated Concrete**

**CEB Manual  
of Design and Technology**

**Prepared by  
Comite Euro-International  
du Béton (CEB)**

**U Nève, N J Bright, F N Lelch, W Rottau,  
G E vanholm, VP Trambovetsky, J W Weber**

**The Construction on Press  
Lancaster London New York**

691  
A22

# **Автоклавный ячеистый бетон**

**Перевод с английского  
канд.техн.наук В. П. Трамбовецкого**

**Под редакцией  
канд.техн.наук В. В. Макаричева**

Станок

**Москва Стройиздат 1981**

ББК 38.33  
А 22 3  
УДК 691.327:666.973.6.035.56

Редакционный совет: *Г.Бове* (Швеция), председатель,  
*Н.Дж.Брайт* (Англия), *Ф.Н.Литч* (Англия), *В.Роттау* (ФРГ),  
*Г.Свэнхольм* (Швеция), *В.П.Трамбовецкий* (СССР),  
*Дж.В.Вебер* (ФРГ).

**Автоклавный ячеистый бетон:** Пер. с англ./  
А 22 Ред.совет: *Г.Бове* (пред.) и др. — М.: Стройиздат,  
1981. — 88 с., ил. 119.

На основе советского и зарубежного опыта, обобщенного Евро-Международным комитетом по бетону, рассмотрены состав, технология и свойства автоклавного ячеистого бетона, отражены вопросы проектирования конструктивных изделий из этого материала, приведены их различные эксплуатационные характеристики. Дано технико-экономическое сравнение методов монтажа панелей из автоклавного ячеистого и обычного бетонов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников промышленности строительных материалов и строительной индустрии.

368677



ББК 38.33  
6С3

А 30209 — 336 — 97 81  
047 (01) — 81

© Comite Euro-International du  
Beton CEB, 1978

© Перевод на русский язык,  
Стройиздат, 1981

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное руководство по ячеистому бетону — второе<sup>1</sup> из серии технических справочников, выпускаемых Евро-Международным комитетом по бетону (ЕКБ) в сотрудничестве с Международной федерацией по преднапряженному бетону (ФИП). Оно — результат усилий Рабочей группы по автоклавному ячеистому бетону, образованной XII Комиссией ЕКБ "Конструкции из легкого бетона". Создание такой группы считалось необходимым ввиду существенных различий между ячеистым бетоном — поризованным раствором из тонкомолотых минеральных материалов и цемента — и бетонами на легких заполнителях как относительно их физических свойств, так и применения на практике.

Члены редакционного совета, подготовившие это руководство: Г.Бове (Швеция), председатель, Н.Дж.Брайт (Англия), Ф.Н.Литч (Англия), В.Ротгау (ФРГ), Г.Свэнхольм (Швеция), В.П.Трамбовецкий (СССР), Дж.В.Вебер (ФРГ). Общую редакцию всех разделов руководства осуществлял главным образом Г.Бове.

Рабочая группа воспользовалась также знаниями и опытом следующих научных работников, инженеров и представителей промышленности ячеистого бетона, которые внесли важный вклад в настоящее издание в письменном виде или активным участием в редакционных заседаниях группы: Б.Андерссон (Швеция), В.Кукульский (Польша), Б.Левицкий (Польша), В.Макаричев (СССР), Я.Пилас (Польша), Е.Пуринш (Швеция), Г.Зембицка (Польша), К.Веше (ФРГ).

Н.Дж.Брайт является ответственным за терминологию на английском языке.

Автоклавный ячеистый бетон пока не включен в Нормы ЕКБ—ФИП по бетону, изданные в 1978 г. Настоящее руководство, таким образом, является лишь источником информации по технологии этого материала и по методам строительства из него. Непосредственно не отнесенное к Нормам, оно содержит важные дополнительные сведения для инженеров, производственников, научных работников и занимает достойное место среди других справочников подобных серий.

Лондон,  
декабрь 1977

*Эндрью Шорт,*  
Президент Евро-Международного комитета  
по бетону (ЕКБ)

---

<sup>1</sup> Первым издано в 1977 г. Руководство по бетонам на легких пористых заполнителях. (Прим. науч. ред.).

## ВВЕДЕНИЕ

### 1. ПРОИЗВОДСТВО И СВОЙСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Ячеистый бетон — легкий пористый материал, состоящий из цемента, извести и песка или другого кремнеземистого материала. Он поризуется путем введения воздуха или газа в шлам, который обычно не содержит крупнозернистого материала.

Ячеистый бетон, используемый как конструктивный материал (рис. 1), обычно обрабатывается паром под давлением 8—12 кгс/см<sup>2</sup> в условиях производства. Потребителю поставляется только в виде готовых (сборных) элементов: для перекрытий, стен и покрытий (рис. 2).

Блоки, выкладываемые на растворе или клею, изготавливаются без арматуры. Более крупные элементы армируются стальными стержнями для сопротивления усилиям, возникающим при транспортировании, монтаже и воздействии внешней нагрузки.

Автоклавный ячеистый бетон, о котором идет речь, впервые разработан в Швеции в 1929 г., теперь его производят многие страны мира (рис. 3). Здесь приведена общая информация о его свойствах и даны советы по применению. Техническая информация относительно размеров, формы и свойств каждого изделия приводится в каталогах изготовителей.

#### 1.1. Сырье и производство

Сырьем для производства ячеистого бетона служат цемент, известь, шлак, зола, песок и другие кремнеземистые заполнители, которые при необходимости употребляются в тонкомолом виде. Воздух или газ (обычно водород) вводят в исходную смесь таким образом, чтобы при твердении она приобрела однородную пористую структуру.

Ячейки в бетонной смеси образуются или при выделении газа<sup>1</sup> во время химической реакции внутри смеси, находящейся

-----  
<sup>1</sup> Наиболее распространенными газообразователями являются алюминиевая пудра или паста. (Прим. науч. ред.).



Рис. 1. Ячеистый бетон — легкий конструктивный строительный материал для стен, покрытий и перекрытий



Рис. 2. Блоки и сборные элементы различных размеров из ячеистого бетона

в жидком или пластичном состоянии, или путем добавления к ней при перемешивании в бетономешалке заранее приготовленной стабильной пены, или введения воздуха механическим способом. При этом необходимы определенные вещества для образования газа и получения пены и добавки для регулирования сроков схватывания.



Рис. 3. Завод в Финляндии для производства автоклавного ячеистого бетона

Смесь заливают в стальные формы; после вспучивания и схватывания ее разрезают на изделия требуемых размеров (плиты или блоки).

Обработка паром высокого давления неизбежна, если ячеистый бетон должен быть изготовлен с оптимальным уровнем прочности и усадки.

Арматура должна быть защищена от коррозии до заливки смеси в формы. После запаривания изделия можно фрезеровать и на их поверхность наносить отделку промышленным способом.

Для заливки, резки и запаривания материала требуется специальное механическое оборудование, включая формы, резательные машины, автоклавы и т.п. В цехах следует поддерживать постоянные температурные и влажностные условия, контролировать их.

Потребитель выбирает из каталога завода-изготовителя нужные ему стандартные изделия и учитывает их функциональные особенности в проекте.

## 1.2. Свойства ячеистого бетона

**Плотность.** Плотность материала (объемная масса) относится к высушенному до постоянной массы ячеистому бетону. При отпуске его с завода плотность практически выше из-за наличия влаги и арматуры. Методы ее определения в сухом состоянии описаны в трудах РИЛЕМа [1] и некоторых национальных стандартах.

Обычно автоклавный ячеистый бетон имеет плотность 300–1000 кг/м<sup>3</sup>. Хотя в некоторых странах для несущих элементов приняты нижние пределы плотности, обычно для несущих изделий и армированных изгибаемых конструкций изготавливают изделия плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> и более.

При отпуске материала с завода влагосодержание его может быть до 20–35% по массе. Эта влага испаряется постепенно, и равновесная влажность в наружных конструкциях (составляющая 4–6% по массе) обычно достигается после 1–2 лет эксплуатации (рис.4). Плотность спрессованного материала в сухом состоянии (так называемого твердого тела) — 2500 кг/м<sup>3</sup>.

**Структура** ячеистого бетона характеризуется порами, образованными водородом, воздухом и водой в процессе заливки и вспучивания. В соответствии с размерами и физическими характеристиками они разделяются на микро- и макропоры (рис.5, 6). Микропоры считаются капиллярно-активными в противоположность макропорам, которые занимают весь остальной объем пор.



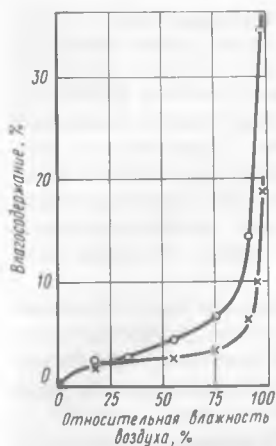


Рис.4. Изотермы влагопоглощения и высыхания ячеистого бетона плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  при  $+20^\circ\text{C}$  [2]

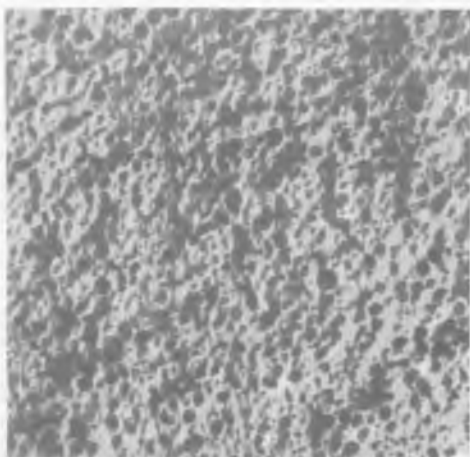


Рис.5. Микропористая структура ячеистого бетона

Структура пор определяет такие физические свойства материала, как прочность, теплопроводность, капиллярность, морозостойкость и др. Распределение микропор по размерам оказывает влияние на свойства бетона, в частности замерзание и миграцию влаги [3]. Форма макропор почти сферическая. Однако если большинство пор имеет овальную форму в каком-либо одном определенном направлении, то можно предполагать, что физические характеристики бетона несколько различаются в направлении большой и малой оси эллипсов.

**Проницаемость.** В данной работе под проницаемостью понимается способность бетона пропускать газы, особенно

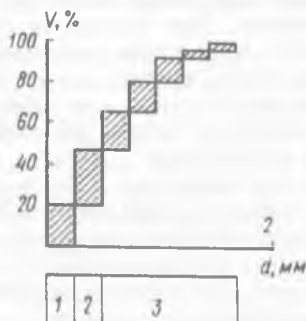


Рис.6. Пример распределения пор в ячеистом бетоне плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  [4]  
1 - основная смесь; 2 - микропоры; 3 - макропоры

воздух. Проницаемость изменяется в зависимости от влагосодержания в материале: с увеличением содержания влаги проницаемость пор уменьшается. Однако даже если материал вовсе не содержит влаги, то проницаемость при нормальных перепадах давления (например, под воздействием ветра) бывает настолько низкой, что не должна приниматься в расчет. С другой стороны, воздух может проникнуть через неправильно выполненные швы и другие соединения элементов здания. На проницаемость водяного пара (диффузию) также влияет влагосодержание, причем различные методы испытаний дают неодинаковые результаты [1].

Согласно Кричеру, показателем диффузии считают отношение диффузии водяного пара через слой воздуха к диффузии через слой материала такой же толщины. Показатель диффузии ячеистого бетона плотностью 500–600 кг/м<sup>3</sup> в воздушно-сухом состоянии составляет 5–7 ед.

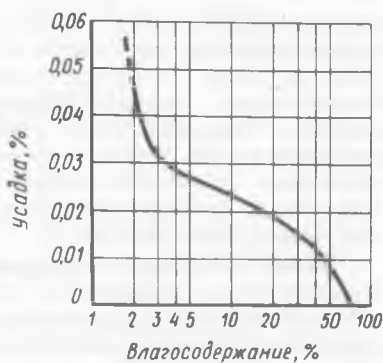
**Растворимость в воде.** Компоненты, придающие материалу прочность, не растворяются в воде. В то же время ячеистый бетон может содержать часть растворимых солей, которые в определенных климатических условиях (например, при медленном высыхании) могут выкристаллизовываться на поверхности (в виде высолов). Кристаллы, образовавшиеся таким образом, могут быть удалены щеткой. При нормальных условиях высыхания высолы не образуются.

**Капиллярность.** Микропоры обладают незначительным капиллярным всасыванием, происходящим почти исключительно через микропоры в стенках ячеек. Поэтому капиллярный подсос в ячеистом бетоне более медленный по сравнению с некоторыми другими материалами (например, с глиняным кирпичом). Капиллярность влияет на процесс удаления первоначальной влаги (см. разд. 2.8, 2.10).

**Миграция влаги.** Влага перемещается в материале из-за капиллярного подсоса и диффузии. При нормальном влагосодержании миграция обусловлена диффузией; с увеличением влагосодержания влага мигрирует в результате капиллярного подсоса. При влажности более 40% (по массе) перемещение влаги происходит почти целиком вследствие капиллярности. На миграцию влияют также структура пор, размер элементов, теплопроводность материала, температура, давление пара и движение воздуха, действию которого подвергаются поверхности конструкций.

Миграция влаги и последующее высушивание — весьма сложные по своей природе процессы. Путем принятия известных величин некоторых параметров были подготовлены номограммы для подсчета влажности [5], например, в покрытиях из ячеистого бетона. Проведены и опубликованы многочисленные испытания в натуральных условиях, результаты которых подтверждают нормы

Рис. 7. Усадка ячеистого бетона [7] при влагосодержании в % по массе



проектирования, применяемые на практике (см. разд. 2.8).

**Усадка и набухание.** Усадка при высыхании обычно определяется по методике РИЛЕМа в условиях перехода от водонасыщенного состояния к равновесному при 43%-ной относительной влажности воздуха и при +20°C. На рис. 7 представлен пример влияния изменения влажности на величину усадки. Результаты испытаний на усадку могут значительно изменяться в зависимости от размеров образцов и методик испытаний. На практике представляет интерес только усадка, возникающая при снижении отпускной влажности до достижения равновесной. Необходимо отметить, что усадка увеличивается в результате чрезмерного высушивания (ниже равновесной влажности) при 43%-ной относительной влажности воздуха [6]. На практике при определенных климатических условиях разбухание снижает усадку.

**Тепловое расширение и укорочение.** Коэффициент теплового расширения составляет около  $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , т.е. несколько меньше, чем плотного бетона и стали. Благодаря теплоизоляционным свойствам ячеистого бетона и наличию арматуры при температурном перепаде от одной стороны элемента к другой он будет изгибаться по направлению к более теплой стороне. Это явление должно учитываться при проектировании соединительных деталей.

**Морозостойкость.** Опасность повреждения в результате воздействия отрицательных температур может возникнуть в том случае, если фактическая влажность какой-либо части конструкции превышает критическую влажность материала. Испытания ячеистого бетона плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$ , изготовленного в Швеции, показали, что критическая влажность составляет около 40% по объему [3]. Обычно наиболее высокая влажность в материале отмечается в период строительства, до того как происходит высушивание. Однако на этой стадии она редко достигает 15–20% по объему. Следует отметить, что в некоторых точках, например ближе к поверхности элемента, в экстремаль-

ных условиях влагосодержание может оказаться выше; в этом случае опасность повреждения от воздействия холода возрастает. Тем не менее широкое применение ячеистого бетона при строительстве в суровых климатических условиях подтвердило высокую морозостойкость этого материала. Испытания на морозостойкость ячеистых бетонов, изготовленных на заводах различных стран, дали неодинаковые результаты [4], поэтому информация о морозостойкости при необходимости может быть получена от изготовителей.

**Воздействие сухого воздуха при высокой температуре.** Если ячеистый бетон подвергается воздействию сухого воздуха при высокой температуре в течение длительного времени, то может произойти чрезмерное высушивание, приводящее к образованию усадочных трещин. Поэтому конструкционный ячеистый бетон не следует применять в элементах, эксплуатирующихся в условиях воздействия сухого воздуха при температуре свыше  $50-70^{\circ}\text{C}$  без специальной защиты. В несущих элементах ячеистый бетон может быть подвергнут воздействию более высоких температур, вплоть до  $700^{\circ}\text{C}$ . Температура его плавления составляет  $1000-1200^{\circ}\text{C}$  в зависимости от исходного сырья.

**Удельная теплоемкость** — мера способности материала накапливать тепло. При нормальном влагосодержании (4–6% по массе) удельная теплоемкость составляет 1–1,1 кДж/(кг·К).

**Теплопроводность ячеистого бетона** зависит в основном от его плотности (рис.8). Другими факторами, которые влияют на теплопроводность, являются влажность (рис.9), температурный уровень, исходное сырье, структура пор и т.д. Методы испытаний и аппаратура также могут влиять на результаты испытаний. В Скандинавских странах принято соглашение о том, что способы измерения и испытательная аппаратура, используемые в Норвежском строительном институте, принимаются в качестве стандартных и что испытательное оборудование других институтов выверяется по приборам этого института.

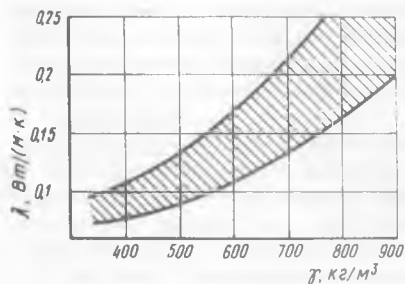


Рис. 8. Зависимость теплопроводности  $\lambda$  от плотности ячеистого бетона в сухом состоянии [8, 9]



Рис. 9. Зависимость теплопроводности  $\lambda$ , измеренной приборами Кришера (1, 2, 3) и Ланга (4) при температуре  $10^{\circ}\text{C}$ , от влагосодержания (по массе) ячеистого бетона плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  [10]

Изготовителям рекомендуется давать информацию о теплопроводности изготавливаемых ими бетонов, а также указывать методы испытаний.

**Огнестойкость.** Ячеистый бетон — невоспламеняющийся материал. Низкая теплопроводность и невысокая равновесная влажность делают его пригодным для защиты других конструкций от воздействия огня. Конструкционные элементы из ячеистого бетона также огнестойки (рис. 10). Значения огнестойкости различных конструкций приведены в разделе 2.9.

#### Прочность.

**Модуль деформации ( $E$ ).** Некоторые авторы дают формулу для модуля деформации ячеистого бетона как функции его плотности и прочности на сжатие. В некоторых случаях плотность непосредственно не фигурирует, но учитывается косвенно. Величина  $E$  зависит от фактического влагосодержания в материале почти так же, как и прочность на сжатие. Это обстоятельство может быть учтено при использовании в формуле значения прочности на сжатие во влажном состоянии, обычно принимается плотность высушенного материала.

Хорошее совпадение результатов испытаний [11] ячеистого бетона различных производств (например, "Сипорекс" и "Итонг") при плотности  $400\text{--}700 \text{ кг/м}^3$  и влагосодержании 3–10% по объему [12] дает следующая формула:

$$E_0 = K \rho_{\text{сух}} \sqrt{f_c},$$

где  $E_0$  — тангенциальный модуль;

$\rho_{\text{сух}}$  — плотность бетона в сухом состоянии,  $\text{кг/м}^3$ ;

$f_c$  — фактическая прочность на сжатие, МПа;

$K = 1,5\text{--}2$ .



Рис.10. Ячеистобетонная кровля после сильного пожара (часть плит кровли извлечена для контрольных испытаний). Асфальтовое покрытие кровли над плитами толщиной 125 мм не было повреждено при температуре 1200°С (воспроизведено с разрешения городского инженера г. Ливерпуля)

Хотя величины, полученные по этой формуле, могут отличаться от результатов испытаний ячеистых бетонов других производств, их можно все же использовать для вычисления упругих деформаций неармированного материала.

Предельная деформация сжатия бетона плотностью 400–700 кг/м<sup>3</sup> составляет 2–3%. Соотношение "напряжение–деформация" остается линейным вплоть до 1,6–1,9 ‰ [12].

*Прочность на сжатие.* На рис.11 представлены величины прочности на сжатие, которые можно ожидать по результатам испытаний ячеистого бетона различных производств с плотностью в сухом состоянии 300–800 кг/м<sup>3</sup>. На рис.12 показано оборудование для испытания ячеистого бетона на сжатие. Прочность на сжатие зависит от условий испытаний, например от размера испытываемого образца, его влагосодержания (рис.13), от качества обработки поверхностей, точности геометрических форм и т.д. Поэтому для получения сравнимых результатов представляется весьма важным, чтобы методы испытаний были стандартизованы. Международные рекомендации по методам испытаний даны в сборнике РИЛЕМ-24 [1].

Влияние динамических нагрузок на прочность при сжатии ячеистого бетона примерно такое же, как и для бетона на легких заполнителях и плотного (рис.14).

Рис.11. Зависимость прочности на сжатие от плотности ячеистого бетона

**Прочность на растяжение.** Определение этого свойства — более восприимчиво к условиям испытаний, чем измерение прочности на сжатие. Градиент влажности внутри образца сильно влияет на результаты испытаний. Обычно прочность на растяжение составляет  $1/4-1/6$  прочности на сжатие.

**Прочность на растяжение при изгибе.** Это свойство также зависит от градиента влажности в образце. Обычно прочность на растяжение при изгибе несколько выше, чем прочность при чистом растяжении.

**Прочность на срез.** Разрушение при срезе всегда является разрушением от растяжения и поэтому зависит от распределения напряжений при испытаниях. При чистом срезе путем пробивания цилиндрическим пуансоном отверстия того же диаметра предельная прочность на срез может составлять  $25-30\%$  прочности на сжатие. (В случае отсутствия какой-либо другой информации величина прочности при чистом срезе может быть принята как при осевом растяжении.)

**Обрабатываемость.** Ячеистый бетон легко сверлится, пробивается гвоздями, режется, строгается и т.д. (рис.15-18). При этом используются обычные инструменты для обработки древесины; имеются также и специальные пилы и инструменты для обтесывания. Несущие элементы, работающие на изгиб, например плиты покрытий и перекрытий, балки и др., не должны, однако, распиливаться поперек в условиях стройплощадки без разрешения на то изготовителя. Распиловка может осуществляться при соответствующем надзоре только таким образом, чтобы не была ослаблена или нарушена анкеровка рабочей арматуры.

**Стойкость ячеистого бетона.** Автоклавный ячеистый бетон — щелочной материал ( $pH = 9-10,5$ ). Из-за своей пористости и сравнительно низкой щелочности он не защищает стальную арматуру от коррозии, как, например, плотный бетон. Поэтому арматура должна быть защищена каким-либо из существующих способов обработки металлической поверхности. Для проверки эффективности защитных покрытий применяют различные

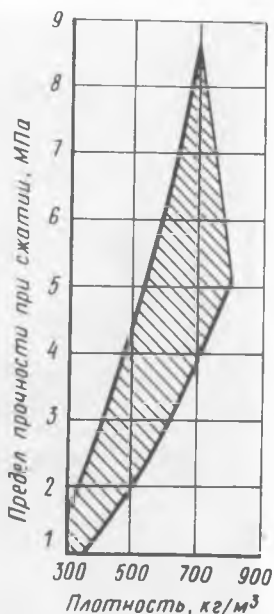




Рис. 12. Оборудование для испытания ячеистого бетона на сжатие

методы, которые предусмотрены национальными нормами. Имеются также рекомендации РИЛЕМа [1]. Коррозия арматуры обычно весьма незначительна при относительной влажности окружающей среды менее 50% (при равновесной влажности бетона).

В ячеистом бетоне могут также корродировать гвозди, стальные крепежные детали и др. вследствие начальной влажности бетона или увеличения ее при конденсации водяных паров или в результате проникания дождя. В тех частях зданий,

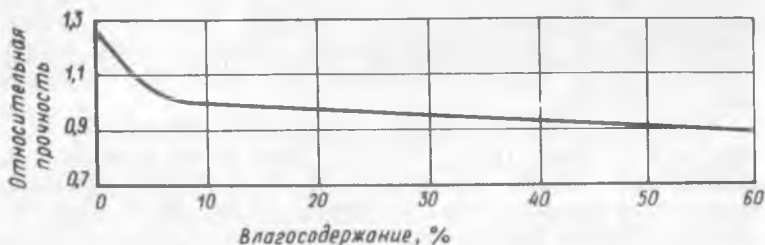


Рис. 13. Зависимость прочности на сжатие ячеистого бетона от влагосодержания по массе ("Сипорекс", "Итонг")



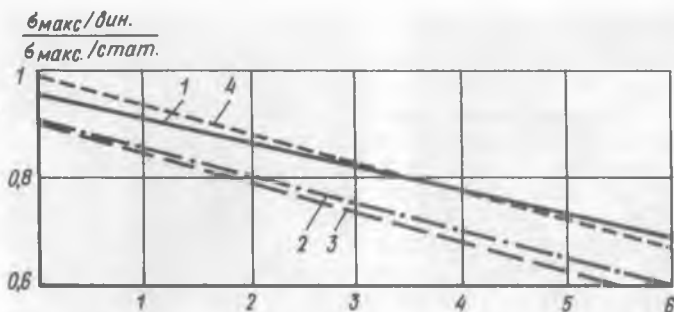


Рис. 14. Зависимость относительной динамической прочности  $\frac{\sigma_{\text{макс.}}/\text{дин.}}{\sigma_{\text{макс.}}/\text{стат.}}$  от числа циклов сжатия ( $N$ ), при котором происходит разрушение образцов [13, 14]  
 1 — обычный бетон марки 450; 2 — ячеистый бетон,  $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$ ; 3, 4 — легкий бетон, содержащий соответственно 20 и 40% керамзита; 5 —  $\frac{\sigma_{\text{макс.}}/\text{дин.}}{\sigma_{\text{макс.}}/\text{стат.}}$ .

где может оказаться высокое влагосодержание (например, наружные стены), используются алюминиевые гвозди или анкеры из нержавеющей стали. Гальванизированные гвозди и анкеры могут применяться там, где ожидается низкая равновесная влажность (например, покрытия). Обычные гвозди можно употреблять для изделий, эксплуатирующихся внутри зданий.

Кислоты вредны для ячеистого бетона так же, как и для плотного. Жидкости или газы легче проникают в ячеистый бетон и, следовательно, действуют гораздо быстрее. Поэтому поверхность материала следует защищать от кислотосодержащих жидкостей или паров (см. раздел 2.10).

Когда свежизготовленный автоклавный ячеистый бетон находится в контакте с воздухом, имеющим нормальное содержание двуокиси углерода (0,03%), то происходит реакция между двуокисью углерода и гидросиликатом кальция. Обычно она протекает медленно и свойства автоклавного ячеистого бетона не изменяются. Однако при концентрации двуокиси углерода свыше 0,2% быстро происходит карбонизация гидросиликата кальция, являющегося компонентом свежего влажного бетона, в результате чего образуются усадочные трещины. В тех случаях, когда при эксплуатации материала ожидается содержание двуокиси углерода свыше 0,2%, следует запросить рекомендации изготовителя. Известно, например, что бездымоходные газовые или керосиновые отопительные установки, используемые для приготовления пищи или для обогрева, могут давать концентрацию двуокиси углерода, в 10 раз превышающую ее



Рис. 15. Распиливание блоков из ячеистого бетона



Рис. 16. Укладка ячеистобетонных блоков

обычное содержание в воздухе. Воздействие двуокиси углерода на прочность некоторых видов ячеистого бетона изучалось в ряде работ [15].

**Ползучесть.** Уровень напряжения, влагосодержание, температура и относительная влажность окружающей среды влияют на



Рис. 17. Вырубка пазов в ячеистобетонных блоках специальным молотком



Рис. 18. Простота вырубки борозд позволяет выполнить скрытую электропроводку в любом месте стены

этот показатель. Увеличение температуры и относительной влажности воздуха вызывает увеличение ползучести. Ползучесть, которая является следствием изменения этих параметров, называется сорбционной ползучестью.

Нильсон указывает, что мера ползучести, равная отношению деформаций ползучести к кратковременной деформации, для ячеистого бетона плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  составляет 0,8–1,2. Далее он отмечает, что ползучесть ячеистого бетона пропорциональна уровню напряжения вплоть до напряжения, равного приблизительно 50% его прочности на сжатие [16, 17].

**Звукопоглощение.** Пористая структура поверхности изделий из ячеистого бетона обеспечивает улучшенное звукопоглощение в сравнении с гладким плотным бетоном. Это обеспечивает, например, некоторое снижение уровня шума в заводских помещениях, особенно при высоких частотах. При окраске поверхности бетона, в частности нижней поверхности кровельных плит, этот эффект ослабевает. Коэффициент звукопоглощения необработанного ячеистого бетона при частоте 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц составляет соответственно 0; 0,15; 0,25; 0,2; 0,2; 0,2 (результаты испытаний Акустической научно-исследовательской организации, Англия).

## Литература

1. RILEM, Aerated concrete test methods, tentative Recommendations, Materials and Structures, November 1974.
2. Ahlgren, L, "Moisture fixation in porous building materials", Report 36, LTH 1972.
3. Larsson, L E and Purins, E, "Undersökning av lättbetongens frostbeständighet och poruppbyggnad" ("Investigation of the frost resistance and pore structure of aerated concrete"), CTH 1974, (in Swedish).
4. Jaymowicz, H, Widera, J and Ziembicka, H, "Remarks on physical properties of steam-cured aerated concrete", Symposium on lightweight concrete, Crakow, May 1973.
5. Sandberg, P I, "Moisture balance in building elements exposed to natural climatic conditions", Lund Institute of Technology, 1973.
6. Purins, E, "Jämviktsfukten vid olika relativa luftfuktigheter och av fuktändring i materialer orsakade deformationer hos olika byggnadsmaterial" ("Equilibrium moisture content at different relative humidities and volume changes caused by the change of moisture content in building materials"), Rapport 28, CHT, Göteborg, 1969, (in Swedish).
7. Lättbetong AB, Lättbetonghandboken 1974, Swedish Aerated Concrete Manual 1974, (in Swedish).

8. Paljak, I, "Värmekonduktivitet för fuktiga byggmaterial mätt med stationär metod" ("Thermal conductivity of moist building materials measured with a stationary method"), Byggmästaren, No 6, 1973, (in Swedish).

9. Short, A and Kinniburgh, W, "Lightweight Concrete", 2nd edition, 1968.

10. Paljak, I, "Jämförande mätningar av värmeledningstal hos fuktig lättbetong" ("Comparative measurements of the thermal conductivity of moist aerated concrete"), VVS, No 9, 1967, (in Swedish).

11. Hiilerborg, A, "Elasticitetsmodul hos lättbetong", förslag till Statens Betongkommitte ("Modulus of elasticity of aerated concrete"), proposal to the Swedish Concrete Committee Aerated Concrete Group, Lättbetongutskottet, 30.5.1962, (in Swedish).

12. Purins, E, "The compressive and tensile strength of cellular concrete in relation to its moisture content", R 52 1972 Byggnadsforskningen, (in Swedish, English summary).

13. Kutti, T and Öqvist, B, "Utmattningshållfasthet för lättbellastbetong" ("Fatigue strength of lightweight aggregate concrete"), CTH Byggnadsteknik 75:4, Göteborg, 1975, (in Swedish).

14. Purins, E and Herrmann, G, "Fatigue strength of aerated concrete", (unpublished).

15. Schäffler, H, "Druckfestigkeit von dampfgehärtetem Gasbeton nach verschiedener Lagerung", RILEM, 1960.

16. Nielsen, A, "Creep of autoclaved aerated concrete", Lund Institute of Technology, Bulletin 4, 1968, (in Swedish).

17. Nielsen, A, "The rheology of building materials", D2, 1972.

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### 2.1. Планировочный модуль

Планировочный модуль в проектировании имеет важное значение для обеспечения экономичного применения сборных элементов. Он применим также к автоклавному ячеистому бетону, который имеет вид сборных стандартизованных элементов. Применение планировочного модуля при проектировании зданий требует несколько иного подхода, чем традиционный. Стандартные размеры, допуски и методы стыковки изделий должны быть заранее известны проектировщику и учтены им на ранней стадии проектирования. Сборные изделия должны полностью отвечать предъявляемым к ним требованиям и удовлетворять общей модульной системе. Международные модульные элементы, согласованные с Международной организацией по стандартизации, постепенно принимаются все большим числом изготовителей строительных материалов, включая и изготовителей ячеистого бетона<sup>1</sup>.

### 2.2. Проектирование арматуры

В общем случае элементы<sup>2</sup> заранее проектируются с учетом различных способов нагружения, указанных в каталоге изготовителя. Следовательно, только в исключительных случаях проектировщику здания необходимо рассчитать арматуру в ячеистобетонном элементе. При этом используются методы расчета, основанные на теории упругости или предельных состояний, которые предусмотрены в соответствующих нацио-

---

<sup>1</sup> В последние годы подавляющее большинство зарубежных фирм и заводов ориентируется на горизонтальный планировочный укрупненный модуль для стен, равный 600 мм, и для плит перекрытий и покрытий — 100 мм. (Прим. науч. ред.)

<sup>2</sup> Здесь и далее под термином "элементы" подразумеваются основные применяемые за рубежом армированные изделия из ячеистых бетонов в виде плит (для стен, перегородок, перекрытий и покрытий) шириной 600, толщиной 70–200 мм, длиной до 6 м. (Прим. науч. ред.)

нальных нормах. Однако следует отметить, что специальные требования, касающиеся размера или форм арматурных элементов, не всегда выполнимы; в других случаях получается высокая стоимость из-за отсутствия стандартного оборудования для автоматизированного производства [1].

Арматура для элементов покрытий и перекрытий состоит из верхней и нижней сеток, которые не всегда связываются одна с другой. Сетки имеют продольные стержни постоянного сечения вдоль полной длины элемента и некоторое число поперечных стержней, обеспечивающих анкеровку. Армированные элементы не должны разрезаться (укорачиваться) на строительной площадке, если только их не изготовили с учетом возможной разрезки, а также без согласования с изготовителем.

Стеновые элементы армируются для восприятия монтажных и ветровых нагрузок или нагрузок, действующих в двух направлениях. Армирование вертикальных стеновых элементов обычно не учитывается при расчете на действие вертикальных нагрузок.

Проектировщики должны иметь полную информацию о соответствующих нагрузках и деформациях, учтенных при расчете. Эта информация должна предоставляться изготовителями по результатам испытаний несущей способности плит.

**Самонапряжение.** Из-за различия величин температурных линейных деформаций ячеистого бетона и арматуры, возникающих в процессе автоклавной обработки, арматура при выгрузке изделий из автоклава имеет некоторое растягивающее напряжение. Это обстоятельство улучшает поведение элемента при воздействии полезной нагрузки, и трещины в этом случае обычно не образуются.

**Контрольные испытания.** Целесообразно контролировать принципы проектирования путем испытаний конструкций в натуральную величину. Некоторые виды контрольных испытаний описываются в приложениях ЕКБ по ячеистому бетону и в отдельных национальных нормах. В других странах изготовитель подвергает свою продукцию постоянному контролю под надзором сторонней организации.

**Сопротивление срезу.** Срезающее напряжение может быть рассчитано в соответствии с рекомендациями ЕКБ R 43.141. При отсутствии специальной арматуры, работающей на срез, расчетная величина касательного напряжения не должна превышать 3% кубиковой прочности бетона на сжатие.

### 2.3. Составные конструкции

Ячеистобетонные элементы при соответствующих мерах предосторожности могут использоваться как составные части

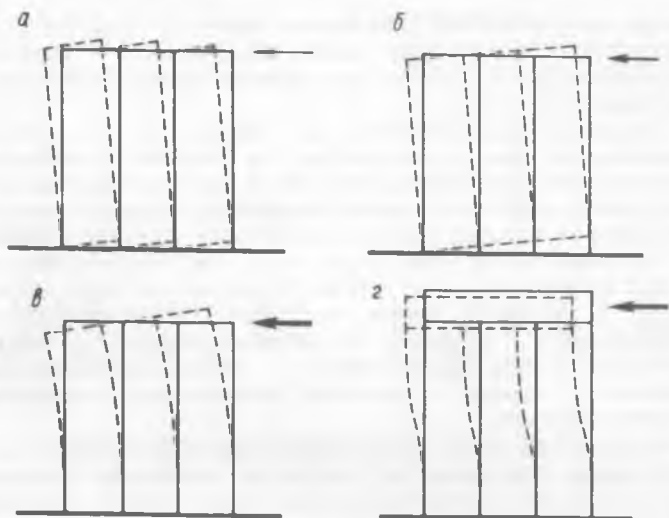


Рис.19. Стена со швами: сухими (а), работающими на сдвиг и соединением по верху (б), работающими на сдвиг и соединением по верху, прикрепленная к основанию (в), жестко закрепленная по верху и у основания (2)

более крупных конструкций (например, мембран покрытий и перекрытий), которые обеспечивают несущую способность при воздействии различных внешних нагрузок. Требования обуславливаются типом конструкций (перекрытия, стены или покрытия) или значением усилий, которые они должны воспринять (от полезной, ветровой или сейсмической нагрузки). Способы соединения и крепления должны выбираться в зависимости от требуемой степени жесткости.

Наиболее простой способ состоит в размещении элементов рядом один с другим без раствора (рис.19а). Такой шов может передавать только сжимающие и сдвигающие усилия. Этот способ успешно применяется, например, в Скандинавских странах, где отсутствуют сейсмические нагрузки, ветровая нагрузка обычно умеренная, а толщина элементов значительна из-за выполнения других требований (обеспечение теплоизоляции и др.). Если швы заделывают раствором, т.е. когда элементы могут воспринимать некоторые срезающие усилия, и если верхняя часть стены соединяется кольцевым анкером<sup>1</sup>, то

<sup>1</sup> Под кольцевыми анкерами понимается арматура, расположенная по периметру стен (рис.30), в пазах или швах (рис.24), заполненных прочным раствором. (Прим. науч. ред.)

достигается дальнейшее повышение жесткости (рис.19б). Элементы также могут быть жестко прикреплены к основанию посредством расположения арматурных стержней в вертикальных швах (рис.19в).

Способы, представленные на рис.19б и 19в, широко применяются при строительстве из элементов небольшой толщины, когда предъявляются более высокие требования к поперечной устойчивости из-за сейсмических и других нагрузок (например, в Средней Европе, Центральной Америке, Африке).

Кольцевой анкер может быть развит (увеличен в размерах) и усилен арматурой, с тем чтобы образовать верхнюю жесткую балку, в которую можно закрепить стеновые элементы, например, путем установки арматурных стержней в швах от основания до верха балки (рис.19г). Этот способ может быть применен в странах с высокой сейсмической активностью, например в Японии [2].

Элементы покрытий и перекрытий, так же как и стены, могут аналогичным способом образовывать мембраны различной несущей способности. Если несущая конструкция жесткая сама по себе и может воспринимать поперечные нагрузки (действующие в плоскости конструкции), то ячеистобетонные элементы следует лишь закрепить, чтобы избежать отрыва и скольжения. В случае их активного участия в передаче поперечных нагрузок на несущие конструкции (например, при сейсмических нагрузках) эти элементы должны быть включены в составной более крупный элемент. Бетонные выравнивающие брусья (торцовые балки), если они правильно применены и обеспечивают хорошее сцепление с ячеистобетонными элементами, значительно увеличивают эффект мембраны (рис.20).

Участки покрытий или перекрытий можно рассматривать как составные балки с элементами, расположенными параллельно или перпендикулярно продольной оси воображаемой балки. Растянутая арматура таких балок может быть заложена в швы между элементами (рис.21). Функцию растянутой арматуры может выполнять торцовая балка, с которой связываются концы ячеистобетонных элементов (см. рис.20).

Способность этих составных конструкций передавать срезающие усилия регулируется (ограничивается) сопротивлением швов, на которое влияет направление главных напряжений по отношению к направлению шва. Оно может быть улучшено путем создания шпонок или рифлением поверхности шва.

Для определения величины и направления действия главных напряжений могут быть использованы некоторые стандартные программы вычислительных машин, основанные на методе конечных элементов. Такой метод проектирования разработан для мембран длиной (пролетом) 30 и шириной (глубиной) 15 м [3].



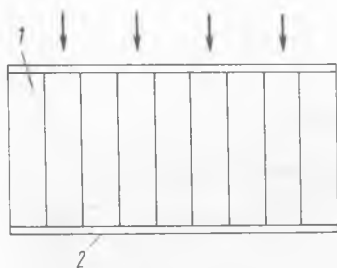


Рис. 20. Мембрана из плит покрытия или перекрытия (1), соединенная с торцовыми сжатыми и растянутыми балками (2)

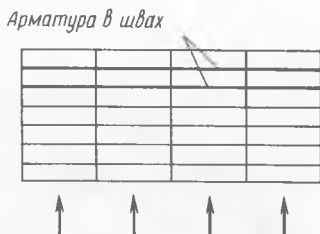


Рис. 21. Растянутая арматура в швах для усиления эффекта мембраны из плит покрытия или перекрытия

Другими способами получения мембран в покрытиях являются отказ от учета работы всех заполненных раствором швов между плитами и передача усилий через отдельные шпонки из раствора, расположенные в продольных швах на определенных расстояниях. При этом необходимо рассматривать напряжения в мембране, анкерных связях и опорах.

В тех случаях, когда ячеистобетонные элементы соединяются с помощью шпунта (т.е. продольных шипов и пазов) без раствора в швах, возникает небольшой эффект мембраны. Эта способность восприятия и передачи усилий используется при передаче ветровых нагрузок (вследствие прямого действия или отсоса) от торцовых стен промышленных зданий на расположенные вблизи колонны каркаса продольных стен.

Допускается усилие 8 кН на каждый конец балки, если соблюдаются определенные конструктивные требования (Сертификат Т 2396/70 Шведского национального бюро планирования и строительства).

## 2.4. Конструктивные детали

**Перекрытия.** Плиты перекрытий могут соединяться цементным раствором, с помощью шпунтов или комбинацией того и другого способа. Некоторые изготовители располагают арматуру таким образом, чтобы мелкие отверстия (диаметром до 160 мм) выполнялись в плитах без разрезки арматуры. Более крупные отверстия можно получить посредством применения укороченных плит с обрамлением, поддерживаемым примыкающими плитами (рис. 22), или посредством устройства несущих стальных или бетонных элементов, опирающихся на несущие конструкции.

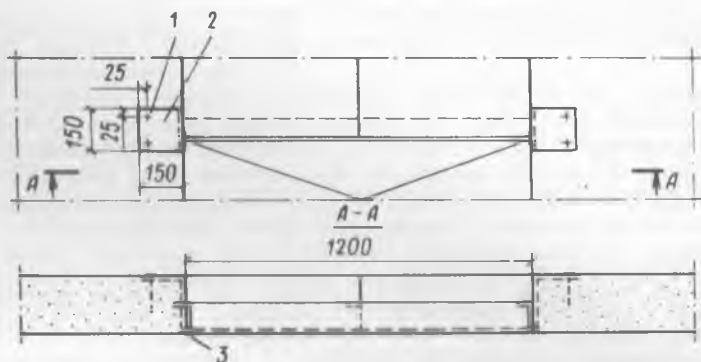


Рис. 22. Обрамление плит перекрытия для создания в них проема шириной в две плиты. При этом следует учитывать дополнительную нагрузку на примыкающие плиты (размеры в мм)

1 – гвозди; 2 – опорная стальная пластина толщиной 8 мм;  
3 – стальной уголок 120x80x10 мм

Если плиты перекрытия применяются для укладки над так называемым подполом, то необходимо обеспечить вентиляцию для высыхания перекрытия. Пространство подпола должно иметь удобный доступ; высота его 600 мм. Миграция влаги в такое пространство из почвы может быть снижена укладкой на землю гидроизоляционного ковра (например, листа пластика). В нижних частях подпола должны быть устроены отверстия в стенах для отвода избытка воды. Для естественной вентиляции отверстия в стенах должны иметь площадь не менее  $1000 \text{ мм}^2$  на  $1 \text{ м}^2$  площади пола для отдельно расположенных зданий. Принудительная вентиляция должна обеспечивать не менее чем  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха на  $1 \text{ м}^2$  площади пола. Эти рекомендации применяются в странах Северной Европы.

Стены. Стеновые элементы изготавливаются различных размеров, начиная от небольших неармированных блоков до элементов размером на комнату.

Ячеистобетонные блоки аналогичны другим бетонным блокам, но они крупнее, поскольку имеют такое преимущество, как низкая объемная масса ячеистого бетона. Изготовление блоков с геометрическими размерами большой точности позволяет использовать клей вместо раствора при монтаже изделий.

Из-за большого разнообразия размеров строительных блоков (каждый из которых имеет свои конструктивные преимущества) приводимая информация ограничивается несколькими общими замечаниями, которые вызываются природой самого материала.



Рис. 23. Пятиэтажные жилые дома с несущими стенами из ячеистобетонных блоков, обвязочными балками и колоннами из плотного бетона для восприятия сейсмических нагрузок (Мексика)

Все типы блоков могут применяться в несущих стенах (рис. 23) с одобрения соответствующих официальных национальных органов. Кладочный раствор должен иметь прочностные характеристики, аналогичные характеристикам ячеистого бетона. Рекомендуемые составы цементно-известково-песчаных смесей колеблются в пределах 1:2:12—1:1:6 (по объему) в зависимости от плотности бетона. Следует избегать смесей с большим расходом цемента, так как они увеличивают опасность возникновения трещин. Разработаны особые типы кладочных растворов для ячеистого бетона, которые допускают кладку стен из блоков со швами толщиной всего 2—3 мм. В таких случаях должны учитываться специальные инструкции изготовителя.

Концентрация местного давления, приложенного у края стены, может стать причиной разрушения. Особенно это опасно в местах опирания плит чердачных перекрытий, которые могут иметь большой угол поворота на опоре из-за малого значения отрицательного изгибающего момента (рис. 24, 25, 26).

Ячеистый бетон применяют в некоторых странах и в подвальных стенах ниже уровня земли. При этом должны быть приняты меры, обеспечивающие хорошее высушивание стены. Это может быть достигнуто двумя способами: или устройством влагонепроницаемой защиты с наружной стороны ниже уровня земли (в этом случае высушивание происходит в направлении внутрь), или применением некапиллярного воздухопроницаемо-

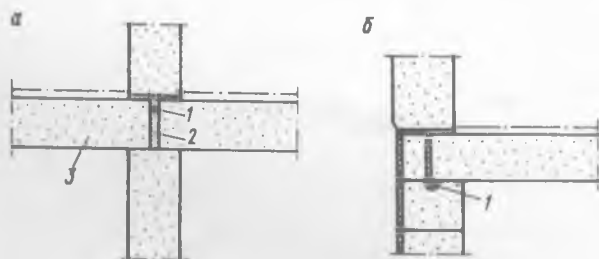


Рис. 24. Плиты перекрытия, опирающиеся на несущую внутреннюю (а) и несущую наружную (б) стены  
 1 — кольцевой анкер; 2 — раствор; 3 — ячеистобетонная плита перекрытия

го покрытия с наружной стороны ниже уровня земли (например, матов из минеральной ваты). В последнем случае высыхивание происходит через обе стороны подвальной стены.

Стены ниже уровня земли проектируются с учетом давления грунта. Подвальные стеновые панели могут быть как со шпунтом, так и без него. На рис. 27, 28 показаны детали крепления подвальной стены в верхней части и у основания. Опоры стен, подверженных давлению грунта (например, поперечных стен подвала), должны располагаться на расстоянии не более чем 4–6 м одна от другой. Если необходимо, стена подвала может быть усилена армированием, как это показано на рис. 29, 30. Поперечные стены внутри подвала могут отсутствовать, если вертикальные ячеистобетонные стеновые элементы рассчитаны на сопротивление давлению грунта.

Ячеистобетонные несущие стены очень часто используются в качестве внутренних перегородок и как заполнение наружных стен в многоэтажных зданиях (рис. 31). В этом случае должна быть гарантия, что на практике эти стены действительно останутся ненесущими. Это особенно важно для перегородок (рис. 32), так как нельзя ожидать, что они будут противостоять чрезмерной вертикальной нагрузке, не испытывая при этом разрушения. Чтобы локализовать обычные линейные деформа-

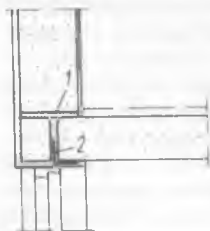
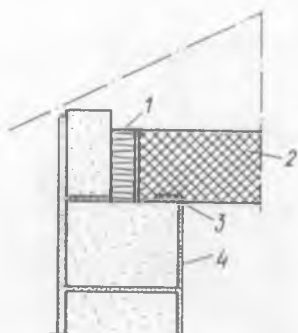


Рис. 25. Опираие плиты перекрытия вдоль отверстия в стене  
 1 — кольцевой анкер; 2 — стальной уголок в качестве опоры для плиты перекрытия вдоль отверстия

Рис.26. Верхнее железобетонное перекрытие, опирающееся на ячеистобетонную стену. Местное давление у края распределяется пористым волокнистым картоном, защищенным от влаги, когда плита из плотного бетона выполняется монолитной

1 – минеральная вата; 2 – плита из плотного бетона; 3 – пористый волокнистый картон; 4 – ячеистобетонная наружная сплошная стена



ции укорочения и расширения вследствие изменения температуры и влажности в помещениях, необходимо предусматривать в таких стенах вертикальные швы, освобождающие их от деформационных напряжений. Швы располагаются примерно через 6 м с учетом положения дверных и оконных проемов.

*Вертикальные ячеистобетонные стеновые плиты.* Вертикальные плиты изготовляют обычно высотой на этаж и применяют в несущих стенах жилых зданий высотой до трех этажей. В промышленных зданиях длина таких вертикальных плит достигает иногда 8 м.

Стены подвергаются воздействию поперечной нагрузки (например, напору ветра, давлению грунта) в дополнение к вертикальной эксплуатационной нагрузке. Плиты армируют для восприятия возникающих при транспортировании и монтаже напряжений, которые в большинстве случаев превышают напряжения от действия ветровой нагрузки. Обычно арматура не учитывается при расчете стен на вертикальные нагрузки.

Рекомендуется провести контрольные испытания, чтобы определить несущую способность, т.е. предельные нагрузки для гибких ячеистобетонных колонн (такowymi по существу являются вертикальные стеновые элементы). Если известны прочностные характеристики материала или сооружения в целом,

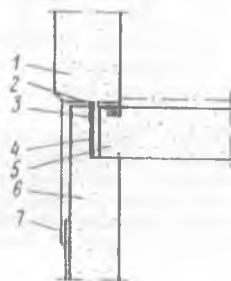


Рис.27. Деталь опирания ячеистобетонного перекрытия на подвальную стену

1 – вертикальная стеновая панель; 2 – растянутый элемент; 3 – слой для предотвращения сцепления; 4 – раствор; 5 – элемент перекрытия; 6 – стеновая панель подвала; 7 – штукатурка цоколя

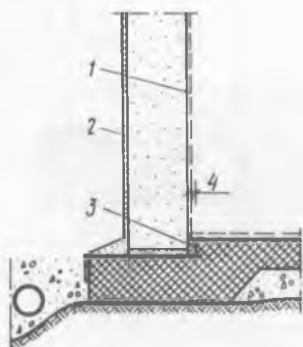


Рис. 28. Деталь соединения со сборной фундаментной плитой из плотного бетона

1 — отделочный слой, проницаемый для водяного пара; 2 — гидроизоляция; 3 — щель, заполненная раствором до выполнения наружной засыпки; 4 — раствор 20 мм

то величины допустимых напряжений в стенах и колоннах зависят от точности принятого метода расчета. В некоторых странах по этому поводу имеются соответствующие рекомендации в нормах [4, 5].

Горизонтальные швы под вертикальными элементами обычно выполняются на клеювом растворе, вертикальные швы — на цементном растворе состава 1:3. Могут быть также и сухие швы, в которых заполняющий материал входит в пазы с обеих сторон стеновых элементов. В случае применения стеновых элементов с заводской отделкой наружных поверхностей как в вертикальные, так и в горизонтальные швы вводятся пенопластиковые прокладки или специальная мастика, улучшающие водонепроницаемость швов.

В районах с сильными проливными дождями швы заполняются снаружи эластичным составом соответствующего качества (например, мягким полисульфидом) или стены целиком защищаются от дождя непроницаемым материалом, таким, как

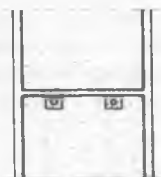


Рис. 29. Укладка арматуры в стенах, воспринимающих поперечные усилия (например, давление грунта), когда расстояние между опорами превышает 4 м

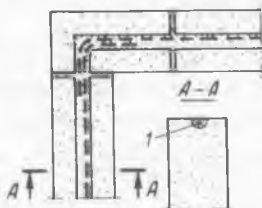


Рис. 30. Пример выполнения кольцевого анкера в несущей ячеистобетонной стене  
1 — арматурный стержень периодического профиля диаметром 10 мм в цементном растворе



Рис. 31. Крупноразмерные стеновые панели из ячеистого бетона размером 1,5x6 м, используемые в качестве навесных стен (Швеция)

асбестоцементные или металлические листы, деревянная тесовая обшивка.

Несколько примеров конструкционных деталей и узлов соединений, применяемых в Скандинавских странах, представлены на рис. 33—43. Следует заранее проконсультироваться с изготовителем плит при разработке каждого проекта.

*Горизонтальные стеновые плиты.* Ячеистобетонные плиты применяют в стенах и в горизонтальном положении. В этом случае они не несут никакой вертикальной нагрузки, кроме собственного веса. Торцы плит крепят к основным несущим конструкциям. Плиты должны быть рассчитаны на ветровые нагрузки. Если стена из горизонтальных плит опирается по всей длине на ленточный фундамент или на рандбалку, то она может быть возведена на большую высоту без промежуточных опор, воспринимающих вертикальную нагрузку. Таким способом были построены здания высотой 60 м.

Оконные проемы легко образуются удалением одной или нескольких горизонтальных плит. Плиты, примыкающие к окнам, проверяются на дополнительную ветровую нагрузку,

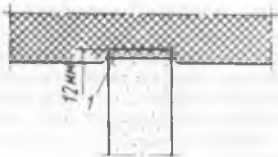


Рис. 32. Упругая прокладка, закрепленная по верху несущей перегородки для предотвращения передачи нагрузки от плиты сверху  
 $l$  — сжимаемая прокладка

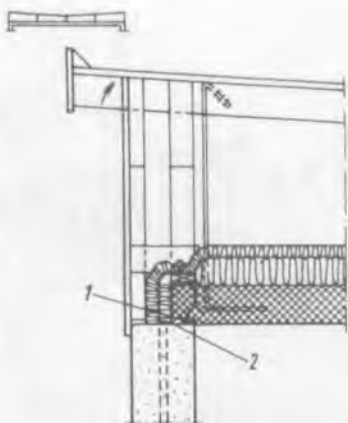


Рис. 33. Соединение между несущей ячеистобетонной стеной и верхним железобетонным перекрытием (деревянная крыша со скатом внутрь)  
1 – полоса пористого волокнистого картона; 2 – два слоя войлока

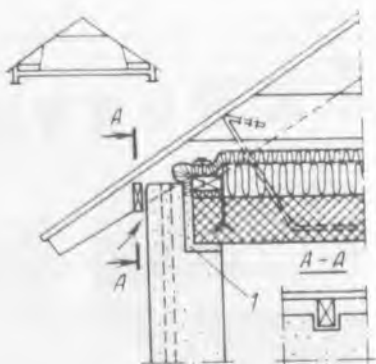


Рис. 34. Соединение между не несущей ячеистобетонной стеной и верхним бетонным перекрытием с заделкой цементным раствором состава 1:3 (1)

передаваемую от площади окон. В плитах, расположенных над окном, должны учитываться также и срезающие усилия в вертикальном направлении. Срезающее напряжение у опоры:

$$\tau_o = T/b_o 2 h_t \leq R'_{BK} / 30 \quad \text{для } L > 4 h_t;$$

$$\tau_o = T/b_o h_t \leq R'_{BK} / 30 \quad \text{для } L < 4 h_t;$$

где  $R'_{BK}$  – характеристическая прочность на сжатие ячеистого бетона;  
 $T$  – полное срезающее усилие;  
 $b_o$  – ширина (толщина) стенового элемента;  
 $h_t$  – полная высота одного стенового элемента;  
 $L$  – длина элемента (пролет).

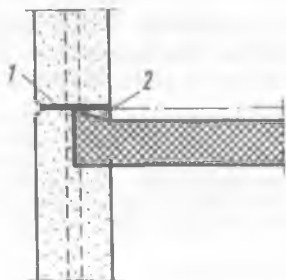


Рис. 35. Соединение между несущей ячеистобетонной стеной и перекрытием, выполненным из монолитного бетона; торцу перекрытия придана специальная форма с уклоном для предотвращения попадания дождя в период строительства  
1 – клеевой или растворный шов на выровненной поверхности; 2 – выравнивание раствором



Рис.36. Оконная деталь и соединение с бетонным перекрытием

1 – клеевой шов на выровненной поверхности; 2 – плотная стыковочная прокладка; 3 – заполнение цементным раствором 1:3; 4 – стальной анкер

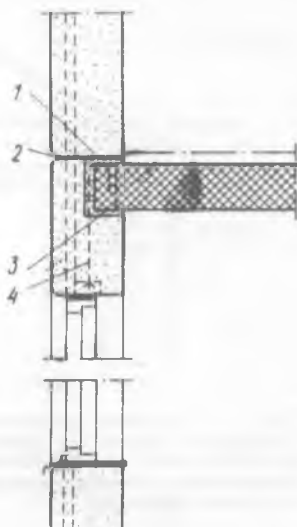
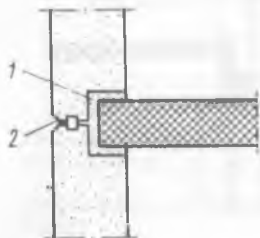


Рис.37. Соединение между несущей наружной ячеистобетонной стеной и несущей внутренней бетонной стеной

1 – заполнение цементным раствором; 2 – плотная стыковочная прокладка

Эти формулы должны применяться только для проверки местного срезающего напряжения у опор.

Средняя величина напряжения местного смятия на опорах не должна превышать  $R_{вк}^1/3$ .

Горизонтальные швы обычно уплотняются двумя полосами из пенопласта, расположенными одна у наружной кромки плиты, а другая у внутренней; обе полосы крепят к элементу (чаще гвоздями) перед тем, как начать монтаж. Этот метод соединения позволяет легко демонтировать стену. В горизонтальных швах может применяться также раствор или клей.

Плиты крепятся у торцов. Если крепление произведено, как показано на рис.44–46, то целесообразно заполнить пространство между торцами плит уплотняющим материалом, например

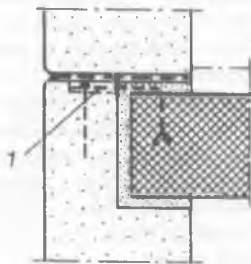


Рис.38. Деталь крепления несущей стены к монолитному перекрытию

1 – стержень из нержавеющей полосовой стали, заанкеренный в перекрытие

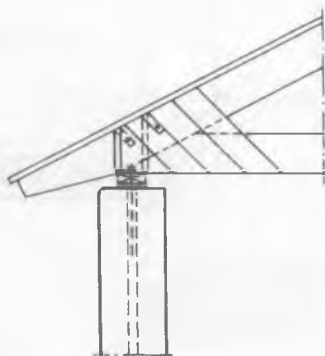


Рис.39. Крепление деревянной стропильной фермы к стене из ячеистобетонных плит болтами, заделанными в вертикальный шов между плитами

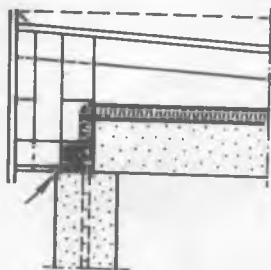


Рис.40. Соединение стены с верхним ячеистобетонным перекрытием для деревянной крыши со скатами внутрь. Крепление деревянной крыши может быть выполнено так, как показано на рис.39.

минеральной ватой. Уплотняющий материал располагается с тыльной стороны перекрывающей наружной накладки (нащельника), удерживающей плиту. При отсутствии перекрывающих накладок вертикальные швы часто заделывают эластичным составом. При этом необходимо отметить, что температурные смещения в швах могут быть значительными и требования к эластичному составу должны быть высокими.

Несколько видов узлов крепления ячеистобетонных стеновых плит, устанавливаемых горизонтально, представлены на рис.44–50. Примеры использования ячеистобетонных элементов и конструкций в строительстве показаны на рис.51–56.

#### Покрытия.

*Опирание.* Минимальная площадь опирания плит покрытий должна отвечать определенным требованиям во избежание местного разрушения бетона у опор или недостаточной анкеровки арматуры. Учитывают также допуски на размеры и расположение плит. В табл.1 приведены значения минимальной ширины опор, указанные в некоторых национальных нормах. Там, где обусловлена ширина опоры 32 мм, несущие балки должны быть загружены симметрично или иметь необходимый боковой упор, предотвращающий горизонтальное смещение. Ячеистобетонные элементы следует располагать с уклоном, создаваемым опорной конструкцией, чтобы избежать необходимости последующего выравнивания. Если имеется опасность

## Величины минимальной ширины опор плит

Вид опор	Минимальная ширина (мм) опор по нормам		
	ФРГ	Швеция	
		пролет менее 4 м	пролет 4–5 м
Кирпичная кладка или монолитный бетон	70	60	90
Сборные железобетонные балки	1/80 пролета или 50	60	90
Стальные балки	1/80 пролета или 32	40	60

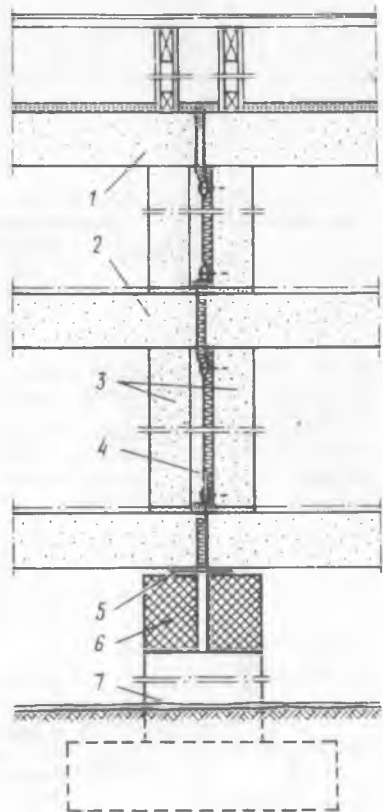


Рис. 41. Пример выполнения общей стены в жилых домах типа "террас-хаус" (примыкающий один к другому) с полным разделением для достижения хорошей звукоизоляции

1 — ячеистобетонная плита покрытия с возможной дополнительной изоляцией из минеральной ваты; 2 — ячеистобетонная плита перекрытия; 3 — ячеистобетонная вертикальная стеновая плита; 4 — воздушная прослойка с минеральной ватой; 5 — дырчатый пластиковый лист; 6 — бетонные фундаментные балки; 7 — пластик

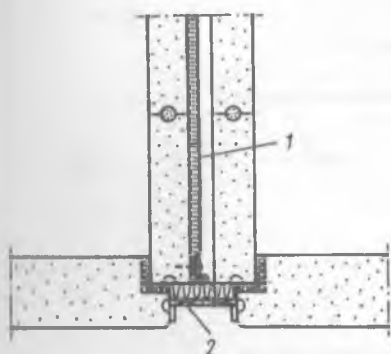


Рис.42. Соединение общей стены с наружной стеной из стандартных плит

1 – воздушная прослойка с минеральной ватой; 2 – лицевая сторона покрытого металлом дерева

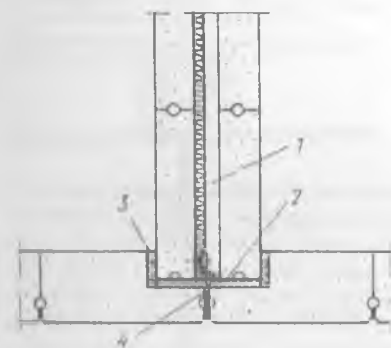


Рис.43. Соединение общей стены со специально шпунтованными наружными стеновыми плитами

1 – воздушная прослойка с минеральной ватой; 2 – плита из минеральной ваты; 3 – заделка раствором; 4 – эластичный состав

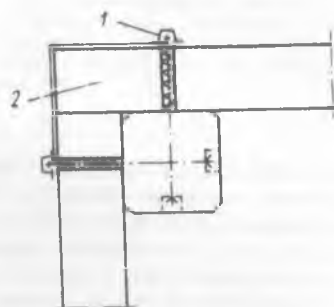


Рис.44. Угол стены из горизонтальных элементов

1 – нащельная рейка над вертикальным швом; 2 – заполнение угла ячеистобетонными блоками с последующей гидроизоляцией

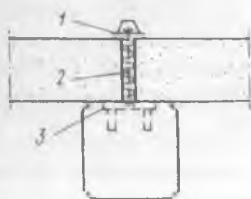


Рис.45. Соединение горизонтального стенового элемента с железобетонной колонной

1 – нащельная рейка над вертикальным швом; 2 – заполнение минеральной ватой; 3 – анкерный болт

Рис. 46. Соединение горизонтального стенового элемента со стальной колонной  
 1 — нащельная рейка над вертикальным швом; 2 — анкерный болт, приваренный к металлической колонне; 3 — заполнение минеральной ватой

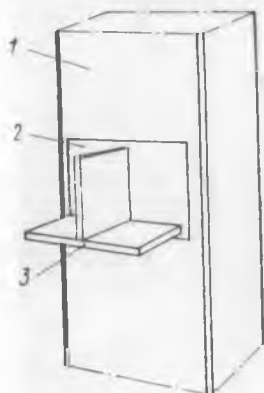


Рис. 47. Деталь консоли, поддерживающей горизонтальный стеновой элемент  
 1 — колонна; 2 — стальная плита; 3 — стальная консоль

Рис. 48. Оконное устройство в стене с горизонтально расположенными элементами

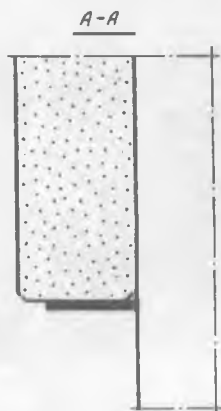
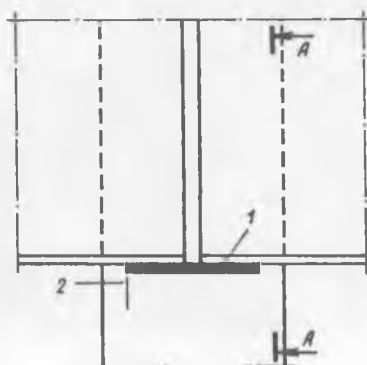


Рис. 49. Консоль, поддерживающая стеновые плиты над окном  
 1 — слой битумного картона; 2 — опора длиной 100 мм или более в соответствии с допустимым сжимающим напряжением

Рис. 50. Опора для дверного проема (вид с внутренней стороны)  
1 — дверной проем; 2 — металлическое обрамление; 3 — колонна

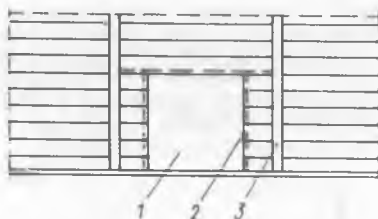


Рис. 51. Армированный ячеистобетонный вертикальный элемент, устанавливаемый в проектное положение при строительстве складских помещений (Великобритания)



Рис.52. Ячеистобетонные плиты покрытия в куполе выставочного зала (Япония)



Рис.53. Ячеистобетонные плиты, открытые внутрь и уложенные на несущие деревянные конструкции (Канада)



Рис.54. Применение ячеистого бетона в строительстве школьного здания (Великобритания)



Рис.55. Самонесущая двускатная крыша из армированных ячеистобетонных плит





Рис. 56. Шпунтовое соединение ячеистобетонных плит (передает нагрузку с одной плиты на другую после их установки)

скольжения элементов, то ее необходимо предотвратить, например, креплением к основным несущим конструкциям.

*Крепление.* При необходимости ячеистобетонные элементы должны крепиться к опорной конструкции во избежание их отрыва или скольжения. Узлы крепления рассчитывают на восприятие действующих нагрузок с соответствующим коэффициентом безопасности.

Если применяют швы с раствором, можно ввести арматурные стержни в раствор продольных швов плит покрытия. Эти стержни, имеющие обычно диаметр 6–8 мм, сводят к минимуму деформацию растяжения над опорами. Они также снижают прогибы плит и могут служить элементом крепления их к конструкции (рис. 57–61).

*Кровельный ковер.* Водонепроницаемый ковер, состоящий обычно из двух или трех слоев битумного картона (рубероида) или асфальтовой мастики на строительном картоне (пергамин), может быть непосредственно уложен на ячеистобетонные элементы или в некоторых случаях — после грунтовки плит битумным раствором.

В кровле, состоящей из сборных элементов, могут произойти некоторые смещения. Водонепроницаемый слой должен противостоять таким смещениям без образования трещин. Желательно укладывать первый слой ковра на ячеистобетонную поверхность посредством частичной (точечной) связи с асфальтом. Второй слой может быть полностью связан. Таким образом, во всех покрытиях из сборных элементов не следует приклеивать рубероидный ковер над поперечными швами (рис. 62). На рис. 63–65 показано использование ячеистобетонных плит в качестве покрытий и перекрытий.

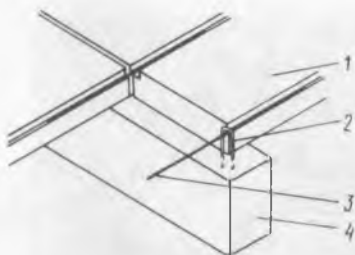


Рис.57. Крепление ячеисто-бетонных элементов к железобетонным конструкциям

1 — ячеистобетонная плита покрытия; 2 — анкерные скобы; 3 — сквозной стержень; 4 — железобетонная балка

*Конструктивные детали.* Обычно в покрытиях предусматривают швы расширения (деформационные). Если покрытие работает как мембрана (для передачи горизонтальных усилий, например от ветра), то применяют арматуру в швах, как это показано в разделе 2.3.

Расположение проемов в крыше согласуется с изготовителями. Проемы в покрытиях для верхнего освещения и других целей должны совпадать с модулем сборных элементов покрытий. При необходимости применяют укороченные элементы с окаймлением проема, поддерживаемые основными несущими конструкциями. Как правило, плиты имеют верхнюю арматуру, обеспечивающую их работу на изгиб при транспортировании и монтаже, поэтому можно предусмотреть небольшие консоли с вылетом, равным удвоенной толщине плит. Для более длинных консолей требуются специально рассчитанные и индивидуально изготовленные плиты.

*Внутренняя (нижняя) отделка покрытий.* Желательно потолок оставлять без отделки, но если его окрашивают, то

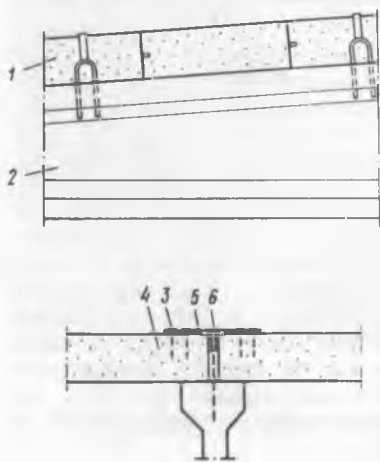


Рис.58. Крепление ячеистобетонного элемента покрытия, при котором оцинкованные скобы заделаны в железобетонную балку

1 — ячеистобетонные плиты покрытия; 2 — железобетонная балка; 3 — гвозди из оцинкованной стали; 4 — ячеистобетонная плита покрытия; 5 — оцинкованная металлическая пластина с отверстиями для гвоздей; 6 — оцинкованная шайба

Рис. 59. Пример выполнения температурного шва в здании с ячеистобетонной крышей. Верхний слой строительного картона должен содержать 1800 г битума на 1 м<sup>2</sup> покрытия, нижний слой – 1200 г картона; 1 – дополнительный верхний слой картона; 2 – верхний слой картона; 3 – нижний слой картона; 4 – медная пластинка; 5 – битумный картон толщиной 3 мм

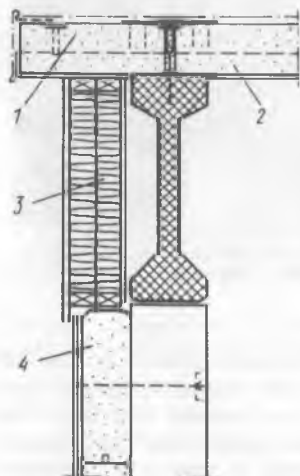
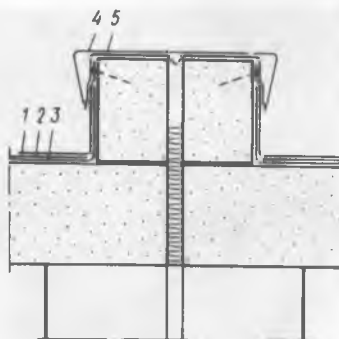


Рис. 60. Соединение стены с крышей  
1 – ячеистобетонная плита покрытия, уложенная в направлении ската; 2 – консоль, тавровое сечение; 3 – профиль фронтона; 4 – ячеистобетонная стеновая плита, установленная горизонтально

Рис. 61. Соединение стены с крышей  
1 – доборный элемент из ячеистого бетона; 2 – ячеистобетонная плита покрытия; 3 – тавровый стальной элемент, приваренный к закладным деталям колонны; 4 – ячеистобетонная стеновая плита, установленная горизонтально; 5 – нащельная доска, прикрепленная к колонне болтами

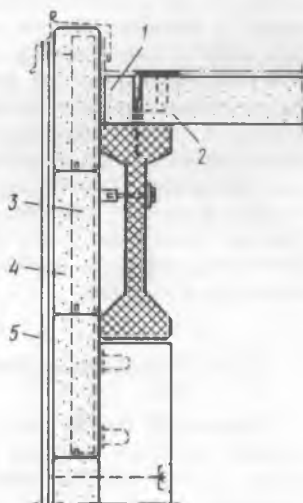




Рис.62. Точечное приклеивание кровельного ковра с посыпкой на внутренней поверхности для выравнивания давления пара между настилом и ковром

применяют такие составы, которые способствуют испарению влаги из ячеистого бетона. Если имеется опасность накопления влаги в ячеистом бетоне вследствие конденсации или образования внутри помещения агрессивных испарений, необходимо устроить пароизоляцию (паровой барьер). В этом случае должны быть выполнены специальные отверстия (продухи) для вентиляции верхней плоскости ячеистобетонных плит. Детали, представленные на рис.66–68, обеспечивают хорошее высушивание плит покрытий до приемлемой влажности даже тогда, когда потолок кровли изолирован. Испытания норвежских ученых показывают, что площадь поперечного сечения вентиляционных каналов должна быть не менее чем  $1/500$ – $1/1000$  площади покрытия.

## 2.5. Крепежные детали

Ячеистый бетон легко сверлится, гвоздится, его можно пилить простым ручным инструментом. Поэтому крепление к нему каких-либо деталей – несложный процесс. Крепежная способность гвоздей и шурупов зависит от плотности и прочности



Рис.63. Применение ячеистобетонных плит для создания самонесущей двускатной крыши пролетом до 9 м в промышленном здании

ячеистого бетона. На рис.69–71 и в табл.2 на основе испытаний шведских исследователей приведены выдерживающие усилия (горизонтальное  $P_1$  и перпендикулярное  $P_2$ ) для некоторых крепежных деталей в ячеистом бетоне плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  и кубиковой прочностью 3 МПа. При использовании этих данных должны быть учтены соответствующие коэффициенты безопасности.

Длина гвоздей, мм	Предельное усилие	
	$P_1$	$P_2$
51	160	500
76	270	800
102	530	1250
127	750	2000
151	1100	2600

## Характеристика дюбелей

Размер дюбеля, мм		Длина болта, мм	Предельное усилие	
диаметр	длина		$P_1$	$P_2$
Дюбели типа "Фишер"				
5	25	38	220	460
8	35	44	540	780
10	50	64	910	1300
12	60	76	1500	2450
Дюбели типа "Рол"				
5	25	44	550	520
6,5	31	51	840	1050
7	37,5	64	1480	1500
8	37,5	64	1480	1800



Рис. 64. Покрытие здания больницы плитами из ячеистого бетона (Великобритания)



Рис.65. Двухэтажное здание с несущими ячеистобетонными стенами, покрытием и перекрытием (Швеция)

Для восприятия больших нагрузок применяют некоторые специальные типы гвоздей и шурупов, можно использовать и сквозные болты с шайбами.

## 2.6. Звукоизоляция и звукопоглощение

**Звукопоглощение.** Для достижения ощутимой степени звукопоглощения в ячеистом бетоне можно нарезать пазы, оставлять их открытыми или заполнять пористым материалом, таким, как минеральная вата или некоторые пенопласты (рис.72).

Эффективно также подвешивание звукоизоляционных элементов на некотором расстоянии от потолка, например, в производственных или школьных зданиях (рис.73).

**Звукоизоляция.** Известно, что звукоизолирующая способность материала зависит от его плотности, пористости и модуля упругости. Для однослойной конструкции звукоизоляция — функция отношения массы на единицу площади (рис.74). Однако применение сборных элементов в зданиях показало, что даже при использовании звуконепропускаемых тяжелых мате-

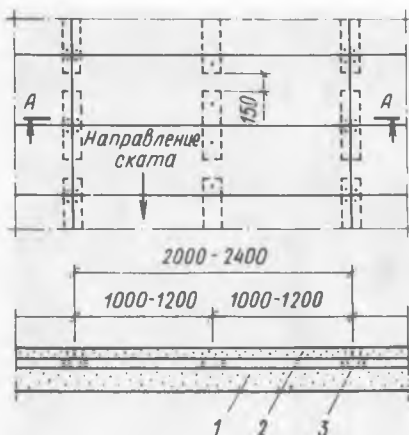


Рис. 66. Проветриваемая плоская крыша из ячеистого бетона (размеры в мм)  
 1 — ячеистобетонная плита крыши; 2 — тонкая ячеистобетонная плита крыши толщиной 70–75 мм; 3 — прокладки из ячеистого бетона



Рис. 68. Крыша с естественной вентиляцией, создаваемой давлением ветра

риалов ожидаемая степень изоляции не достигается вследствие так называемой передачи звука в обход изоляции, через прилегающие конструкции, швы, соединения и т.п.

Исследованы пути, по которым передается звук (рис. 75, 76). Для улучшения звукоизоляции выполнялись преграждающие (несквозные) швы, жесткое крепление элементов для предотвращения вибрации, разделение конструкции на несколько независимых слоев и т.д. Таким путем выявлены различные способы проектирования приемлемой звукоизоляции конструкций из легких материалов, которые не соответствуют обычным требованиям.

Необходимо отметить, что проектные решения должны реализовываться путем тщательного исполнения их на строительной площадке. Даже небольшие звуковые мостики в ограждающих конструкциях, недостаточно заполненные швы или открытые пазы могут значительно снизить звукоизоляцию. Пример жесткого крепления и прерывающихся (несквозных) швов, применяемых для улучшения звукоизоляции, показан на рис. 77, а на рис. 78 — тип упругого соединения. Детали междуквартирной двухслойной стены, которая обеспечивает удовлетворительную звукоизоляцию для одного из домов типа "террас-хаус", построенного в соответствии со шведскими нормами, хорошо видны на рис. 41. Результаты измерения

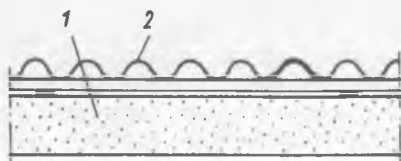


Рис. 67. Вентилируемая крыша со скатами  
 1 — ячеистобетонные элементы покрытия; 2 — волнистые асбестоцементные листы



Рис. 69. Гвоздь



Рис. 70. Шуруп и дюбель типа "Фишер"

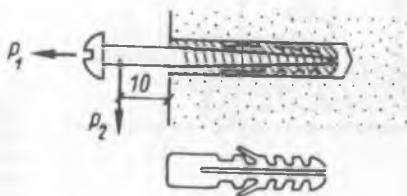
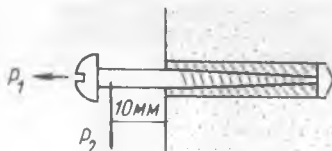


Рис. 71. Шуруп и дюбель типа "Рол"



звукоизоляции такой стены в экспериментальном доме с вариациями в деталях соединения и по ширине воздушной прослойки представлены на рис. 79, 80 [6]. Ниже приведены значения для кривых 1–5 на рис. 80.

Кривая	Тип конструкции	Ширина воздушной прослойки, мм	$T_a$ , дБ	Число испытаний
1	—	—	37–43	26
2	А	50	58–64	15
3	Б	50	52	3
4	В	50	50	2
5	Г	0–10	44	1

Требованиям Британских строительных норм к звукоизоляции междуквартирных стен отвечают следующие конструкции: 1) два слоя ячеистого бетона толщиной по 100 мм (плотность в сухом состоянии не менее  $700 \text{ кг/м}^3$ ) с воздушной прослойкой толщиной 75 мм, оштукатуренные с обеих сторон;

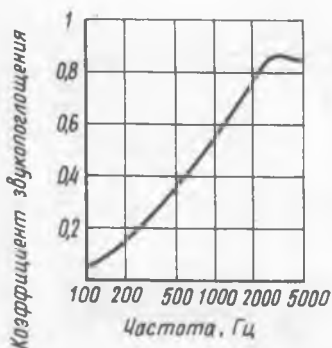


Рис. 72. Звукопоглощение ячеистого бетона, пазы которого заполнены пенопластом (1)

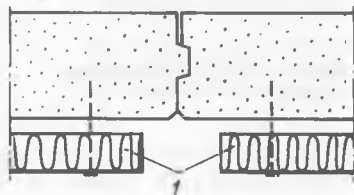
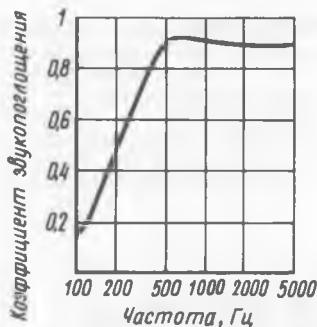


Рис. 73. Звукопоглощение ячеистого бетона, изолированного минеральной ватой (1)

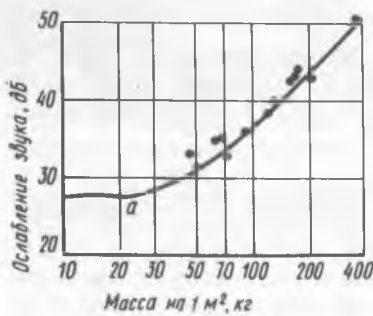


Рис. 74. Средняя звукоизоляция однослойных стен по отношению к их массе, отнесенной на квадратную единицу элемента. Точки — опытные значения для стен из ячеистого бетона; кривая — другие сопоставимые результаты (Институт строительной физики, Штутгарт)

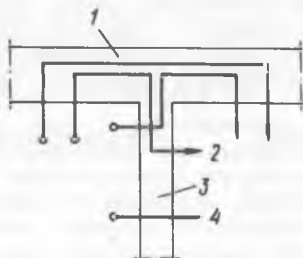


Рис. 75. Горизонтальная прямая и обходящая передача звука  
1 — наружная стена; 2 — обходящая передача; 3 — общая стена; 4 — прямая передача

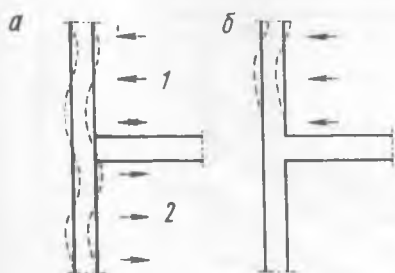


Рис. 76. Обходящая передача для наружной стены, способной свободно колебаться (а), и средства предотвращения такой передачи звука (б), например преграждающими швами или посредством жесткого крепления к внутренней стене  
1 — источник звука; 2 — прием звука

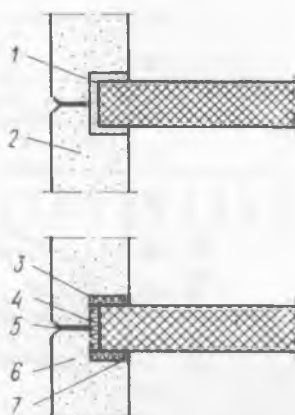


Рис. 77. Примеры жесткого (вверху) и упругого (внизу) крепления со звукопреграждающими швами для наружной стены из ячеистого бетона и внутренней общей стены из плотного бетона  
1 — заполнение цементным раствором 1:3; 2 — наружная стена из ячеистого бетона; 3 — заполнение минеральной ватой; 4 — минераловатная плита; 5 — эластичный состав; 6 — ячеистобетонный стеновой элемент; 7 — заделка цементным раствором

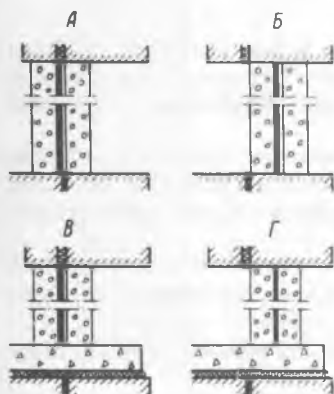


Рис. 79. Способ возведения двуслойных стен, выполненных из легкого бетона, для лабораторных испытаний А—Г — сечения, показывающие принципиальную схему лабораторной установки, в том числе устройство вертикальных и горизонтальных стыков общей стены

Сжимаемый материал

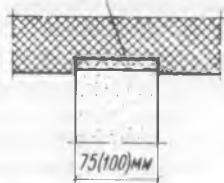


Рис. 78. Пример упругого соединения, обеспечивающего звукопреграждающий шов между общей стеной из ячеистого бетона и перекрытием из плотного бетона

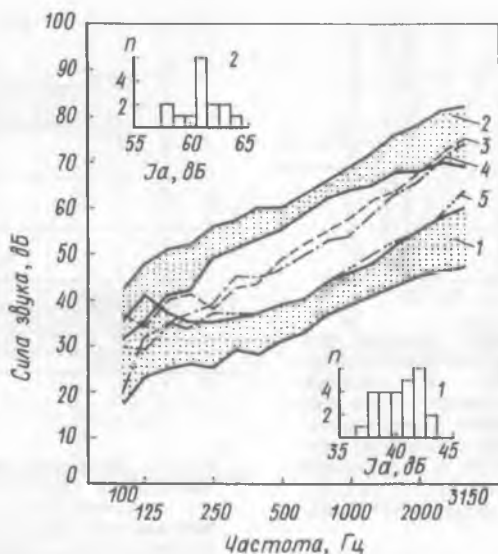


Рис. 80. Результаты измерения воздушной звукоизоляции одно- и двуслойных стен толщиной 15 см из ячеистого бетона при толщине минераловатного ковра 30 мм

- 2) два слоя армированного ячеистого бетона толщиной по 75 мм (плотность в сухом состоянии не менее  $600 \text{ кг/м}^3$ ) с воздушной прослойкой толщиной 150 мм, оштукатуренные с обеих сторон;
- 3) два слоя армированного автоклавного ячеистого бетона толщиной по 100 мм (плотность в сухом состоянии не менее  $550 \text{ кг/м}^3$ ) с воздушной полостью, равной 100 мм, оштукатуренные с обеих сторон;
- 4) однослойная стена толщиной 215 мм из автоклавного ячеистого бетона (плотность в сухом состоянии не менее  $700 \text{ кг/м}^3$ ), оштукатуренная с обеих сторон.

Такие конструкции испытаны Акустической научно-исследовательской организацией (Англия).

Условия проведения испытаний, так же как способы оценки результатов, в разных странах неодинаковы. На рис.81–85 даны примеры испытаний на звукоизоляцию ячеистобетонных стен, проведенных в Англии и ФРГ. Конструктивные данные и методы испытаний указываются в каждом конкретном случае.

Натурные испытания (см.рис.81) проведены в соответствии с Британским стандартом BS 2750, 1956. Даны средние значения результатов четырех измерений. Конструкция: тонкая штукатур-

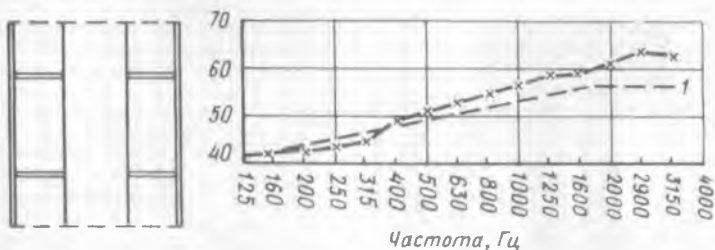


Рис. 81. Результаты испытаний, проведенных Научно-исследовательской акустической организацией в Лондоне  
1 – уровень для общей стены английского жилого дома

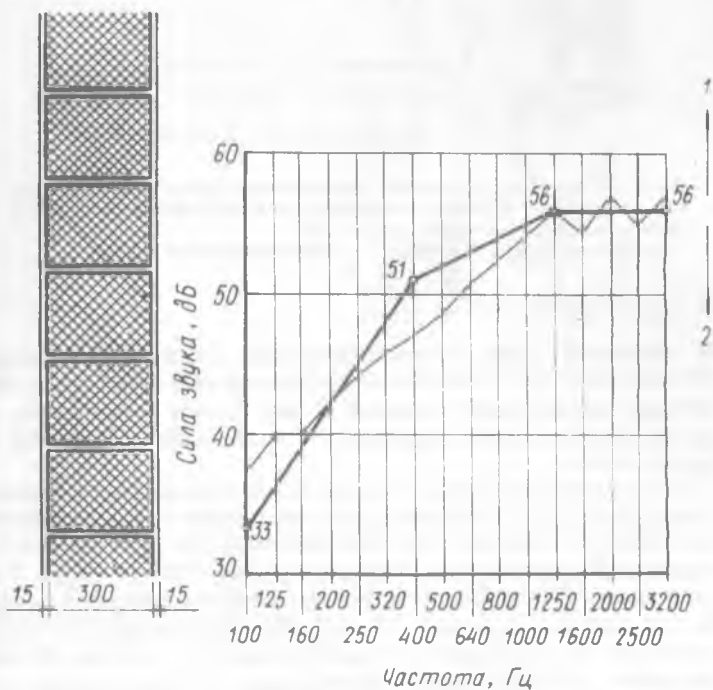


Рис. 82. Результаты испытаний, проведенных Институтом строительных материалов Высшей технической школы Брауншвейга (ФРГ), звукоизоляционный индекс LCM + 1  
1 – благоприятные условия; 2 – неблагоприятные условия

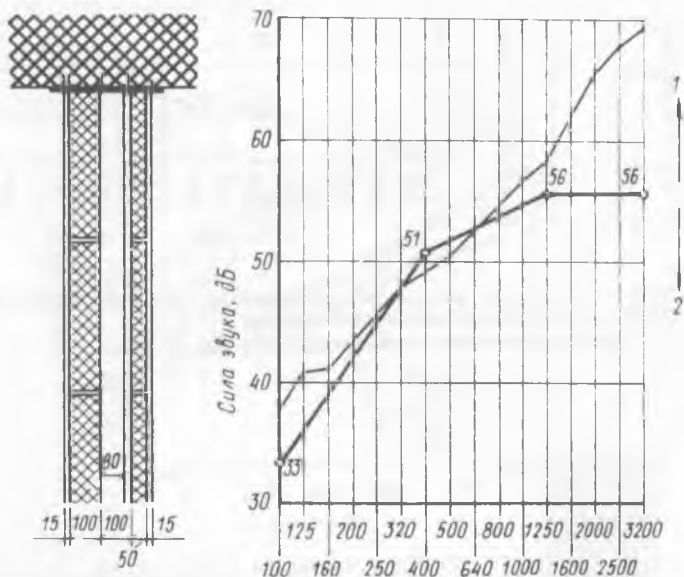


Рис. 83. Результаты испытаний, проведенных Институтом строительных материалов Высшей технической школы Брауншвейга (ФРГ), звукоизоляционный индекс  $LCM + 3dB$

1 – благоприятные условия; 2 – неблагоприятные условия

ка толщиной 2 мм, блоки плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$ , толщиной 100 мм, полость 125 мм, блоки плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$ , толщиной 100 мм, штукатурка толщиной 2 мм. Блоки соединяются на уровне нижнего этажа, перекрытий и покрытий без связей по высоте стены.

Стандартные испытания (см.рис.82, 83) проведены в соответствии с DIN 52210:2:322. Конструкция (см.рис.82): известково-цементная штукатурка, блоки плотностью  $780 \text{ кг/м}^3$ , цементно-известковая штукатурка; общая толщина 330 мм, масса  $1 \text{ м}^2$  поверхности 372 кг. Конструкция (см.рис.83): известково-цементная штукатурка толщиной 15 мм, блоки плотностью  $750 \text{ кг/м}^3$ , толщиной 50 мм, полость с минераловатным матом (80 мм) толщиной 100 мм, блоки плотностью  $750 \text{ кг/м}^3$ , толщиной 100 мм, известково-цементная штукатурка (15 мм).

В испытаниях Института технической физики Штутгарта (см. рис.85) использованы армированные элементы из автоклавного ячеистого бетона высотой на этаж. Площадь испытываемой стены  $10 \text{ м}^2$ .

Рис. 84. Стена, состоящая из двух наружных слоев ячеистого бетона по 75 мм толщиной и внутреннего слоя из вспененного полистирола и песка

1 – шуруп для дерева с дюбелем; 2 – пластичная мастика; 3 – мягкий картон или кокосовое волокно; 4 – дерево твердой породы; 5 – воздушная прослойка 5x5 см; 6 – пенопласт; 7 – волнистый полистирол; 8 – заполнение песком; 9 – воздушная прослойка 5x5 см; 10 – слой раствора; 11 – деревянный клин; 12 – битумный картон; 13 – клей; 14 – выравнивающий брус

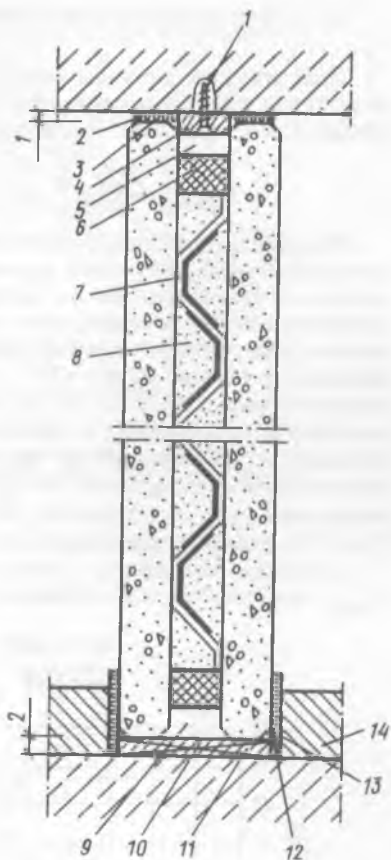
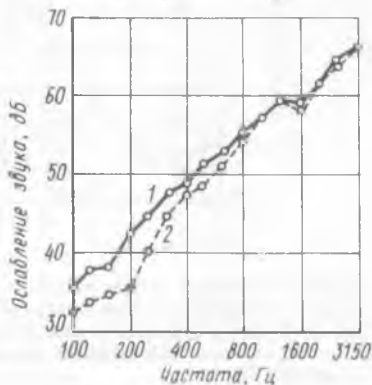


Рис. 85. Результаты лабораторных испытаний стены, представленной на рис. 84 (Институт технической физики, Штутгарт)

1 – без звуковых "мостиков" плюс 3 дБ сверх минимальных требований; 2 – с 20 звуковыми "мостиками" (гвоздями) плюс 0 дБ сверх минимальных требований



## 2.7. Теплотехнические расчеты

Практическое значение коэффициента  $\lambda$  может быть получено путем испытания соответствующих образцов, имитирующих реальную конструкцию [8], или вычислено следующим образом:

$$\lambda_{\text{практ.}} = \lambda_{\text{сух}} + \Delta\lambda_{\text{влаж}} + \Delta\lambda_{\text{конвекц.}}$$

Результаты теплотехнических исследований некоторых видов ячеистобетонных покрытий приведены на рис.86–88. Условия эксплуатации покрытий в Торонто (Канада) (см. рис.87): средняя месячная температура в январе–феврале  $-21^{\circ}\text{C}$ , средняя ежемесячная дневная температура (самая низкая в январе–феврале) в течение 50 лет  $-5^{\circ}\text{C}$ ; кривые на рисунке – толщина ячеистобетонной кровли, см. На рис.88 представлены результаты испытаний, проведенных в Хольцкирхене возле Мюнхена (ФРГ). Внутренняя температура в зимний период составляет  $20^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 40–50%. В летний период, когда помещение не отапливается, внутренняя температура равна  $13-17^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 60–70%.

Влиянием конвекции в ячеистом бетоне можно пренебречь.  $\lambda_{\text{сух}}$  определяется испытаниями, в которых влагосодержание и

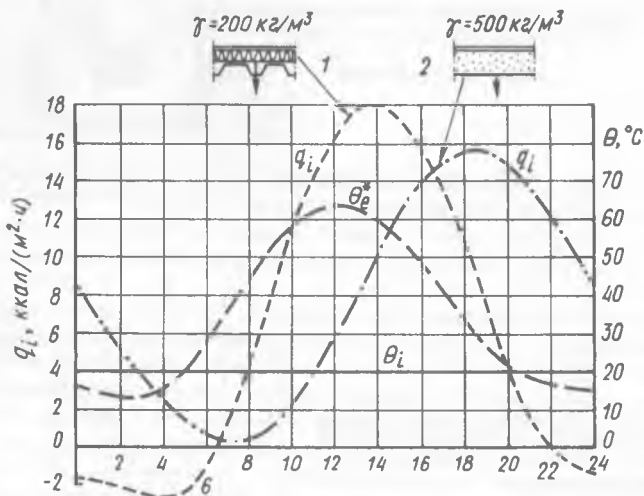


Рис.86. Расчетный тепловой поток ( $q_i$ ), проходящий через внутреннюю поверхность металлического покрытия и покрытие из ячеистого бетона в течение теплого солнечного дня [9]  
1 – двуслойная рубероидная кровля; 2 – ячеистобетонное покрытие толщиной 200 мм



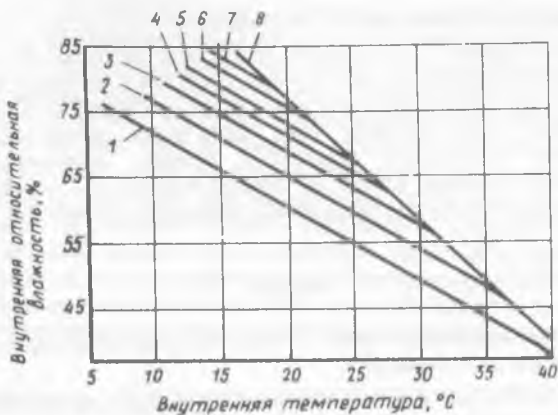


Рис. 87. Пределы для однослойных покрытий из ячеистого бетона плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  с неуплотненным подвесным потолком  
 1 - 7,5; 2 - 10; 3 - 12,5; 4 - 15; 5 - 17,5; 6 - 20; 7 - 22,5; 8 - 25 (предел)

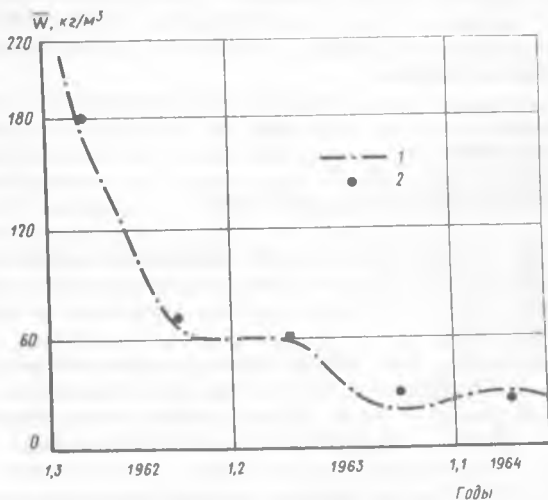


Рис. 88. Сравнение расчетного и фактического усредненного влагосодержания в ячеистобетонном покрытии толщиной 150 мм, плотностью  $550 \text{ кг/м}^3$   
 1 - расчетное; 2 - фактическое

температура образца четко установлены.  $\lambda$  влажн. определить довольно трудно. Существуют различные методы для нахождения теплопроводности при разных уровнях влагосодержания [9, 10]. Метод, который здесь излагается, разработан Кришером—Есдорном. Проведенные ими испытания показали, что в диапазоне плотностей ячеистого бетона, применяемого на практике, влияние влаги на теплопроводность может быть с приемлемой точностью выражено следующей формулой [11]

$$\Delta \lambda_{\text{влажн.}} = b \mu,$$

где  $b$  — постоянная величина,  $\mu$  — влагосодержание материала (%) в эксплуатационных условиях.

Испытания шведскими учеными ячеистого бетона плотностью 400—650 кг/м<sup>3</sup> по этому методу дали величину  $b = 0,004$ . Пределы отклонения значения  $b$  для различных видов ячеистого бетона могут быть установлены аналогичными испытаниями. Показатель  $\mu$  определен путем исследования различных типов конструкций в натуральных условиях [8]. Величины, приведенные ниже, характерны практически для всех случаев применения ячеистого бетона:

	$\mu$ , % по массе
Покрытия . . . . .	4
Перекрытия над подполом . . . . .	6
Стены	
окрашенные . . . . .	4
штукатуренные . . . . .	6
из штукатуренных блоков . . . . .	6
с битумной защитой ниже уровня земли . . . . .	15

Инженер-проектировщик может использовать и другие значения  $\mu$  для расчета теплоизоляции, вычисляя их с помощью приведенной выше формулы с учетом ожидаемого влагосодержания конструкции.

**Теплоемкость.** При проектировании всех типов зданий, к которым предъявляются требования по сохранению энергии, необходимо иметь в виду эффект теплоемкости строительной оболочки. Расчеты, принимающие во внимание только теплоизоляционные характеристики конструкций, предполагают установленные условия распределения температур, которые на практике отсутствуют.

Ячеистый бетон обеспечивает полезную теплоемкость в сочетании с хорошими теплоизоляционными свойствами. Эта комбинация снижает чрезмерные перепады температуры в помещении по сравнению со зданиями, построенными из более

легких конструкций (например, деревянных или металлических с минимальной теплоемкостью) или из более тяжелых конструкций (например, плотная кирпичная кладка, обладающая меньшей теплоизоляцией). При положительных температурах теплоемкость ячеистобетонного покрытия нормальной толщины влияет таким образом, что внутри здания повышение температуры, обусловленное солнечной радиацией, сохраняется примерно на 5–6 ч начиная с того часа, когда действие солнечной радиации максимально. В течение более холодного времени суток покрытия и стены выделяют накопленное тепло [9]. Снижение пиков нагрева и охлаждения воздуха в помещениях вызывает соответствующее уменьшение мощности отопительного оборудования, а также оборудования охлаждения, если оно применяется.

## 2.8. Расчет влажности

Ячеистый бетон после изготовления содержит в себе влагу. В процессе монтажа конструкций содержание ее может возрастать за счет атмосферных осадков, а при эксплуатации — вследствие конденсации. Поэтому при проектировании сооружений необходимо обеспечить высыхание конструкций, т.е. удаление первоначальной влаги, а также поддержание низкого влагосодержания в процессе их эксплуатации. В любом методе расчета должно учитываться влияние капиллярности, в противном случае получают результаты, не соответствующие фактическим наблюдениям.

Накоплен достаточный практический опыт строительства и эксплуатации конструкций из ячеистого бетона в различных климатических зонах. В тропических и субтропических условиях конденсация происходит очень редко, несмотря на высокую относительную влажность воздуха. Причина заключается в том, что температура наружного воздуха в течение долгого времени выше, чем внутри помещений. Обильная солнечная радиация также ускоряет процесс высыхания. В условиях умеренного и арктического климата солнечная радиация существенно меньше и температура наружного воздуха долгое время года ниже, чем внутренняя. Влага конденсируется чаще, но внутренняя относительная влажность воздуха обычно довольно низкая. Равновесное влагосодержание, равное примерно 6% по массе в стенах и 3–5% — в покрытиях, достигается через 1–2 года после возведения здания. Эти данные характерны для зданий с достаточной вентиляцией всех комнат и нормальным отоплением.

Однако в зданиях, где часть комнат не имеет вентиляции или отопление применяется только в одной из комнат, возникает проблема влажности. В зданиях, в которых относительная влажность и температура внутреннего воздуха поддерживаются на заданном уровне за счет кондиционирования, возникает

проблема конденсации. Поэтому необходимо изучать процесс миграции влаги и выполнять соответствующую разработку конструкции, обеспечивающую высушивание даже при наличии самых неблагоприятных условий. Один из способов был описан выше.

Для снижения конденсации, обусловленной миграцией влаги из теплого внутреннего помещения в направлении более холодного наружного воздуха, наружные стены и покрытия могут отделяться внутренней пароизоляцией, которая снижает или предотвращает диффузию пара в конструкцию. Тогда высушивание должно быть обеспечено снаружи путем применения вентилируемой наружной облицовки, например, в виде паропроницаемой краски, обшивки наружных стен листовыми материалами (гонтом, тесом, асбестоцементом и т.д.) или в виде вентилируемого пространства под водонепроницаемым ковром на крыше [10].

Существуют практические правила, которые могут быть использованы в экстремальных условиях, а в умеренных желательнее применять так называемый метод проектирования влажности, позволяющий получить экономичные решения. Были предприняты попытки создания расчетного критерия влажности и некоторых приближительных методов расчета.

Практически обычно проектируют массивные однослойные покрытия из ячеистого бетона, в которых паровой барьер (в виде рубероидного ковра) укладывается непосредственно на наружную поверхность ячеистобетонных плит, а внутренняя (нижняя) поверхность остается неотделанной или покрывается паропроницаемой краской. В таких случаях высушивание плит в летнее время и конденсация влаги в холодное время происходят изнутри. Проблема заключается в том, чтобы создать условия, благоприятствующие высушиванию в большей степени, чем конденсации, и таким образом гарантировать достижение приемлемой влажности в требуемые сроки.

При этом существенное значение имеют климатические условия строительства, так же как и внутренние температуры и относительная влажность. Кроме того, на миграцию влаги влияют капиллярность и сопротивление диффузии материала, так же как и его теплоизоляционные свойства. На основе проведенных исследований с учетом всех этих характеристик рассчитаны проектные кривые для различных условий окружающей среды и для принимаемых постоянными внутренними условиями, включая относительную влажность и температуру [12]. Если изменения параметров, влияющих на миграцию влаги, могут быть описаны с достаточным приближением математическими зависимостями, то с помощью вычислительной техники можно рассчитать параметры высушивания материала в каждом отдельном случае в любых климатических условиях.

## 2.9. Огнестойкость

Одним из замечательных свойств ячеистого бетона является его огнестойкость. Благодаря его низкой теплопроводности миграция тепла происходит в гораздо более медленном темпе, чем в плотном бетоне. Анализ зависимостей, представленных на рис.89, свидетельствует, что в ячеистом бетоне температура оказывается более низкой, чем в плотном, не только на противоположной стороне, но также и на стороне, подверженной воздействию огня (может быть, за исключением температуры слоя толщиной 5 мм от начала поверхности, где измерение ее было затруднено). Это свойство материала очень важно, так как обеспечивается защита стальной арматуры в изгибаемых элементах.

Высокая температура влияет на прочность при сжатии и на усадку ячеистого бетона, как это видно на рис.90а,б [13]. Прочность изменяется вследствие удаления химически связанной воды, когда материал подвергается интенсивному нагреванию в течение нескольких часов. Увеличение усадки может приводить к появлению трещин на поверхности, подверженной действию огня.

В некоторых странах при определении степени огнестойкости зданий учитывается влияние швов и креплений на примыкающие конструкции, а также сопротивление ударам и напору водяных струй. Некоторые данные об огнестойкости конструкций по нормам Англии и ФРГ приведены ниже и в табл. 3,4,5.

	Предел огнестойкости, ч				
	0,5	1	1,5	2	3
Неармированные блочные стены без отделки толщиной, мм . . . . .	150	175	200	240	300
	50	50	100	115	125
Вертикальные или горизонтальные стеновые плиты без отделки толщиной, мм . . . . .	150	150	175	200	250
	50	50	75	100	115

Примечания: 1. DIN 4102 ФРГ с учетом ударных воздействий.  
2. Над чертой — толщина несущих стен, под чертой — ненесущих.

	Предел огнестойкости, ч				
	4	2	1,5	1	0,5
Ячеистый бетон без штукатурного слоя толщиной, мм . . . . .	180	100	100	100	100
	100	62	62	50	50

Примечания: 1. Испытания в соответствии с Британским стандартом 476, ч.1, без учета ударных воздействий.  
2. Над чертой — толщина несущих конструкций, под чертой — ненесущих.

	Предел огнестойкости, ч						
	6	4	3	2	1,5	1	0,5
Ячеистобетонные несущие однослойные стены толщиной, мм (без отделки) . . .	180	150	100	100	90	90	90

Примечания: 1. Британские рекомендации CP 121: ч. 1 "Возведение стен".

2. Огнестойкость приведена для стен с вермикулито-гипсовой штукатуркой толщиной с каждой стороны не менее 13 мм (состав 1,5:1-2:1 по объему).

Таблица 3

Показатели огнестойкости армированных стеновых элементов по результатам испытаний в соответствии с Британским стандартом 476, ч. 1 (без учета ударных воздействий)

Элемент	Огнестойкость, ч, для стен толщиной, мм				
	100	125	150	175	200
Ненесущий	4	4	6	6	6
Несущий	2	2	2	2	2

Таблица 4

Британские рекомендации повышения огнестойкости в перекрытиях (CP 110, ч. 1)

Вид отделки	Огнестойкость поверхности, ч, при толщине отделки, мм				
	25	15	15	10	10
Вермикулито-гипсовая штукатурка по нижней поверхности перекрытий	3	2	1,5	1	0,5

Примечание. Состав смеси (1,5-2): 1 по объему.

Таблица 5

Рекомендации для плит покрытий и перекрытий (DIN 4102, ФРГ) при прочности на сжатие ячеистого бетона 3,5-5 Н/мм<sup>2</sup>

Параметры плиты	Огнестойкость, мин				
	30	60	90	120	180
Толщина, мм	50	50	75	100	125
Минимальное расстояние от поверхности до арматуры, мм	10	15	25	35	50

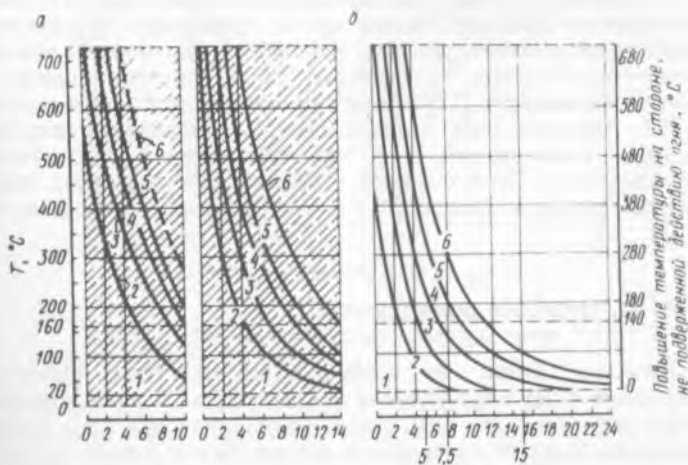


Рис. 89. Изотермы обычного плотностью  $2450 \text{ кг/м}^3$  (а) и ячеистого плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$  (б) бетонов при воздействии на них стандартного огня в соответствии с условиями испытаний по DIN4102 [3]

1 – начальная температура; 2 – 30; 3 – 60; 4 – 90; 5 – 120; 6 – 180

При отделке штукатуркой поверхности стен толщина ячеистого бетона, требуемая для достижения необходимой степени огнестойкости, может быть уменьшена (DIN4102). Огнестойкость изгибаемых элементов, таких, как плиты покрытий или перекрытий, зависит от степени защиты арматуры, жесткости элементов и прилагаемой нагрузки. Плита функционирует до тех пор, пока температура арматуры не достигнет своего критического значения, т.е.  $550^\circ\text{C}$ .

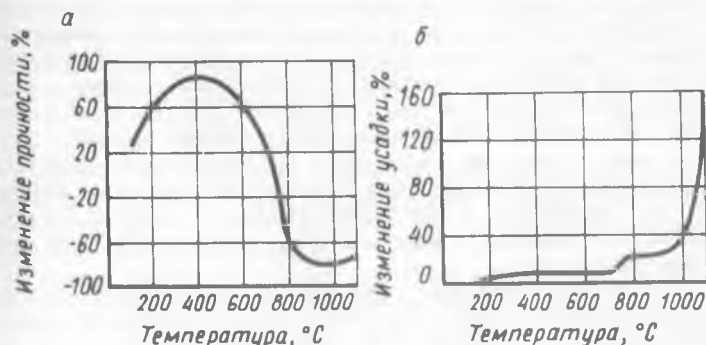


Рис. 90. Влияние нагревания на прочность на сжатие (а) и усадку (б)

Во многих случаях при воздействии огня конструктивные элементы из ячеистого бетона могли продолжать эксплуатироваться после мелкого ремонта, что значительно снижает убытки, причиненные огнем. Некоторые такие случаи описаны в специальных отчетах [13]. Ячеистый бетон может использоваться и как покрытие для защиты других материалов, например стальных конструкций, или для повышения огнестойкости бетонных стен. Огнестойкость ячеистого бетона широко исследовалась также в Швеции [14] и Соединенных Штатах Америки [15].

## 2.10. Отделка поверхностей

Ячеистый бетон не требует отделки, если позволяют требования эстетики и условия эксплуатации. В особых случаях (диффузия паров, жесткие условия эксплуатации и т.д.) следует применять отделку поверхности бетона. Важно при этом, чтобы функциональные требования выполнялись полностью, качество отделки поверхности должно быть высоким, а деформативные свойства должны соответствовать аналогичным свойствам ячеистого бетона и гарантировать продолжительную совместную работу.

Если требуется механическая защита (например, путем обшивки поверхности стен листовым материалом), то необходимо предотвратить проникание косою дождя, а также обеспечить испарение влаги. В целях защиты поверхности ячеистого бетона от вредных химических воздействий следует обеспечить возможность миграции влаги.

**Отделка поверхностей стен.** Широко распространенные виды наружной отделки стен — цементно-известково-песчаная штукатурка для мелкоблочных изделий и водоотталкивающая паропроницаемая окраска для панелей. Применяется также окраска наружных поверхностей составами на основе акрила. Некоторые из этих покрытий пригодны и для отделки панелей в заводских условиях. Для внутренней отделки обычно применяют известково-песчаный или цементно-известково-песчаный раствор в виде штукатурки при кладке стен из мелких блоков и песчаную замазку или тонкий слой штукатурки для стен из панелей.

В связи с тем, что отсос воды из отделочных растворов ячеистым бетоном может быть относительно высоким (например, по сравнению с плотным бетоном), следует заранее проконсультироваться с изготовителем относительно вида применяемых отделок.

*Штукатурные растворы.* Поскольку штукатурные работы хорошо освоены, далее будут обсуждаться только те особенности, которые характерны при применении штукатурки для ячеистого бетона.



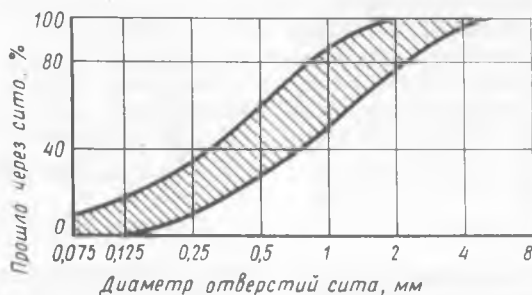


Рис.91. Гранулометрические составы песка для штукатурных растворов

Весьма важно, чтобы упругие свойства любого покрытия поверхности были сходны со свойствами ячеистого бетона; это позволит избежать чрезмерных внутренних температурных и усадочных напряжений. В некоторых случаях необходимо уменьшить прочность и модуль упругости раствора отделки и таким образом приблизить эти свойства к аналогичным свойствам ячеистого бетона.

Типичная трехслойная штукатурка, применяемая в строительстве Швеции, имеет следующий состав:

*подстилающий слой* толщиной не более 2–3 мм: состав по объему (известь—цемент—песок) — 1:4:15; состав по массе — 10:90:325;

*второй слой*: состав по объему (известь—цемент—песок) — 2:1:12, или 50:50:650 (по массе);

*отделочный слой*: состав по объему (известь—цемент—песок) — 2:1:12 и 2:1:15, или 50:50:650 и 50:50:750 (по массе).

Двуслойная штукатурка в Англии имеет следующий состав: 1:2:9 или 1:1:6 (цемент—известь—песок) по объему. Для ограничения усадки и увеличения сцепления штукатурного слоя должен применяться гранулированный песок. На рис.91 представлены оптимальные составы песка для штукатурки. Толщина штукатурки не должна превышать 20 мм, но может быть и больше, если песок характеризуется высокими связующими свойствами.

Штукатурное покрытие снижает воздухопроницаемость стены вдвое по сравнению с неоштукатуренной поверхностью. Важно также, чтобы в штукатурке не было трещин, через которые возможно проникание дождя.

*Тонкие покрытия (покрытия)*. Ниже приводятся некоторые общие рекомендации по применению окрасочных покрытий и указаны те из важнейших требований, которые должны соблюдаться при использовании красок для нанесения на ячеистый бетон.

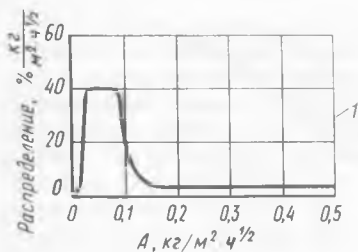


Рис.92. Распределение результатов испытаний на водопроницаемость 85 типов окрасочных покрытий

1 – предложенное максимальное ограничение

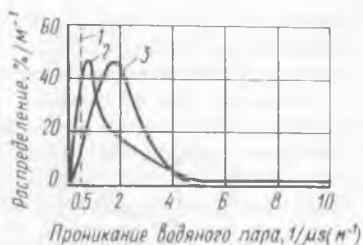


Рис.93. Результаты испытаний на воздухопроницаемость 85 типов окрасочных покрытий и 45 типов штукатурных растворов [16]

1 – предложенное минимальное ограничение; 2 – отделка покраской; 3 – отделка штукатурным раствором

1) Водоотталкивание и воздухопроницаемость – два требования, которые должны выполняться одновременно. К сожалению, большинство красок их не обеспечивает.

2) Долговечность. Поверхность большегабаритных стеновых панелей гораздо глаже, чем поверхность стен из блоков, поэтому толщина отделки стеновых панелей может быть минимальной. Но при этом наружная защита должна обеспечивать хорошее водоотталкивание (гидрофобность), воздухопроницаемость, высокую упругость и сцепление, долговечность, щелочестойкость, стойкость при воздействии ультрафиолетовых лучей и др., хороший внешний вид, сопротивляемость износу и т.д. (рис.92,93).

Доказано, что акриловые краски проявляют высокую долговечность, в то время как поливинилацетатные (ПВА) плохо выдерживают воздействие ультрафиолетовых лучей. Выбор характеристик зависит от преобладающих климатических условий. Кинцель, например, дает следующий предел проникания дождя  $A$  для среднеевропейских условий (интенсивность косого дождя в районе Хольцкирхен, ФРГ):  $A \leq 0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{1/2}$ . Способность к воздухопроницаемости составляет  $1/\mu S \geq 0,5 \text{ (м}^{-1}\text{)}$ , где  $\mu$  – диффузионное сопротивление покрытия и  $S$  – толщина покрытия.

Внутренняя отделка стен и покрытий. Обычно внутренние отделки паропроницаемы, например песчаная затирка (тонкослойная штукатурка на смоле). Применяются также гипсовая штукатурка, известковый раствор и краски ПВА. Требования к долговечности для внутренней отделки менее жестки, так как она не подвергается внешним воздействиям и чаще ремонтируется.

Массивные однослойные покрытия из ячеистого бетона с водонепроницаемым рубероидным ковром не должны отделываться снизу красками, препятствующими испарению. Потолок

можно оставить без отделки или же применить паропроницаемую краску. В тех случаях, когда требуется окраска с низкой способностью к воздухопроницаемости (типа пароизоляции) на потолке, следует обеспечить испарение влаги через верхнюю плоскость плиты путем устройства проветриваемого пространства между ячеистым бетоном и паронепроницаемым рубероидным ковром.

## Литература

1. DIN 4223.
2. Matsushita, K, Kokusko, S and Matsumura, A, "Strength and behaviour of autoclaved concrete panel wall with joint under shear load", Japan-US Seminar, Seattle, 1971.
3. Fachverband Gasbeton E V, "Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton", 1972.
4. DIN 1053.
5. SBN - S 25:6, Svensk Byggnorm, Gasbetongelementnormer (Swedish Building Code, Code for aerated concrete units), publ 14, 1968, (in Swedish).
6. Westerberg, G, "Ljudisolering i ett experimenthus av stål och lättbetong" ("Sound insulation in testhouse of steel and aerated concrete"), Byggmästaren, No 5, 1973, (in Swedish, English translation).
7. Nielsen, A, "Creep of autoclaved aerated concrete", Lund Institute of Technology, Bulletin 4, 1968, (in Swedish).
8. SBN - 33:23, Svensk Byggnorm, Värmeledningstal för gasbetong (Thermal conductivity of aerated concrete), publ 54, 1972, (in Swedish).
9. Glas, LO and Höglund, I, "Yttertakkonstruktioners inverkan på kostnader för klimatanläggning - en jämförelse mellan två typer av flacka tak" ("The influence of roof constructions on the cost of air conditioning - a comparison between two types of flat roofs"), Lättbetong, 3, 1971, (in Swedish).
10. Tveit, A, "Fukt og fukttransport i poröse materialer" ("Moisture and moisture migration in porous materials"), Norges Byggeforskningsinstitutt, Rapport 39, 1964, (in Norwegian).
11. Sandberg, P I, "Moisture balance in building elements exposed to natural climatic conditions", Lund Institute of Technology, 1973.
12. Freeman, P, "A designer's approach to moisture migration", RILEM lightweight concrete symposium, 1960.
13. Svenska Tarifföreningen, Betong och brand (Concrete and fire). Stockholm 1959, (in Swedish).
14. Svenska Brandförsvarsföreningeh, Brandsam, Fire design manual, Stockholm 1959, (in Swedish).
15. US Department of Commerce, National Bureau of Standards, Fire test on precast cellular concrete floors and roofs, 1962.

### 3. ЭКОНОМИКА

Экономика строительного элемента может быть кратко охарактеризована как стоимость и степень соответствия определенным функциональным требованиям в сравнении с альтернативными решениями.

Функциональные требования различаются в зависимости от типа здания. Самым важным, разумеется, является правильное определение требований к зданию в соответствии с целями, для которых оно предназначено, и сроками эксплуатации. Минимальные требования включены в строительные нормы. Однако самое экономичное решение не всегда обеспечивается выполнением минимума требований. Примером этому служит теплоизоляция зданий. Строительные нормы предписывают определенный минимум теплоизоляции для различных частей зданий в данном климатическом поясе. Однако экономичность теплоизоляции зависит от стоимости нагрева или охлаждения здания. Вследствие постоянно возрастающей стоимости теплосэлектроэнергии и топлива возможно, что с экономической точки зрения необходима большая теплоизоляция, чем предписывают строительные нормы, и наоборот.

Часто отмечают, что нормативные требования обеспечения безопасности строительных конструкций являются более строгими, чем они должны быть. Требования по другим параметрам, например по долговечности, которая влияет на стоимость эксплуатационных расходов, могут не включаться в строительные нормы.

Перед началом проектирования необходимо определить экономические требования, а затем провести исследование выполнения этих требований при различных конструктивных решениях с одновременным определением стоимости.

Окончательная стоимость завершеного проекта должна учитывать все требования, влияющие на экономику. Очевидно, что стоимость двух различных строительных материалов не может иметь решающего значения, пока не закончены экономические исследования, которые должны включать в себя стоимость транспорта, сборки и отделки, а также учитывать степень соответствия конструкции таким проектным требованиям, как огнестойкость, эксплуатационные расходы, долговечность, защита окружающей среды и т. д.

На рис. 94–102 показаны разнообразные здания, построенные с использованием ячеистобетонных конструкций.



Рис.94. Конструкция пустотелой двуслойной стены с проволочными связями

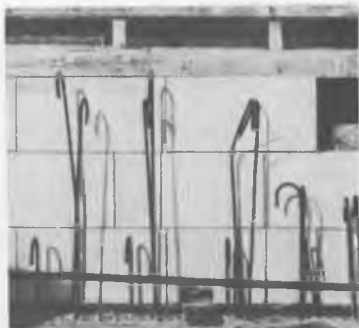


Рис.95. Применение ячеистобетонных блоков в качестве несъемной опалубки при бетонировании монолитной стены

Рис.96. Ячеистобетонные плиты покрытия и вертикальные стеновые элементы в строительстве здания аэропорта (Англия)



### 3.1. Транспортирование

Небольшая масса ячеистого бетона обеспечивает снижение стоимости транспортирования элементов стен, покрытий или перекрытий по сравнению с перевозкой кирпичных или бетонных изделий. Ячеистая структура конструктивных элементов диктует соответствующие условия обращения при их погрузке и разгрузке. Важен также метод укладки элементов на транспортные средства. Успешные перевозки в большом масштабе с одного континента на другой свидетельствуют, что когда персонал обладает достаточным опытом в обращении с мате-



Рис. 97. Жилые здания малой этажности, сооруженные с применением конструкций из ячеистого бетона

риалом и проявляет соответствующую дисциплину, то можно избежать повреждений ячеистобетонных изделий при транспортировании.

Небольшие элементы, такие как блоки, плиты перегородок, тонкие стеновые плиты, плиты перекрытия и покрытия, преимущественно перевозят на поддонах, используя автопогрузчик с вилчатым захватом или специально сконструированные подъемные приспособления. Более крупные элементы, такие как длиннопролетные стеновые панели, плиты перекрытия и покрытия, можно перемещать индивидуально с помощью специально спроектированных подъемных устройств. Они должны быть уложены на широкие подкладки (175 мм). Штабели должны располагаться на железнодорожной платформе или на грузовике параллельно продольной оси, с достаточным зазором. В некоторых случаях необходимо закрепить штабели, чтобы избежать их скольжения при внезапном торможении транспорта. Кроме того, штабели должны быть прикреплены к грузовику или вагону во избежание опрокидывания. Грани элементов в местах примыкания перевязочных средств защищают подкладками.

С целью сокращения продолжительности монтажа на строительной площадке необходимо планировать подвоз элементов, имея в виду порядок сборки. В тех случаях, когда удастся монтировать элементы непосредственно с транспортного средства без промежуточного хранения, достигается значительная эко-

а)



б)



Рис. 98. Сборные ячеистобетонные элементы в строительстве зданий различной архитектуры Швейцарии (а) и Швеции (б)



Рис.99. Ячеистобетонные стеновые панели размером на комнату, используемые в качестве несущих наружных стен (Швеция)

номия времени. Для монтажа "с колес" можно использовать грузовик, имеющий несколько прицепов, и непосредственно с них осуществлять сборку. Если же элементы временно складываются на площадке, их необходимо уложить на выровненные опоры, например на деревянные прокладки, расположенные на расстоянии 0,5 м от краев элемента, и защитить от атмосферных воздействий и влаги, проникающей снизу из почвы (рис.103). Некоторые изделия нуждаются в специальном хранении, в таких случаях следует руководствоваться инструкцией изготовителя.

### 3.2. Свойства и функции ячеистого бетона в зданиях

Функциональные требования различны для неодинаковых типов зданий, поэтому здесь не делается попытка их классификации, а просто перечисляются некоторые из функций, которые ячеистый бетон может выполнять в здании. Это — несущая способность, в пределах некоторых ограничений достаточная для элементов перекрытий, стен и покрытий, это — высокая степень теплоизоляции и защиты от огня, теплоемкость, достаточная для уменьшения изменений температуры в течение суток, влагоемкость, способная снизить перепад относительной влажности воздуха во внутренних помещениях, долговечность, превышающая нормальный срок службы здания, небольшая масса, которая снижает сейсмические воздействия и нагрузку на нижележащие конструкции и фундаменты.

В ряде случаев ячеистый бетон не требует обработки и отделки поверхностей и в то же время может использоваться как основа для различных видов отделки, в том числе отделки "на основе". Материал удовлетворяет высоким требованиям звукоизоляции. В неотделанном виде он обладает несколько большим



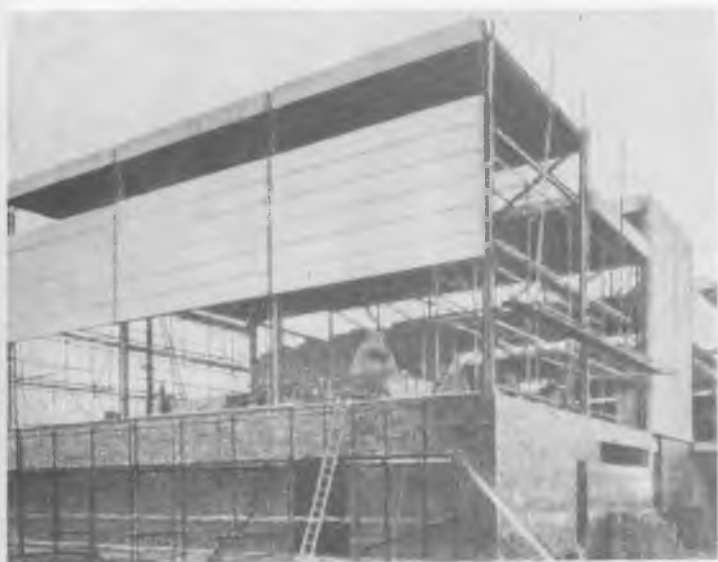


Рис.100. Горизонтальные стеновые панели из ячеистого бетона (Англия)



Рис.101. Стеновые панели переменной толщины из ячеистого бетона



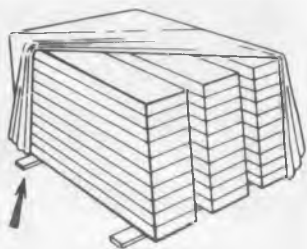
Рис.102. Стеновые элементы из ячеистого бетона (навешиваются с определенным шагом для создания архитектурного эффекта)

звукопоглощением, чем такие тяжелые материалы, как бетон и сталь. В соединении с другими материалами и при придании специальной формы ячеистый бетон характеризуется хорошим звукопоглощением. Материал легко поддается резке и другой обработке; крепление к нему различных предметов не затруднено. Чтобы рассчитать стоимость строительства с учетом удовлетворения этих требований, необходимо найти надлежащее конструктивное решение и учесть стоимость материала или изделий, выполненных из него, а также монтажа.

### 3.3. Производство работ

Для организации производства работ (монтажа) необходимо иметь следующую исходную информацию: предполагаемые методы строительства, требуемое оборудование и данные о рабочем времени. Так как ячеистобетонные элементы широко используются многие годы, то обычные методы возведения с

Рис.103. Хранение ячеистобетонных элементов на строительной площадке



учетом фактора времени изучены для определенного монтажного оборудования. Эти исследования, основанные на изучении большого числа операций, применяемых в практике строительства Швеции, собраны и обработаны Шведской строительной ассоциацией. Представленные ниже на рисунках методы монтажа применялись в 1967–1970 гг. и условно могут рассматриваться как обычные [1].

Данные о производстве работ относятся к определенному изделию, оборудованию, рабочей операции и численности рабочих в монтажной бригаде. При этом охватывается достаточно большой период времени, позволяющий оценить полное время, затрачиваемое на производство всех рабочих операций в результате применяемого метода, включая, например, возможное время простоя и т.д. Следует отметить, что данные результаты могут и не соответствовать практике других стран. Для того чтобы достоверно сравнить два различных материала, необходи-



Рис.104. Монтаж и стыкование плит покрытия  
1 – сборка автомобильным краном;  
2 – сборка деррик-краном с механическим вращением;  
3 – заделка швов



Рис. 105. Укладка ячеистобетонных плит в покрытие непосредственно с грузовика

мо иметь детальную информацию, относящуюся к использованию обоих материалов.

**Плиты покрытий (монтаж краном и стыкование).** Материал: плиты толщиной 150–225, шириной 500, длиной 3990–5990 мм. Используемое оборудование: кран, соединительные ножницы, зажим и лапчатый лом; при стыковании: кран меньшего размера, например специально для сборки, колесная тачка, бадья или емкость для заливки швов, а также другие необходимые инструменты.

Метод монтажа приведен на рис. 104, 105, схема операции — на рис. 106. Толстые линии и стрелки указывают на рассматриваемые операции. Длина этих стрелок обозначает относительное время производства операций для обычных условий.

Состав бригады: на сборке — двое рабочих, на стыковании — 3–5 рабочих.

Методика расчета рабочего времени приведена ниже и на рис. 107.

Продолжительность операции  
в расчете на плиту, чел.-ч

Монтаж краном	
Монтаж плиты, включая подъем краном . . . . .	0,064
Крепление накладных деталей . . . . .	0,032
Стыкование	
Подготовка материалов . . . . .	} См. рис. 107
Транспортирование . . . . .	
Заполнение швов . . . . .	
Укладка арматурного стержня в шов . . . . .	
Выравнивание швов . . . . .	
Очистка шва . . . . .	



Рис. 106. Схема процесса монтажа плит покрытия  
1 - монтаж каркаса; 2 - сборка; 3 - стыкование; 4 - покрытие; 5 - разгрузка

Время работы крана при укладке плит в штабели на складе и затраченное на укрытие материалов, например брезентом, не входит в указанное выше. Время на монтаж включает около 35% времени простоев, вызванных особенностями способа монтажа.

Время рабочей операции получают умножением нормативного времени для монтажа краном и времени, определенного по рис. 107, на коэффициент 1,4 (предельные значения коэффициента 1,3—1,6).

Монтаж плит покрытия показан на рис. 108. Хронометраж времени проводится в соответствии с данными табл. 6.

Таблица 6

Данные, используемые в качестве основы при определении времени монтажа плит покрытий

Показатели	Величина	
	средняя	предельная (от—до)
Длина плиты, м	5,3	3,99—5,99
Толщина плиты, см	17,9	15—22,5
Площадь плиты, м <sup>2</sup>	2,65	2—3
Полосовое железо на плиту, шт	2	1—2
Уклон покрытия, см/м	6,1	5,5—6,7
Высота над уровнем поверхности, м	7,9	4,5—15,5
Транспортирование передвижного крана/плита, число случаев	0,01	—

Примечания: 1. Средние величины использованы в методике расчета рабочего времени. 2. Предельные величины указаны от минимума до максимума применительно к конкретным случаям наблюдений.

Записи, составляющие основу для обоснования времени и перемещений, произведены на шести строительных площадках. Анализу подверглись сборка (около 120 плит) и стыкование (около 70 плит). До начала изучения процесса работы собрали минимум 150 и максимум 1200 плит (в среднем 650). Этот способ

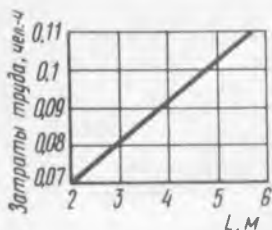


Рис.107. Затраты труда на монтаж плит покрытия



Рис.108. Монтаж плит покрытия (деталь)  
1 - уголковая накладная деталь; 2 - плита; 3 - балка

определения времени может рассматриваться как типичный для случаев сборки 500–700 плит.

Измерение времени, произведенное на других аналогичных строительных площадках, дало отклонение от расчетного значения. При монтаже (укладке плит) оно составило  $-15$  и  $+20\%$ . Такое отклонение является следствием учета практического опыта и влияния ряда других факторов. При стыковании (заливке швов) максимальное отклонение составило  $-35$  и  $+5\%$ . Таким образом, на одной из строительных площадок на стыкование израсходовано только  $65\%$  расчетного времени, что объясняется наличием определенных благоприятных условий.

Пример расчета. Монтаж и стыкование 100 плит длиной 499 см, каждая крепится двумя анкерами из полосового железа (см. рис.58 и 108). На монтаж одной плиты краном необходимо 0,096 чел.-ч, на 100 плит — 9,6 чел.-ч. Среднее рабочее время  $1,4 \times 9,6 = 13,4$  чел.-ч, а для бригады из двух человек — 6,7 ч; следовательно, в 1 ч бригада собирает  $100 : 6,7 \approx 15$  плит.

В соответствии с рис.107 требуется 0,1 чел.-ч на стыкование одной плиты, на 100 плит — 10 чел.-ч. Среднее рабочее время составляет  $1,4 \times 10 = 14$  чел.-ч. Бригада из трех человек израсходует до  $14 : 3 = 4,7$  ч и состыкует в 1 ч  $100 : 4,7 \approx 21$  плиту.

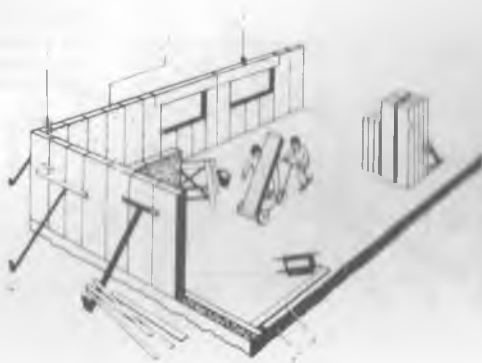
**Вертикальные стеновые плиты (монтаж краном или тележкой).** Материал: вертикальные элементы толщиной 150–250, шириной 500, высотой 830–3500 мм; перемычки шириной 150–250, высотой 200–500, длиной 900–2500 мм. Используемое оборудование: специальная тележка и необходимый для работы инструмент, информация на которые предоставляется изготовителем.

Метод монтажа приведен на рис.109, схема операции — на рис.110. Толстая линия и стрелка относятся к рассматриваемой операции. Бригада состоит из двух–трех рабочих.

Методика расчета рабочего времени приведена на рис.111.

Рис.109. Монтаж вертикальных стеновых плит

1 — возможная доборная деталь; 2 — стыковочный паз с раствором; 3 — перемычка; 4 — крепление; 5 — направляющая пластина; 6 — картон и (или) раствор



Продолжительность операции  
в расчете на элемент, чел.-ч

Монтаж с помощью тележки

Укладка раствора	.....	} см рис. 111
То же, картона	.....	
"    направляющей пластины	.....	
Выпиливание доборного элемента	.....	
Установка креплений	.....	
Заделка стыкового паза	.....	
Установка перемычек	.....	
Заполнение швов раствором	.....	

Элементы включают также перемычки и пластины. На рис.111 указана перевозка в одном направлении, т.е. фактический путь.

Продолжительность операции получают умножением нормативных величин расхода времени, по рис.111, на коэффициент 1,35. Предельные значения коэффициента 1,3—1,45.

Монтаж вертикальных стеновых плит показан на рис.109. Хронометраж проводился в соответствии с данными табл.7. Предельные величины указаны от минимума до максимума соответственно для конкретных случаев наблюдений. Хронометраж времени был начат после сборки около 1000 элементов.

Рис.110. Схема процесса монтажа вертикальных стеновых плит

1 — разгрузка; 2 — монтаж; 3 — мелкий ремонт; 4 — обработка поверхностей



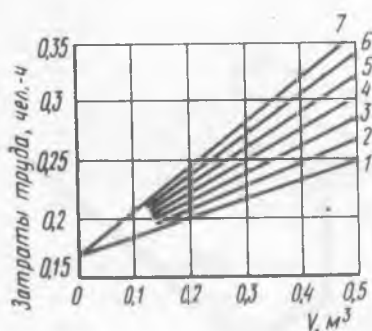


Рис. 111. Затраты труда на сборку вертикальных стеновых плит (в расчете на элемент) при расстоянии перевозки (м)  
 1 - 0; 2 - 5; 3 - 10; 4 - 15;  
 5 - 20; 6 - 25; 7 - 30

Таблица 7

Данные, используемые в качестве основы для определения времени монтажа стен из вертикальных плит

Показатели	Величина	
	средняя	предельная (от-до)
Объем элемента, м <sup>3</sup>	0,2	0,13-0,33
Площадь элемента, м <sup>2</sup>	1,1	0,9-1,3
Расстояние перевозки в одном направлении (фактический путь), м	11	5-27
Раствор/элемент, м	0,25	0,5
Картон/элемент, м	0,2	0,5
Направляющая подкладка/элемент, м	0,3	0,5
Перемычка/элемент, м	0,15	-
Заделка пазов в швах/элемент, м	0,04	0,13
Выпиливание доборной детали/элемент, м	0,03	0,1

Пример расчета. Монтаж дома, состоящего из 100 элементов, включая 15 м перемычек. Средний объем элементов 0,2 м<sup>3</sup>, среднее расстояние перевозки 15 м. В соответствии с рис. 111 сборка одного элемента требует до 0,22 чел.-ч, или 22 чел.-ч на 100 элементов. Продолжительность операции составит в среднем 1,35х22=29,7 чел.-ч, бригаде из 3 человек потребуется 29,7:3=9,9 ч. Таким образом, бригада собирает около 10 элементов в 1 ч.

Горизонтальные стеновые элементы из ячеистого бетона (монтаж краном). Материал: элементы со шпунтовым соединением или без него толщиной 150-200, высотой 500, длиной 900-5990 мм; металлическая или бетонная нащельная рейка и др. Используемое оборудование: для подъема груза, скобы и другие приспособления, необходимые для производства работ.



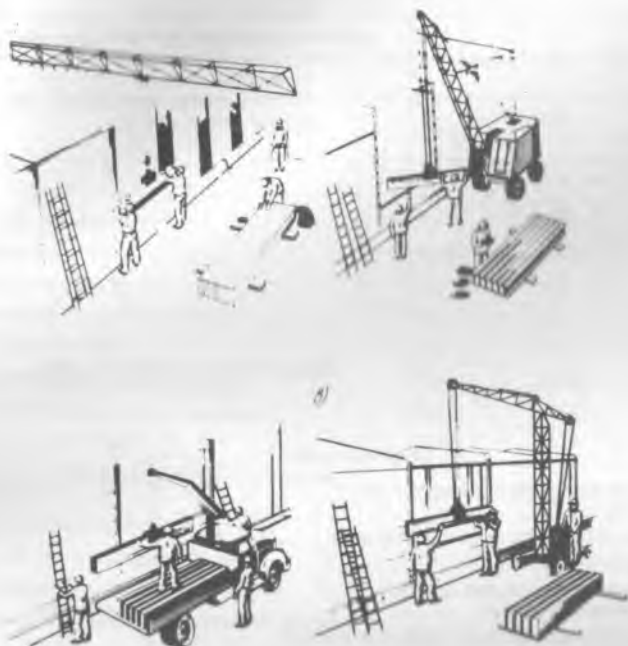


Рис. 112. Монтаж горизонтальных стеновых плит  
*a* — метод А (вращающийся или подвижный кран); *б* — метод Б (грузовик с краном); *в* — метод В (поворотный кран с ручным управлением)

Информацию о соответствующем инструменте можно получить от изготовителя.

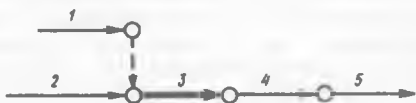
Методы монтажа (А, Б и В) представлены на рис.112. При производстве работ методами А и Б время работы крана не включается в указанное время.

Схема операции приведена на рис.113. Толстая линия и стрелка относятся к рассматриваемой операции. Бригада состоит из трех рабочих для каждого из методов.

Методика расчета рабочего времени приведена ниже.

Рис.113. Схема процесса монтажа горизонтальных стеновых плит

1 — разгрузка; 2 — сборка каркаса; 3 — монтаж; 4 — мелкий ремонт; 5 — отделка поверхностей



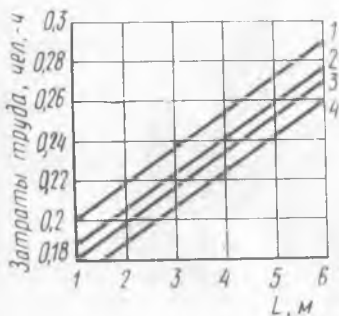


Рис.114. Затраты труда на сборку горизонтальных стеновых плит 1, 2 – бетонные нащельные рейки толщиной 150 и 200 мм; 3, 4 – металлические нащельные рейки толщиной 150 и 200 мм

Продолжительность операции по методу А в расчете на один элемент, чел.-ч

### Сборка краном

Устройство подстилающего слоя или картона .....	} см. рис. 114
Крепление соединительных планок .....	
Сборка элементов .....	
Установка нащельной доски, болтовое крепление .....	
Сверление элементов у угловых колонн .....	
Выпиливание доборного элемента .....	
Сборка элементов по углам .....	
Сборка вертикальных элементов .....	
Перемещение между пролетами. ....	

При производстве работ методами Б и В должно быть добавлено на каждый элемент соответственно 0,034 и 0,2 чел.-ч.

Продолжительность операции получают умножением нормативного времени, по рис.114, на коэффициент 1,35. Предельные значения коэффициента 1,3–1,45.

Детали монтажа горизонтальных элементов показаны на рис.115. Хронометраж проводился в соответствии с данными табл. 8. Предельные величины указаны от минимума до максимума соответственно для конкретных случаев наблюдений. Хронометраж времени был начат после сборки около 500 элементов.

Пример расчета. Сборка 10 пролетов с общим числом элементов 100 шт. площадью 250 м<sup>2</sup> по методу Б. Толщина элементов 150, средняя длина 5000 мм; нащельная рейка – металлическая. В соответствии с методикой расчета рабочего времени на установку одного элемента требуется 0,24+0,034= 0,274 чел.-ч, для 100 элементов – 27,4 чел.-ч. Продолжительность операции составит в среднем

Данные, использованные в качестве основы  
для определения времени монтажа стен из горизонтальных плит

Показатели	Величина	
	средняя	предельная (от-до)
Площадь элемента, м <sup>2</sup>	2,4	1,6-3
Высота стены, м	6	4-8
Длина элемента, м	4,6	3,1-6
Прокладки в швах/элемент, м	8,6	6,1-11,4
Болт/элемент, шт.	0,3	0,26-1,2
Нашельная рейка/элемент, м	0,3	0,26-1,1
Картон/элемент, м	0,03	0,41
Раствор/элемент, м	0,03	0,31
Сверление отверстий у угловых колонн/ элемент, шт.	0,05	0,01-0,1
Распиловка/элемент, м	0,02	0,22
Угловой элемент/элемент, шт.	0,1	0,05-0,2
Вертикальный элемент/элемент, шт.	0,03	0,1
Перемещение между пролетами/элемент, число случаев	0,16	0,11-0,19

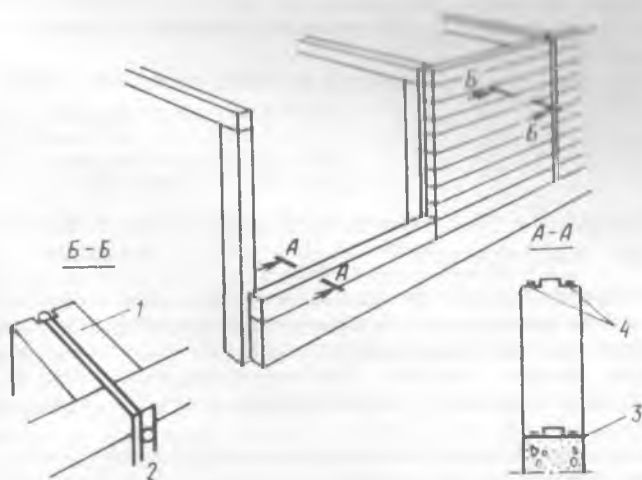


Рис. 115. Детали крепления  
1 — железобетонная колонна; 2 — металлическая рейка; 3 — картон, раствор или полоса из пенопластика; 4 — закрепленные пенопластиковые планки

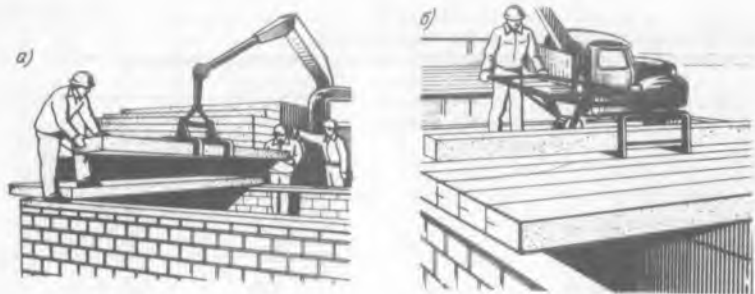


Рис. 116. Монтаж плит перекрытия с помощью крана (а) и тележки (б)

$27,4 \times 1,35 = 37$  чел.-ч, бригаде из трех человек потребуется  $37:3 = 12,3$  ч. Таким образом, бригада собирает  $100:12,3 \approx 8$  элементов в 1 ч, или  $20 \text{ м}^2$ .

**Ячеистобетонные плиты перекрытий (сборка с помощью тележки).** Материал: элементы толщиной 150–250, шириной 500, длиной 2240–4590 мм. Используемое оборудование: автокран типа Н1АВ, клещевой захват, тележка, струбцины и другие приспособления.

Метод монтажа показан на рис.116. Время работы крана не включается в указанное время.

Схема операции приведена на рис.117. Толстая линия и стрелка относятся к рассматриваемой операции. Бригада состоит из трех человек.

Методика расчета рабочего времени приведена ниже и на рис.118.

Продолжительность операции  
в расчете на один элемент, чел.-ч

Сборка краном . . . . .	0,1
Сборка с помощью тележки . . . . .	См.рис.118

Указанное время не включает время, необходимое для подготовки пазов для швов и коммуникационных отверстий, но содержит около 35% времени простоев, обусловленных особенностями самого метода. Расстояние перевозки (см.рис.118) предполагает перевозку в одном направлении, т.е. фактический путь.

Продолжительность операции получают умножением нормативных величин расходов времени, по рис.118, на коэффициент 1,3. Предельные значения коэффициента 1,2–1,5.

Сборка ячеистобетонных плит перекрытий показана на рис.116. Хронометраж проводился в соответствии с данными табл.9. Предельные величины указаны от минимума до

Рис.117. Схема процесса монтажа плиты перекрытия  
 1 — бетонирование или сборка опоры; 2 — разгрузка; 3 — монтаж



максимума соответственно для конкретных случаев наблюдений. Хронометраж времени был начат после сборки около 6(0) элементов.

Таблица 9

Данные, использованные в качестве основы для определения времени монтажа плит перекрытий

Показатели	Величина	
	средняя	продолжительная (от-до)
Объем элемента, м <sup>3</sup>	0,35	0,3—0,4
Площадь элемента, м <sup>2</sup>	1,6	1,6—1,6
Расстояние перевозок (фактический путь), м	7	3—17
Расстояние от уровня поверхности грунта до нижней грани плит, м	0,8	0,4—1,6

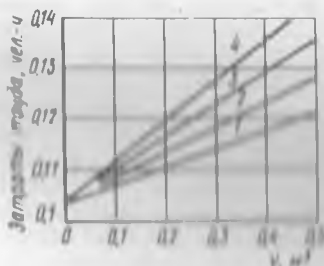


Рис.118. Затраты труда на сборку плит перекрытия (в расчете на элемент) при расстоянии перевозки (м) 1 — 10; 2 — 20; 3 — 30; 4 — 40

Пример расчета. Сборка 100 элементов (160 м<sup>2</sup>), из которых 50 шт. — краном и 50 шт. — тележкой. Среднее расстояние транспортирования 15 м, средний объем элемента 0,4 м<sup>3</sup>.

**Монтаж краном.** В соответствии с методикой расчета на сборку одного элемента требуется до 0,1 чел.-ч, на 50 элементов —  $50 \times 0,1 = 5$  чел.-ч. Продолжительность операции составит  $5,0 \times 1,3 = 6,5$  чел.-ч.

**Монтаж тележкой.** В соответствии с рис.118 на сборку одного элемента потребуется около 0,12 чел.-ч, на 50 элементов —  $50 \times 0,12 = 6$  чел.-ч. Продолжительность сборки 50 элементов с помощью тележки составит  $6 \times 1,3 = 7,8$  чел.-ч, полное рабочее время для 100 элементов —  $6,5 + 7,8 = 14,3$  чел.-ч. Бригаде из трех человек потребуется  $14,3 : 3 = 4,8$  ч. Таким образом, бригада в 1 ч собирает  $100 : 4,8 = 21$  элемент, или 33 м<sup>2</sup>.

## Литература

Fagerlund, G, "Connection between porosity and mechanical properties of materials", Division of Building Technology, Lung Institute of Technology, 1972.

Kruml, F, "Short and long-term deformation of structural lightweight aggregate concrete", International congress on lightweight concrete, London, 1968.

Künzel, H, "Gasbeton", Bauverlag GmbH, Berlin, 1971.

Makarichev, V V, Levin, NI and Baranov, A T, "Aerated concrete structures; design methods practised in the USSR", proceedings of the first international congress on lightweight concrete, London, 1968, Vol 1, pp 213-224.

Plonski, W, "Thermal conductivity and moisture content of autoclaved cellular concrete", Symposium on lightweight concrete, Crakow, May 1973.

6. Schäffler, H, "Druckfestigkeit Elastizitätsmodul und Schwinden", RILEM, 1960.

Sell, R, "Festigkeit und Verformung von Gasbeton unter zweiaxialer Druck-Zug-Beanspruchung Deutscher Ausschuss für Stahlbeton", Heft 209, Berlin, 1970.

Zehander, H, "Ein Messverfahren zur Bestimmung des Wasserdampf - Diffusions - Widerstandsfactors von Bau- und Wärmedämmstoffen", 1967.

CEB, Commission XII, Addendum to CEB recommendations on aerated concrete.

DIN 52611.

Institut für Bautechnik, Berlin, Zulassungsbescheide Bewehrte Dachplatten aus Gasbeton, 1972.

Soviet Standard OCT 11118-73, GOST 11118-73, Autoclaved cellular concrete panels for exterior walls of buildings, (in Russian).

## Содержание

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	6
1. Производство и свойства ячеистого бетона . . . . .	6
1.1. Сырье и производство . . . . .	6
1.2. Свойства ячеистого бетона . . . . .	8
Литература . . . . .	19
2. Проектирование . . . . .	21
2.1. Планировочный модуль . . . . .	21
2.2. Проектирование арматуры . . . . .	21
2.3. Составные конструкции . . . . .	22
2.4. Конструктивные детали . . . . .	25
2.5. Крепежные детали . . . . .	44
2.6. Звукоизоляция и звукопоглощение . . . . .	47
2.7. Теплотехнические расчеты . . . . .	56
2.8. Расчет влажности . . . . .	59
2.9. Огнестойкость . . . . .	61
2.10. Отделка поверхностей . . . . .	64
Литература . . . . .	67
3. Экономика . . . . .	68
3.1. Транспортирование . . . . .	69
3.2. Свойства и функции ячеистого бетона и здания . . . . .	71
3.3. Производство работ . . . . .	74
Литература . . . . .	86

**Автоклавный ячеистый бетон**  
Редакция переводных изданий  
Зав. редакцией М. В. Перевалюк  
Редактор Р. Л. Рощина  
Мл. редактор Е. А. Дубченко  
Внешнее оформление художника И. А. Шилева  
Технический редактор И. В. Берина  
Корректор Э. Г. Ляпорова  
**ИБ №2736**

---

Подписано в печать 29.2.80      Формат 84 x 108/32  
Набор машинописный      Печать офсетная  
Бумага офсетная 80 г/м<sup>2</sup>      Усл. печ. л. 4,62      Уч. изд. л. 4,93  
Тираж 3000      Изд. № АУ1-8724  
Заказ № 78      Цена 35 коп.

---

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а  
Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
г. Тула, пр. Ленина, 109