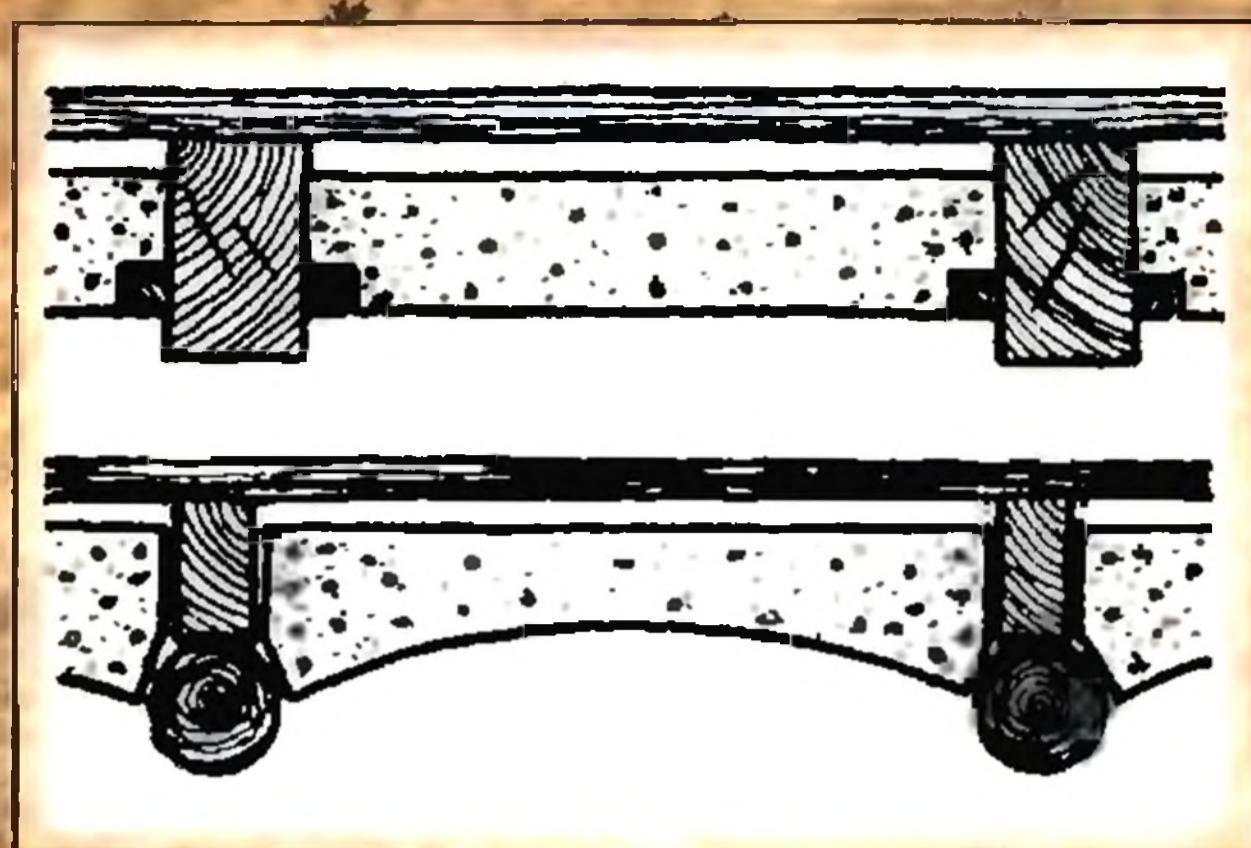
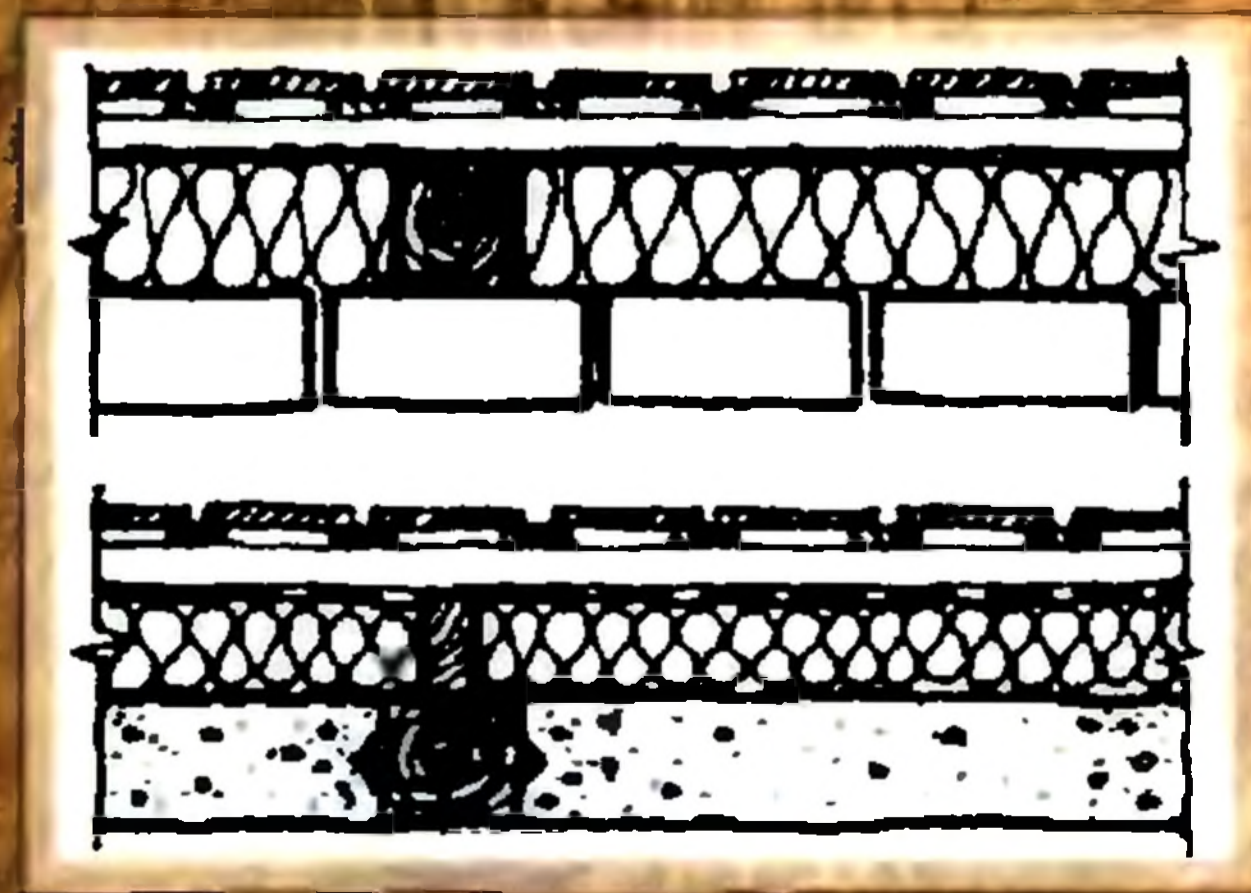
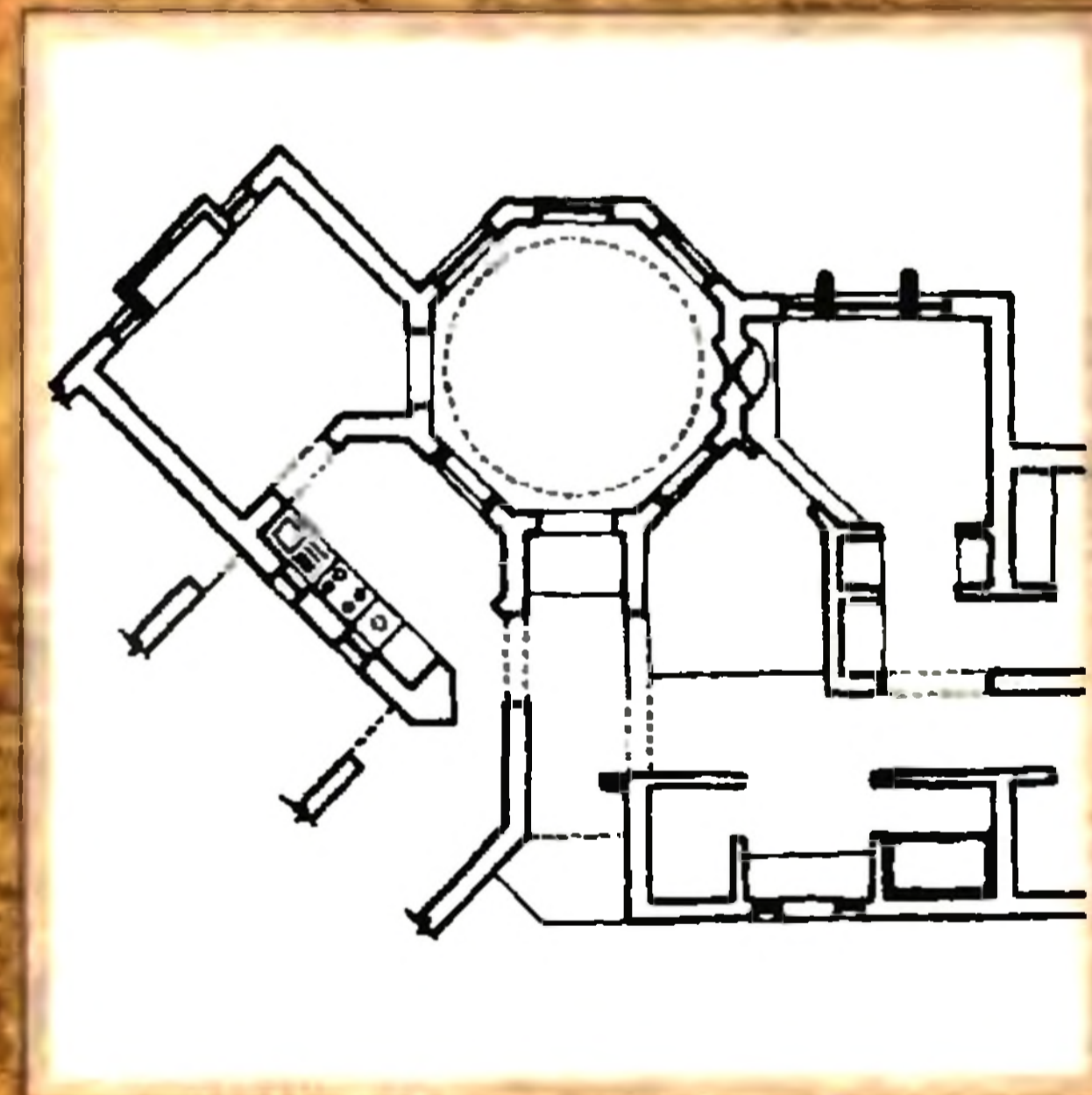
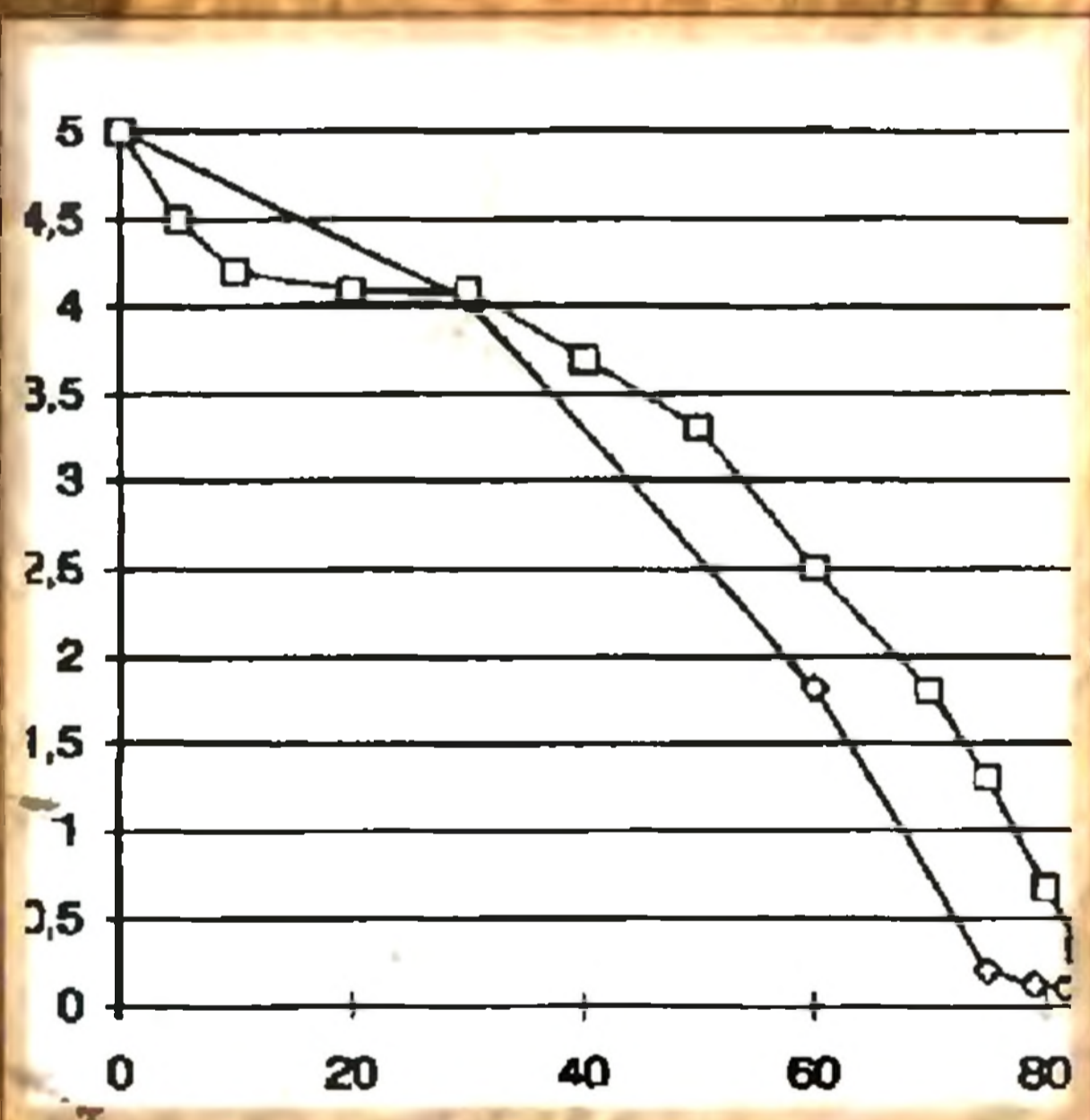


Гернот Минке



ГЛИНОБЕТОН И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ





Гернот Минке

ГЛИНОБЕТОН

И ЕГО
ПРИМЕНЕНИЕ

УДК 696.5
ББК 38.6
М 61

Минке Г.

М 61 Глинобетон и его применение / Г. Минке. — Калининград : ФГУИПП «Янтарный сказ», 2004. — 232 с.

ISBN 5-7406-0756-6: Б. ц., 2000 экз.

УДК 696.5
ББК 38.6

Книга знакомит читателей с зарубежным опытом возведения конструкций из глинобетона. В ней рассматриваются вопросы улучшения его свойств, проектирования частей грунтовых зданий, способы защиты глиносырцовых поверхностей от атмосферных воздействий и т. д. В книге сочетаются теория с конкретными практическими рекомендациями. Она будет полезна инженерам-проектировщикам, строителям, архитекторам, частным застройщикам, а также студентам строительных специальностей. Книга прекрасно иллюстрирована, что усиливает ее прикладную значимость.

ISBN 5-7406-0756-6

© Г. Минке, 2004
© ФГУИПП «Янтарный сказ», 2004

Содержание

Предисловие	8	2.5.5. Коэффициент температуропроводности	39
Благодарности	9	2.5.6. Теплоустойчивость	39
1. Введение	11	2.5.7. Тепловое расширение	40
1.1. Общие сведения	11	2.5.8. Огнестойкость	40
1.2. Историческая справка	11	2.6. Прочность	40
1.3. Недостатки глинистых грунтов и преимуществ глиносырцовых материалов ..	14	2.6.1. Прочность при растяжении	40
1.4. Улучшение климата помещений	17	2.6.2. Прочность при сжатии	41
1.4.1. Общие сведения	17	2.6.3. Прочность при растяжении в сухом состоянии	41
1.4.2. Влияние влажности воздуха на здоровье	17	2.6.4. Прочность при изгибе в сухом состоянии	41
1.4.3. Влияние воздухообмена на влажность воздуха	18	2.6.5. Прочность сцепления	41
1.4.4. Способность глинобетона регулировать влажность	18	2.6.6. Сопротивление истиранию	42
1.5. Предубежденное отношение к глиносырцовым материалам	20	2.6.7. Модуль упругости	42
2. Свойства глинистых грунтов и глинобетона	22	2.7. Значение pH	42
2.1. Основные свойства	22	2.8. Радиоактивность	42
2.1.1. Общие сведения	22	3. Подготовка глинистого грунта	43
2.1.2. Минеральный состав глинистых грунтов	22	3.1. Общие сведения	43
2.1.3. Пыль, песок, гравий	23	3.2. Подготовка грунта и приготовление смеси	43
2.1.4. Зерновой состав глинистых грунтов ..	23	3.3. Просеивание	46
2.1.5. Состав органической части грунтов ..	23	3.4. Обогащение	46
2.1.6. Формы воды в грунтах	23	3.5. Вылеживание	46
2.1.7. Пористость	24	3.6. Отопление	46
2.1.8. Удельная поверхность	24	4. Улучшение свойств глинобетона	47
2.1.9. Плотность	24	4.1. Общие сведения	47
2.2. Методы испытаний глинистых грунтов	24	4.2. Снижение усадки глинобетона	47
2.2.1. Общие сведения	24	4.2.1. Общие сведения	47
2.2.2. Определение гранулометрического состава глинистых грунтов ареометрическим и ситовым методами	24	4.2.2. Расход песка	47
2.2.3. Определение влажности грунта	25	4.2.3. Пластифицирующие добавки	48
2.2.4. Упрощенные методы испытаний	25	4.2.4. Волокнистые добавки	48
2.3. Влияние воды	28	4.2.5. Конструктивные мероприятия	48
2.3.1. Общие сведения	28	4.3. Повышение водостойкости	49
2.3.2. Набухание и усадка глинистых грунтов	28	4.3.1. Общие сведения	49
2.3.3. Определение линейной усадки	28	4.3.2. Минеральные вяжущие вещества	49
2.3.4. Пластичность	29	4.3.3. Добавки животного происхождения ..	50
2.3.5. Капиллярное всасывание	31	4.3.4. Смешанные добавки	50
2.3.6. Водостойкость	33	4.3.5. Добавки растительного происхождения	50
2.3.7. Переменное увлажнение и высыхание	33	4.3.6. Синтетические добавки	50
2.3.8. Эрозия при воздействии дождя и мороза	33	4.4. Повышение прочности при растяжении	51
2.3.9. Время сушки	34	4.4.1. Общие сведения	51
2.4. Влияние водяных паров	35	4.4.2. Время перемешивания	51
2.4.1. Общие сведения	35	4.4.3. Содержание глинистого вещества ..	51
2.4.2. Диффузия пара через глинобетонную конструкцию	35	4.4.4. Добавки	52
2.4.3. Гигроскопическая равновесная влажность	35	4.5. Повышение прочности при сжатии ..	52
2.4.4. Образование конденсата	37	4.5.1. Общие сведения	52
2.5. Теплопроводность	38	4.5.2. Оптимизация гранулометрического состава	52
2.5.1. Общие сведения	38	4.5.3. Подготовка исходных грунтов	53
2.5.2. Коэффициент теплопроводности	38	4.5.4. Уплотнение	53
2.5.3. Удельная теплоемкость (коэффициент теплоемкости)	39	4.5.5. Минеральные добавки	54
2.5.4. Теплоемкость	39	4.5.6. Органические добавки	57
		4.5.7. Волокнистые добавки	57
		4.6. Повышение прочности на истирание ..	57
		4.7. Повышение теплопроводности	58
		4.7.1. Общие сведения	58
		4.7.2. Легкий глинофибробетон	58
		4.7.3. Легкий глинобетон на минеральном заполнителе	59
		4.7.4. Легкий глинопробкобетон	60
		4.7.5. Легкий глинодеревобетон	61
		4.7.6. Глиногазобетон	61

5.	Возведение стен из тяжелого глинобетона	62	10.2.	Опалубка	107
5.1.	Общие сведения	62	10.3.	Стены из глинобетона на органическом заполнителе (солома)	108
5.2.	Опалубка	63	10.4.	Стены из глинобетона на органическом заполнителе (стружка, опилки)	109
5.3.	Ручной инструмент и оборудование ...	64	10.5.	Стены из глинобетона на минеральном заполнителе	109
5.4.	Укладка глинобетонной смеси	67	10.5.1.	Общие сведения	109
5.5.	Устройство проемов	67	10.5.2.	Стены из глинопемзобетона	110
5.6.	Новые способы возведения стен	67	10.5.3.	Стены из глинокерамзитобетона	111
5.6.1.	Кассельский способ возведения монолитных глинобетонных конструкций ...	67	10.5.4.	Перекачивание глинобетонной смеси бетононасосами	112
5.6.2.	Механизированная технология	69	10.5.5.	Обработка поверхности	114
5.6.3.	Каркасные дома со стенами из монолитного цементогрунта	70	10.6.	Тепло- и звукоизоляция перекрытий из глинобетона на минеральном заполнителе	114
5.6.4.	Односторонняя и несъемная опалубки ..	70	10.7.	Стены из мелкоштучных пустотелых блоков	114
5.7.	Монолитный глинобетонный купол ...	72	10.8.	Стены из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке	115
5.8.	Сушка	72	11.	Глиняная штукатурка	118
5.9.	Трудозатраты	73	11.1.	Общие сведения	118
5.10.	Сопrotивление теплопередачи	73	11.2.	Подготовка поверхности	118
5.11.	Обработка поверхности	73	11.3.	Глиняные штукатурные растворы	119
6.	Технология кладки из глинобетонного кирпича	74	11.3.1.	Общие сведения	119
6.1.	Общие сведения	74	11.3.2.	Наружная глиняная штукатурка	119
6.2.	Ретроспективный обзор	74	11.3.3.	Глиняный раствор для внутренних работ	119
6.3.	Изготовление глинобетонного кирпича ..	75	11.4.	Правила нанесения штукатурного раствора на глиносырцовые стены	120
6.4.	Оптимальный состав смеси	80	11.5.	Торкретштукатурка	120
6.5.	Кладка из глинобетонного кирпича ...	80	11.6.	Глинокерамзитовая штукатурка	121
6.6.	Обработка поверхностей	82	11.7.	Африканская штукатурка	121
6.7.	Крепление к стенам из глинобетонного кирпича	82	11.8.	Глиняная штукатурка на соломенных стенах	121
7.	Изделия и конструкции из глинобетона	83	11.9.	Лепные работы на глиняной штукатурке	121
7.1.	Общие сведения	83	11.10.	Защита углов	122
7.2.	Блоки	83	12.	Защита глинобетонных поверхностей от атмосферных воздействий	123
7.3.	Плиты	86	12.1.	Общие сведения	123
7.4.	Изделия для перекрытий	88	12.2.	Традиционный способ затирки глинобетонной поверхности	123
7.5.	Конструкции сводов	88	12.3.	Защита окрасочными покрытиями ...	123
7.6.	Глиносоломенный гонт	88	12.3.1.	Общие сведения	123
7.7.	Напольные плитки	89	12.3.2.	Огрунтовка поверхности	123
8.	Технология кладки из пластичных глинобетонных изделий	90	12.3.3.	Рекомендуемые окрасочные составы ...	123
8.1.	Общие сведения	90	12.3.4.	Паропроницаемость	125
8.2.	Традиционные технологии кладки из пластичных глиносырцовых материалов	91	12.3.5.	Влияние коэффициента капиллярного всасывания	125
8.3.	Глиносырцовые «батоны»	93	12.4.	Защита водоотталкивающими покрытиями	126
8.4.	Технология кладки из глиносырцовых изделий	96	12.4.1.	Гидрофобные средства	126
8.4.1.	Общие сведения	96	12.4.2.	Нанесение гидрофобных средств	126
8.4.2.	Изготовление глиносырцовых изделий ..	96	12.4.3.	Дождевание	126
8.4.3.	Оптимизация состава глинобетона ...	97	12.5.	Защита известковой штукатуркой ...	127
8.4.4.	Кладка из пластичных изделий	97	12.5.1.	Общие сведения	127
8.4.5.	Варианты стен	100	12.5.2.	Подготовка поверхности под штукатуривание и ее обрызг	127
8.4.6.	Кладка куполов	102	12.5.3.	Армирование	128
9.	Возведение глиносырцовых стен каркасных зданий	103	12.5.4.	Состав	128
9.1.	Общие сведения	103	12.5.5.	Нанесение штукатурного раствора ...	128
9.2.	Традиционные способы возведения глиносырцовых стен	103	12.5.6.	Паропроницаемость известковых штукатурок	128
9.3.	Механизированный способ нанесения глинобетонной смеси	103	12.6.	Защита облицовкой	130
9.4.	Вальковые стены	104	12.7.	Конструктивные мероприятия	130
9.5.	Повышение теплозащиты стен	106	12.7.1.	Защита от дождя	130
9.6.	Современная технология кладки из глиносырцовых изделий	106	12.7.2.	Гидроизоляция стен	130
10.	Возведение стен из легкого глинобетона	107			
10.1.	Общие сведения	107			

12.7.3.	Защита от воды во внутренних помещениях	130	14.10.	Встроенная мебель и санитарно-технические приборы из глинобетона ...	161
13.	Ремонт глиносырцовых стен	131	14.11.	Печи из глинобетона	163
13.1.	Общие сведения	131	14.11.1.	Печи с экономичным потреблением древесины	164
13.2.	Причины возникновения повреждений	131	14.11.2.	Печь с подогреваемым ложем	165
13.3.	Заделка трещин и швов глино-цементными и глиноизвестковыми растворами	131	14.11.3.	Печь для приготовления пиццы	165
13.3.1.	Общие сведения	131	14.12.	Гидроизоляция водоемов из глинобетона	166
13.3.2.	Составы растворов для заделки швов ..	131	14.12.1.	Общие сведения	166
13.3.3.	Заделка швов	131	14.12.2.	Устройство монолитной глинобетонной гидроизоляции	166
13.4.	Заделка трещин и швов традиционными растворами	131	14.12.3.	Гидроизоляция из кирпича-сырца	166
13.4.1.	Общие сведения	131	14.12.4.	Гидроизоляция из пластичных глиносырцовых изделий	166
13.4.2.	Традиционные составы	131	14.12.5.	Гидроизоляционное полотно	166
13.5.	Ремонт стен	132	14.13.	Сейсмостойкие глинобетонные здания	167
13.5.1.	Ремонт глиняной штукатурки	132	14.13.1.	Общие сведения	167
13.5.2.	Грунтовочные составы	132	14.13.2.	Конструктивные мероприятия	167
13.6.	Повышение термического сопротивления стен	132	14.13.3.	Влияние формы здания на устойчивость при землетрясении	168
13.6.1.	Общие сведения	132	14.13.4.	Монолитные глинобетонные стены, армированные бамбуком	170
13.6.2.	Причина образования конденсата	132	14.13.5.	Грунтовые стены в тканевой оболочке ...	173
13.6.3.	Мероприятия по теплозащите	133	15.	Новое строительство из глинобетона ..	175
13.6.4.	Дополнительная теплоизоляция стен легким глинобетоном	133	15.1.	Общие сведения	175
13.6.5.	Дополнительная теплоизоляция стен эффективными мелкоштучными изделиями заводского изготовления	133	15.2.	Жилой дом, Хёрнеркирхен, Германия	175
14.	Конструктивные решения частей глиносырцовых зданий	134	15.3.	Жилой дом со студией, Зиген, Германия	177
14.1.	Контурные соединения	134	15.4.	Два смежных дома, Кассель, Германия	177
14.2.	Стены	136	15.5.	Жилой дом с офисом, Кассель, Германия	182
14.2.1.	Глинобетонные стены с высоким термическим сопротивлением	136	15.6.	Жилой дом, Корбек-Ло, Бельгия	186
14.2.2.	Стены из старых автомобильных покрышек, заполненных глинистым грунтом ...	136	15.7.	Общежитие для семинаристов Всемирного духовного университета, Маунт-Абу, Раджастан, Индия	187
14.3.	Перекрытия	137	15.8.	Жилой дом в Тасконе, Аризона, США ..	189
14.3.1.	Традиционные перекрытия	137	15.9.	Фермерский дом, Вазирпур, Индия ...	190
14.3.2.	Современные перекрытия	138	15.10.	Жилой дом в Ла-Пасе, Боливия	193
14.4.	Полы	138	15.11.	Жилой дом в Турку, Финляндия	195
14.4.1.	Общие сведения	138	15.12.	Дом Берна Фельзенау, Швейцария ...	197
14.4.2.	Традиционные грунтовые полы	139	15.13.	Детский дом в Калининграде, Россия ...	198
14.4.3.	Современные грунтовые полы	140	15.14.	Дом на три семьи, Штайн-на-Рейне, Швейцария	200
14.5.	Теплоизоляция скатных крыш легким глинобетоном	142	15.15.	Детский сад, Сарсум, Германия	202
14.6.	Крыши	142	15.16.	Офисное здание, Нью-Дели, Индия ...	206
14.6.1.	Общие сведения	142	15.17.	Здание антропософической школы, Йерна, Швеция	208
14.6.2.	Традиционные крыши из глиносырцовых материалов	142	15.18.	Панафриканский институт развития, Уагадугу, Буркина-Фасо (Верхняя Вольта)	210
14.6.3.	Современные скатные крыши из глинобетона	143	15.19.	Церковь в Йерне, Швеция	213
14.7.	Сводчатые и куполообразные крыши ..	144	15.20.	Часовня примирения, Берлин, Германия	214
14.7.1.	Общие сведения	144	15.21.	Общежитие для студентов, Кассель, Германия	216
14.7.2.	Геометрические формы сводов	145	15.22.	Поселок Дружный, Беларусь	218
14.7.3.	Статика сводчатых конструкций	146	15.23.	Оздоровительный центр, Вёль, Германия	223
14.7.4.	Нубийские своды	150	16.	Перспективы строительства из глинобетона	225
14.7.5.	Афганские и персидские купола	153	17.	Список использованной литературы ...	226
14.7.6.	Нубийские купола	154	18.	Авторы фотографий	228
14.7.7.	Купол оптимальной формы	155			
14.7.8.	Возведение куполов и сводов при помощи опалубки	157			
14.7.9.	Обжиг грунтовых куполов	157			
14.7.10.	Современные здания с куполообразными крышами из глинобетона	158			
14.8.	Грунтовая стена в зимнем саду	161			
14.9.	Применение глинобетона в ванных комнатах	161			

Предисловие к русскому изданию

Предлагаемая вниманию читателей книга Гернота Минке «Глинобетон и его применение» является пятым изданием и вышла в свет в ряде зарубежных стран.

Интерес к глиносырцовым материалам, изготовленным из связных грунтов (глин, суглинков, супесей) без обжига, в последние годы значительно возрос.

Грунтовые строительные материалы разделяют на водостойкие и неводостойкие. К водостойким относят грунтобетон (или цементогрунт), где в качестве вяжущего применяют цемент (известь, гипс и т.п.). У неводостойких глиносырцовых материалов (глинобетон) связующим являются глинистые частицы размером менее 0,005 мм. В качестве заполнителей в глинобетоне применяют местные органические (солома, льняная и конопляная костра и т.п.) и минеральные (песок, гравий и т.п.) материалы.

Практический интерес представляют данные о свойствах глиносырцовых материалов, применение которых в жилищном строительстве позволит регулировать влажность и создавать благоприятный климат в помещении, а также результаты исследований по влиянию сводчатых и куполообразных покрытий из глинобетона на психологическое состояние жильцов.

В русском издании книги сохранена классификация глинобетона, принятая в Германии, которая в определенной мере отличается от отечественной. Монография знакомит читателей с немецкими стандартами и методами испытаний, а также с зарубежным опытом возведения конструкций и применения глинобетона. Кроме того, многие специальные понятия, применяемые в строительной отрасли Германии, не имеют прямых аналогов в русском языке, в связи с чем пришлось расширить существующую терминологию. По этой причине пришлось отказаться от предметного указателя в русском издании, имеющегося в ориги-

нале, так как при отсутствии многих точных терминологических аналогов в русском языке этот указатель теряет свой смысл.

Главным преимуществом книги является ее комплексность. В ней охвачены все основные вопросы: улучшение свойств глинобетона, защита глиносырцовых поверхностей от атмосферных воздействий, проектирование частей грунтовых зданий, технологии возведения конструкций. Большой интерес представляет раздел, посвященный устойчивости куполообразных и сводчатых покрытий из глинобетона.

Такое многоплановое издание в отечественной литературе отсутствует, поэтому опубликование книги в России восполняет этот пробел. В книге сочетаются теоретическая проработка вопросов с конкретными практическими рекомендациями. Монография прекрасно иллюстрирована, что повышает наглядность изложения, насыщена большим количеством примеров практического характера, что усиливает ее прикладную значимость.

Для широкого круга отечественных специалистов, безусловно, представит интерес богатый зарубежный опыт грунтового строительства.

Следует полагать, что русское издание книги «Глинобетон и его применение» заинтересует широкий круг российских читателей. Ее можно рекомендовать инженерам-проектировщикам, строителям и архитекторам. Книга может служить учебным пособием по курсам: строительные материалы и технология строительного производства. Монография может быть полезна для студентов и аспирантов строительных специальностей, а также представит значительный интерес для частных застройщиков.

Е. А. Прозоров, канд. техн. наук, зав. лабораторией АОЗТ
«ЦНИИОМТП»

Предисловие

Настоящая книга написана по причине растущего во всем мире интереса к строительству из глинистых грунтов. В ней содержатся все опубликованные до настоящего времени исследования в этой области, а также современные данные, полученные в результате научно-исследовательских работ, проведенных начиная с 1978 г. в лаборатории экспериментального строительства (FEB) Кассельского университета.

В монографию вошли разработки Кассельского бюро по проектированию экологического строительства, внедренные в практику.

При работе над настоящей редакцией за основу была принята немецкая монография *Lehmbau-Handbuch* (Издательство Okobuch Verlag, Staufen 1994). Однако речь идет не о прямом переводе, автор переработал и обновил текст с учетом требований международной аудитории. Некоторые разделы увеличены, рассматривается большее количество проектов, добавлены иллюстрации, а информация, представляющая интерес в основном для читателей в Германии, сокращена.

Первая глава знакомит читателей с сырьем для изготовления глиносырцовых материалов, рассказывает об истории строительства из глинистых грунтов. В ней описывается способность глинобетона регулировать влажность внутри помещений.

Во второй главе представлены результаты исследований свойств глинистых грунтов и глинобетона различных составов. Большая часть этих исследований получена в последнее время.

Третья глава описывает способы подготовки глинистых грунтов, а четвертая посвящена улучшению физико-механических свойств глинобетона.

Следующие семь глав рассказывают о технологиях изготовления глиносырцовых материалов и изделий, а также способах возведения стен на основе глинистых грунтов.

Двенадцатая глава объясняет, как глинобетонные здания и сооружения можно защитить от атмосферных воздействий.

Тринадцатая глава содержит основные рекомендации по ремонту зданий из глиносырцовых материалов.

В четырнадцатой главе приводятся различные конструктивные решения частей глиносырцовых зданий, содержатся сведения о современных технологиях возведения сводов и куполов, рассматриваются подходы к проектированию зданий, устойчивых к землетрясениям, а также даются примеры применения глинобетона в ваннных комнатах.

Пятнадцатая глава иллюстрирует проекты общественных и жилых зданий из глинобетона, построенных в разных уголках мира.

Приведенные в монографии теоретические и экспериментальные данные могут служить руководством по строительству из глинобетона для инженеров, архитекторов, подрядчиков, заказчиков, а также читателей, которые хотели бы работать с самым древним строительным материалом.

Благодарности

Автор выражает благодарность всем студентам, ассистентам и коллегам, которые оказали большую помощь при проведении научных исследований в Германии, Гватемале, Эквадоре, Венгрии и Индии. Именно благодаря им настоящая книга содержит значительное количество экспериментальных данных.

Особую благодарность следует выразить ассистентам Х. Г. Мерцу, Ульриху Мерцу, Клаусу Экарту, Улле Люстиг-Рёсслер, Киран Макери, Ульриху Бёмансу, Уве Йеншу, а также техническим специалистам Дитмару Хекену, Франку Миллису, которые создали современное оборудование для проведения испытаний, и наконец, но не в последнюю очередь, секретарю Хильтруде Люденс, которая напечатала рукопись.

Автор также хотел бы поблагодарить Павана Кума-

ра и Анку Любенов, которые помогали в создании рисунков и чертежей, Ульриха Бёманса, Зигрида Кёстер, Уве Йенша и Фридеманна Малке, которые работали над компьютерной графикой, Анатолия Токина, Николая Завражина, Николая Новицкого, Юрия Громова, Евгения Прозорова за научное редактирование текста, переводчиков Александра Крючкова, Руслана Мурашкина, Лидию Рыжкову и Елену Гребельскую, литературного редактора Инну Корнелюк и издателя Анатолия Махлова.

Кассель, август 2002 г.
Гернот Минке

1. Введение

1.1. Общие сведения

Глинистые грунты являются основным сырьем для производства строительных материалов почти во всех странах с умеренным и сухим климатом. Даже сейчас треть населения планеты и больше 50% граждан в развивающихся странах живут в домах, построенных из глиносырцовых материалов. Спрос на жилье в развивающихся странах настолько велик, что для его удовлетворения не хватает ни строительных материалов — кирпича, бетона или стали, ни современных технологий. Ни в одной стране мира нет производственных и финансовых ресурсов, способных удовлетворить нужды такого масштаба. Этого можно добиться только за счет местных строительных материалов и строительства своими силами.

Глинистые грунты — местное сырье для производства строительного материала, имеющиеся почти во всех регионах мира. Часто их выбирают прямо на строительной площадке в ходе земляных работ при устройстве фундамента. Бездумное использование природных ресурсов в промышленно развитых странах, а также действующие централизованные капиталоемкие производственные системы не только не рациональны, но и приводят к загрязнению окружающей среды и способствуют росту безработицы. Сегодня в этих странах пересматриваются позиции в отношении возможности использования грунтов в строительстве. Среди людей, строящих себе дома, растет спрос на экономически и энергетически эффективное строительство, при котором уделялось бы больше внимания здоровому и сбалансированному климату помещений. Они начинают понимать, что глиносырцовые материалы по своим свойствам превосходят такие традиционные строительные материалы, как, например, бетон, обожжен-

ный и автоклавный кирпич. Современные технологии грунтового строительства позволяют применять местное сырье — глинистые грунты не только при строительстве жилых домов своими силами, но и при строительстве общественных и промышленных зданий, с привлечением подрядных организаций.

В монографии приводятся теоретические положения технологии глинобетона, а также руководства по применению грунтов, основывающиеся на научных исследованиях и практическом опыте.

1. 2. Историческая справка

Технологии грунтового строительства известны уже более девяти тысяч лет. В Туркмении обнаружены дома из грунтовых кирпичей, построенные в 8—6 тысячелетиях до н. э. (Пампелли, 1908 г.). В Ассирии до сих пор сохранились глинобитные фундаменты, которые были заложены приблизительно в 5 тысячелетии до н. э. Во всех древних цивилизациях глинистый грунт использовался не только для строительства жилых домов, но и для культовых сооружений. На рис. 1.2-1 представлены своды храма Рамзеса II в Гурне (Египет) которые были построены из грунтового кирпича 3200 лет назад. На рис. 1.2-2 и 1.2-3 изображены мечети в Мали и Персии, построенные аналогичным способом.

Великая Китайская Стена, которой исполнилось уже 4000 лет, сначала была полностью глинобитной, и только позже ее облицевали, из-за чего кажется, что она сделана из камня. В ядро Солнечной Пирамиды, расположенной в Теотихуакане (Мексика) и построенной в 300—900 гг. н. э., уложено приблизительно 2 миллиона тонн утрамбованной глиномассы.

В засушливых регионах, бедных древесиной, много



1.2-1 Своды храма Рамзеса II в Гурне, Египет



1.2-2 Большая мечеть, Мопти, Мали



1.2-3 Мечеть, Кашан, Иран

веков назад сводчатые или куполообразные покрытия устраивали без опалубки, из сырцовых кирпичей. На рис. 1.2-4 изображен базар в Седжане (Персия) со сводчатыми и куполообразными крышами. Двадцать миллионов человек в Китае живут в землянках или пещерах.

Находки эпохи Бронзового Века свидетельствуют о том, что в Германии глинистый грунт применялся для заполнения стен и их оштукатуривания в деревянных каркасных зданиях. В этот же период возводили глиноплетневые, глиновальковые и турлучные стены в фахверковых домах. Самые древние стены из грунтового кирпича в Германии, найденные в Форте Хайнебург в окрестностях озера Констанс, построены в 6 в. до н. э. В древних рукописях Плиниуса упоминаются глинобитные форты, возведенные в Испании в конце 100 г. до н. э.

Грунтовые постройки были распространены почти во всех доколумбовых цивилизациях, существовавших на территории Мексики, Центральной и Южной Америки. Технологии грунтового строительства были известны и в других регионах. В некоторые из них они были завезены испанскими завоевателями. На рисунке 1.2-5 изображена глинобитная ферма, построенная в Бразилии в городе Сан-Паулу, 250 лет назад.

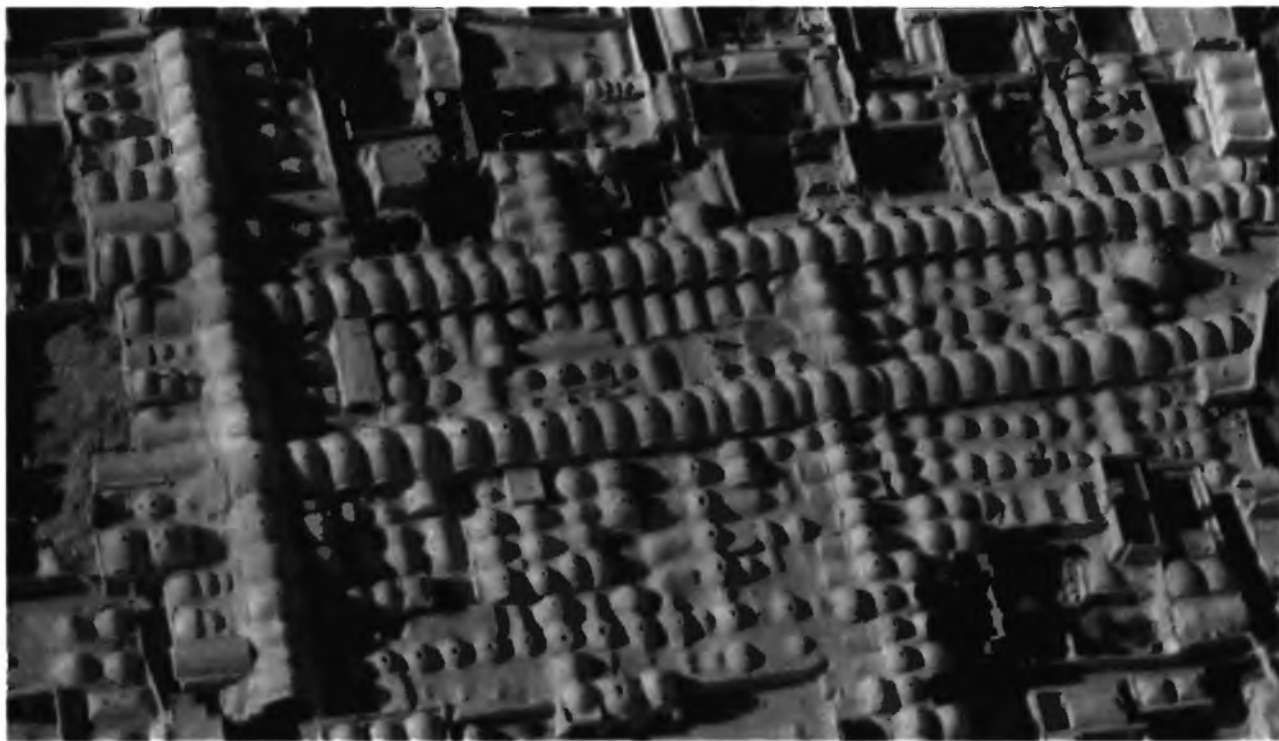
В средневековой Центральной Европе (13—17 вв. нашей эры) глинистым грунтом заполняли стены деревянных каркасных домов, а также обмазывали соломенную кровлю, обеспечивая тем самым огнестойкость сооружений. На рисунке 1.2-6 показан склад,

построенный в 16 в., кровельное покрытие которого выполнено из предварительно вымоченных в глинистом растворе соломенных гонтов.

Глинобитное строительство было широко распространено во Франции с 15 по 19 вв. нашей эры. В окрестностях Лиона до сегодняшнего дня сохранились многие жилые дома, построенные по технологии «Пизе», которым уже больше трех столетий. В 1790 и 1791 гг. Франсуа Куантеро издал руководство по глинобитному строительству в четырех частях, которое через два года было переведено на немецкий язык. Технология «Пизе» стала известна в Германии и соседних странах не только благодаря Куантеро, но и Давиду Гилли, написавшему известную книгу «Искусство грунтового строительства» (1787 г.). Автор доказывает, что самым дешевым способом возведения грунтовых стен является глинобитный способ.

На рис. 1.2-7 представлены иллюстрации домов с глинобитными и глиноплетневыми стенами, а также стенами из грунтового кирпича и камней неправильной формы, которые возведены при помощи различных способов, распространенных в Венгрии в 18 столетии (Гризелини, 1780 г.).

Самый старый жилой дом с глинобитными стенами в Германии был построен в 1795 г. (рис. 1.2-8). Этот дом принадлежал главе службы пожарной безопасности, который утверждал, что строительство огнестойкого дома с глинобитными стенами дешевле по сравнению с деревянными каркасными домами, заполненными глиномассой.



1.2-4 Базар, Седжан, Иран

Самое высокое здание в Европе с глинобитными стенами находится в Вайльбурге (Германия). Его строительство было завершено в 1828 г. (рис. 1.2-8). Несущие глинобитные стены имеют толщину 75 см на первом этаже и 40 см на последнем этаже (сжимающее напряжение в нижней части стен достигает $7,5 \text{ кг/см}^2$). На рис. 1.2-9 представлены фасады других глинобитных домов, построенных в Вайльбурге приблизительно в 1830 г.

После I и II мировых войн, когда в Германии ощущалась острая нехватка как строительных материалов, так и капиталов, тысячи новых домов были построены из грунтовых кирпичей или глиномассы, утрамбованной в опалубке (Гюнцель, 1986 г., с. 156) (см. рис. 1.2-8—1.2-10).

1.3. Недостатки глинистых грунтов и преимущества глиносырцовых материалов

Глинистые грунты, применяемые в качестве сырья для производства строительных материалов, классифицируют по типу на супесь, суглинок и глину. Глинистые грунты — это смесь из глинистых частиц, пыли, песка и иногда более крупных заполнителей, например, гравия или камней.

Безобжиговое мелкоштучное изделие, изготовленное из глинистого грунта и органического заполнителя вручную, называют саманным камнем или кирпичом.

Безобжиговый кирпич, изготовленный в заводских или построечных условиях методом прессования из глинистых грунтов с различными органическими или минеральными заполнителями, называют сырцовым или грунтовым кирпичом. Глинобитная стена возводится при помощи опалубки из глинобетонной смеси, которую уплотняют ручным или механизированным инструментом.

У глинистых грунтов имеется ряд недостатков:

1. *Глинистый грунт не однороден по своему составу*
В зависимости от места расположения карьера свойства глинистых грунтов отличаются по составу минеральной, органической частей, а также по количеству содержащихся в нем глины, пыли, песка и крупных заполнителей. Поэтому единого способа подготовки глиняной массы не существует. Для того чтобы оценить пригодность глинистого грунта и, при необходимости, улучшить его характеристики за счет добавок, необходимо определить его свойства.

2. *Грунты с большим содержанием глинистого вещества имеют значительную усадку*
Влажные грунты уменьшают свой объем при высыхании. Усадка грунта вызывает местные напряжения — образование усадочных трещин. Воздушная линейная усадка в зависимости от содержания глинистого вещества, как правило, составляет от 3% до 12% в подвижных смесях и от 0,4% до 2% в жестких смесях. Усадку можно сократить за счет уменьшения содержания глинистых частиц, воды, т. е. оп-



1.2-5 Глинобитная ферма, Сан-Паулу, Бразилия

тимизируя гранулометрический состав и используя добавки (см. раздел 4.2).

3. Глинистые грунты не водостойки

Стены из глиносырцовых материалов должны быть защищены от дождя, а в том случае, если они не просохли до осени, то и от мороза. Грунтовые стены можно защитить при помощи увеличенных карнизов крыши и устройства защитного слоя, а также применяя другие конструктивные решения (см. разделы 4,3 и 12).

С другой стороны, глиносырцовые материалы имеют ряд преимуществ:

1. Глиносырцовые материалы уравнивают влажность воздуха в помещении

Глиносырцовые материалы могут поглощать и выделять влагу быстрее и в большем объеме, чем другие строительные материалы. Тем самым они создают благоприятный климат в помещении. Эксперименты, проведенные в исследовательской лаборатории экспериментального строительства в Касселе (Германия), показали, что при резком повышении относительной влажности в помещении с 50% до 80% сырцовые кирпичи за два дня поглотили в 30 раз больше влаги, чем обожженные. Даже если сырцовые кирпичи поместить на 6 месяцев в камеру искусственного климата с влажностью 95%, то они сохранят форму и не потеряют прочности, более того, их равновесная влажность не превысит 5—7% по массе. В одном из современных зданий в Германии с глиносырцовыми наружными и внутренними стенами в течение 8 лет проводились исследования, в результате которых выяснилось, что относительная влажность в этом здании практически не менялась в течение года и держалась на уровне 50%. Колебания влажности не превышали 5—10%. Таким образом, в помещении создавался здоровый климат с меньшим уровнем влажности в летнее время и повышенным — в зимнее. (Более подробную информацию см. в разделе 1.4.)

2. Тяжелый глинобетон аккумулирует тепло

Тяжелый глинобетон, как все тяжелые материалы, аккумулирует тепло. Благодаря этому свойству глинобетона, он может создавать благоприятный климат в помещении в климатических зонах с высокими суточными перепадами температуры, а также в помещениях, где требуется аккумуляция солнечного тепла за счет пассивных энергосистем.

3. Глиносырцовые материалы снижают загрязнение окружающей среды

Для выработки, транспортировки, обработки глинистых грунтов и производства из них строительных материалов без обжига, в постройках условиях затрачивается около 1% энергии, необходимой для технологических переделов при производстве обожженных кирпичей или железобетона. Следовательно, уровень загрязнения окружающей среды в этом случае ничтожен.

4. Глиносырцовые материалы можно всегда повторно использовать

Глиносырцовые материалы можно использовать мно-

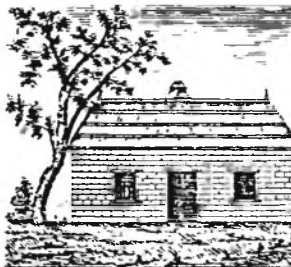


Глинобитные стены

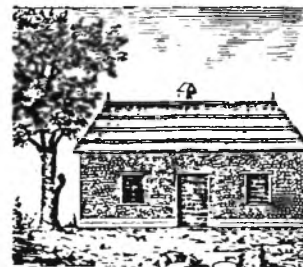


Грунтовые кирпичи

Стены с глиноплетневым заполнением



Грунтовые камни неправильной формы



1.2-7 Возведение стен из различных грунтовых материалов в Венгрии, Гризелени, 1780 г.



1.2-6 Склад, Kloppenburg, Германия

гократно. Для этого их замачивают в воде, а через некоторое время получают готовую к формованию смесь.

5. При применении глиносырцовых материалов можно снизить издержки при строительстве

Подходящий глинистый грунт часто можно найти непосредственно на строительной площадке. Для грунтового строительства может подойти грунт, выбранный из котлована при устройстве фундамента. Если в грунте содержится недостаточное количество глинистого вещества, то в него следует добавить требуемое количество глины. Если же грунт содержит слишком много глинистых частиц, то его отощажат песком. Используя выбранный в процессе земляных работ

грунт для изготовления глиносырцовых материалов или возведения стен, можно добиться значительного сокращения затрат при строительстве. Даже если грунт приходится перевозить с других строительных площадок, расходы на перевозку в любом случае на несколько порядков меньше транспортных расходов при производстве традиционных строительных материалов.

6. Глиносырцовые материалы идеально подходят для строительства собственными силами

Технологии возведения стен из грунтовых материалов могут освоить даже непрофессионалы при условии, что на объекте будет работать опытный строитель. Эти технологии требуют недорогого ручного и



1.2-8



1.2-10

Слева:

- 1.2-8 Глинобитный дом, Мельдорф, Германия, 1795 г.
- 1.2-9 Глинобитный дом, Вайльбург, Германия, 1828 г.

Справа:

- 1.2-10 Глинобитные дома, Вайльбург, Германия, приблизительно 1830 г.
- 1.2-11 Поселок Любек-Шлутуп, Германия



1.2-9



1.2-11

механизированного инструмента, и они идеально подходят для строительства собственными силами.

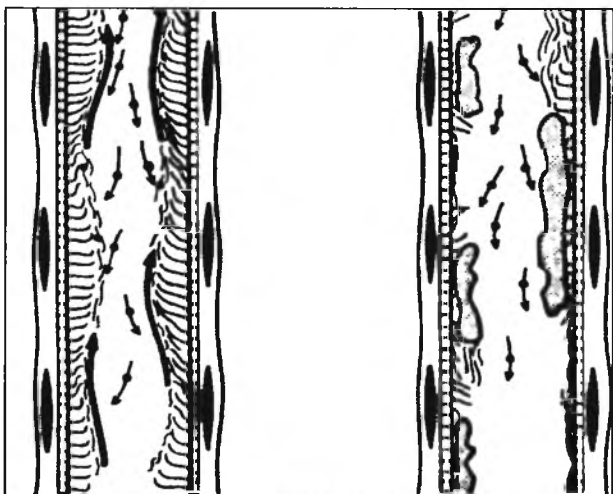
7. Глинобетон защищает древесину и другие органические материалы

Благодаря низкой равновесной влажности (от 0,4% до 6% по массе) и высокой капиллярности глинобетона, он способен сохранять соприкасающиеся с ним конструктивные элементы. При этом ни грибок, ни насекомые не поражают деревянные конструкции, поскольку для развития насекомых влажность должна составлять не менее 14—18%, а грибка — больше 20% (Мёлер, 1978 г., с. 18). Грунт защищает от поражения грибом солому, введенную в глинобетон в небольших количествах.

Однако, если глинобетон, армированный соломенной фиброй, имеет плотность меньше 500—600 кг/м³, грунт не способен предохранять солому из-за ее высокой капиллярности. В этом случае, если солома остается мокрой в течение длительного времени, она начинает гнить (см. раздел 10.3.).

8. Глинобетон поглощает загрязняющие вещества

Разговоры о том, что грунтовые стены помогают очистить загрязненный воздух в помещении, велись уже давно, но до настоящего времени это не подтвердилось наукой. Сейчас доказано, что стены из глинобетона могут поглощать загрязняющие вещества, растворенные в воде. Например, в Берлин-Рулебен есть демонстрационная установка, которая ежедневно очищает 600 м³ сточных вод от фосфатов при использовании глинистого грунта. Глинистые минералы связывают фосфаты и удаляют их из сточных вод. Благодаря очистке в воде не остаются инородные вещества, фосфор преобразуется в фосфат кальция, который можно использовать как удобрение.



1.4-1 Поперечное сечение трахей со здоровой слизистой оболочкой (слева) и высушенной слизистой оболочкой (справа) Бекер, 1986 г.

1.4. Улучшение климата помещений

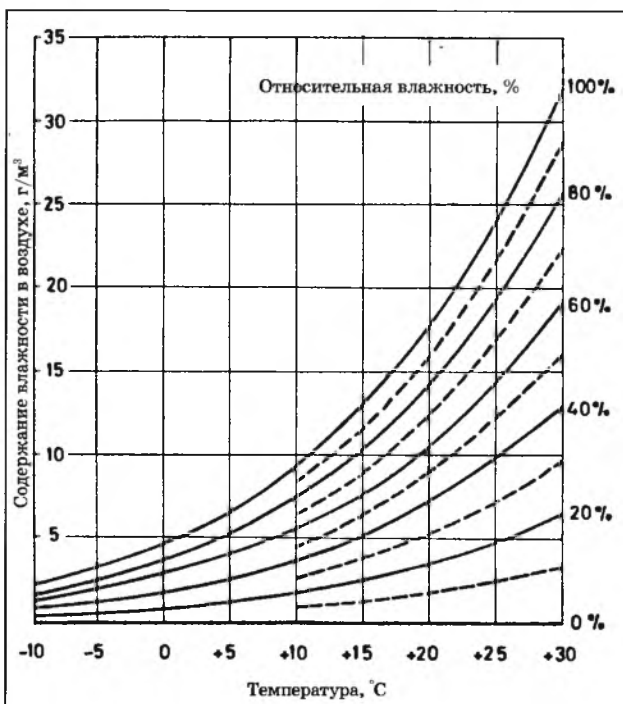
1.4.1. Общие сведения

Люди, живущие в зонах с умеренным и холодным климатом, приблизительно 90% своего времени проводят в закрытых помещениях. Именно поэтому климат помещений очень важен для поддержания их здоровья в норме. На их самочувствие влияют такие факторы, как температура воздуха в комнате, воздушный поток, влажность воздуха, различные излучения, в том числе от бытовой техники, а также степень загрязнения воздуха.

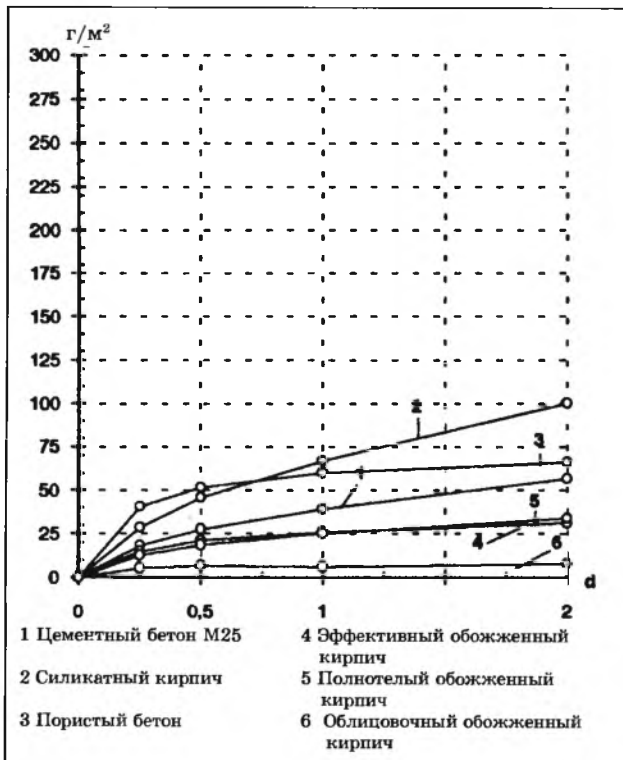
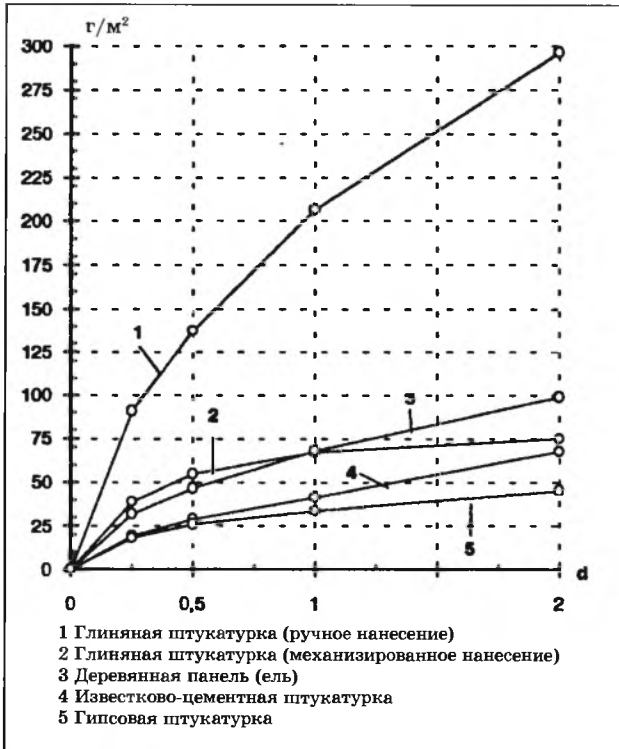
Резкое повышение или понижение температуры в помещении моментально отражается на нашем самочувствии, но мы не замечаем негативного влияния слишком высокого или низкого уровня влажности. Наше состояние здоровья во многом зависит от влажности воздуха в помещении, а глинобетон, как отмечалось, способен балансировать комнатную влажность воздуха, как никакой другой строительный материал. Этот недавно исследованный факт будет описан далее в разделе.

1.4.2. Влияние влажности воздуха на здоровье

В ходе исследований, проведенных Гранджаном (1972 г.) и Бекером (1986 г.), было установлено, что если относительная влажность воздуха в течение длительного времени остается на уровне 40%, то появляется вероятность высыхания слизистой оболочки, в ре-



1.4-2 График Каррье



1.4-3 Интенсивность поглощения водяных паров образцами различных материалов толщиной 15 мм при температуре 21 °С и резком повышении влажности с 50% до 80%

в результате чего сопротивляемость организма к простудным заболеваниям снижается. Здоровая слизистая оболочка эпителиальной ткани в трахее поглощает пыль, бактерии, вирусы и волнообразным движением эпителия возвращает их в полость рта. При нарушении деятельности поглощающей и транспортирующей системы вследствие ее высыхания все инородные тела достигают легких, что может привести к серьезным нарушениям здоровья (см. рис. 1.4-1).

У высокого уровня влажности воздуха до 70% есть много положительных моментов: сокращается уровень содержания мелких частиц пыли в воздухе, активизируются защитные механизмы кожи от микробов, снижается продолжительность жизни многих бактерий и вирусов, уменьшается запах, а также статические изменения на поверхностях объектов в помещении. Относительная влажность выше 70%, как правило, плохо переносится. Возможно, это связано с тем, что во влажных и теплых условиях количество кислорода, поступающего в кровь, сокращается. В условиях холодного влажного воздуха наблюдается увеличение ревматических болей. Интенсивное образование грибка наблюдается в закрытых помещениях, уровень влажности в которых превышает 70%. Грибковые споры в больших количествах могут повлечь за собой различные виды болей и аллергии. Следовательно, влажность в помещении должна быть не ниже 40% и не выше 70%.

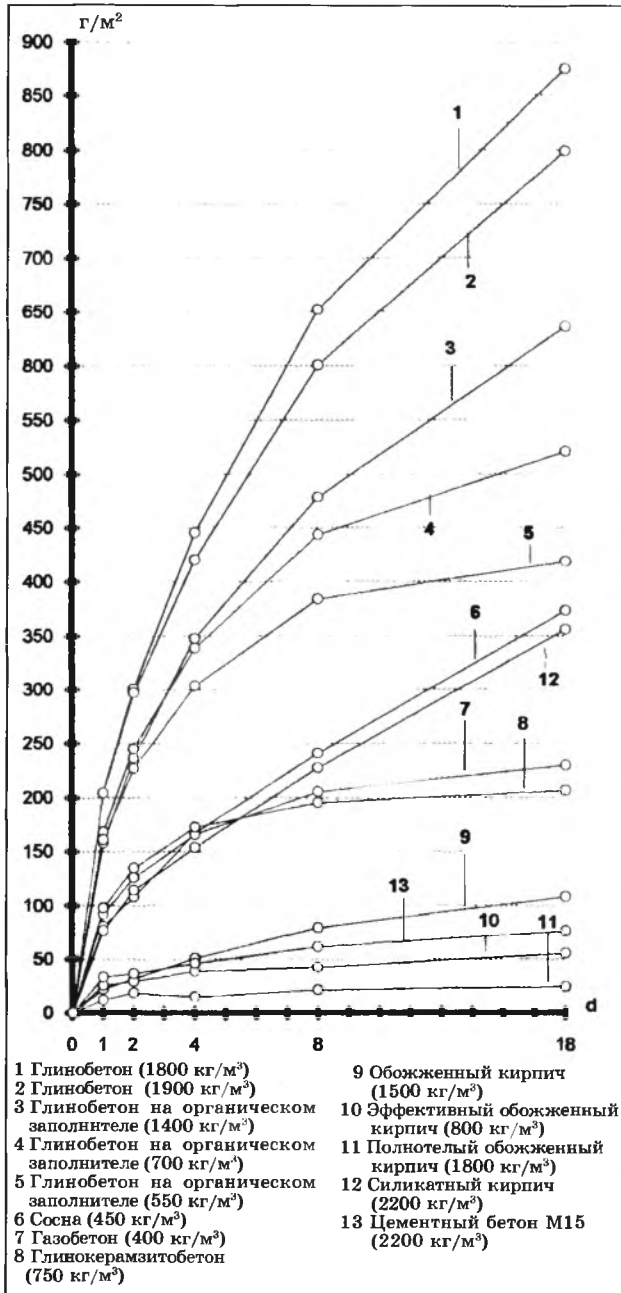
1.4.3. Влияние воздухообмена на влажность воздуха

В зонах с умеренным и холодным климатом наружная температура часто значительно ниже температуры внутри помещения, поэтому вследствие поступления большего объема свежего воздуха, относительная влажность в помещении понижается, что может негативно отразиться на нашем здоровье. Например, если наружный воздух, имеющий температуру 0°C и влажность 60%, попадает в помещение и нагревается до 20°C, то его относительная влажность будет меньше 20%. Даже если влажность наружного воздуха (с температурой 0°C) была бы все 100%, то при нагревании до 20°C влажность воздуха не превысила бы 30%. В обоих случаях необходимо как можно скорее повысить влажность воздуха, чтобы не нарушить здоровый климат помещений. Этого можно добиться за счет отдачи влаги стенами, потолками, полами (см. рис. 1.4-2).

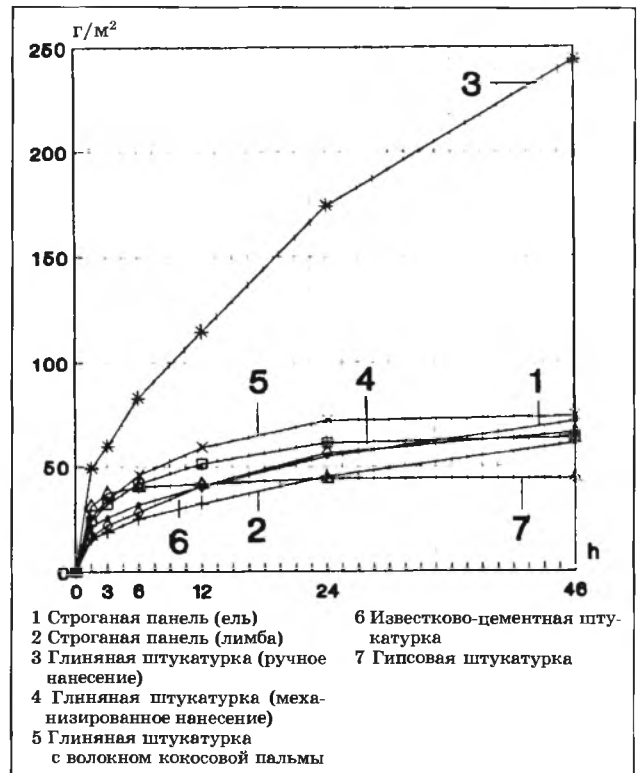
1.4.4. Способность глинобетона регулировать влажность

Пористый материал способен поглощать водяные пары из влажного воздуха и отдавать обратно, тем самым обеспечивая баланс влажности в помещении. Уровень равновесной влажности зависит от температуры и влажности окружающего воздуха (см. разделы 2.4.3. и рис. 2.4-3). Эффективность процесса выравнивания влажности также зависит от скорости адсорбции или десорбции. Например, в ходе экспери-

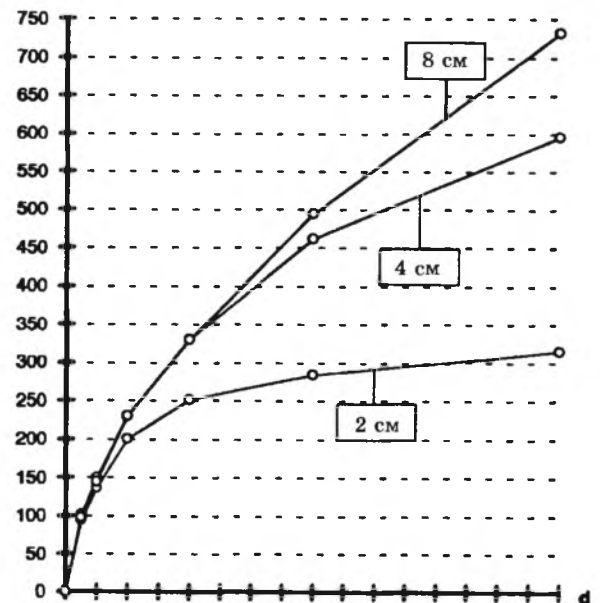
ментов, проведенных в исследовательской лаборатории экспериментального строительства ГЕВ, было установлено, что при резком повышении влажности окружающего воздуха с 50% до 80% первый слой грунтовой стены толщиной 1,5 см поглощает в течение 48 часов около 300 г водяных паров на квадратный метр. За этот же отрезок времени известняк или сосна, имеющие такую же толщину, поглощают только около



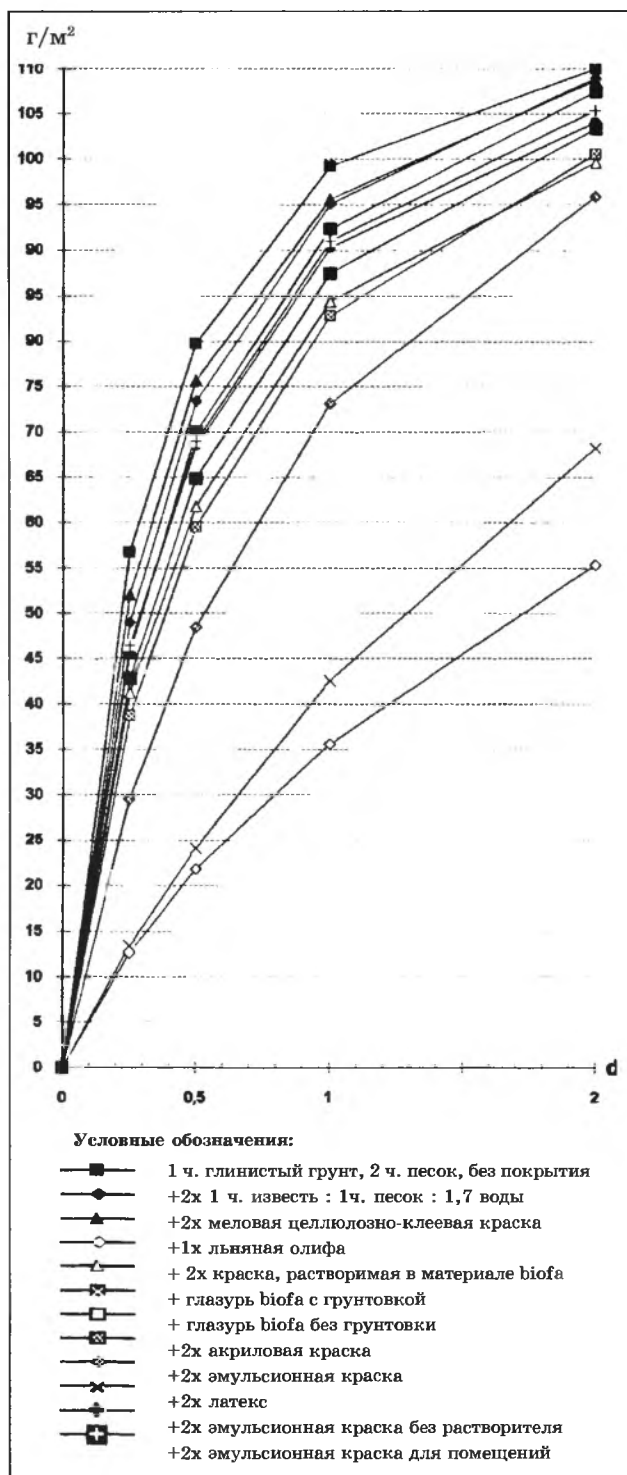
1.4-4 График поглощения водяных паров внутренними стенами толщиной 11,5 см после резкого повышения влажности с 50% до 80%, при температуре 21°C с обеих сторон стен



1.4-5 График поглощения водяных паров образцами различной толщины 15 мм после резкого повышения влажности с 30% до 70% при температуре 21°C с одной стороны стены



1.4-6 Влияние толщины глиняной штукатурки на интенсивность поглощения водяных паров при температуре 21°C после резкого повышения влажности с 50% до 80%



1.4-7 Зависимость поглощения водяных паров стеной с глиняной штукатуркой толщиной 1,5 см (глинистых частиц 4%, пылевидных частиц 25%, песчаных частиц 71%) от типа покрытия при температуре с одной стороны 21°С, после резкого повышения влажности с 50% до 80%. Толщина покрытия — 100 ± 10 мкм.

100 г/м² влаги, известково-цементно-песчаная штукатурка — 26—27 г/м², а обожженный кирпич — всего 6—30 г/м². (рис. 1.4-3). На рисунке 1.4-4 представлен график поглощения в течение 16 дней водяных паров неоштукатуренными стенами из различных материалов толщиной 11,5 см. Как видно из данного графика, грунтовые кирпичи впитывают в 30 раз больше влаги, чем обожженные кирпичи. На рисунке 1.4-5 показана интенсивность поглощения влаги при резком повышении влажности с 30% до 70% на примере образцов из разных материалов толщиной 1,5 см.

Влияние толщины глиняной штукатурки на интенсивность поглощения представлено в графической форме на рис. 1.4-6. Из этого рисунка видно, что при резком повышении влажности с 50% до 80% в течение первых 24 часов влагу впитывает только верхний слой толщиной 2 см. В течение первых 4 дней активное поглощение водяных паров происходит у глиняной штукатурки толщиной 4 см. Известковая, казеиновая и целлюлозно-клеевая краски практически не влияют на интенсивность поглощения влаги, в то время как при использовании латекса или льняного масла возможно сокращение интенсивности поглощения на 38% и 50% соответственно (см. рис. 1.4-7). Если в комнате с площадью пола 12 м², высотой 3 м и площадью стен 30 м² (за вычетом дверей и окон) внутренняя влажность воздуха поднимется с 50% до 80%, то неоштукатуренные стены из сырцового кирпича впитают за 48 часов около 9 литров влаги. (Если влажность упадет с 80% до 50%, то это же количество влаги будет отдано.) Если в аналогичном помещении стены выложены из полнотелых обожженных кирпичей, то за этот же отрезок времени они впитают только около 0,9 литров влаги, то есть во втором случае стены не могут уравновесить влажность в помещении.

В одном из домов в Германии с грунтовыми наружными и внутренними стенами в течение 5 лет проводились исследования в разных помещениях, которые показали, что относительная влажность воздуха оставалась в течение года практически на одном уровне (колебания составили от 45% до 55%). Владелец дома хотел, чтобы влажность была выше в спальном комнате (50—60%). Более высокий уровень влажности в спальном комнате, который благоприятнее для легко простужающихся людей, удалось поддержать за счет высокого уровня влажности в прилегающей к ней ванной комнате. Как только влажность в спальном комнате падала, дверь в ванной после принятия душа открывали, и стены спальни получали необходимый запас влаги.

1.5. Предубежденное отношение к глиносырцовым материалам

Мы часто сталкиваемся с предвзятым отношением к глиносырцовым материалам, которое, как правило, возникает от незнания. Многим людям сложно понять, что глинистый грунт не требует значительных затрат на добычу и переработку, и что во многих слу-

чаях в ходе земляных работ при устройстве фундамента мы получаем сырье, уже пригодное для изготовления глиносырцовых изделий или возведения стен. Реакция каменщика, которому поручили выложить стену из сырцового кирпича, характеризует отношение людей к глиносырцовым материалам в целом: «Это похоже на средние века, мы будем ковыряться руками в грязи». Неделю спустя этот же каменщик сказал, показав свои ладони после работы с сырцом: «Вы когда-нибудь видели у каменщика такие гладкие ладони? Работать с сырцовым кирпичем одно удовольствие».

Беспокойство по поводу того, что в монолитных грунтовых стенах могут жить мыши или насекомые, не обоснованы. Насекомые появляются только в домах с глиноплетневыми стенами, где имеются щели. В Южной Африке встречается инфекционное заболевание шагас, которое приводит к слепоте. Это заболевание вы-

зывают насекомые, живущие в стенах. Щелей можно избежать, если возводить глинобитные стены или устраивать кладку из сырцовых кирпичей со швами, полностью заполненными глиняным раствором. Если глиносырцовые материалы содержат слишком много органических добавок и имеют плотность меньше 600 кг/м^3 , то в соломе могут жить мелкие насекомые, например, древесные вши.

Стены из глиносырцовых материалов бывает трудно чистить (особенно на кухне и в ванной комнате), но эти проблемы легко решаются, если на глиняную поверхность нанести казеиновую, известково-казеиновую краску, льняное масло или другие виды покрытия, что обеспечит также устойчивость поверхности к истиранию. Грунтовые стены в ванной комнате более гигиеничны по сравнению с керамической плиткой, так как они быстро поглощают влажность, и тем самым препятствуют росту грибка (см. раздел 14.9).

2. Свойства глинистых грунтов и глиобетона

2.1. Основные свойства

2.1.1. Общие сведения

Глинистый грунт представляет собой продукт выветривания полевошпатовых и некоторых других силикатных пород и состоит преимущественно из глинистых минералов типа каолинита, монтмориллонита и гидрослюда с примесью кварца, слюды, вторичного кальцита, опала и др. Состав и свойства глинистых грунтов зависят от их местонахождения.

Глинистые грунты состоят из глинистых, пылевидных и песчаных частиц. В строительной науке глинистые частицы имеют размер менее 0,002 мм, пылевидные частицы 0,002—0,06 мм, песчаные частицы 0,06—2 мм.

Глинистые частицы выступают в роли вяжущего вещества для более крупных частиц глинистого грунта. Пыль, песок и более крупные частицы выполняют функцию фильтров в составе глинистого грунта. В зависимости от преобладания тех или иных частиц в глинистом грунте грунт может быть жирным, средним или тощим. Если содержание глинистых частиц по весу менее 15 %, такой грунт называют супесчаным, от 15% до 30% — суглинистым, более 30% — глиной. При содержании глинистого вещества менее 5% от общего веса грунт называют песчаным.

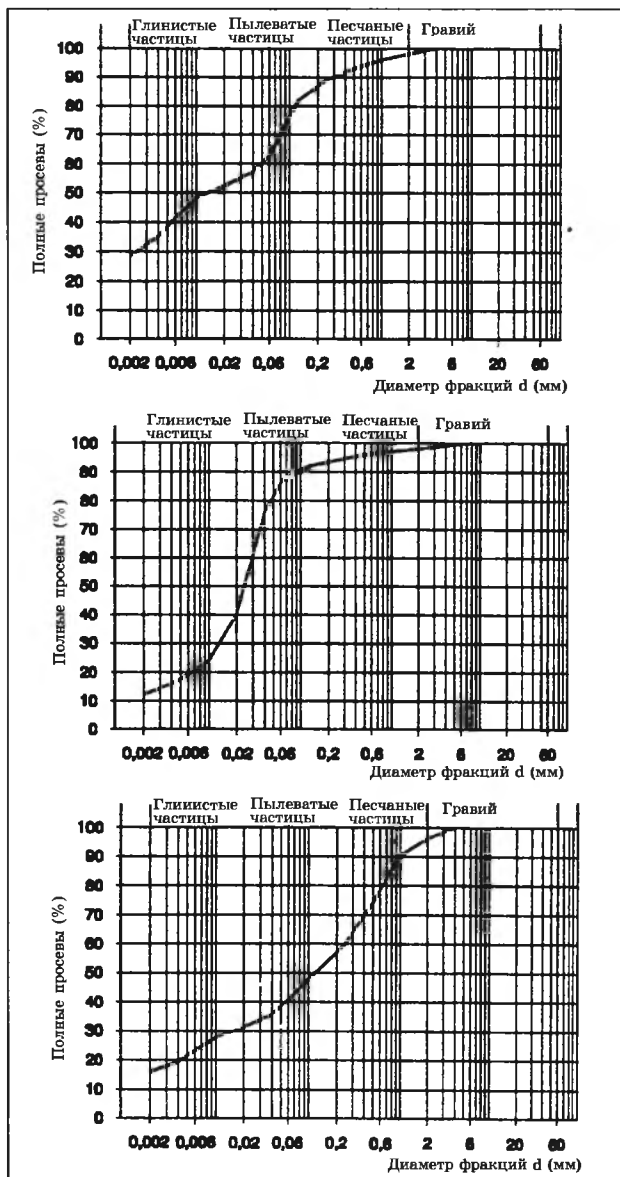
2.1.2. Минеральный состав глинистых грунтов

В глинистых грунтах минеральный состав существенно изменяется в результате накопления в них глинистых минералов и других новообразований. Наибольшее распространение и значение имеют следующие минералы. Полевые шпаты — сравнительно прочные минералы, практически нерастворимые в воде, имеют следующую химическую формулу: $Al_2O_3 K_2O 6SiO_2$.

Каолинит — относительно стойкий минерал, содержащийся в довольно большом количестве во многих глинистых грунтах, химическая формула которого — $Al_2O_3 2SiO_2 2H_2O$. Другим известным глинистым минералом является монтмориллонит ($Al_2O_3 4SiO_2$). Монтмориллоновые глины являются замечательными адсорбентами, так как обладают высокой поглотительной способностью. Кроме того, существует огромное разнообразие других глинистых минералов, таких как иллит, но в природе они встречаются реже. Структура этих минералов показана на рисунке 2.1-2. По химическому составу глинистые грунты неоднородны. В зависимости от содержания красящих окислов грунты могут иметь характерный желтый, красный, коричневый, белый, черный или темно-коричневый оттенок.

Глинистые минералы обычно имеют шестигранную пластинчатую кристаллическую структуру. Эти пла-

стинки состоят из различных слоев. Внутреннюю часть составляет ядро, которое может иметь кристаллическое или аморфное строение. Поверхность ядра покрыта ионами, образующими положительный или отрицательный электрический заряд. Чаще всего в грунтах в коллоидном состоянии находятся кремниевая кислота, гидроксид железа и алюминия, пере-



2.1-1 Графическое изображение гранулометрического состава грунтов с высоким содержанием глинистых частиц (вверху), с высоким содержанием пылевидных частиц (середина) и высоким содержанием песчаных частиц (внизу).

гнойные вещества и глинистые минералы. В связи с преобладающим содержанием кремния (в виде простых и сложных силикатов и алюмосиликатов) в результате выветривания во многих грунтах может находиться в коллоидном состоянии кремниевая кислота. Гели кремниевой кислоты относятся к ненабухающим и при высушивании незначительно уменьшают свой объем. При повторном насыщении коллоиды кремниевой кислоты в грунтах несут отрицательный заряд. Чем больше заряд частиц, тем устойчивее коллоидная система.

Двухслойный каолинит — простейший глинистый минерал кристаллического строения, состоящий из одного тетраэдрического и одного октаэдрического слоев. Этот минерал обладает небольшой набухаемостью при увлажнении водой и малой обменной способностью. Катионный обмен происходит лишь по внешним граням кристаллов, а не в межпакетном пространстве. Кристаллическая решетка трехслойного монтмориллонита при увлажнении может расширяться в результате раздвижки слоев. Кроме воды в межпакетном пространстве могут содержаться обменные катионы. Катионный обмен происходит как по внешним граням кристаллов, так и в межпакетном пространстве кристаллических решеток и поэтому в последнем случае протекает очень медленно (рис.2.1-3).

2.1.3. Пыль, песок, гравий

Свойства пылевидных, песчаных частиц и гравия отличаются от свойств глинистого вещества. Гравий образуется при переносе обломков валунного или булыжного камней на большие расстояния реками, горными потоками, а также под действием морского прилива, приобретая при этом различную степень окатанности и сортировки. Пески состоят преимущественно из кварца, наиболее устойчивого к химическому выветриванию минерала. Наибольшей чистотой и однородностью зерен отличаются морские и золотые отложения; морские и речные пески имеют окатанную, а ледниковые — угловатую, наиболее благоприятную для строительных целей форму зерен.

2.1.4. Зерновой состав глинистых грунтов

Глинистый грунт характеризуется по крупности частиц на четыре фракции: гравийную, песчаную, пыле-

ватую и глинистую. Гранулометрический состав грунтов в общем виде представлен на графике, изображенном на рисунке 2.1-1.

Чаще всего зерновой состав грунта изображают в виде суммарной кривой. В этом случае ординаты суммарной кривой соответствуют не содержанию отдельных фракций, а сумме фракций частиц менее определенного диаметра.

Верхняя точка характеризует жирный суглинок — 28% глины, 35% пыли, 33% песка и 4% гравия. Средняя точка показывает глинистый грунт, богатый пылевидными частицами, которые составляют 76%, а нижняя точка характеризует грунт с содержанием песчаных частиц — 56%.

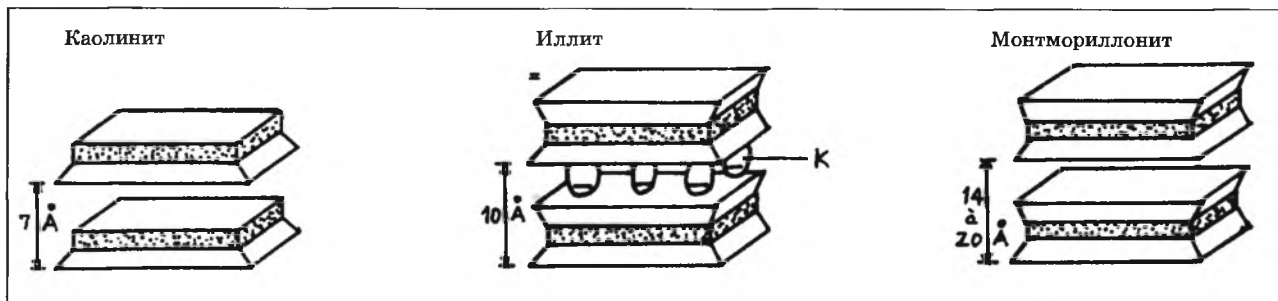
Другой метод графического описания глинистых грунтов, размер частиц которых не превышает 2 мм, приведен на рисунке 2.1-4. В данном случае процентное содержание глины, пыли и песка могут быть показаны на трех осях треугольника. Например, глинистый грунт, обозначенный S III в этой диаграмме, имеет 22% глины, 48% пыли и 30% песка.

2.1.5. Состав органической части грунтов

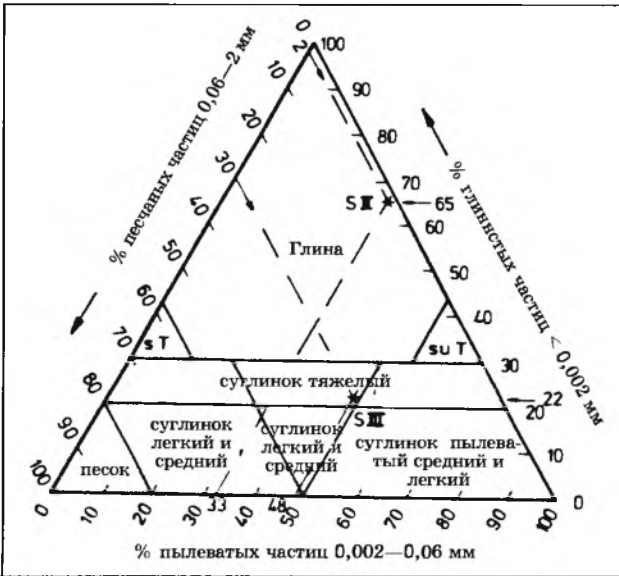
Глинистый грунт, вырытый с глубины менее 40 см, обычно содержит растительные вещества и гумус (продукт гниения растений), который в основном состоит из коллоидальных частиц и представляет собой кислую среду (рН — менее 6). Грунт, используемый в качестве сырья для изготовления глиносырцовых материалов, должен быть очищен от гумуса и растительных веществ. При определенных условиях можно добавить гумус, при условии его сухости и отсутствия опасности последующего ухудшения свойств глинобетона (раздел 10).

2.1.6. Формы воды в грунтах

Вода, заполняющая поры грунта, оказывает весьма большое влияние на многие его свойства. Кроме свободной воды в грунтах различают еще три различные формы связей воды — кристаллизационную, адсорбционную и капиллярную. Кристаллизационная вода химически связана и может быть выделена только при ее нагреве до температуры от 400°C до 900°C. Адсорбционная вода поглощается поверхностью грунтовых частиц из воздуха, содержащего водяные пары.



2.1-2 Структура трех наиболее распространенных глинистых минералов, Хоубен, Гуиллад, 1984 г.



2.1-4 Графическое изображение гранулометрического состава грунтов на треугольной диаграмме (Фот, 1978 г.)

Капиллярная вода представляет собой воду, передвигающуюся и удерживаемую в грунте силами капиллярного натяжения. Адсорбируемая и капиллярная вода удаляются при нагреве грунта до 105°C. Если сухая глина становится влажной, она набухает, так как вода проникает в слоистую структуру, окружая пластинки тонкой пленкой воды. Если эта вода испарится, межпластинчатое пространство уменьшается, и пластинки размещаются параллельно в соответствии со своими силами электрического заряда. Таким образом, грунт при нахождении в пластичном состоянии обладает прочностью на изгиб (раздел 2.6.1), а после сушки — прочностью на растяжение и сжатие.

2.1.7. Пористость

Пористость грунтов зависит от степени дисперсности и условий их формирования. Для одного и того же грунта пористость не является постоянной величиной, зависит от взаимного расположения в нем частиц и микроагрегатов и уменьшается при увеличе-

нии давления на грунт. При инженерных расчетах вместо пористости часто используют коэффициент пористости, представляющий собой отношение объема пор к объему твердой фазы, выраженный в долях единицы. Чем больше пористость, тем выше диффузия пара.

2.1.8. Удельная поверхность

Удельная поверхность грунта представляет собой сумму площадей всех частиц весом в 1 грамм. Крупный песок имеет удельную поверхность, равную 23 см²/г, пыль — 450 см²/г, и глина — от 10 м²/г (каолинит) до 1000 м²/г (монтмориллонит). Чем выше удельная поверхность грунта, тем выше внутренние силы сцепления, и соответственно больше прочность при растяжении и сжатии.

2.1.9. Плотность

Плотность частиц грунта — отношение массы грунта в сухом состоянии к объему твердой части (включая поры). Карьерный глинистый грунт имеет плотность 1000—1500 кг/м³. Плотность сырового кирпича и уплотненного глиобетона варьируется от 1700 до 2200 кг/м³ (и выше, если смесь содержит крупные и тяжелые заполнители).

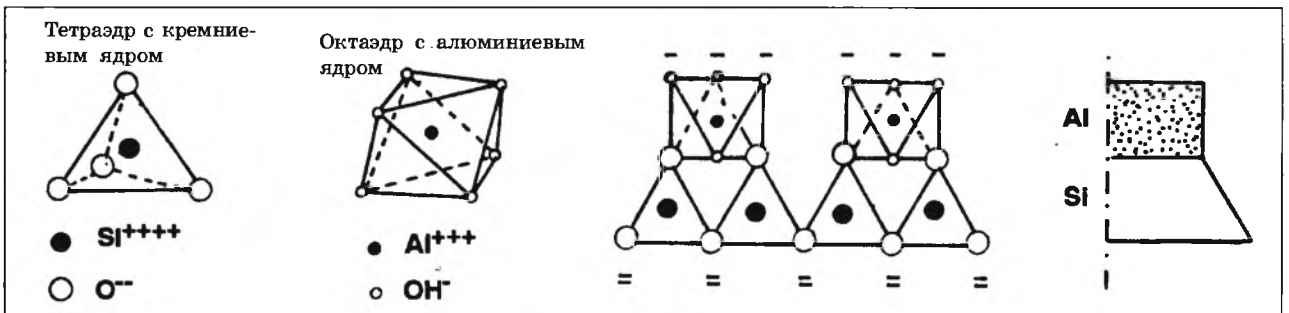
2.2. Методы испытаний глинистых грунтов

2.2.1. Общие сведения

Для того, чтобы определить пригодность глинистого грунта для изготовления глиносирцовых материалов и изделий или возведения стен из глиобетона необходимо знать его свойства. В следующем параграфе приводится описание стандартных лабораторных и упрощенных методик испытаний, которые предназначены для определения свойств глинистых грунтов.

2.2.2. Определение гранулометрического состава глинистых грунтов ареометрическим и ситовым методами

Содержание в глинистом грунте крупных заполнителей (песок, гравий и камни) можно определить сито-



2.1-3 Пластинчатая структура глинистых минералов, Хоубен, Гуиллад, 1984 г.

вым методом. Пылевидные и глинистые частицы определяют ареометрическим методом. Эти методы испытаний подробно изложены в немецком стандарте DIN 18123.

2.2.3. Определение влажности грунта

Влажность грунтов — количество воды, содержащейся в порах глинистого грунта, выраженное в % от массы грунта, высушенного до постоянной массы при температуре 105°C. Влажность находят путем определения потери массы при высушивании навески грунта при температуре 105°C до постоянной массы. Взвешивание при определении влажности производят на теххимических весах с точностью до 0,01 г.

2.2.4. Упрощенные методы испытаний

Упрощенные методы испытаний не очень точны, но главное их преимущество в том, что их можно проводить на месте в относительно короткие сроки.

Испытание на запах

Чистый грунт не имеет запаха. Приобретение им горчичного запаха говорит о том, что он содержит разлагающийся гумус или органические вещества.

Проверка растиранием

Небольшая навеска грунта слегка размельчается пальцами. Грунт с большим содержанием песка (супесь) производит неприятное ощущение по сравнению с суглинком. Жирная глина, наоборот, липкая, гладкая на ощупь.

Испытание руками

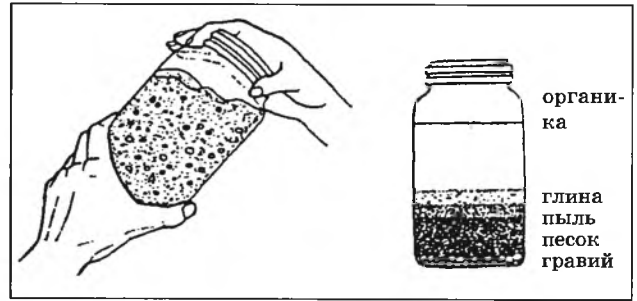
Проба влажного глинистого грунта растирается двумя руками. Если песчинки чувствуются отчетливо, значит это глинистый грунт с большим содержанием песка. Если проба грунта достаточно липкая, но руки при высыхании очень легко очищаются — это грунт с большим содержанием пыли. Если проба липкая и для того, чтобы очистить руки, нужно воспользоваться водой, то перед нами жирная глина (глинистый грунт с большим содержанием глинистых частиц).

Испытание резкой

Из влажного образца глинистого грунта скатывается шар, который необходимо разрезать ножом. Если срез блестит, значит грунт характеризуется большим со-

Таблица 2.1 Гранулометрический состав грунтов, проведенный лабораторным и упрощенным методами

Пример	Содержание	Зрительно		Фактически
		% (объем)	% (масса)	
К1	Глина	45	14	6
	Пыль	18	26	38
	Песок	37	60	56
К2	Глина	36	17	2
	Пыль	24	19	16
	Песок	40	65	82



2.2-1 Гранулометрический анализ, Кратерр, 1979 г.

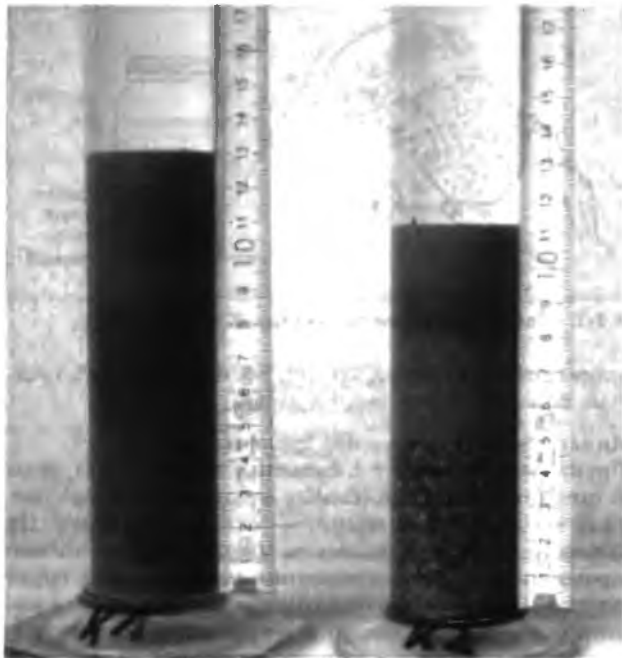
держанием глинистых частиц. Если поверхность тусклая, то в ней много пыли и песка.

Анализ зернового состава грунта

Грунт перемешивают с большим количеством воды в стеклянном сосуде. Самые крупные частицы оседают на дно, самые мелкие — остаются наверху. На основе подобного расслоения можно оценить только пропорциональное соотношение составляющих грунт частиц. Неправильно было бы предположить, что высота каждого слоя соответствует процентному содержанию глины, пыли, песка или гравия, как утверждают



2.2-2 Гранулометрический состав исследуемых грунтов



2.2-3 Гранулометрический анализ

многие авторы (Кратерр, 1979, с. 180; International Labour Office, 1987, с. 30; Хоубен, Гуиллад, 1984, с. 49; Штульд, Мукери, 1988, с. 20; UN center for Human Settlement, 1992, с. 7) (рис. 2.2-1).

Эксперименты, проведенные в лаборатории FEB, Кассельского университета, показали, что погрешность может составлять ни много ни мало 17,50%, как видно на рисунке 2.2-2 и в таблице 2.1. В действительности можно лишь определить последовательность слоев по крупности зерен, что может не совпадать с фактическим соотношением частиц грунта (рис. 2.2-3).

Определение связности грунта

Грунт, который необходимо проверить, должен иметь влажность, которая позволила бы скатать из него шар диаметром 4 см.

После свободного падения шара с высоты 1,5 метров на ровную поверхность различные грунты покажут разные результаты (рис. 2.2-4). Если произойдет лишь незначительное расплющивание шара и на нем не будет видно трещин (образец слева), значит, грунт характеризуется большой связностью, что в свою очередь является результатом высокого содержания глинистых частиц. Обычно в такой грунт добавляют песок. Если результат эксперимента напоминает образец справа, значит, в данном грунте содержится незначительное количество глинистых частиц. Его связность недостаточна и такой грунт не может применяться в качестве сырья для изготовления глиносирцовых материалов. В случае, если результат эксперимента напоминает третий слева образец, то грунт обладает средней связностью, что позволяет использовать его для производства грунто-вых кирпичей и для возведения стен.

Проверка консистенции

Из влажного глинистого грунта скатывают шар диаметром 2—3 см, затем этот шар раскатывают в тонкую нить диаметром 3 мм. Если нить рвется или на ней обнаруживаются большие трещины до момента образования нити диаметром 3 мм, в грунт необходимо добавлять воду. Затем из этой смеси делают шар. Если скатать его невозможно, значит, содержание песка слишком велико, а содержание глинистого вещества незначительно. Когда шар нельзя разрушить сильным нажатием двумя пальцами, содержание глинистых частиц велико и грунт нужно отощить, добавив песок. Если шар разрушается очень легко, значит, глинистый грунт содержит недостаточное количество глинистого вещества.

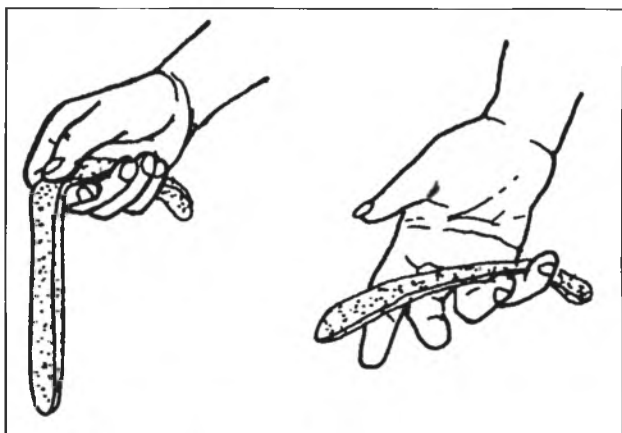
Ручной метод определения связности

Проба грунта должна иметь влажность, которая бы позволила скатать из грунта нить диаметром 3 мм без разрывов. Из полученной нити раскатывают ленту толщиной приблизительно 6 мм и шириной 20 мм. Ленту свешивают с ладони (или с края стола) до тех пор, пока она не разорвется (рис. 2.2-5).

Если свободная часть ленты до разрыва составила более 20 см, грунт является связным, что подразуме-



2.2-4 Глиняные шарики после падения с высоты 1,5 м



2.2-5 Определение связности грунтов

вает высокое содержание глинистых частиц. Если лента порвалась через несколько сантиметров, грунт сильно запесочен.

Последний метод неточен. В случае, если грунт не качественно приготовлен или имеются отклонения в толщине или ширине ленты, погрешность по данным ФЕВ составляет 200%.

Поэтому была разработана новая, более точная методика испытаний. Сначала изготавливают форму толщиной 6 мм и шириной 20 мм. В эту форму с двумя ограничителями укладывают с ручным уплотнением глинистый грунт. После чего верхнюю кромку грунта выравнивают раскатыванием (рис. 2.2-6). Чтобы избежать прилипания грунта к форме, до его укладки в форму прокладывают тонкую маслянистую бумагу. Испытания грунта проводят, медленно подталкивая его к закругленному краю радиусом кривизны 1 см (рис. 2.2-6, справа). Для проверки каждого типа глинистого грунта было взято пять образцов и измерена длина в точке разрыва.



2.2-6 Определение связности грунтов по методике, разработанной ФЕВ



2.2-7 Зависимость прочности от длины разрыва, при растяжении различных типов глинистых грунтов нормальной консистенции по данным ФЕВ

Значения наибольшей длины свободной части по каждому типу грунта представлены на рисунке 2.2-7, где также приведены сравнительные данные их прочности при растяжении в соответствии со стандартом DIN 18952 (раздел 2.6.1).

В ходе экспериментов выяснилось, что разброс значений по прочности при растяжении был результатом некачественного перемешивания, разной консистенции глиняного раствора и других ошибок в ходе подготовки грунта. Для того, чтобы гарантировать сопоставимость результатов эксперименты проводили с грунтами нормальной консистенции. Шар весом 200 г сбрасывали с высоты 2 метра. Отпечаток шара в поперечнике от удара о ровную поверхность должен был иметь диаметр 70 мм вместо 50. (В случае с супесчаными грунтами диаметр 50 мм не достижим).



Определение карбонатности

Для того, чтобы определить содержание извести, необходимо добавить одну каплю 20% раствора HCl. Если в смеси присутствует известь, то будет выделяться углекислый газ CO_2 , в соответствии с уравнением реакции $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2 + H_2O$.

Выделение газа можно увидеть в связи со вскипанием в результате реакции. Если вскипания не последовало, содержание извести менее 1%. Если наблюдается слабое кратковременное вскипание, содержание извести составляет от 1% до 2%.

2.3. Влияние воды

2.3.1. Общие сведения

В зависимости от степени увлажнения глинистые грунты могут находиться в твердом, пластичном или текучем состоянии.

2.3.2. Набухание и усадка глинистых грунтов

Способность грунтов увеличивать свой объем в процессе затворения водой, а также уменьшать его при высыхании и давать усадку отрицательно сказываются на свойствах глиносырцовых материалов. Способность к набуханию связана с гидрофильным характером глинистых минералов и удельной поверхностью глинистых грунтов. Поглощение влаги из воздуха не приводит к набуханию.

Объем набухания и усадки, как показали исследования, проведенные в ФЕВ, зависят от количественного содержания коллоидных веществ и их качества. Наибольшее набухание наблюдается у грунтов, содержащих в большом количестве глинистые минералы с подвижной кристаллической решеткой (типа монт-

мориллонита). Учитывая способность глинистых и коллоидных частиц к набуханию в воде и отсутствие набухания у песчаных и пылеватых частиц в этих же условиях, часто прибегают к косвенной характеристике содержания глинистых частиц в грунте по величине (числу) набухания. Эксперименты проводились на образцах размером 10x10x7см, полученных из кирпичей различного состава. Для определения усадки каждый образец погружали в сосуд, где он поглощал 80 см³ воды. Затем его высушивали в печи при температуре 50°C. Образец из кирпича-сырца заводского изготовления (рис. 2.3-1, сверху слева), гранулометрический состав которого показан на рисунке 2.1-1 (верхняя диаграмма), имеет значительные усадочные трещины. Глинобетонный образец с тем же содержанием глинистых частиц, но с «оптимальным» соотношением пылевидных, песчаных частиц и гравия, имеет незначительные трещины при высыхании (рис. 2.3-1, сверху справа). Образец из кирпича ручного изготовления на основе лессовидного суглинка, с высоким содержанием пылевидных частиц (рис. 2.3-1, внизу справа), гранулометрический состав которого показан на рисунке 2.1-1 (средняя диаграмма) имеет несколько волосяных трещин. Последний образец, из кирпича ручного изготовления на основе легкого суглинка с высоким содержанием песка (гранулометрический состав на рисунке 2.1-1, нижняя диаграмма) вообще не имеет усадочных трещин (рис. 2.3-1, внизу слева). Способы уменьшения усадки глинобетона путем оптимизации гранулометрического состава описываются в разделе 4.2.

2.3.3. Определение линейной усадки

Для сравнения усадки глинобетона различного состава необходимо, чтобы смеси имели одинаковую консистенцию.

Немецкий стандарт DIN 18952 предлагает методику определения нормальной консистенции, которая состоит из следующих последовательных операций:

1. Сухой глинистый грунт измельчают и просеивают через сито с размером ячеек 2 мм. Фракции крупнее 2 мм удаляют.
2. Примерно 1200 см³ грунта увлажняют, тщательно перемешивают и уплотняют молотком на ровной поверхности так, чтобы получился плоский диск равномерной толщины.
3. При помощи ножа диск разрезают на полоски шириной 2 см и выкладывают в ряд так, чтобы они соприкасались краями, и снова отбивают. Эта процедура повторяется до получения однородной структуры.
4. После этого грунт с высоким содержанием глинистых частиц выдерживают 12 часов, грунт с низким содержанием глинистого вещества выдерживают 6 часов. За это время вода, содержащаяся в смеси, равномерно распределяется по всему объему.
5. Из этой смеси берут навеску в 200 г и скатывают вручную шарик.
6. Шарик сбрасывают с высоты 2 м на ровную твердую поверхность и замеряют полученный на нем отпечаток.



2.3-1 Образцы глинобетона различного состава после испытаний

7. При нормальной влажности теста отпечаток в поперечнике должен иметь в диаметре 50 мм с допуском ± 2 мм. Отпечаток больше 52 мм указывает на повышенную влажность. В этом случае приготовленную пробу следует распластать и дать подсохнуть.

8. Отпечаток меньше 48 мм указывает на пониженную влажность. Поэтому приготовленную пробу необходимо распластать и дополнительно увлажнить. В обоих случаях опыта нужно повторять до тех пор, пока диаметр отпечатка не составит требуемой величины.

После определения нормальной консистенции проводят испытание на усадку:

1. Грунт нормальной консистенции уплотняют при помощи деревянного молотка с размером в поперечнике 2×2 см в специальной форме, изображенной на рис. 2.3-2.

2. Испытания проводят на трех образцах, которые одновременно извлекаются из формы.

3. На образцах с интервалом 200 мм ножом наносят контрольные метки.

4. Образцы высушивают в течение 3 дней в нормальных условиях, а затем в печи при температуре 60°C до постоянного веса. Согласно стандарту DIN образцы должны сушиться на стеклянном поддоне, смазанном маслом. ФЕВ рекомендует использовать поддон с тонким слоем песка, что делает процесс сушки более равномерным.

5. После высушивания образцов расстояние между метками измеряют и определяют среднее значение усадки в процентах. Если усадка одного из образцов отличается от показателей двух других более чем на 2 мм, нужно изготовить новые образцы и повторить испытание.

2.3.4. Пластичность

В зависимости от консистенции грунтовые смеси могут находиться в текучем, пластичном, твердом или полутвердом состоянии. Границы пластичного состояния грунта были открыты шведским ученым Аттербергом.

Граница текучести

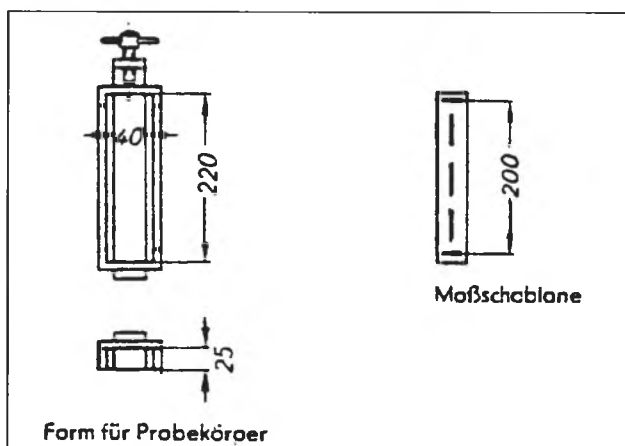
Граница текучести (WL) характеризует влажность, при которой грунт из пластичного состояния переходит в полужидкое — текучее. Она выражается в процентах и определяется с помощью прибора Касагранде, показанного на рисунке 2.3-3, в следующей последовательности:

1. Грунт затворяют водой до состояния пластичного теста и после перемешивания оставляют в таком состоянии на длительное время (при высоком содержании глинистого вещества до 4 дней), после чего пропускают через сито с ячейками 0,4 мм.

2. Чашу прибора наполняют 50—70 граммами теста и выравнивают ее поверхность. Толщина в центре чаши не должна превышать 1 см.

3. По центру чаши в тесте при помощи специального устройства вырезают разделительную полоску.

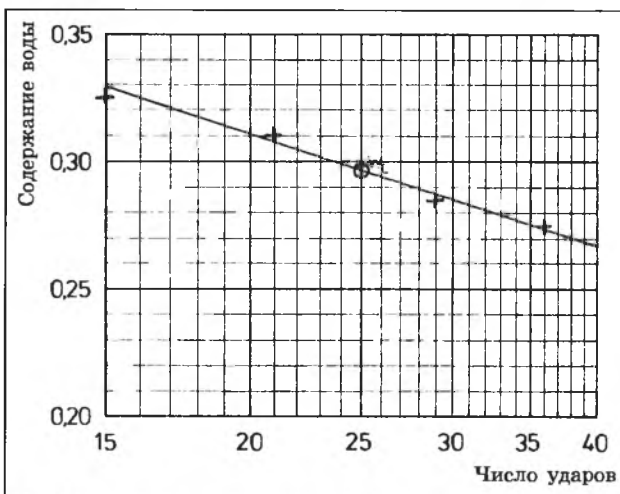
4. При вращении кулачка со скоростью 2 оборота в секунду чаша с помощью штока, скользящего в направля-



2.3-2 Форма для определения линейной усадки согласно немецкому стандарту DIN 18952.



2.3-3 Прибор для определения границы текучести.



2.3-4 Определение границы текучести методом интерполяции согласно немецкому стандарту DIN 18122.

ющих, поднимается, а затем резко падает. Встряхивание теста заканчивают после того, как разделительная полоска станет меньше 10 мм.

5. После этого подсчитывают количество циклов «встряхиваний» и определяют количество воды в тесте. В том случае, если разделительная полоска закрылась на 25 цикле, содержание воды в смеси соответствует границе текучести.

Такой способ определения границы текучести очень трудоемок. Немецкий стандарт DIN 18122 упрощает процедуру определения границы текучести, согласно которой испытания проводят минимум с четырьмя замесами разной влажности и числом циклов встряхивания от 15 до 40. Затем строят зависимость между этими величинами, по оси абсцисс откладывают циклы встряхивания, по оси ординат — содержание воды (рис. 2.3-4). Для определения границы текучести прямой линией соединяют полученные значения на графике. Точка пересечения полученной прямой с вертикальной осью, соответствующей 25 циклам, является границей текучести.

Граница раскатывания

Граница раскатывания (WP) соответствует влажности, при которой грунт находится на границе перехода из твердого состояния в пластичное. Для определения границы раскатывания из грунта, который ис-

пользовался для определения границы текучести, скатывают шарик, переносят его на восковую бумагу и на ней осторожно раскатывают в жгутик диаметром 3 мм. Затем жгутик снова скатывают в шарик, а из шарика опять в жгутик. Эту операцию повторяют несколько раз, пока грунт не начнет крошиться. После этого берут примерно 5 г грунта и определяют его влажность. Испытания повторяют три раза. Разброс значений не должен превышать 2%. Среднее значение соответствует границе раскатывания.

Поскольку границы текучести и раскатывания определяются с использованием грунта, который содержит только мелкие частицы диаметром менее 0,4 мм, необходима корреляция результатов. Если доля отсеянных частиц составляет меньше 25% от массы сухого грунта, то содержание воды можно рассчитать по следующей формуле:

$$W_0 = \frac{L}{1 - A}$$

где W_0 — это расчетное содержание воды, L — полученное содержание воды для WL или WP, A — масса частиц диаметром более 0,4 мм в процентах от массы сухого грунта.

Число пластичности

Число пластичности представляет собой интервал влажности, в пределах которого грунт находится в пластичном состоянии, и определяется как разность между границей текучести и границей раскатывания грунта (IP). В таблице 2.2. представлены значения WL, WP и IP различных типов грунтов.

Коэффициент активности

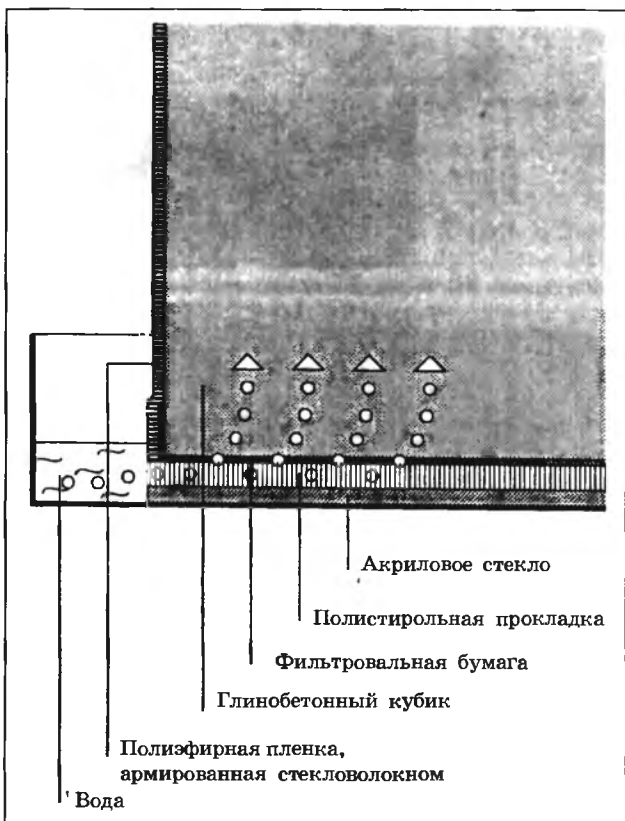
Коэффициент активности (C) зависит от числа пластичности и содержания глинистого вещества. Его можно рассчитать по следующей формуле

$$C = \frac{LL - W}{LL - PL} = \frac{LL - W}{PI}$$

Коэффициент C ниже 0,75 показывает на низкую активность, между 0,75—1,25 — на нормальную, выше 1,25 — на высокую.

Нормальная консистенция по Нимейеру

Для определения предела прочности при растяжении грунтов находят границу раскатывания. Метод определения границы раскатывания по Аттербергу не является точным. Для сопоставимости результатов ис-



2.3-5 Определение коэффициента капиллярного всасывания глинобетонного образца, Боманс, 1990 г.

Таблица 2.2. Число пластичности различных типов грунтов (по Вот 1978 г.)

Тип грунта	WL (в%)	WP (в%)	IP=WL-WP
Супесь	10—23	5—20	<5
Суглинок	15—35	10—25	5—15
Жирная глина	28—150	20—50	15—95
Бентонитовая глина	40	8	32

пытаний грунтовые смеси должны иметь одинаковую консистенцию. Содержание воды в различных грунтах одинаковой консистенции колеблется в широких пределах, поэтому Нимейер предложил перед испытанием на разрыв доводить грунты до состояния нормальной консистенции, методика определения которой описана в разделе 2.3.3.

Расплыв

Сущность метода количественной оценки консистенции грунтовых смесей состоит в определении диаметра расплыва теста, вытекающего из полого цилиндра без дна, описанного в DIN 1060 (Часть 3) или DIN 1048 (Часть 1). Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра в двух взаимно перпендикулярных направлениях на квадратном листе стекла.

Предел усадки

Предел усадки (WS) соответствует влажности, при которой грунт переходит от полутвердого состояния к твердому. При этой влажности объем образца перестает уменьшаться, но испарение воды продолжается и, следовательно, масса образца убывает.

2.3.5. Капиллярное всасывание

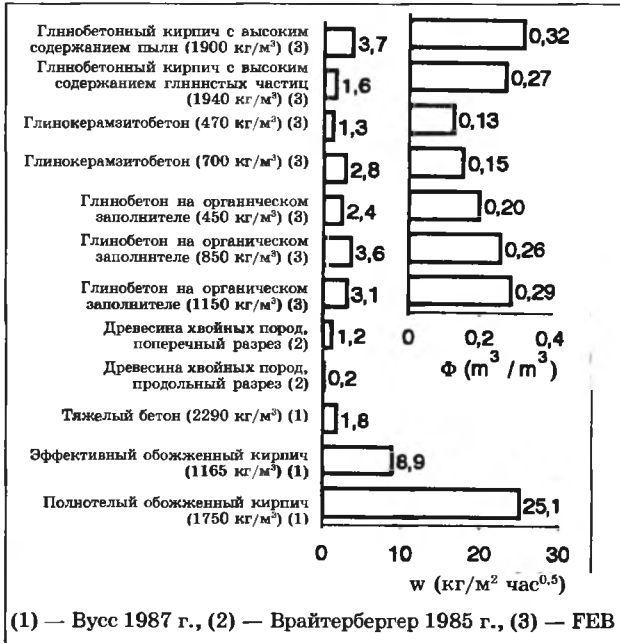
Все материалы с открытой пористой структурой, в том числе и глиносырцовые, способны накапливать и переносить воду по своим внутренним капиллярам. Таким образом, вода постоянно перемещается от более влажных участков к менее влажным. Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия воды в материале, количеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания.

Объем воды (W), поглощенной материалом путем капиллярного всасывания за время t, рассчитывается по формуле:

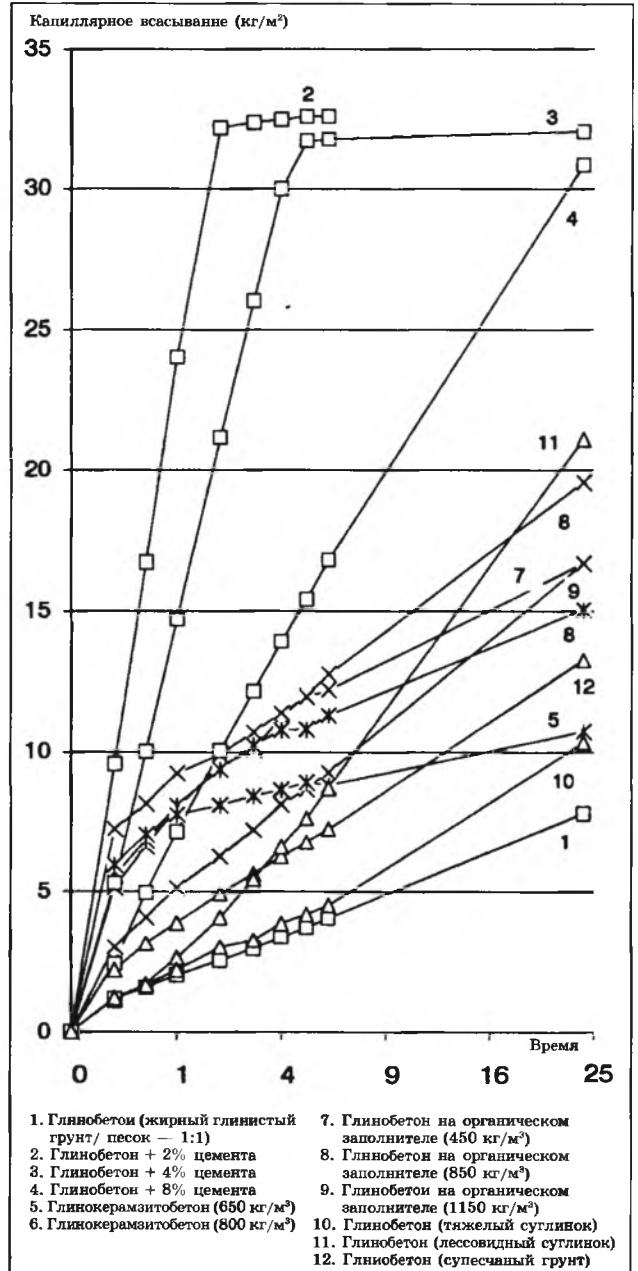
$$W = w \cdot vt \text{ [кг/м}^2\text{]},$$

где w — это коэффициент капиллярного всасывания, измеряемый в кг/м² час^{0,5}, а t — время в часах.

Определение коэффициента капиллярного всасывания Согласно немецкому стандарту DIN 52617 коэффициент капиллярного всасывания (w) определяется сле-



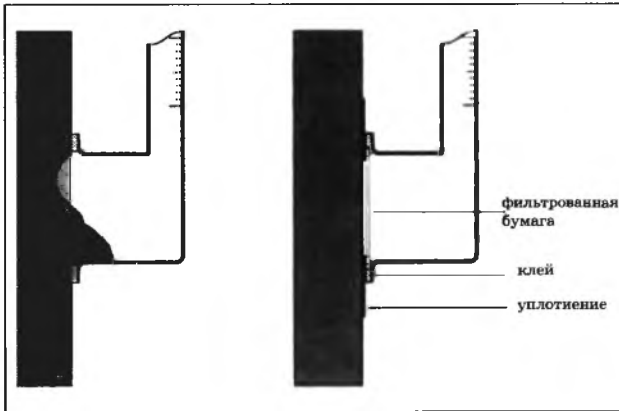
2.3-6 Коэффициент капиллярного всасывания (w) различных материалов



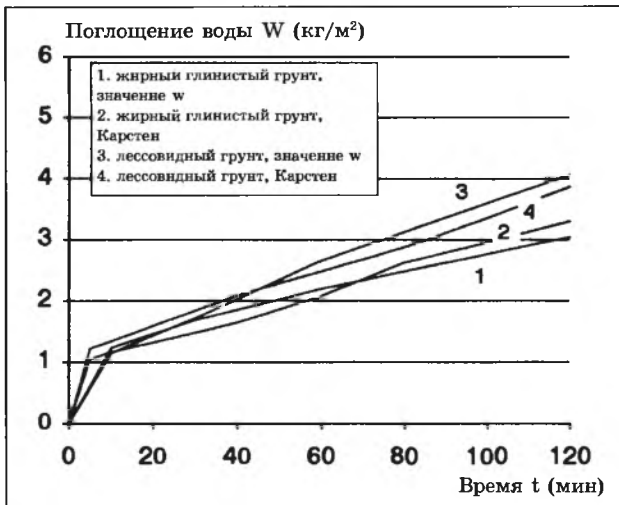
2.3-7 Зависимость капиллярного всасывания различных составов глинобетона и цементогрунта от времени



2.3-8 Испытание на водопроницаемость по методу Карстена



2.3-9 Усовершенствованный прибор FEB на испытание водопроницаемости



2.3-10 Испытание на водопроницаемость в соответствии с методом Карстена и немецким стандартом DIN 52617

дующим образом. Образец в виде куба погружается в поддон с водой на глубину 3 мм. Все вертикальные наружные грани герметично изолируют для того, чтобы вода поглощалась только нижней гранью куба. Через определенное время образец взвешивают. Коэффициент капиллярного всасывания (w) рассчитывают по формуле:

$$W = \frac{W}{\sqrt{t}} \quad [\text{кг/м}^2 \text{ час}^{0,5}] \quad [\text{кг/м}^2 \text{ час}^{0,5}]$$

Он показывает, какое количество воды на м^2 площади строительный материал впитал за определенное время. Для работы с глинобетоном FEB усовершенствовал эту методику. Боковые поверхности глинобетонного куба со всех сторон закрывают полиэфирной пленкой, армированной стекловолокном, что предотвращает проникновение воды. К низу образца подкладывают фильтровальную бумагу, которую приклеивают к краям полиэфирной пленки. Для предотвращения деформаций глинобетона во время взвешивания между кубом и подставкой из акрилового стекла вставляют полистирольную прокладку толщиной 4 мм (рис. 2.3-5). Для сравнения обоих методик проводились испытания на образце из обожженного кирпича. Он показал, что по методу FEB получают более низкие результаты, но отклонение не превышает 2%.

Коэффициенты капиллярного всасывания глинобетона и традиционных строительных материалов приведены на диаграмме 2.3-6. Интересно отметить, что у глинобетонного кирпича с высоким содержанием пылевидных частиц коэффициент w выше, чем у глинобетонного кирпича с высоким содержанием глинистых частиц. По сравнению с полнотельным обожженным кирпичом, вопреки ожиданиям, коэффициент капиллярного всасывания глинобетона на порядок ниже.

Зависимость капиллярного всасывания различных составов глинобетона и цементогрунта показана на рисунке 2.3-7, где наблюдается стремительный рост капиллярного всасывания образцов с добавками незначительного количества цемента.

Капиллярная влагоемкость

Максимальное количество воды, поглощаемое образцом, в зависимости от его объема или массы называется капиллярной влагоемкостью (кг/м^3 или $[\text{м}^3/\text{м}^3]$). Данная величина важна при рассмотрении явления конденсации в строительных материалах. На рисунке 2.3-6 данные величины представлены как w -величины.

Испытание на водопроницаемость по Карстену

Согласно методу Карстена, стеклянная емкость диаметром 30 мм с измерительным цилиндром при помощи кремниевого клея крепится к опытному образцу таким образом, чтобы площадь соприкосновения воды с испытываемой поверхностью составляла 3 см^2 (Карстен, 1983, рис. 2.3-8). Этот метод с применением воды проблематичен по причине того, что грунт размокает в месте соприкосновения.

Поэтому FEB усовершенствовал данный метод, закрыв отверстие стеклянной емкости фильтровальной бумагой (рис. 2.3-9, правый). Результаты были срав-

нимы с результатами метода, приведенного в немецком стандарте DIN 52617 (рис. 2.3-10).

2.3.6. Водостойкость

Водостойкость может быть определена по немецкому стандарту DIN 18952, пункт 2, следующим образом: призма погружается в воду на 5 см и измеряется время, за которое полностью размоется погруженная часть. Согласно данному стандарту образцы, размываемые менее чем за 45 секунд, непригодны для грунтового строительства.

2.3.7. Переменное увлажнение и высыхание

Как правило, при возведении стен из глинобетона они не защищены от дождя. Поэтому очень важно иметь представление о поведении материала при его переменном увлажнении и высыхании. Для сравнения этой характеристики различных составов глинобетона ГЕВ была разработана экспериментальная установка, при помощи которой стало возможным проводить испытания с шестью образцами одновременно (рис 2.3-11). В данной установке водяные струи диаметром 4 мм подают на образцы под углом 45° со скоростью 3,24 м/с, тем самым модулируя наиболее сложные условия проливного дождя в Европе.

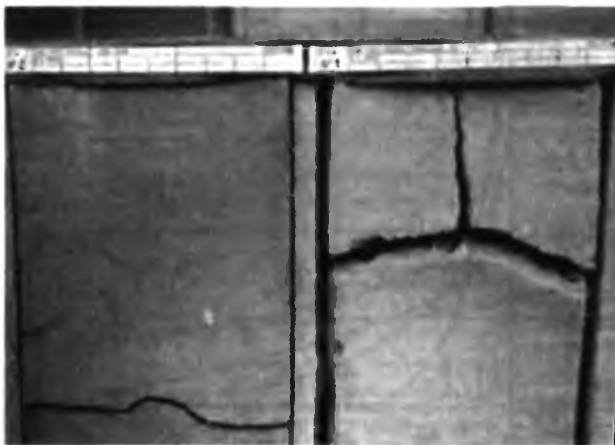
2.3.8. Эрозия глинобетона при воздействии дождя и мороза

В лаборатории ГЕВ исследовали влияние атмосферных осадков на эрозию глинобетона. Испытывались два состава. Первый состав глинобетона содержал 40% глинистых частиц. На рисунке 2.3-12 этот образец под номером 1, второй справа. Второй состав глинобетона содержал 16% глинистого вещества. Этот образец был изготовлен из того же грунта, что и первый, но с добавлением песка. На рисунке он обозначен под

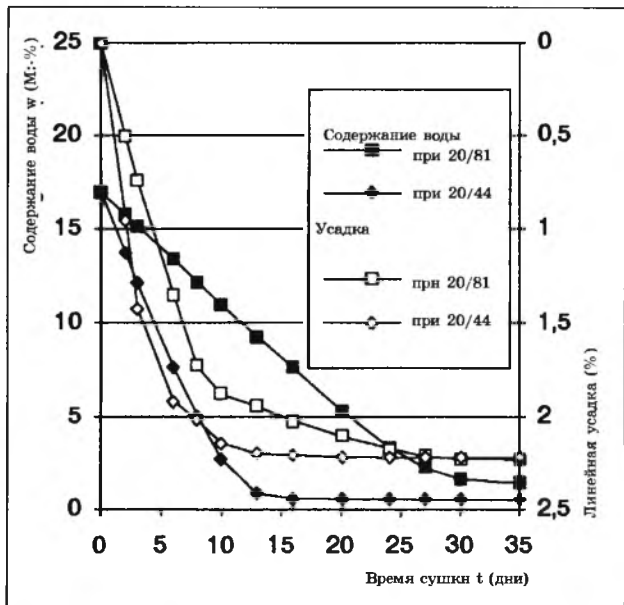


2.3-11 Экспериментальная установка, разработанная ГЕВ

номером 2, первый слева. Оба образца имели одинаковые размеры. После изготовления и сушки у обоих образцов появились большие усадочные трещины. Усадка глинобетона с большим содержанием глинистых частиц составила 11%, а усадка второго образца — только 3%. Затем образцы в течение трех лет находились под воздействием атмосферных условий. Глинобетон с большим содержанием глинистого вещества (первый образец справа) имел значительные отслоения по всей поверхности. Появившиеся при высыхании волосяные трещины открывали доступ для дождевой воды, которая поглощалась капиллярной системой. При замерзании воды ее объем увеличивался, что приводило к разрыву верхних слоев. В тех местах, где волосяные трещины не обнаружены, такого эффекта не наблюдалось. Глинобетон с содержанием глинистого вещества 16% после трехлетних испытаний (образец второй справа) не имел признаков эрозии. Образец не имел волосяных трещин. Кроме того, усадочная трещина, образовавшаяся после высыхания, под воздействием атмосферных осадков уменьшилась.



2.3-12 Образцы глинобетона до испытаний (слева) и после испытаний (справа)



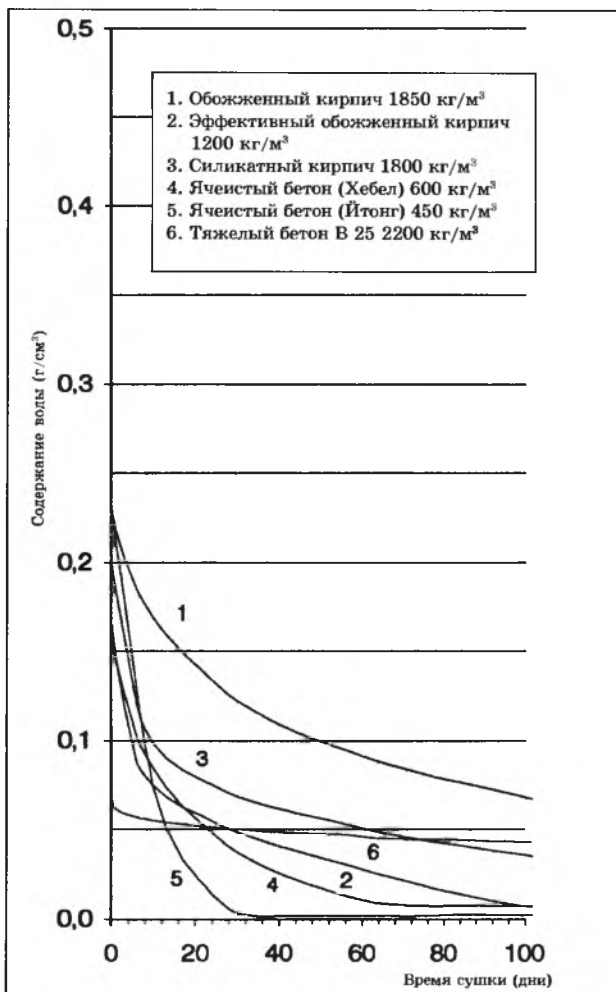
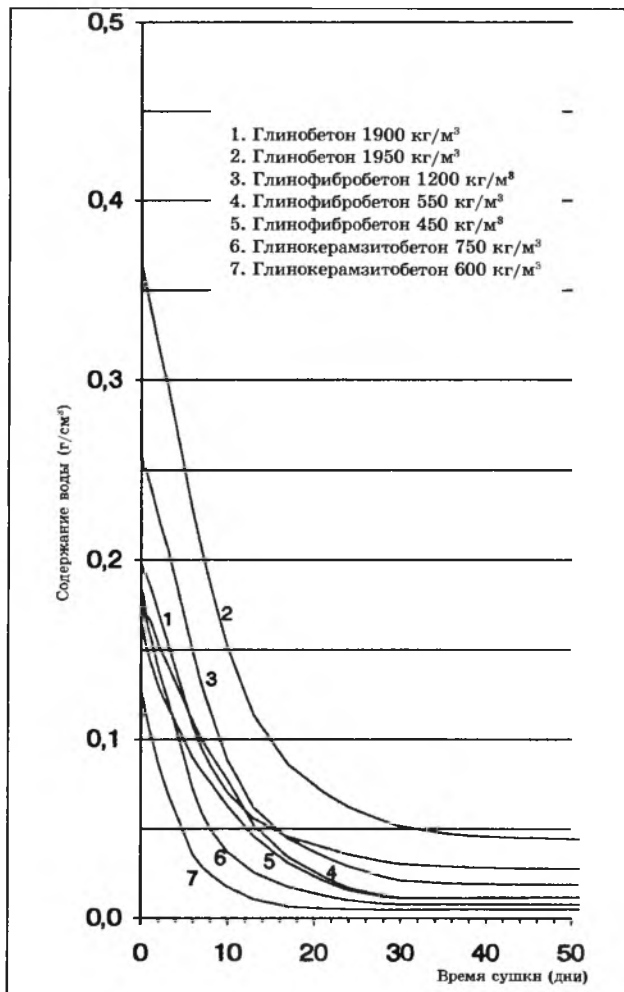
Испытания показали, что глинобетон с содержанием глинистого вещества 40% в большей степени подвержен эрозии при воздействии дождя и мороза

2.3.9. Время сушки

Глиносирцовый материал достигает своей равновесной влажности через определенный период, который называется временем сушки. Динамика влажности и усадки глинобетона, который был высушен в закрытом помещении при температуре 20°С и относительной влажности воздуха, равной 81% и 44% соответственно, показаны на рисунке 2.3-13. Длительность сушки при влажности 44% — 14 дней, в то время как при влажности 81% — около 30 дней. На рисунке

2.3-13 (слева) Линейная усадка и время сушки глинобетона (глина — 4%, пыль — 25%, песок — 71%) с распылом 42 см в соответствии с немецким стандартом DIN 18555, часть 2

2.3-14 (внизу) Время сушки глинобетона по сравнению с другими строительными материалами



2.3-14 показано время сушки глинобетона по сравнению с другими строительными материалами. Испытания проводили на образцах размером с кирпич. Их погружали в воду на глубину 3 мм на 24 часа, а затем выдерживали в помещении с температурой 23°C и относительной влажностью 50%. Из графика видно, что все грунтовые кирпичи высохли спустя 20—30 дней, в то время как обожженные и силикатный кирпичи, а также бетонные блоки не высохли даже спустя 100 дней.

2.4. Влияние водяных паров

2.4.1. Общие сведения

Глинобетон регулирует влажность воздуха в закрытом помещении, о чем подробно было описано в разделе 1.4.

2.4.2. Диффузия пара через глинобетонную конструкцию

В районах с умеренным и холодным климатом, где температура закрытого помещения чаще всего выше, чем температура наружного воздуха, между обеими поверхностями конструкции устанавливается разность давлений водяных паров. Она возникает в конструкции как сумма всех движений молекулярного переноса влажности со стороны с большим давлением к стороне с меньшим давлением паров. Этот выравнивающий переход называют диффузией водяных паров. Мерой величины переноса паров вследствие диффузии через слой конструкции служит плотность диффузионного потока, которая тем меньше, чем выше паронепроницаемость слоя конструкции. Мерой паронепроницаемости слоя конструкции является его

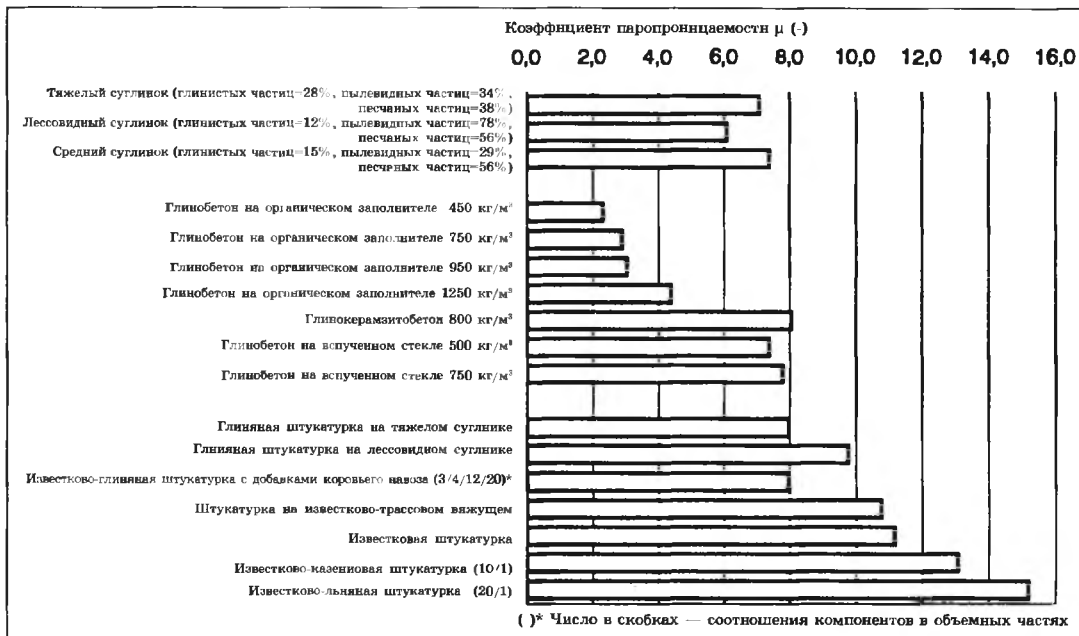
толщина. Чем толще слой, тем он менее проницаем. Кроме того, паронепроницаемость определяется структурой материала. Если сравнить паронепроницаемость слоя воздуха толщиной 1 м с паронепроницаемостью слоя материала той же толщины, то получится коэффициент паропроницаемости.

Методика его определения дана в немецком стандарте DIN 52615. Значение толщины слоя s и коэффициента паропроницаемости μ достаточно для характеристики паронепроницаемости слоя материала определенной толщины. Если обе эти величины перемножить, получится диффузионно-эквивалентная толщина слоя воздуха s_d . Она характеризует толщину слоя воздуха (м), которая обладает равной паронепроницаемостью со слоем материала толщиной s (м) и коэффициентом паропроницаемости μ .

На рисунке 2.4-1 показаны некоторые значения μ для различных типов глинистых грунтов, определенные ГЕВ. Интересно заметить, что значение μ для лессовидного суглинка на 20% меньше, чем то же значение для тяжелого суглинка, коэффициент паропроводности для глинобетона на вспученном стекле плотностью 750 кг/м³ в 2,5 раза больше числа μ глинобетона на органическом заполнителе, имеющем эту же плотность. Раздел 12.3.4 содержит сведения о том, как влияет окраска глинобетонных стен на их паропроницаемость.

2.4.3. Гигроскопическая равновесная влажность

Каждый строительный материал, за исключением абсолютно плотных, обладает в зависимости от относительной влажности окружающего его воздуха определенной собственной влажностью, так называемой



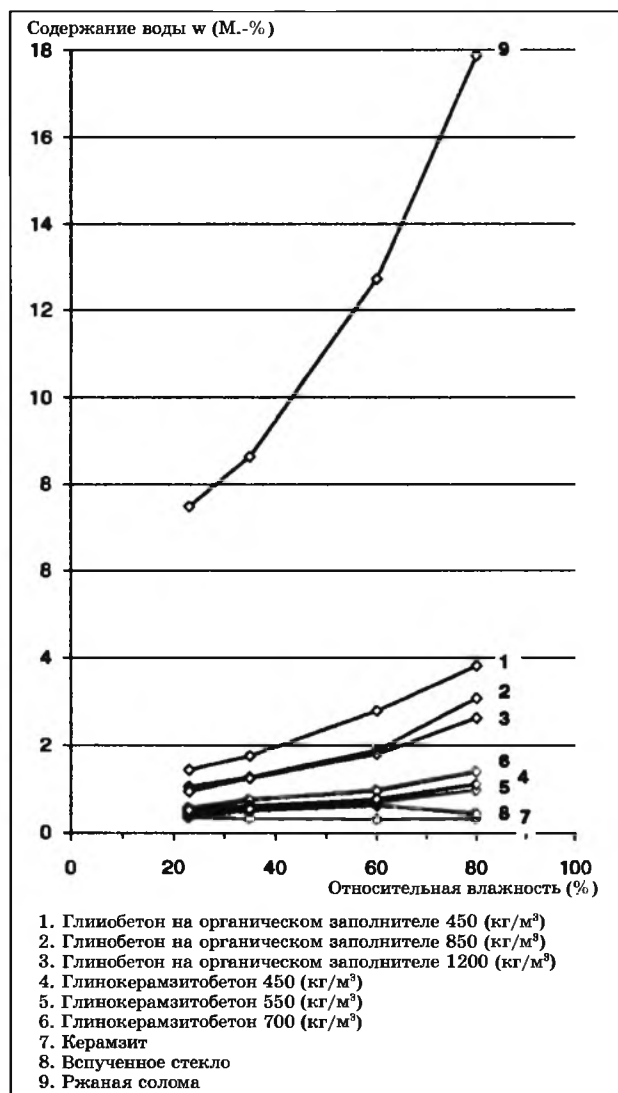
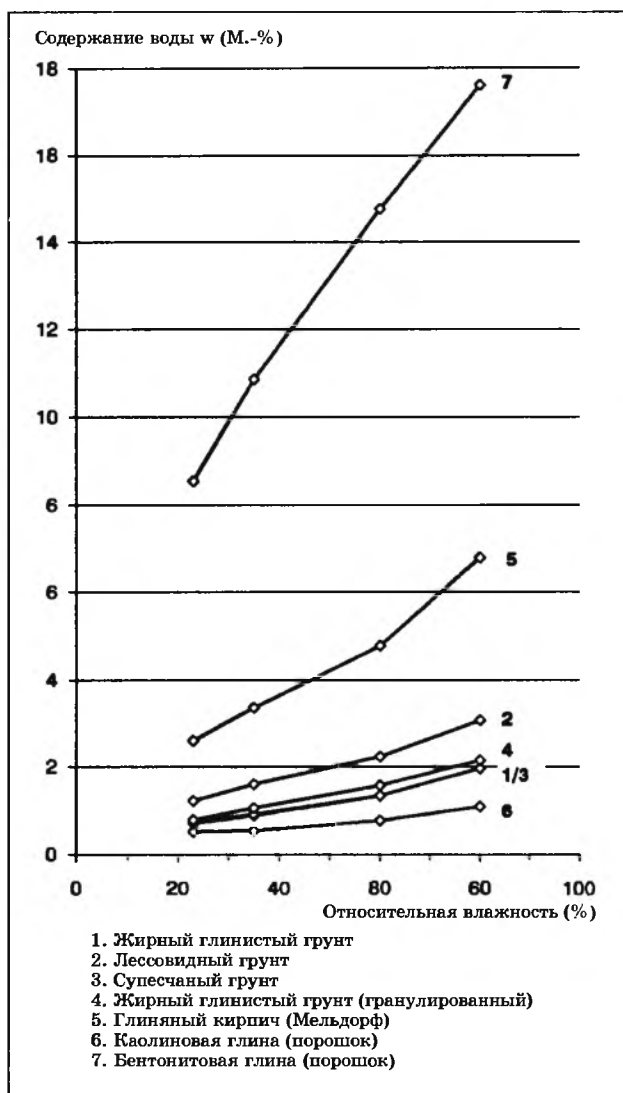
2.4-1 Коэффициент паропроницаемости μ различных типов глинистых грунтов и глинобетона согласно немецкому стандарту DIN 52615

гигроскопической равновесной влажностью. Чем выше влажность воздуха, тем больше водяных паров поглощает материал. Если влажность воздуха понизится, материал будет отдавать водяные пары. Кривые поглощения водяных паров различных составов глинобетона и глинистых грунтов представлены на рисунке 2.4-2. Значения равновесной влажности для глинистых грунтов различных типов варьируются от 0,4% для супеси при относительной влажности воздуха 20% до 17% для жирной бентонитовой глины при влажности воздуха 97%.

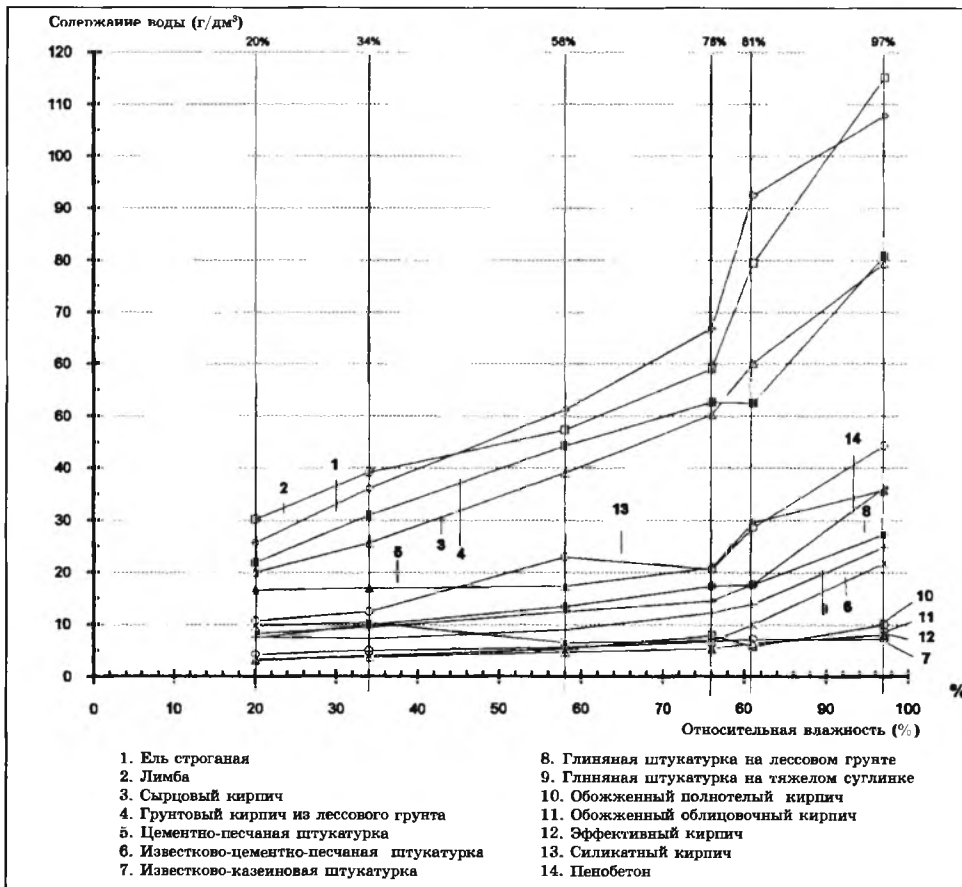
Равновесная влажность глинистых грунтов зависит от содержания глинистых частиц и преобладания глинистых минералов. Чем выше содержание глинистого вещества в грунтах, тем выше их равновесная влажность. Экспериментально доказано, что равновесная влажность бентонита, на 70% состоящего из

глинистого минерала — монтмориллонита, составляет 13% при относительной влажности 50%, а равновесная влажность каолина, где преобладает глинистый минерал — каолинит, при той же относительной влажности — 0,7%.

На рисунке видно, что равновесная влажность ржаной соломы при относительной влажности 80% составляет 18%. Однако легкий глинобетон, где в качестве заполнителя применяют ржаную солому при той же относительной влажности, имеет равновесную влажность не более 4%, что примерно в 2,5 раза больше по сравнению с глинобетоном на керамзите. На рисунке 2.4-3 графически изображены данные равновесной влажности различных составов глинобетона по сравнению с другими строительными материалами. На графике видно, что равновесная влажность глинобетонного кирпича на лессовидном грунте (4) в пять



2.4-2 Кривые поглощения водяных паров легкого глинобетона по сравнению с другими строительными материалами



2.4-3
Равновесная влажность различных строительных материалов

раз больше, чем глиняной штукатурки с большим содержанием глинистого вещества (9) при относительной влажности 58%.

Более важным для регулирования влажности в помещении является не количественные значения равновесной влажности, а скорость поглощения и отдачи строительным материалом водяных паров из влажного воздуха. Процесс поглощения влаги из воздуха, а также обратный процесс, в глинобетоне протекают значительно быстрее, чем в других строительных материалах, о чем рассказано в разделе 1.4.

2.4.4. Образование конденсата

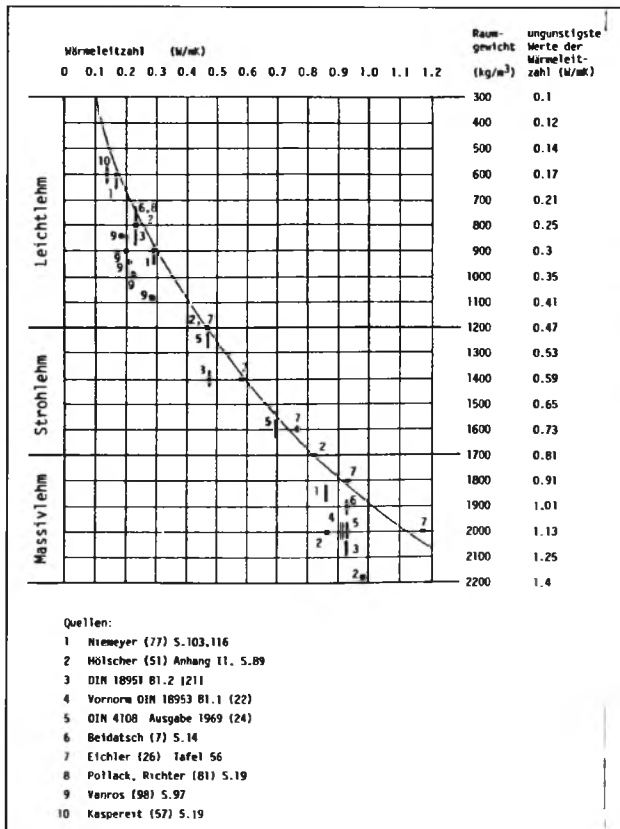
Наряду с диффузией пара при наличии разности температур между поверхностями конструкции возникает передача тепла через стену. При понижении температуры в единице объема образуется избыточное количество водяных паров, которые должны превратиться в воду. Такое вынужденное превращение в жидкость ненасыщенного или еще находящегося в газообразном состоянии насыщенного водяного пара называют конденсацией или образованием конденсата. Образование конденсата в толще конструкции всегда может произойти там, где относительно теплый водяной пар или водяной пар из теплых слоев внезапно

охлаждается. Из-за выпадения конденсата в материале повышается содержание влаги, что может изменить его коэффициент теплопроводности и привести к образованию грибка. Глинобетон обладает развитой внутренней поверхностью пор и поэтому высокой сорбционной способностью, которая помогает быстро перемещать влагу на поверхность стен, откуда она испаряется.

Для предотвращения выпадения конденсата в толще конструкции наиболее рациональна последовательность слоев, при которой сопротивление теплопередаче уменьшается, а сопротивление паропроницанию возрастает снаружи внутрь.

Устройство пароизоляции изнутри конструкции для предотвращения выпадения конденсата за счет окрасочного состава или отделки плитами имеет два важных недостатка.

- На практике пароизоляция никогда не бывает герметичной, особенно в местах установки дверей и окон. В этих местах может возникать опасность выпадения конденсата.
- В дождливую погоду вода попадает на стену с внешней стороны, и влага не может диффундировать через пароизоляцию во внутреннюю сторону. В этом случае стена остается влажной в течение более долгого периода времени, чем при отсутствии пароизоляции.



2.5-1 Значения λ для глинобетона

2.5. Теплопроводность

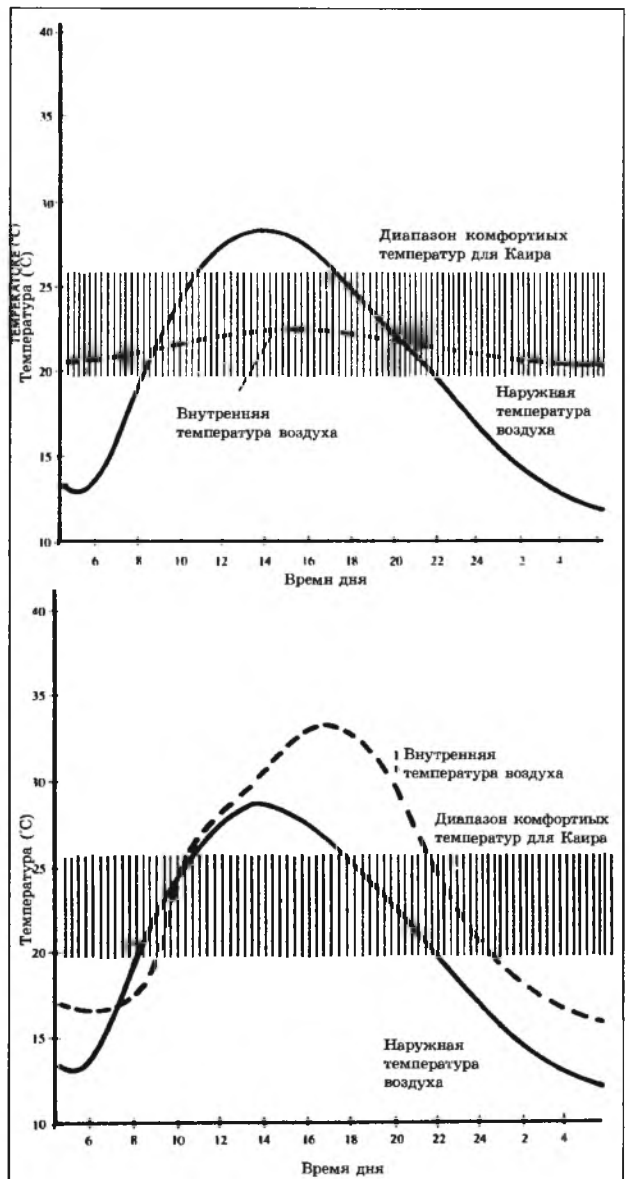
2.5.1. Общие сведения

Теплопередача через конструкцию происходит всегда, если температура обеих ее поверхностей неодинакова. Чем толще слой конструкции, тем меньше теплопередача при прочих равных условиях. Уменьшение теплопередачи конструкции произойдет при уменьшении коэффициента теплопроводности λ. Пористость материала и его влажность влияют на теплопроводность. Мелкие закрытые поры в материале снижают количество тепла, передаваемого конвекцией и излучением. Влага, попадающая в поры материала, увеличивает его теплопроводность.

Количество тепла, проходящее через 1 м² конструкции за 1 ч при разности температур между наружным и внутренним воздухом в один градус по Цельсию, определяется коэффициентом теплопередачи k. Стены из тяжелого глинобетона и обожженного полнотелого кирпича одной толщины имеют равный коэффициент теплопередачи.

2.5.2. Коэффициент теплопроводности

Теплопроводность — способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий под



2.5-2 Внутренняя и наружная температуры воздуха. Сверху — здание из грунтового кирпича, внизу — здание из сборного железобетона, Фати, 1986 г.

влиянием разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Это свойство характеризуется теплопроводностью λ, которая показывает количество теплоты, проходящее через плоскую стенку толщиной 1 м и площадью 1 м² при перепаде температур на противоположных поверхностях в 1 °C в течение 1 ч. Величина λ имеет размерность Вт/м К.

На рисунке 2.5-1 представлена зависимость объемного веса глинобетона от теплопроводности λ. Цифрой 1 обозначены различные значения λ, согласно стандарту DIN 4108-4(1998), цифрой 2 — данные Ванроса. Исследования лаборатории строительной физики Кас-

сельского университета изображены под цифрами 3 и 4, согласно которым теплопроводность λ легкого глинобетона на органическом заполнителе плотностью 750 кг/м³, составляет 0,20 Вт/м К, а λ легкого глинобетона на вспученном стекле плотностью 740 кг/м³ — 0,18 Вт/м К.

2.5.3. Удельная теплоемкость (коэффициент теплоемкости)

Удельная теплоемкость — это количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг материала на 1°C. Удельная теплоемкость грунта составляет 1,0 кДж/кг К, что соответствует 0,24 ккал/кг °С.

2.5.4. Теплоемкость

Теплоемкость характеризует способность материала аккумулировать теплоту при нагревании, причем с повышением теплоемкости может выделяться больше теплоты при охлаждении материала. Теплоемкость S (теплоаккумулирующая способность) материала определяется как произведение удельной теплоемкости c и плотности ρ :

$$S = c \cdot \rho \text{ [кДж/м}^3 \text{ К]}$$

Удельной объемной теплоемкостью называется количество теплоты, необходимое для нагревания 1 м³ материала на 1°C. Теплоаккумулирующая способность Q_s строительной конструкции определяется как произведение теплоемкости S на ее толщину s .

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot s \cdot \text{[кДж/м}^2 \text{ К]}$$

2.5.5. Коэффициент температуропроводности

Скорость, с которой материал поглощает или выделяет теплоту, определяется коэффициентом температуропроводности b , который зависит от удельной теплоемкости c , плотности ρ и теплопроводности λ материала:

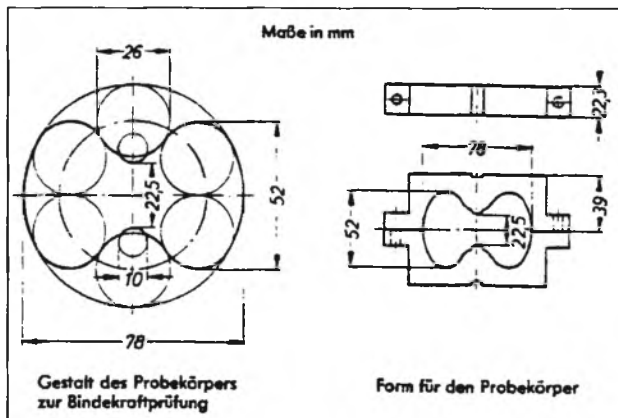
$$b = \sqrt{c \cdot \rho \cdot k} \text{ [КJ/Км}^2 \text{ h}^{0.5}]$$

Чем больше значение b , тем выше скорость проникновения теплоты.

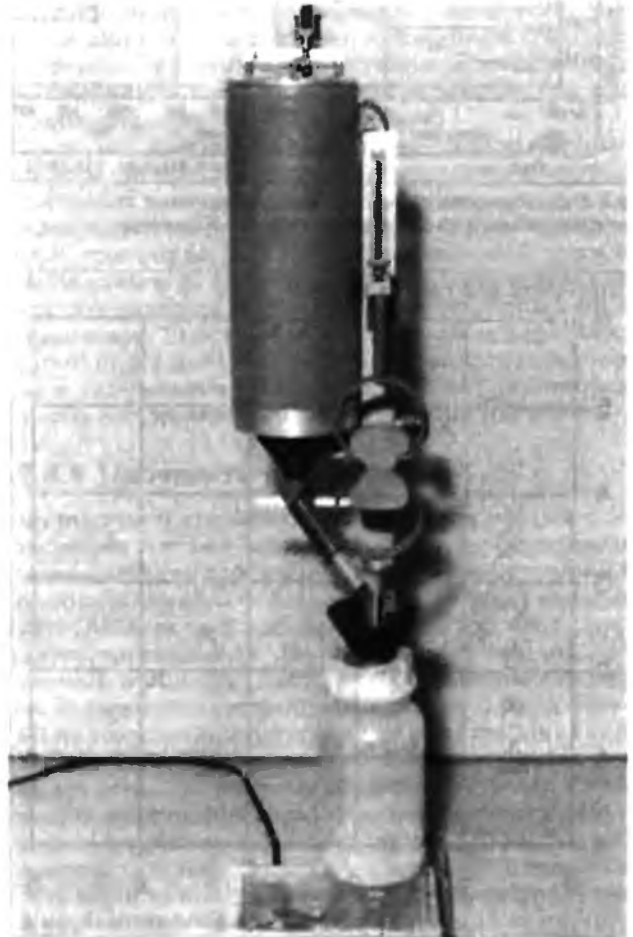
2.5.6. Теплоустойчивость

Теплоустойчивостью ограждающей конструкции называется ее способность сохранять оптимальные нормы температуры и относительной влажности воздуха в рабочей зоне при периодических колебаниях температуры наружного воздуха, граничащего с конструкцией, а также проходящего через нее теплового потока. Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций не должна быть более требуемой амплитуды, которая зависит от расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха и величины затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции.

В условиях климата, характеризующегося большими колебаниями температур между жаркими днями и



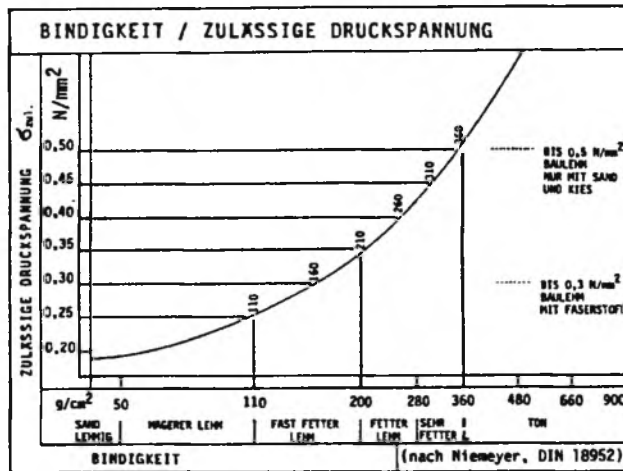
2.6-1 Форма для изготовления образцов-восьмерок, согласно немецкому стандарту DIN 18952



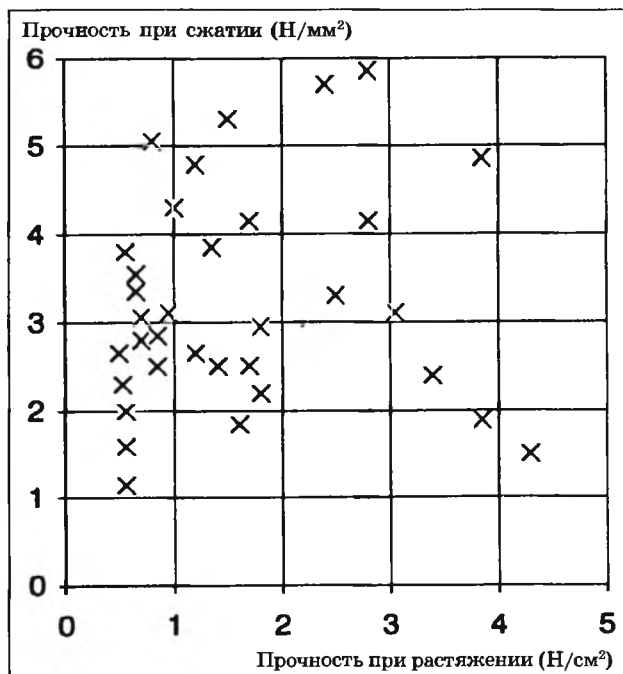
2.6-2 Прибор для определения прочности при растяжении, разработанный FEB

холодными ночами, со средней температурой, являющейся комфортной и колеблющейся от 18°C до 27°C, создание ограждающей конструкции, способной обеспечить комфортный внутренний климат, приобретает особый смысл. На рисунке 2.5-2 представлены результаты исследований, показывающие влияние строительного материала и формы здания на внутренний климат. Данные были получены при испытании двух экспериментальных домов одинакового объема, построенных в 1964 году в Каире (Египет). Одно из них со стенами толщиной 50 см и сводами из грунтового кирпича,

а другое — из сборных железобетонных конструкций толщиной 10 сантиметров и плоской кровлей. Из графика видно, что при суточной амплитуде колебаний температуры наружного воздуха в 13°C температура внутри грунтового здания изменилась на 4°C, а внутренняя температура железобетонного здания — на 16°C. Таким образом амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха в железобетонном здании была в четыре раза выше, чем в глиносырцовом. В железобетонном доме в 16 часов внутренняя температура была на 5°C выше наружной, в то время как в глиносырцовом в это же время — на 5°C ниже (Фати, 1986 г.).



2.6-3 Зависимость прочности при растяжении от сжимающего напряжения, согласно Нимейеру



2.6-4 Зависимость прочности при растяжении от прочности при сжатии глинобетона согласно Готтхарду, 1949 г. и FEB

2.5.7. Тепловое расширение

Термическое расширение является упругим, оно полностью обратимо. Удлинение материала и увеличение его объема, вызванное изменением температуры окружающей среды и материала, играет важную роль для глиняных штукатурных растворов на каменных, бетонных и кирпичных стенах, а также известковых и других штукатурных растворах на грунтовых стенах. Значения коэффициентов линейного температурного расширения для штукатурного раствора и основы, на которую он наносится, должны быть по возможности близки. Коэффициенты линейного температурного расширения, полученные FEB, составляют от 0,0043 до 0,0052 мм/м К для тяжелого глинобетона, 0,0062 мм/м К — для грунтового кирпича, 0,007 мм/м К — для того же глиняного раствора, 0,0005 мм/м К — для известково-песчаного раствора и 0,010 мм/м К — для цементно-песчаного раствора (Кюнофель, 1979 г. и Кунцель, 1990 г.).

2.5.8. Огнестойкость

Огнестойкость характеризует способность строительных материалов выдерживать без разрушения действие высоких температур в течение сравнительно короткого промежутка времени (пожара). Согласно немецкому стандарту DIN 4102, часть 1 (1997), глинобетон на органическом заполнителе (волокна растительного происхождения) плотностью не менее 1700 кг/м³ классифицируется как “негорючий материал”.

2.6. Прочность

2.6.1. Прочность при растяжении

Для выяснения пригодности грунтов для глиносырцового строительства определяют предел прочности при растяжении, который зависит от содержания глинистого вещества и группы минералов. Для сравнимости результатов важно, чтобы грунтовые смеси имели нормальную консистенцию. В разделе 2.3.3 приводится методика определения нормальной консистенции грунтовой смеси, согласно немецкому стандарту DIN 18952 п. 2.

Из смеси нормальной консистенции формируют три образца-восьмерки с сечением шейки, равным 5см².

В металлическую или деревянную разборную форму (рис. 2.6-1), предварительно смазанную маслом, укладывают смесь и тщательно ее уплотняют. Свежеотформованные образцы-восьмерки испытывают на разрыв на приборе, разработанном в лаборатории экспериментального строительства (рис. 2.6-2). Для этого на испытываемую восьмерку надевают две скобы, за одну из них образец подвешивают к кронштейну, а ко второй подвешивают контейнер, в который засыпают сухой песок со скоростью, не превышающей 750 г/мин. В момент разрыва шейки образец прекращают подачу песка. Предел прочности при растяжении можно получить, разделив вес, под которым образец разрушился, на сечение шейки. За основу берется среднее значение после испытаний трех образцов, результаты которых должны различаться не более чем на 10%. Как правило, значения варьируются от 25 до 500 г/см². Согласно DIN 18592, грунты с пределом прочности при растяжении меньше 50 г/см² считаются не пригодными для грунтового строительства. Однако на практике оказалось иначе. Пробы глинобетона, взятые из глинобитных стен старых домов в Германии, показали прочность при растяжении менее 25 г/см².

2.6.2. Прочность при сжатии

Предел прочности при сжатии глинобетона в сухом состоянии варьируется от 5 до 50 кг/см². Он зависит не только от количества глинистых частиц и группы минералов грунта, но и от соотношения пыли, песка и более крупных включений, а также от технологии изготовления.

Рекомендации по повышению прочности при сжатии глинобетона даны в разделе 4.5.

Утверждения Нимейера (1946 г.) о том, что прочность при сжатии пропорциональна прочности при растяжении, и поэтому грунты с одинаковыми прочностями при растяжении должны попадать в один диапазон допустимых сжимающих напряжений (рис. 2.6-3), было опровергнуто Готтхардом (1949 г.) и FEB.

По данным Нимейера, грунт с прочностью при растяжении 60 г/см² мог бы иметь допустимое сжимающее напряжение 2 кг/см², а с прочностью при растяжении 360 г/см² — 5 кг/см². Исследования, проведенные FEB, доказали обратное. Лессовидный суглинок, с прочностью при растяжении 80 г/см² показал прочность при сжатии в сухом состоянии 66 кг/см², а тяжелая глина с прочностью при разрыве 390 г/см² — только 25 кг/см². Некоторые результаты эксперимента представлены на рисунке 2.6-4.

Допустимые сжимающие напряжения на глинобетонную конструкцию по DIN 18954 варьируются от 3 до 5 кг/см² (Таблица 2.3). Коэффициент безопасности по глинобетону равен 7. Это означает, что техническая прочность при сжатии глинобетона должна быть в семь раз больше допустимой нагрузки на конструкцию. Реальная нагрузка в цокольной части жилого пятиэтажного дома с глинобитными стенами, который был построен в 1828 году и до сих пор находится в

эксплуатации (рис. 1.2-9), составляет 7,5 кг/см² (Неймейер 1946 г.), что не согласуется с DIN 18954.

В Йемене построены грунтовые дома высотой в десять этажей, что доказывает возможность строительства многоэтажных зданий. Однако немецкие нормы (DIN 18951, п. 2) ограничивают строительство грунтовых домов с несущими стенами до двух этажей.

2.6.3. Прочность при растяжении в сухом состоянии

Методика определения прочности при растяжении в сухом состоянии аналогична методике, изложенной в разделе 2.6.1. Глиносырцовые материалы применяются в конструкциях работающих преимущественно на сжатие, поэтому при проектировании можно не учитывать прочность при растяжении глинобетона в сухом состоянии.

2.6.4. Прочность при изгибе в сухом состоянии

Прочность при изгибе в сухом состоянии является важным механическим свойством глинобетона. Чем выше прочность при изгибе, тем меньше опасность разрушения глиняной штукатурки при возникающих механических нагрузках, а также меньше боя при транспортировке грунтовых камней.

Прочность при изгибе глинобетона зависит главным образом от содержания глинистых частиц и группы глинистых минералов. Глинистые грунты монтмориллонитовой группы обладают гораздо большей прочностью при изгибе, чем грунты каолининовой группы. Исследования 33 кирпичных глин, не содержащих глинистого минерала — монтмориллонита, проведенные Хофманном, Шембра в 1967 г., показали прочность при изгибе от 1,7 до 91,8 кг/см². Монтмориллонитовая глина, с содержанием глинистого минерала — монтмориллонита 80%, имела прочность при изгибе 223 кг/см².

2.6.5 Прочность сцепления

На прочность сцепления глиняной штукатурки с основанием влияют многие факторы, но к главным можно отнести прочность при изгибе штукатурки и состояние поверхности основания. Немецкий стандарт DIN 18555, часть 6 предлагает методику определения прочности сцепления. На рисунке 2.6-5 показан упрощенный метод. Два полнотельных обожженных кирпича укладывают постелями друг на друга под углом 90 градусов и толщиной глиняного раствора 2 см. После высыхания раствора, верхний кирпич устанавливают на две опоры, а к нижнему подвешивают ведро, в которое засыпают сухой песок. В момент отрыва нижнего кирпича прекращают подачу песка. Прочность сцепления определяют отношением суммарного веса нижнего кирпича и ведра с песком на площадь сцепления. В случае, если кривая разрыва проходит во внутреннем слое раствора, а не на его границе, полученный результат будет относиться к прочности при растя-

жени глиняного раствора, величина которой меньше величины прочности сцепления.

2.6.6. Сопротивление истиранию

Дополнительной характеристикой механических свойств глиносырцовых материалов служит истираемость. Это свойство важно для эксплуатации полов, ступеней и т. п. Поверхности глинобетона чувствительны к истиранию. Сопротивление материала истиранию определяют простым методом: при помощи металлической щетки с пригрузом весом около 5 кг. Истираемость оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания. Вместо металлической щетки можно также использовать пластину, покрытую наждачной бумагой. Немецкий стандарт DIN 52108 описывает методику определения сопротивления материала истиранию при помощи вращающегося диска. Однако это довольно дорогой прибор, которым можно пользоваться только в научно-исследовательских целях. На практике можно использовать вращающийся



2.6-5 Упрощенный метод определения прочности сцепления глиняного раствора.

ся диск ручного электроинструмента, покрытый наждачной бумагой.

2.6.7. Модуль упругости

Модуль упругости глинобетона изменяется от 6000 до 7000 Н/мм².

2.7. Значение pH

Реакция среды по данным водных вытяжек для глинистых грунтов колеблется от 7 до 8,5. В настоящее время, если грунт находится за пределами промышленной зоны, кислая реакция среды грунта (pH меньше 7) может быть только ниже верхнего слоя, по причине выпадения кислотного дождя. Щелочная реакция среды грунта препятствует росту гриба. Благоприятное значение водородного показателя для его появления обычно находится в пределах между 6,5 и 4,5.

2.8. Радиоактивность

Измерения бета и гамма-излучений показали, что их средние значения для глинобетона не превышают средние значения для железобетона и обожженного кирпича. Однако следует заметить, что радиоактивное излучение некоторых обжиговых кирпичей, исследованных автором, было гораздо выше, возможно, по причине того, что в качестве добавок применяли золу и шлак электростанций и литейного производства, которые сами имели повышенное радиоактивное излучение. Гораздо более серьезную опасность, чем бета и гамма лучи представляют альфа лучи, излучаемые радиоактивным газом радон, а также короткоживущие продукты его распада.

“Мягкие” лучи не могут проникать в тело человека, так как они поглощаются верхней одеждой, но могут попасть в дыхательные органы, вызывая рак легких. Ниже представлены значения излучения газа радона различными материалами, измеренные в м беккерель/кг ч.

Природный гипс	25,2
Цемент	57,6
Строительный песок	54,0
Обожженный глиняный кирпич	5,0
Силикатный кирпич	13,3
Газобетон	18,0

Из данных видно, что глиняный обожженный кирпич излучает значительно меньше радона по сравнению с другими строительными материалами.

Таблица 2.3. Допустимые значения сжимающего напряжения для глинобетона согласно немецкому стандарту DIN 18954

Объемный вес глинобетона в сухом состоянии (кг/м ³)	Прочность при сжатии (кг/см ²)	Допустимое сжимающее напряжение (кг/см ²)					
		Стены	Опора с отношением h/d от				
			11	12	13	14	15
1600	20	3	3	2	1		
1900	30	4	4	3	2	1	
2200	40	5	5	4	3	2	1

3. Подготовка глинистого грунта

3.1. Общие сведения

Одним из основных технологических переделов при производстве глиносырцовых изделий является подготовка грунта. Технологическая схема и оборудование для переработки зависят от типа используемого глинистого грунта и многих других факторов.

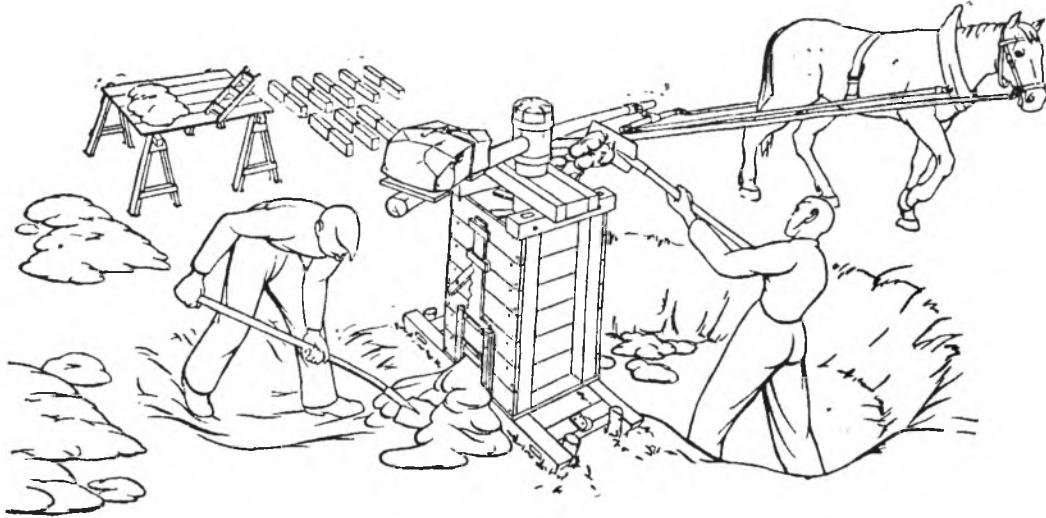
3.2. Подготовка грунта и приготовление смеси

Самым простым способом подготовки грунта без применения специального оборудования является его

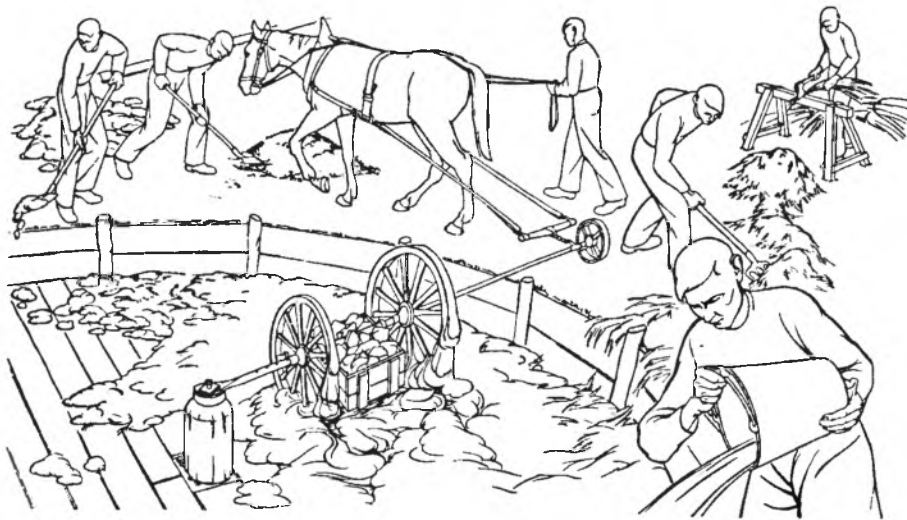
укладка в растворные ящики и обильное затворение водой. Через два — четыре дня комовая глина распускается и превращается в подвижную глиняную массу, в которую можно добавлять заполнитель и перемешивать вручную, при помощи ног или механизированного оборудования.

В странах с холодным климатом традиционный способ подготовки состоял в следующем: влажный глинистый грунт укладывали в отвалы высотой 20—40 см, обильно поливали и оставляли промерзнуть на зиму. За счет расширения замерзшей воды глинистый грунт распускался.

Подготовить глинистый грунт можно, разминая его



3.2-1 Глиномаялка, Миллер, 1974 г.



3.2-2 Яма для разминания глины, Миллер, 1974 г.



3.2-3 Полигонная установка для приготовления глиномассы

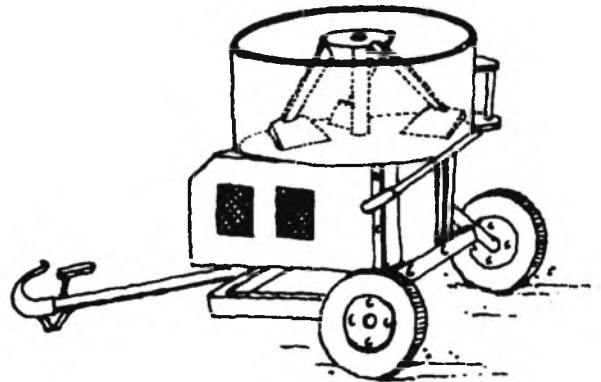
ногами. Для этой работы также используются животные. В процессе разрушения структуры грунта ногами можно добавлять в него солому, сечку, крупнозернистый песок и другие добавки. Для перемешивания смеси в Германии традиционно использовались глиномялки (рис. 3.2-1) и ямы для разминания глины (рис. 3.2-2).

В лаборатории FEB, университета в г. Кассель (Германия) была создана полигонная установка для приготовления глиномассы (рис. 3.2-3). Рабочий орган состоит из пары старых шин от грузовика, заполненных тяжелым бетоном. Шины крепятся к горизонтальной балке, которая фиксируется на вертикальном столбе. Рабочий орган одновременно измельчает глинистый грунт и перемешивает его с заполнителями до однородной массы. Установка приготавливала один кубический метр готовой глинобетонной смеси за 15 минут (при этом использовался труд трех человек, которые собирали лопатами глиномассу и накидывали ее обратно к рабочему органу).

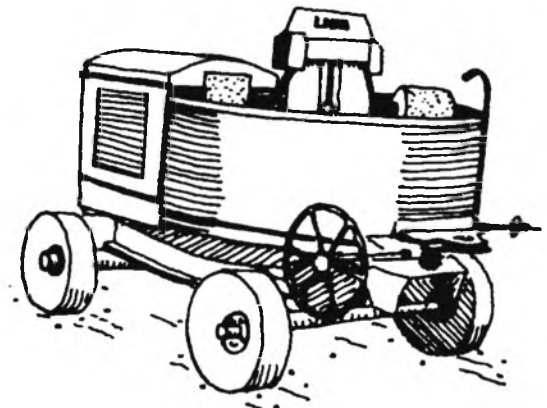
Современная технология приготовления глинобетонной смеси включает в себя применение циклических растворосмесителей с горизонтальным (рис. 3.2-7) или вертикальным (рис. 3.2-5) валами. В целях механизации процесса подачи компонентов в бетонорастворосмесителях используют загрузочное устройство — скиповый подъемник (рис. 3.2-8). Выгрузка приготовленной глинобетонной смеси из работающего принудительного смесителя с горизонтальным валом в тачку осуществляется опрокидыванием емкости посредством штурвала. Операция по выгрузке из роторного смесителя проще, здесь достаточно открыть шиберную заслонку, через которую за счет работы ротора смесь поступает в расходную емкость. Не рекомендуют приготавливать глинобетонную смесь в гравитационных бетоносмесителях, т. к. в них трудно добиться однородности смеси. Качественную смесь можно получить в растворосмесителе, изображенном на рисунке 3.2-7, который был специально разработан для приготовления глинобетонной смеси из любого типа грунта (фирма «Хойзер»). Если необходимо приготовить небольшое количество глиняного кладочного или штукатурного



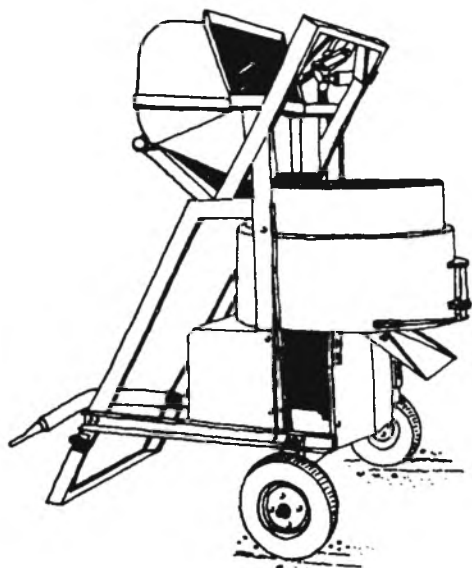
3.2-4 Садовый культиватор



3.2-5 Роторный смеситель



3.2-6 Бегуны



3.2-7 Растворомешалка с горизонтальным валом

раствора, то используют насадку для перемешивания, работающую от ручного электрического инструмента (рис. 3.2-9).

При небольших объемах работ по рыхлению супесчаного грунта целесообразно применять садовый культиватор (рис. 3.2-4). Если мы имеем дело с пластичной сухой комковатой глиной, то для ее измельчения и усреднения (рис. 3.2-6) рекомендуются бегуны. Мобильный вариант исполнения этого оборудования позволяет использовать его для рассредоточенного строительства.

Измельчение глинистого сырья с влажностью до 11% осуществляют в роторной дробилке (рис. 3.2-10), в которой била крепятся к ротору, установленному в горизонтальном положении. Мощность двигателя дробилки 4 кВт, скорость вращения ротора 1440 оборотов в минуту. Измельчать глинистые грунты можно также при помощи дезинтегратора, изображенного на рисунке 3.2-11, изготовленного бельгийской фирмой «Сиратек». Дезинтегратор мощностью 3 лошадиные силы способен подготовить до 20 м³ грунта за 8 часов. Рабочим органом дезинтегратора являются два вращающихся в противоположные стороны ротора (корзины), насаженных на отдельные соосные валы. На дисках роторов по концентрическим окружностям расположены 2—4 ряда круглых цилиндрических пальцев. Дробилка на бензиновом двигателе весом 100 кг, изображенная на рисунке 3.2-12, изготовлена французской фирмой «Роер» (Франция), способна измельчить до 30 м³ глинистого грунта за 8 часов.

3.2-8 Смеситель принудительного действия со скиповым устройством

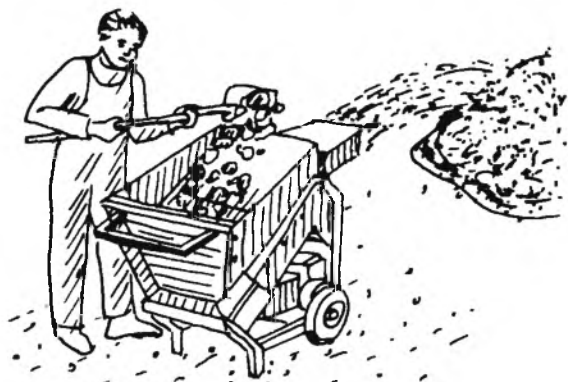
3.2-9 Электроручной инструмент с насадкой для перемешивания

3.2-10 Роторная дробилка

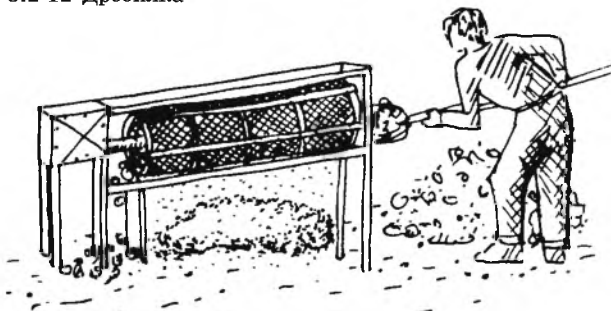




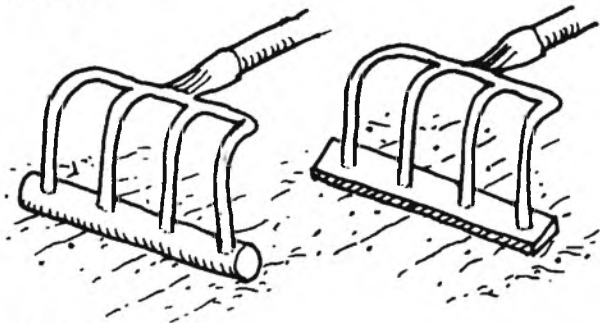
3.2-11 Дезинтегратор



3.2-12 Дробилка



3.3-1 Сито



3.4-1 Грабли

3.3. Просеивание

Для некоторых глинистых грунтов, содержащих в своем составе крупные включения, требуется их выделение. Решить эту проблему можно при помощи недорогого и простого в эксплуатации устройства — сита. Наиболее эффективны сита цилиндрической формы, которые приводятся в действие вручную или при помощи двигателя (рис. 3.3-1).

3.4. Обогащение

Для того, чтобы обогатить песчаные и супесчаные грунты глинистым веществом, применяют глинистый шлам, который приготавливают, смешав сухой глиняный порошок, содержащий большое количество глинистых частиц, с водой. Существует второй способ. Жирную комковую глину заливают водой в емкости и оставляют на несколько дней. Затем при помощи специальных граблей (рис. 3.4-1) или ручного электрического инструмента с насадкой перемешивают с песчаным или супесчаным грунтами. Более эффективным оборудованием для перемешивания глинопесчаных смесей является растворомешалка.

3.5. Вылеживание

Экспериментально доказано, что вылеживание замоченной глины улучшает ее свойства. Причиной данного феномена, возможно, является то, что глинистые минералы вследствие электрохимического притяжения образуют более компактную и упорядоченную структуру. Поэтому целесообразно оставлять замоченную глину на 12—48 часов.

3.6. Отощение

Если грунт содержит слишком много глинистого вещества, его следует отощить. Введение заполнителей, таких как песок и гравий, увеличивает прочность на сжатие глинобетона. Эти добавки, до перемешивания их с грунтом, должны быть обработаны в глинистом шламе. В качестве заполнителя можно использовать конский волос, коровий навоз, солому, костру, шелуху, опилки и другие отходы. Эти добавки уменьшают усадку и улучшают теплофизические свойства глинобетона.

4. Улучшение свойств глинобетона

4.1. Общие сведения

В соответствии с областью применения глинобетона изменяются требования к его свойствам. Оптимизируя зерновой состав грунтов, можно улучшить свойства глиносырцовых материалов. Изменить свойства строительного материала можно также за счет введения добавок или специальной обработкой. Однако добавки, улучшающие одни свойства, могут ухудшить другие. На рис. 4.1-1 видно, что добавки крахмала и целлюлозы повышают прочность при сжатии и изгибе, но одновременно снижают прочность при растяжении и повышают усадку, что является недостатком.

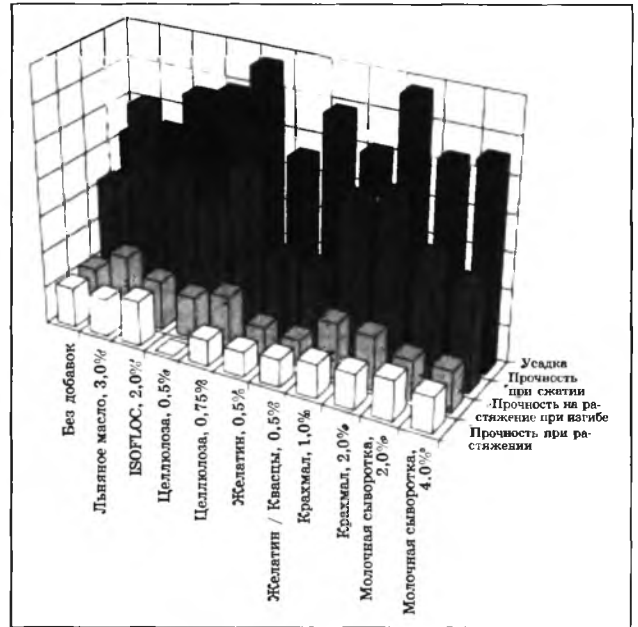
4.2. Снижение усадки глинобетона

4.2.1. Общие сведения

Усадка глинобетона происходит с изменением его влажности. Величина усадки зависит от содержания воды, вида и количества глинистых минералов, а также от гранулометрического состава грунта (раздел 2.3.3).

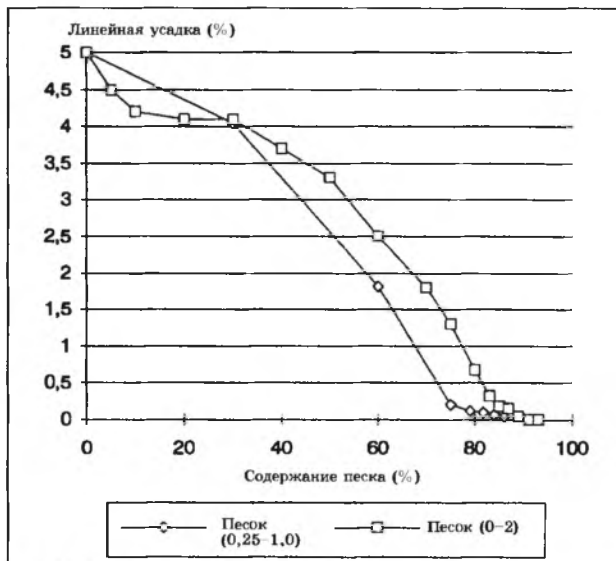
4.2.2. Расход песка

Введение песка и более крупных заполнителей уменьшают содержание глинистого вещества в глинобетонной смеси и снижают усадку глинобетона. Результаты проведенных исследований представлены на рисунках 4.2-1 и 4.2-2. Из рисунка 4.2-1 видно, что изменяя расход песка в смеси с грунтом, состоящим из глинистых и пылевидных частиц в равных долях, мож-

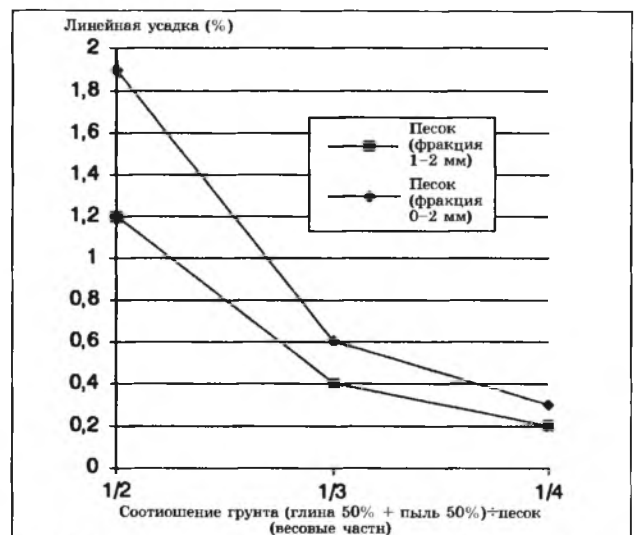


4.1-1 Влияние различных добавок на усадку, прочность при сжатии, при изгибе, при растяжении глинобетона (легкий суглинок: глина 15%, пыль 29%, песок 56%)

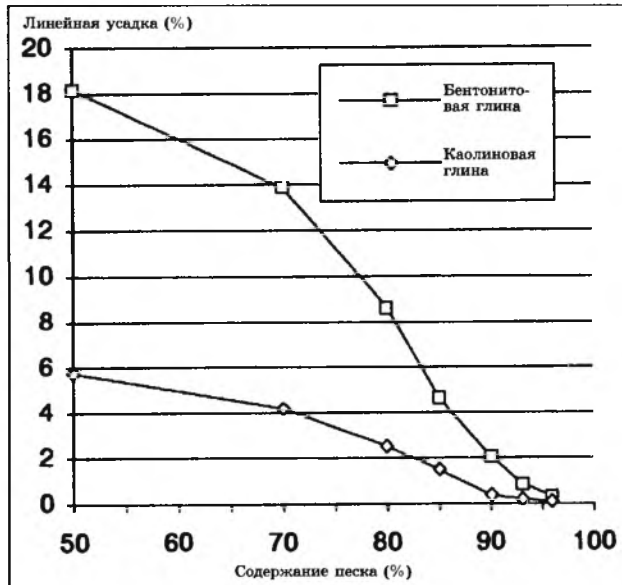
но достичь близкой к нулю усадки глинобетона. При этом все сравниваемые образцы глинобетона имеют нормальную консистенцию смеси (раздел 2.3.3). Состав глинобетона, состоящий на 90% от массы воздушно-сухих компонентов из песка фракции 0-2 мм или на 80% из песка фракции 0,25-1,0 мм снижают



4.2-1. Зависимость усадки от расхода песка



4.2-2 Влияние усадки глинобетона от расхода песка различных фракций



4.2-3 Зависимость усадки глинобетона от расхода песка и минералогического состава глинистых грунтов

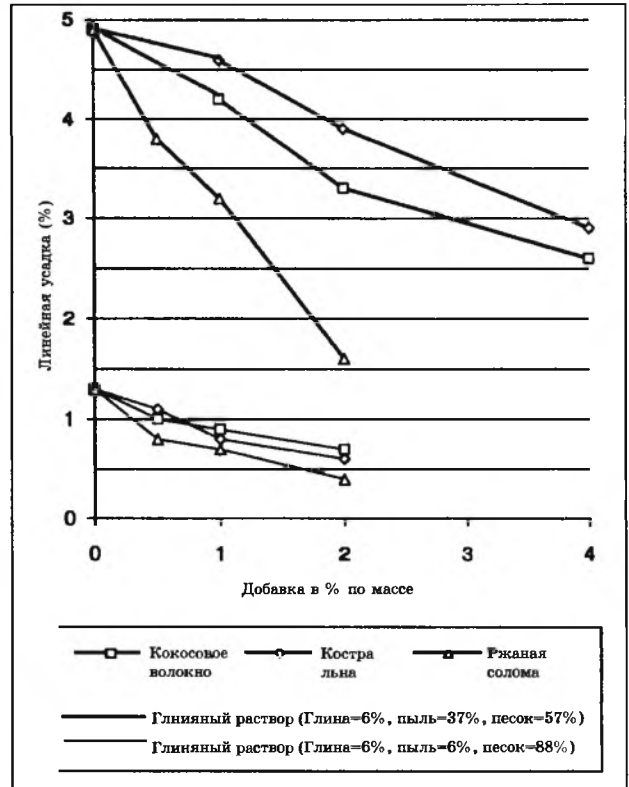
его усадку до 0,1%. Аналогичная зависимость представлена на рисунке 4.2-2. Введение песка более крупной фракции 1–2 мм также снижает усадку глинобетона. Влияние минералогического состава глинистых грунтов и расхода песка на усадку глинобетона показано на рисунке 4.2-3. Каолиновая глина состоит на 90–95% из минерала группы каолинит, а бентонитовая — на 71% из монтмориллонита и на 16% из иллита, которые отождествляют песком фракции 0–2 мм.

4.2.3. Пластифицирующие добавки

Добавки разжижающего действия, которые вводятся в глинобетонную смесь в виде водных растворов рабочей концентрации, служат одновременно для увеличения подвижности и снижения водопотребности смеси. С их введением добиваются снижения усадки глинобетона. К пластифицирующим добавкам разжижающего действия можно отнести жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3-4 \text{SiO}_2$), соду (Na_2CO_3), а также гумусовые и дубильные кислоты. Экспериментальные данные, полученные в исследовательской лаборатории экспериментального строительства (*Forschungslabor für Experimentelles Bauen*, далее — ФЕВ) Кассельского университета в Германии, показали, что применение вышеупомянутых пластифицирующих добавок незначительно увеличивает подвижность. Добавка молочной сыворотки позволила значительно снизить водопотребность и повысить подвижность глинобетонной смеси.

4.2.4. Волокнистые добавки

Для снижения усадки глинобетона применяют волокнистые добавки, такие как сизаль (мексиканская трава), волокно кокосового ореха, иглы хвойных деревьев,



4.2-4 Коэффициент усадки глиняных смесей с добавлением волокон

резаная солома, алоэ или бамбук, а также волосы человека или животных. Усадка снижается благодаря тому, что уровень относительного содержания глинистого вещества уменьшается, а часть воды затворения впитывается в поры волокон. Уменьшается также трещинообразование, которое имеет усадочную природу. За счет введения волокнистых добавок повышается трещиностойкость глинобетона. Исследования, проведенные в ФЕВ с некоторыми волокнистыми добавками, представлены на рисунке 4.2-4.

4.2.5. Конструктивные мероприятия

Для уменьшения усадочных трещин при возведении монолитных глинобетонных конструкций зданий и сооружений необходимо определить оптимальный объем укладки смеси и продолжительность ее высыхания, с тем чтобы не вызывать внутренних напряжений в структуре материала. Отформованные саманные камни защищают от ветра и попадания прямых солнечных лучей, а для обеспечения равномерной сушки их через определенное время перекладывают на разные грани.

Конструктивные мероприятия предусматривают устройство усадочных швов для избежания появления неконтролируемых усадочных трещин (разделы 5.6.1, 8.4 и 14.4.3).

4.3. Повышение водостойкости

4.3.1. Общие сведения

Глинобетон является неводостойким строительным материалом. Повысить его водостойкость можно за счет введения стабилизирующих добавок. В том случае, если глиносырцовая стена имеет надежную гидроизоляцию с покоем, защищена от атмосферных воздействий штукатуркой, покраской, облицовкой, а на кровле здания устроены соответствующие карнизные свесы, то нет необходимости в применении стабилизаторов. Однако для зданий, в которых не уделено должного внимания конструктивным мероприятиям, а грунтовые стены подвержены воздействию осадков, нужно обязательно вводить в глинобетонную смесь стабилизирующие добавки. Теоретически, для придания поверхности атмосферостойчивости, достаточно защитить ее слоем краски, но при эксплуатации зданий, зачастую, от механических воздействий покрытие растрескивается. В образовавшиеся трещины проникает дождевая вода, которая вызывает эрозию материала. Эмпирические данные доказывают, что добавки цемента и битума являются хорошими стабилизаторами супесчаных грунтов, а добавки извести повышают водостойкость легких суглинков. Большое влияние, как правило, оказывают количество и группы глинистых минералов (раздел 4.5.5). Взаимодействие между основными глинообразующими минералами и известью происходит при обычных температурах с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Водостойкость глинобетона можно повысить, изменяя гранулометрический состав грунта. Это можно проиллюстрировать на примере трех грунтовых кирпичей (рис. 4.3-1), на которые в течение двух минут было пролито 10 литров воды. Грунтовый кирпич в центре, изготовленный из лессовидного суглинка с высоким содержанием пылевидных частиц, от воздействия воды размыло на глубину 5 мм. Образец справа — кирпич-сырец с содержанием глинистого вещества более 30 %, размыло на 3 мм. На сырцовом кирпиче слева, имеющем улучшенный гранулометрический состав грунта, не было обнаружено размывания поверхности.

4.3.2. Минеральные вяжущие вещества

Цемент

Цемент является подходящим стабилизатором для глинистых грунтов с низким содержанием глинистого вещества. Чем выше содержание в грунте частиц размером менее 0,005 мм, тем для достижения удовлетворительного стабилизирующего эффекта больше расходуется цемента.

Исследования, проведенные в ФЕВ с грунтом одного грансостава, показали, что при введении незначительного количества цемента прочность при сжатии цементогрунта ниже прочности при сжатии глинобетона, нестабилизированного цементом (раздел 4.5.5).

Так же как и цементный бетон, цементогрунт достигает своей проектной прочности на 28 сутки. Цемен-



4.3-1 Грунтовые кирпичи после испытаний

тогрунтовые камни должны храниться во влажной среде в течение, как минимум, семи дней. Если они не защищены от ветра и прямого попадания солнечных лучей, то во время твердения их необходимо укрывать рогожами и поливать водой.

Для ускорения твердения в состав цементогрунта добавляют едкий натр (NaOH) из расчета 20–40 грамм или 10 грамм сульфата, карбоната или силиката натрия (NaSO_4 , Na_2CO_3 или Na_2SiO_2) на каждый литр воды затворения.

Известь

Коллоидная и глинистая фракции являются активными тонкодисперсными частями грунта, обладающими большой обменной и сорбционной способностью. Способность к ионному обмену — один из видов сорбционных явлений — имеет большое практическое значение, так как в зависимости от состава обменных катионов в поглощающем комплексе грунта резко меняются его физико-механические свойства. Взаимодействие между основными глинообразующими минералами и известью происходит при обычных температурах с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Находящаяся в глинистых грунтах в небольших количествах свободная кремниевая кислота вступает в реакцию с известью, образуя гидросиликат кальция. Образование гидросиликатов и гидроалюминатов кальция происходит при взаимодействии кремниевой кислоты и алюминатов, образующихся за счет небольшого растворения кремнезема и глинозема в растворе, насыщенном известью. Оптимальный расход извести определяется экспериментально для каждого конкретного грунта. Незначительные добавки извести не повышают прочность при сжатии стабилизированного глинобетона (раздел 4.5).

Битум

Битумы применялись в качестве вяжущего и водоизолирующего материала еще в глубокой древности. Для стабилизации грунтового кирпича битум использовали уже в Вавилоне в V в. до н.э. Битум эффективен для укрепления грунтов с низким содержанием глинистых частиц и большим количеством песка. Мож-

но добиться более высоких физико-механических свойств глинобетона, стабилизированного битумом, если смесь уплотнять, поэтому грунтовые камни с добавками битума прессуют. Битумы растворяют в органических растворителях или в воде с эмульгаторами. В качестве растворителей применяют лигроин, парафиновое масло или нефть. Рекомендуется применять смесь из 4—5 частей битума, одной части парафинового масла и одного процента парафина, полученного при нагревании до 100°С. Из этого концентрата делают 3—6 процентный раствор. После испарения растворителя и воды образуется плёнка, которая склеивает частицы грунта, препятствуя тем самым проникновению воды.

Жидкое стекло

Хорошим стабилизатором глинобетона на основе супесчаных грунтов является жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O} \times 3-4 \text{SiO}_2$). При применении его разбавляют водой в пропорции 1:1 — в противном случае образуются микротрещины, через которые происходит сильное водопоглощение.

4.3.3. Добавки животного происхождения

Для повышения водостойкости глиносырцовых материалов на протяжении многих веков в качестве стабилизирующих добавок животного происхождения применяли кровь, урину, навоз, казеин и костный клей. В северной Германии поверхность полов из уплотненного глинистого грунта обрабатывали бычьей кровью, что придавало им устойчивость к истиранию. Во многих странах для укрепления поверхностей в грунтовую смесь добавляли молочную сыворотку и урину. Добавки навоза, который предварительно выдерживали в зависимости от температуры от 1 до 4 дней с целью протекания ферментационного процесса, значительно повышали водостойкость глиняной штукатурки.

В Индии традиционная глиняная штукатурка (*гобар*), которая применяется и в настоящее время, содержит коровий навоз. Приготавливают штукатурный раствор следующим образом. Коровий навоз затворяют водой и оставляют на один день. Затем добавляют глини-

стый грунт, перемешивают и выдерживают до одного дня. Исследования, проведенные в ФЕВ со штукатурным раствором на основе грунта с содержанием 10% глинистого вещества и 3,5% коровьего навоза, показали, что при переменном увлажнении и высыхании согласно методу, описанному в разделе 2.3.7, признаки эрозии появились только через четыре часа. У глиняной штукатурки без добавок навоза эрозия появилась всего через четыре минуты.

4.3.4. Смешанные добавки

В прошлом во многих странах для повышения водостойкости глиносырцовых материалов применяли смешанные добавки извести с навозной жижей или с коровьим навозом, либо с обезжиренным творогом. К примеру, при приготовлении традиционного состава рекомендуется смешать одну часть порошковой извести с восемью частями супесчаного грунта, а затем затворить эту смесь в лошадиной навозной жиже на сутки, после чего её можно применять в качестве штукатурного раствора. Между известью и навозной жижей происходит химическая реакция, в результате которой образуется альбуминат кальция, который нерастворим в воде. Содержащаяся в жиже целлюлоза, волокна которой служат арматурой в материале, повышает прочность при растяжении глинобетона, а входящий в химический состав новообразований аммиак обладает антибактериальным действием.

В лаборатории ФЕВ были разработаны следующие составы:

- (а) одна часть гидравлической извести, четыре части коровьего навоза литой консистенции, выдержанного в течение трёх дней, и восемь частей супеси;
- (б) четыре части гидравлической извести, одна часть обезжиренного творога и десять частей супеси.

4.3.5. Добавки растительного происхождения

Масло- и латекс-содержащие млечные соки каучуконосных растений, таких как сизаль, агава, банан и «волчье молоко» (*Euphorbia herea*), успешно применяют с известковой добавкой во многих странах в качестве окрасочного покрытия для повышения атмосферостойчивости. Исследования ФЕВ показали, что льняная олифа является долговечной защитой от атмосферных воздействий грунтовых поверхностей, но паропроницаемость конструкции в этом случае значительно снижается (раздел 2.4.4). Данные некоторых отчётов свидетельствуют о том, что для уменьшения эрозии глинобетона в качестве добавок можно применять крахмал и патоку. Смешанная добавка патоки и незначительного количества извести еще больше снижает эрозию глиносырцовых материалов.

4.3.6. Синтетические добавки

Для стабилизации глинобетона применяют синтетические смолы, парафины, латексы, а также искус-



4.4-1 Влияние времени перемешивания глиняного раствора на разрушение от удара при падении образцов

ственный воск. Высокая стоимость, разрушение под воздействием ультрафиолетовых лучей, повышенная паронепроницаемость синтетических добавок сдерживают их применение, поэтому в книге им уделено незначительное внимание. Перед использованием синтетических добавок проводят испытания их свойств. Силан, силоксан, силиконаты, акриловые смолы и эфиры кремниевой кислоты являются водоотталкивающими средствами, которые описаны в разделе 12.4.

4.4. Повышение прочности при растяжении

4.4.1. Общие сведения

Чем выше сырцовая прочность при растяжении грунта, тем выше прочность при сжатии и сопротивление истиранию глинобетона в сухом состоянии. Методика определения сырцовой прочности описана в разделе 2.6.1. Особых требований к сырцовой прочности при разрыве грунтов не существует. Увеличить прочность глинобетона возможно за счет введения в исходный грунт жирной глины, а также при помощи тщательного приготовления смеси и предварительной ее подготовки (раздел 3.5). Минеральные добавки, добавки животного и растительного происхождения, применяемые для повышения водостойкости, могут как повышать, так и понижать сырцовую прочность при растяжении глинобетона. В данном разделе рассматриваются различные способы увеличения сырцовой прочности.

4.4.2. Время перемешивания

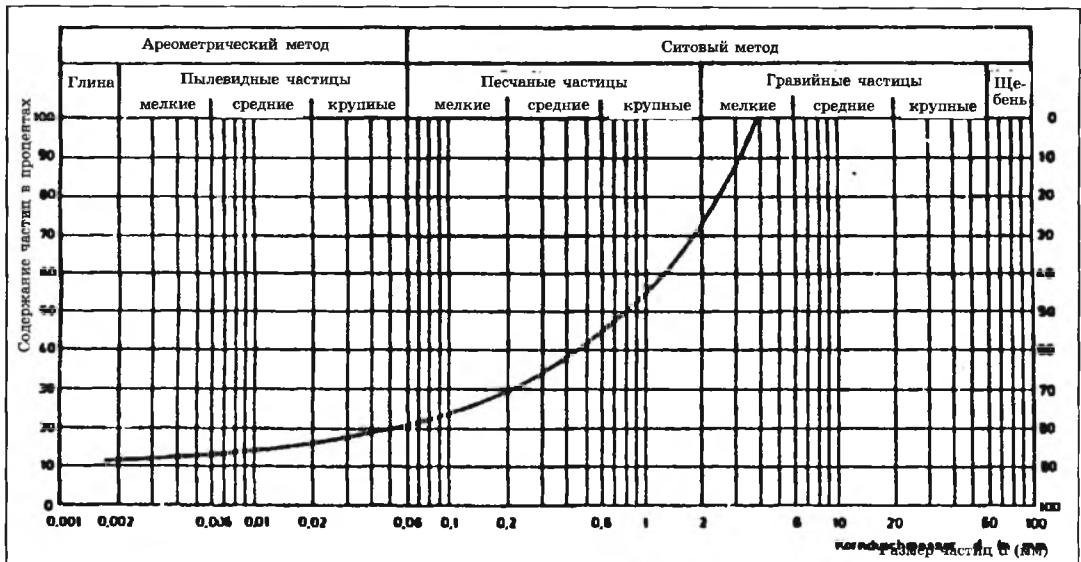
Сырцовая прочность при растяжении глинобетона зависит от времени приготовления смеси.

Исследования технологии приготовления глинобетонной смеси, проведенные в ФЕВ, показали, что сырцовая прочность глинобетона на основе лессовидного

грунта, перемешанного в лабораторном смесителе в течение 10 минут, на 57% выше прочности глинобетона, приготовленного в течение одной минуты. При перемешивании смеси в течение 20 минут сырцовая прочность глинобетона снизилась на 11% по сравнению с прочностью образцов, приготовленных в течение 10 минут. Полученные результаты показывают, что существует оптимальное время приготовления смеси, при котором сырцовая прочность имеет максимальное значение. Оптимальное время перемешивания определяют опытным путем. Определить влияние времени перемешивания смеси на свойства материала можно с помощью упрощенного метода испытаний. На рисунке 4.4-1 изображены два грунтовых образца диаметром 5 см, которые были брошены на твердую поверхность с высоты 2 м. Смесь для изготовления образцов имела одинаковую консистенцию, но разное время перемешивания. Раствор для изготовления левого образца перемешивали в течение двух минут. Смесь для правого шарика приготавливали в течение десяти минут. Сравнение образцов после испытаний показали, что шарик, изготовленный из смеси, которую перемешивали дольше, имеет меньше отслоений и трещин.

4.4.3. Содержание глинистого вещества

Содержание в грунте глинистого вещества влияет на прочностные характеристики глинобетона. Сырцовую прочность глиносырцовых материалов на основе тощих грунтов можно повысить за счет введения в смесь грунтов с высоким содержанием глинистых частиц. Во многих странах строительная индустрия выпускает порошковую бентонитовую глину, которую фасуют в мешки. Она содержит 80—90% глинистого вещества и около 70 % глинистого минерала — монтмориллонита. Насыпная плотность бентонита в сухом состоянии достигает 800 кг/м³. Монтмориллонитовая глина



4.5-1 Кривая Фуллера, преобразованная Бомансом, 1989 г.

имеет высокую сырцовую прочность при растяжении, сильное набухание и большую усадку. Поэтому проще применять порошковую глину, которая используется в производстве керамических стеновых материалов и изделий. Пластичную комковатую глину замачивают на время в воде до образования сметанообразного раствора, а затем перемешивают в принудительном смесителе с сухими добавками до однородной массы (глава 3).

4.4.4. Добавки

Сырцовую прочность при растяжении глинобетона на основе тощих грунтов можно повысить за счет добавок молочной сыворотки, обезжиренного творога, урины, коровьего навоза, свежего сыра, льняной олифы, известково-казеинового клея. Целесообразность и необходимость применения добавок определяют в каждом конкретном случае. Некоторые данные, полученные в FEB, представлены на рисунке 4.1-1.

4.5. Повышение прочности при сжатии

4.5.1. Общие сведения

Прочность при сжатии глинобетона в сухом состоянии находится в пределах 20—50 кг/см². В соответ-



4.5-2 Прибор для уплотнения глинобетонных смесей, разработанный в лаборатории FEB, Кассель

ствии с немецким стандартом DIN 18954 допустимые значения сжимающих напряжений для стен составляют 3—5 кг/см². Повысить прочность при сжатии глинобетона необходимо в том случае, если исходные грунты имеют незначительное количество глинистого вещества или глиносырцовые конструкции являются несущими. Немецкие нормы ограничивают этажность зданий и сооружений с глиносырцовыми несущими стенами до двух этажей. Огромное значение для глинобетонных мелкоштучных изделий при транспортировке, укладке имеет прочность кромок, которая зависит от прочности при сжатии и растяжении. Прочность при сжатии глинобетона зависит от гранулометрического и минералогического состава грунта, количества воды затворения, способа уплотнения (статического или динамического). Крупнозернистые добавки повышают прочность при сжатии глинобетона. Считается, что лучшей смесью песка и гравия при введении в глинобетон будет смесь, обладающая минимальной пустотностью. Пустоты между песком и гравием заполняют пылевидные и глинистые частицы. Максимальное значение плотности дает высшую прочность при сжатии.

4.5.2. Оптимизация гранулометрического состава

Прочность при сжатии глинобетона может быть повышена не за счет увеличения содержания глинистого вещества, а при помощи оптимального расхода пылевидных, песчаных частиц и гравия. При подборе составов цементного бетона оптимальное соотношение зерен различных размеров проектируют по идеальной кривой просеивания. Такие смеси дают наиболее подвижные смеси при одном и том же расходе цемента, кроме того они менее склонны к расслаиванию. Примером подобных идеальных кривых могут служить кривые просеивания, предложенные Фуллером. Его уравнение имеет вид:

$$a = 100 \sqrt{d/D},$$

где d — размер зерен данной фракции, D — предельная крупность заполнителя.

Боманс (1989) подчеркивает, что эту формулу нельзя применять для проектирования состава глинобетона, так как, исходя из соответствующих арифметических действий, содержание глинистых частиц составит всего лишь 2—3%, чего явно недостаточно для изготовления глиносырцовых материалов. Формула действительна только для частиц, диаметр которых превышает 0,002 мм, а минимальное содержание глинистого вещества составляет 10%. С учетом этих требований формализованное выражение принимает следующий вид:

$$a_{10} = 90 \sqrt{d/D} + 10$$

На рисунке 4.5-1 показана идеальная кривая просеивания, полученная согласно формуле Фуллера, образованной Бомансом для грунта с максимальным размером частиц 4 мм.

4.5.3. Подготовка исходных грунтов

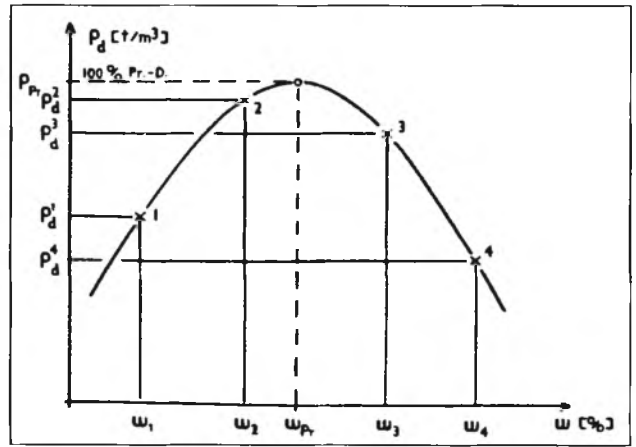
Прочность при сжатии глинобетона зависит от подготовки исходных грунтов.

Исследования, проведенные в институте строительной техники (Цюрих и Швейцария) и в лаборатории FEB, показали, что глинобетонный блок, спрессованный из грунта карьерной влажности, имеет меньшую прочность при сжатии по сравнению с прочностью глинобетонного блока, сформованного в деревянной форме без уплотнения на том же грунте, но с пластичной консистенцией. Экспериментальные работы, проведенные в лаборатории FEB, доказали, что прочность при сжатии грунтового камня ручного изготовления в среднем на 19% выше прочности камня, изготовленного на рычажном прессе с удельным давлением прессования 20 кг/см^2 . Утверждения многих исследователей о том, что увеличение удельного давления прессования глинобетона приводит к повышению прочности при сжатии, верно для отдельных случаев. Особенностью глинистых грунтов является слоистое строение глинистых минералов. Находясь в пластичном состоянии, глинистые минералы активизируются и соединяются в более плотные группы с параллельным расположением, что приводит к повышению сырцової прочности при растяжении и при сжатии в сухом состоянии. На рисунке 4.5-2 показано лабораторное оборудование для уплотнения глинобетонной смеси, которое было разработано FEB с целью изучения образцов диаметром 76 мм и высотой 100 мм. Первую серию образцов из лессовидного грунта карьерной влажности уплотняли десятью ударами 4,5-килограммового груза, падающего с высоты 0,45 м. Коэффициент уплотнения составил 1,3—1,4. Две последующие серии образцов заполняли в цилиндрические формы без уплотнения, но лессовидный грунт был предварительно перемешан с водой в принудительном смесителе в течение 2 и 15 минут соответственно.

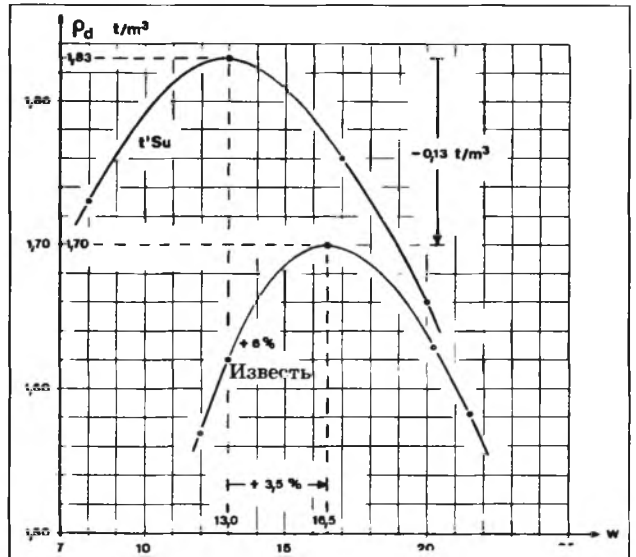
После сушки не уплотненные образцы показали прочность при сжатии на 28 и 38% соответственно, что выше по сравнению с прочностью утрамбованных образцов. Эти исследования доказывают, что специальная подготовка исходных грунтов может оказывать большее влияние на прочность глинобетона, чем уплотнение смеси. Следует отметить, что прочность при сжатии будет различаться в зависимости от типа грунтов.

Таблица 4.1 Значения прочности при сжатии после статического и динамического уплотнения легкого суглинка (глина — 15%, пыль — 29%, песок — 56%) и пылеватого суглинка (глина — 12%, пыль — 74%, песок — 14%)

Грунт	Плотность (кг/м ³)	Вибрация (1/мин)	Прочность при сжатии (Н/м ²)
Легкий запесоченный суглинок	2003	0	3,77
	1977	1500	4,11
	2005	3000	4,187
Легкий пылеватый суглинок	2023	0	2,63
	2009	1500	2,91
	2024	3000	3,00



4.5-3 Определение оптимальной влажности по кривой Проктора, Фот, 1978 г.

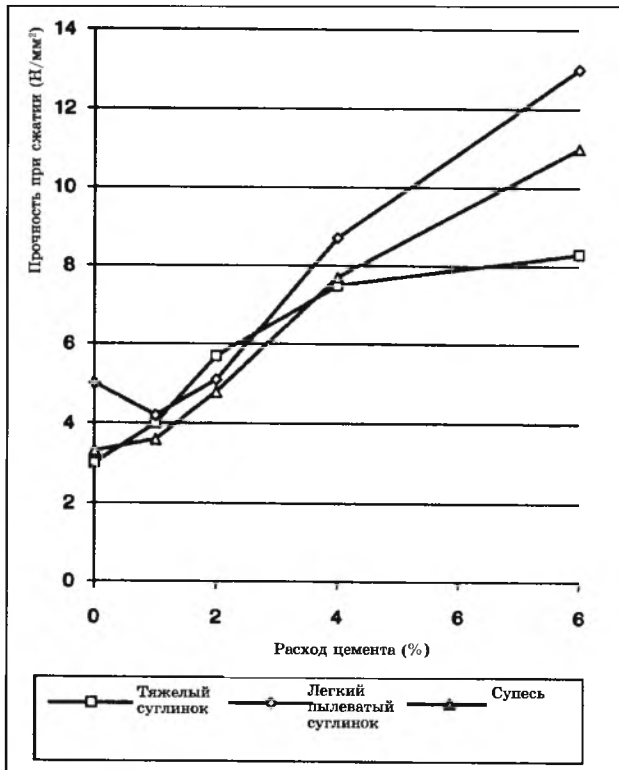


4.5-4 Кривые Проктора для пылеватого суглинка с добавкой и без добавки извести, Фот, 1978 г.

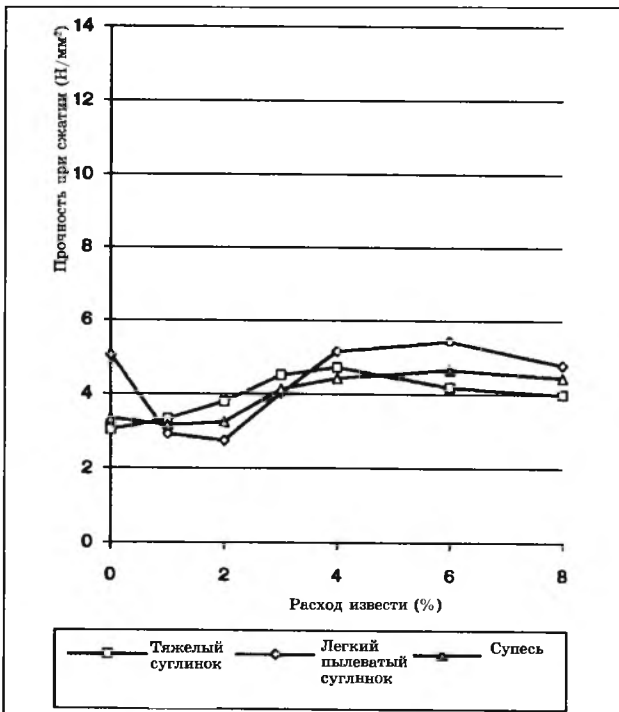
4.5.4. Уплотнение

Оптимальным способом уплотнения глинобетона на основе тощих глинистых грунтов является ударное или виброударное формование. Статическое прессование глиносырцовых мелкоштучных изделий менее эффективно для повышения прочности при сжатии. При виброударном прессовании происходит одновременное воздействие на смесь вибрации и удара от падающего пуансона.

Вибрирование уменьшает силу сцепления между частицами глинобетонной смеси и упаковывает ее в плотную структуру. В грунтах подвижной консистенции глинистые минералы создают параллельную, более плотную и упорядоченную структуру под воздействием электрических сил, что ведет к повышению прочности при сжатии и растяжении.



4.5-5 Влияние расхода цемента на прочность при сжатии цементогрунта



4.5-6 Влияние расхода извести на прочность при сжатии цементогрунта

В таблице 4.1 приведены сравнительные данные динамического и статического уплотнения глинобетона, полученные экспериментальным путем в лаборатории ФЕВ. Прочность при сжатии пылеватого суглинка при постоянном прессовом давлении и вибрации 3000 оборотов в минуту в течение 10 секунд повышается на 14%. Способ уплотнения влияет на оптимальное содержание воды в глинобетонной смеси, которое подбирается экспериментальным путем. В соответствии с немецким стандартом DIN 18127, оптимальное содержание воды в смеси соответствует максимальной плотности материала в сухом состоянии. Уплотнение осуществляют с помощью молотка Проктора. Для нахождения оптимального содержания воды образцы с различной влажностью уплотняют и определяют их плотность. За оптимальную влажность принимают значение влажности, соответствующее максимальной плотности, согласно графику 4.5-3, называют кривой Проктора.

Однако максимальная плотность глинобетона при оптимальном содержании воды не обязательно приводит к максимальному значению прочности при сжатии. Более важными свойствами для глинобетона являются удобообрабатываемость и прочность при растяжении. При определении требуемого количества воды для глинобетонной смеси не следует руководствоваться методикой DIN 18127. На практике, при изготовлении камней методом прессования из глинобетонных смесей с повышенной на 10% от оптимальной влажностью, физико-механические свойства изделий повышаются. Исследования Боманса доказывают, что при оптимальном содержании воды в грунтовой смеси не достигается максимальная прочность при сжатии глинобетона в сухом состоянии. При незначительном удельном давлении прессования и повышенном количестве воды затворения, а также при повышенном удельном давлении и пониженной влажности можно добиться одинакового значения прочности при сжатии глинобетона в сухом состоянии (Боманс, 1989 г., с. 60).

Эксперименты, проведенные в лаборатории ENTPE (Франция) доказали влияние минералогического состава грунтов при уплотнении на прочность при сжатии. Повышение удельного давления прессования с 2 до 8 МПа при изготовлении грунтовых камней увеличило прочность при сжатии на 50% у каолиновой глины и на 100% — у монтмориллонитовой (Оливер, Месбах, 1985 г.).

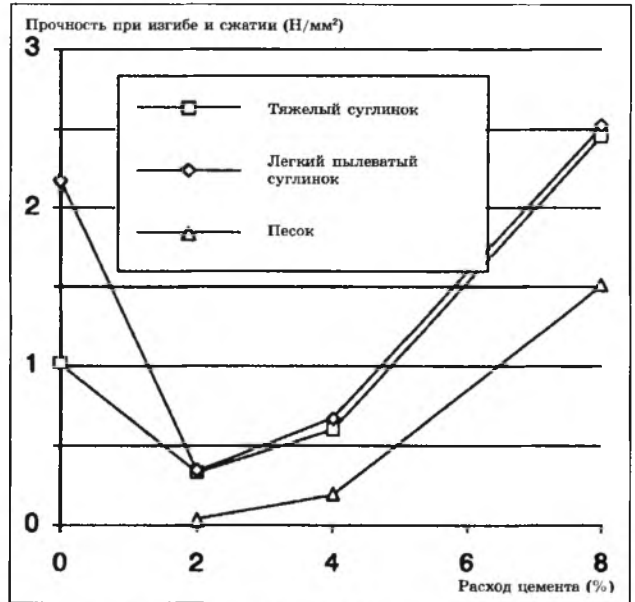
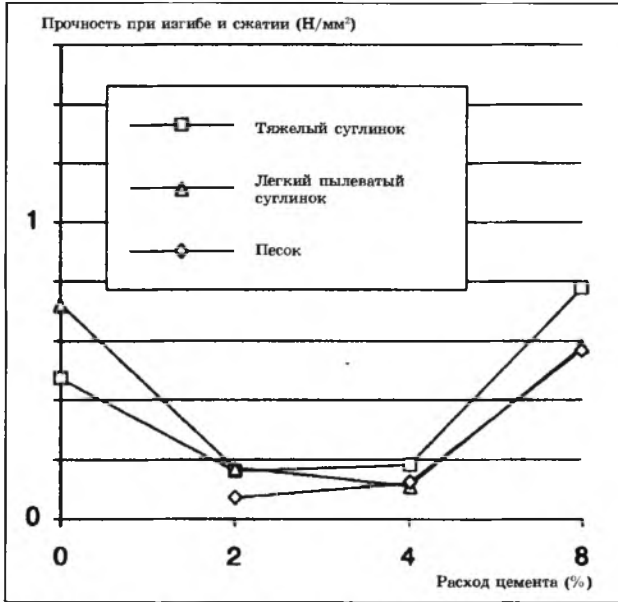
4.5.5. Минеральные добавки

Введение в тощий грунт монтмориллонитовой глины повышает прочность при сжатии глинобетона. В лаборатории ФЕВ проводили эксперименты с отмытым песком, который обогащали каолиновой и бентонитовой глиной. Добавки глинопорошка составляли 17% по массе. Содержание глинистого минерала — монтмориллонита в бентонитовой глине составляло около 70%. Прочность при сжатии глинобетона на каолиновой глине достигла 5 кг/см², на бентонитовой — 12 кг/см². Добавки извести и цемента свыше 5% от массы воз-

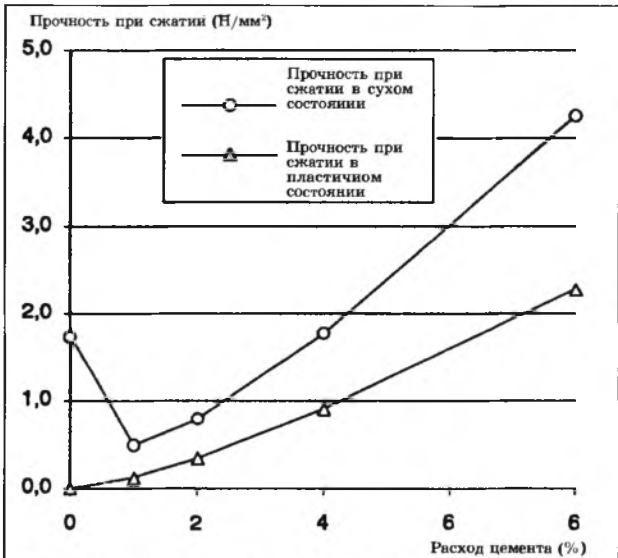
душно сухих компонентов повышают атмосферостойчивость и прочность при сжатии глинобетона. Известь и цемент разрушают связующую силу глинистого вещества в тощем грунте. Чем выше содержание глинистых частиц в грунте, тем большее количество извести и цемента требуется добавить.

Проведенные исследования показали, что добавки извести эффективны для суглинков, а цемента — для супесчаных грунтов. Экспериментально доказано, что цемент лучше работает с каолиновыми глинами, а известь — с монтмориллонитовыми. На практике рекомендуется обращать внимание на следующее:

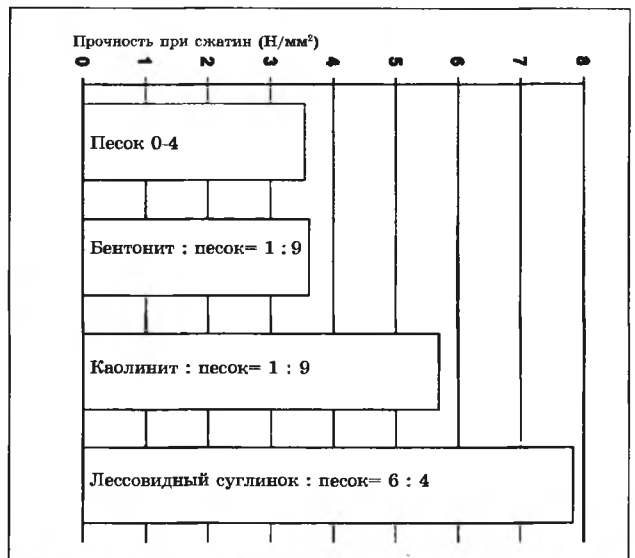
1. При стабилизации грунта незначительным количеством цемента или извести пустоты в смеси не всегда заполнены вяжущим.
2. При гидратации цемента образуется свободная известь, которая вступает в реакцию с находящейся в глинистых грунтах в небольших количествах кремнекислотой. При этом образуется гидросиликат кальция. В цементогрунте нормальный процесс твердения цемента нарушается, так как его твердение происходит в присутствии другого активного компонента — грунта, вступающего в разнообразные соединения с продуктами гидролиза цемента. В отли-



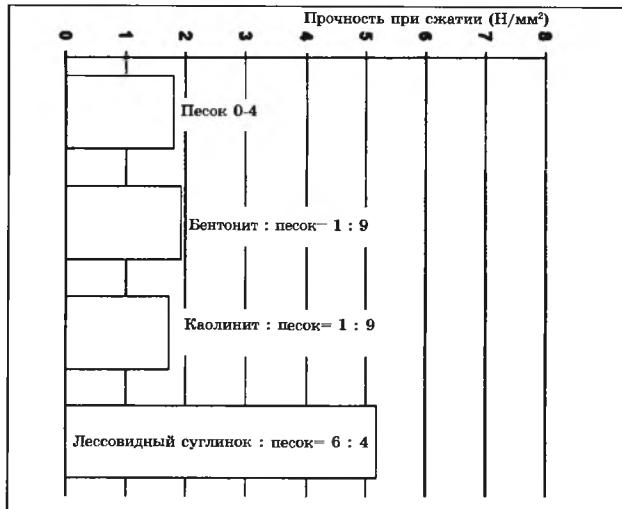
4.5-7 Влияние расхода цемента на прочность при изгибе и сжатии цементогрунта и песчаного бетона



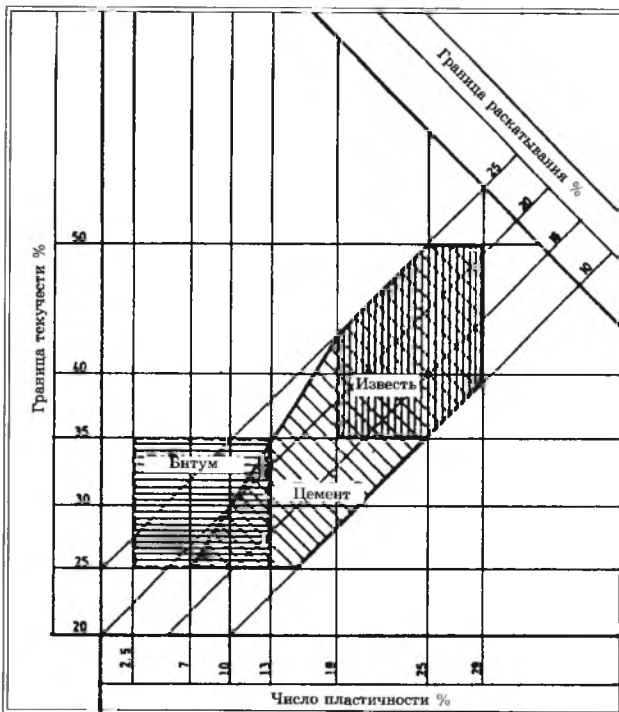
4.5-8 Прочность при сжатии цементогрунта на легком пылеватом суглинке (глина — 11%, пыль — 14%, песок — 75%)



4.5-9 Прочность при сжатии цементогрунта и песчаного бетона с 6-процентным расходом цемента



4.5-10 Прочность при сжатии цементогрунта и песчаного бетона с 6% расходом извести



4.5-11 Рекомендуемые стабилизаторы для грунтов разной пластичности, Крайтер, 1979 г.

чие от цементного бетона, набирающего марочную прочность в нормальных условиях на 28 сутки, твердение цементогрунта происходит медленнее, поэтому его прочность увеличивается даже через четыре недели.

3. Исследования показывают, что предварительное насыщение грунта добавками извести позволяет увеличить прочность цементогрунта. В результате наличия у грунта физико-химической и химической

поглощительной способности происходит обменная реакция между ионами кальция и катионами поглощающего комплекса, который длится 4—8 часов. Карбонизация извести углекислым газом воздуха, которая протекает очень медленно, также приводит к повышению прочности при сжатии.

4. Оптимальная влажность цементогрунта на пылеватом суглинке с добавкой извести превышает требуемое количество воды при изготовлении глинобетона на этом же грунте. Плотность в сухом состоянии цементогрунта ниже на $0,13 \text{ т/м}^3$ по сравнению с плотностью глинобетона (рис. 4.5-4).

Экспериментальные данные, полученные в лаборатории FEB (рис. 4.5-5), показывают, что глинобетон на пылеватом суглинке (12% — глина, 74% — пыль, 14% — песок), имеет прочность при сжатии в сухом состоянии 50 кг/см^2 . При введении в глинобетонную смесь незначительных добавок цемента прочность при сжатии цементогрунта уменьшается и увеличивается только при добавках цемента более 2%.

При добавках извести более 4% прочность при сжатии цементогрунта повышается (рис. 4.5-6). Стабилизация цементогрунта 6% извести снижает его прочность.

Введение незначительных добавок цемента в тощий глиняный раствор подвижной консистенции значительно снижает прочность при сжатии и изгибе глиняной штукатурки (рис. 4.5-7). Характер зависимостей прочности глинобетона в сухом и пластичном состоянии от расхода цемента представлен на рисунке 4.5-8.

Исследования, проведенные в лаборатории ЕНТРЕ, показывают: 4-процентный расход цемента увеличивает прочность при сжатии глинобетона на каолиновой глине, а при применении монтмориллонитовой глины прочность снижается. При сжатии глинобетона на основе каолиновой, а также монтмориллонитовой глины прочность увеличивается в два раза при введении 4% извести и 2% цемента (Оливер, Месбах, 1985 г.). Необходимо отметить, что эксперименты были проведены со смесями, которые имели оптимальное количество воды и высокое содержание глинистого вещества. Однако на практике такое повышение прочности не приводит к таким высоким результатам, так как грунты, применяемые в глиносырцовом строительстве, содержат от 5 до 15% глинистых частиц, а смеси уплотняют не с оптимальной влажностью.

Результаты экспериментов, проведенных в FEB на четырех различных смесях с добавкой 6% цемента и извести, соответственно представлены на рисунках 4.5-9 и 4.5-10. Интересно отметить, что прочность при сжатии образцов на песке и смеси песка с бентонитовым порошком при одинаковом расходе вяжущего практически не отличается. Прочность при сжатии цементогрунта на основе каолинового порошка и песка, укрепленного 6% извести, меньше прочности пескобетона (рис. 4.5-10).

На основе проведенных исследований были сформулированы следующие выводы:

1. Грунты с большим содержанием глинистого минерала — каолинита должны стабилизироваться цементом, а не известью.
2. Грунты с большим содержанием монтморилло-

та должны укрепляться известковым или смешанным, в соотношении 2:1 (известь : цемент), вяжущим.

3. Сильное уплотнение грунтов с большим количеством монтмориллонита значительно увеличивает прочность при сжатии глинобетона.

Группа Кратерр (1979 г.) рекомендует применение различных стабилизаторов для уплотнения грунтов в зависимости от их пластичности (рис. 4.5-11). Эти предложения не учитывают влияния различных групп глинистых минералов.

Приготовленную цементогрунтовую смесь необходимо сразу укладывать в дело, так как происходит схватывание цемента. Если готовая смесь не использовалась в течение нескольких часов, то прочность при сжатии цементогрунтовых камней может понизиться на 50%. При стабилизации грунтов известью вылеживание смеси не будет иметь такого отрицательного влияния на конечную прочность. Если в смесь введено менее 5% цемента, огромное влияние на прочность цементогрунта оказывают условия хранения. Такие изделия необходимо предохранять от прямого воздействия солнечных лучей и ветра. Потеря влаги цементогрунтом негативно сказывается на его марочной прочности, которая может уменьшиться на 20% по сравнению с блоками влажного хранения. При отсутствии возможности нормального хранения продукции ее укрывают рогожами и увлажняют несколько раз в день водой. При введении 10% цемента в грунтовую смесь режим хранения оказывает меньшее влияние на прочность (Хоубен, Гуйлауд, 1983 г.). Введение извести с любыми кислыми активными добавками (природными и искусственными) повышает физико-механические свойства цементогрунта. Свойствами пуццолана обладают некоторые виды вулканического пепла, топливные золы, а также зола унос, полученная от сжигания рисовой культуры. К искусственным кислым активным минеральным добавкам относят цемянку — порошок, получаемый тонким измельчением боя кирпича.

Силикатизация грунта с одновременным введением добавок кварцевого песка и мела позволяет получать прочность при сжатии укрепленного глинобетона 40—65 Н/мм², а дополнительное введение перекиси водорода к этим компонентам позволяет получать легкий глиногазобетон. Геополимер является результатом поликонденсации — процесса, который протекает в щелочной среде с образованием трехмерных звеньев и сопровождается выделением побочного низкомолекулярного вещества — воды. Глиногазобетонные изделия получают методом литья, экструзии и прессования.

Таблица 4.2 Влияние расхода органического заполнителя (измельченная солома длиной 5 см) на прочность при сжатии глинофибробетона

Соломенная фибра (в % по массе)	Плотность в сухом состоянии (кг/м ³)	Прочность при сжатии (Н/мм ²)
0	1882	2,2
1	1701	1,4
2	1571	1,3
4	1247	1,1
8	872	0,3

4.5.6. Органические добавки

Прочность при сжатии и изгибе глинобетона в сухом состоянии на основе каолиновой глины можно повысить от 10 до 20 раз за счет добавок урины и ацетата аммония (Вайс, 1963 г.). Высокая прочность китайского фарфора достигалась при обработке каолиновой глины уриной.

4.5.7. Волокнистые добавки

Для снижения усадки глинобетона в смесь вводят волокнистые добавки. Часто встречающиеся утверждения о том, что волокнистые добавки всегда повышают прочность при сжатии глинобетона не верны. Введение тонких волокон или волос в небольшом количестве повышает прочность при растяжении и, следовательно, при сжатии глинобетона. Однако при добавках соломенной фибры происходит снижение прочности, что экспериментально доказано лабораторией FEB (таблица 4.2).

4.6. Повышение прочности на истирание

С целью повышения прочности на истирание уплотненного глинобетона, лабораторией FEB проводились сравнительные эксперименты на грунте, содержащем 14% глины, 41% пыли и 45% песка и укрепленном различными стабилизаторами (натриевым жидким стеклом, костным клеем, смесью извести и обезжиренного творога, парафином, парафино-нефтяной смесью, мастикой для полов и льняной олифой). Полученные результаты показали, что меньшая истираемость глинобетона достигается при 10% добавке растворимого стекла. Однако через образовавшиеся микротрещины глинобетон поглощал влажные пары воздуха. Микротрещин можно было избежать, если предварительно приготовить раствор растворимого стекла с водой в соотношении 1:1.

Второй результат показал состав глинобетона, укрепленный 5% льняной олифы. Поверхность образца затирали мастерком, прикладывая сильное усилие, тем самым предотвращали образование микротрещин. Грунт, укрепленный смесью 5% обезжиренного творога и 5% извести, показал третий результат по прочности на истирание.

Истираемость глиносырцовых поверхностей может быть уменьшена с помощью различных защитных покрытий, которые должны глубоко проникать в структуру материала и время от времени обновляться. Исследования доказывают, что за счет дополнительного нанесения мастики на стабилизированные глиносырцовые поверхности значительно повышается их стойкость к истиранию.

Традиционно в Германии износостойкость полов повышали обработкой бычьей кровью (коровьей кровью и желчью, дегтем) с предварительным нанесением металлического шлака (Fe_3O_4), который утапливали в глиняную поверхность.

4.7. Повышение теплопроводности

4.7.1. Общие сведения

Теплофизические свойства глинобетона можно улучшить за счет введения в состав грунтовой смеси пористых материалов. В качестве легких добавок растительного происхождения применяют солому, тростник, морскую траву, пробку. Природными и искусственными пористыми минеральными заполнителями служат пемза, керамзит, пеностекло, вулканический туф, вспученный перлит. Отходы от деревообработки — опилки, стружку, щепу также применяют для уменьшения массы глинобетона.

В соответствии с немецким стандартом DIN 18951, легкий глинобетон должен иметь плотность не более 1200 кг/м^3 . Если в качестве заполнителя применяют измельченную солому, то такой материал называют легким глинофибробетоном, а при использовании древесных опилок или стружек — легким глинодеревобетоном. При применении пористых минеральных заполнителей строительный материал получает название легкого глинобетона на минеральном заполнителе. Эти три вида легкого глинобетона отличаются своими свойствами и способами изготовления.

Для приготовления легкого глинобетона применяют грунты с большим содержанием глинистого вещества, которые перемешивают с заполнителями вручную или в специальном оборудовании (раздел 3.6.).

4.7.2. Легкий глинофибробетон

Общие положения

Легкий глинофибробетон плотностью до 1200 кг/м^3 представляет собой смесь соломенной фибры и глинистого грунта. Если его плотность превышает 1200 кг/м^3 , то материал называют глинофибробетоном. Вид соломы, применяемой для производства глинофибробетона, является предметом спора во всем мире, и в каждом конкретном случае требует эксперимен-



4.7-1 Усадка глинофибробетона

тальной проверки. Исследования, проведенные на глиняной штукатурке с добавкой соломенной фибры различных культур, показали, что штукатурка на ячменной соломе имела наилучшие характеристики. Важное значение для физико-механических свойств глинофибробетона имеет структура соломенной фибры. Для увеличения теплофизических свойств глинофибробетона предпочтение отдается соломе с тонкими стабильными стеблями.

Резка соломенной фибры

Длина фибры не должна превышать толщину строительного материала. Резку соломы осуществляют различными ручными и механическими инструментами.

Порядок загрузки компонентов смеси

При приготовлении глинофибробетонной смеси важным является порядок загрузки компонентов смеси. Существуют два основных варианта загрузки. В первом случае в емкость с соломенной фиброй добавляют глиняный шлам, а затем перемешивают до однородной смеси. Второй вариант заключается в обратной последовательности загрузки, где фибру загружают в емкость с глиняным шлагом.

В разделе 10.3. представлена организация рабочего места глинобетонщиков, на котором обрабатывается, укладывается и утрамбовывается в стене глинофибробетонная смесь.

Термическое сопротивление

Теплозащита глиносырцовых стен фахверковых домов, построенных в средневековой Европе, не соответствует современным нормам. Глинофибробетон плотностью 1300 кг/м^3 в сухом состоянии, состоящий из 10 частей соломенной фибры, 2 частей глинопорошка с высоким содержанием глинистого вещества и 1 части воды, имеет коэффициент теплопроводности λ , равный $0,53 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$. Стена из глинофибробетона плотностью 1300 кг/м^3 , толщиной 14 см, покрытая двухсантиметровым слоем известковой штукатурки с двух сторон, имеет коэффициент теплопередачи, равный $2,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Согласно современным требованиям строительных норм во многих странах центральной и северной Европы коэффициент теплопередачи k , конструкции должен соответствовать $0,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Это значит, что толщина стены должна быть не 14 см, а 0,95 м. Даже с увеличением расхода соломенной фибры втрое, глинофибробетон с улучшенными теплофизическими свойствами не подойдет для наружных стен толщиной 14 см.

На практике невозможно достичь плотности глинофибробетона менее 500 кг/м^3 , так как соломенная фибра размягчается под воздействием воды в процессе перемешивания и теряет свою форму при уплотнении в опалубке.

Встречаются утверждения о получении более низкой плотности (до 300 кг/м^3), однако такие заявления неверны, так как часто они основываются на результатах неточных методов испытаний. Как правило, опалубка неплотно заполняется глинофибробетонной смесью.

Шурф, взятый из конструкции, высушивают и взвешивают, а результат делят на объем, который заполнен не полностью, что приводит к погрешности до 40%.

К сожалению, часто для расчета коэффициента теплопередачи принимают плотность глинофибробетона 300 кг/м^3 .

Реальная плотность глинофибробетона составляет 700 кг/м^3 , что соответствует коэффициенту теплопроводности λ , равному $0,21 \text{ Вт/м К}$. Поэтому стена толщиной 30 см, оштукатуренная с двух сторон, имеет коэффициент теплопередачи, равный $0,6 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$. Данное значение теплопередачи в два раза больше значения, которое рассчитывают, принимая плотность, равную 300 кг/м^3 .

Легкий глинофибробетон имеет ряд недостатков по сравнению с глинобетоном, поэтому при работе с ним необходимо помнить о следующем:

1. В умеренном и влажном климате образование грибка происходит через несколько дней, что сопровождается распространением характерного сильного запаха, который может вызвать у человека аллергию. Поэтому в ходе выполнения строительных работ необходимо обеспечивать хорошую вентиляцию для того, чтобы глинофибробетонные стены быстро высыхали. После полного высыхания стен, на что может потребоваться несколько месяцев или даже больше года, в зависимости от толщины стен и климата, грибок больше не образует споры. Однако образование спор может возобновиться в случае проникновения в стены влаги либо снаружи, либо изнутри. Причинами могут служить неправильно запроектированная конструкция наружной стены, цоколя, сливов и т. д. Можно воспрепятствовать образованию грибка, добавив в смесь известь или борную кислоту, однако это влечет за собой следующие недостатки:
 - существенно снижается прочность при сжатии и растяжении;
 - при приготовлении смеси с добавками борной кислоты необходимо соблюдать технику безопасности.
 Стены толще 25 см могут казаться сухими на поверхности, тогда как внутренняя часть стены преет (раздел 10.3).
2. Прочность глинофибробетона плотностью менее 600 кг/м^3 низка, поэтому забитые гвозди или дюбели в стене не держатся. Нанесение штукатурки является трудоемким процессом, так как требуется ее армирование.
3. При высыхании глинофибробетона происходит усадка, которая ведет к образованию щелей в верхней части конструкции (рис. 4.7-1), которые нужно тщательно заделывать, чтобы предотвратить образование «мостиков холода».
4. Возведение стен из глинофибробетона очень трудоемкий процесс. Трудозатраты на возведение стены толщиной в 33 см без применения специального оборудования для приготовления и подачи смеси составляют 6 ч/м^2 (2 ч/м^3), что в четыре раза выше по сравнению с трудозатратами на кирпичную кладку.

Вышеперечисленные недостатки можно избежать, если вместо соломенной фибры применять пористые минеральные заполнители.

К преимуществам использования легкого глинофибробетона можно отнести низкие материальные затраты на покупку сырья, а также отсутствие издержек на приобретение специального инструмента и оборудования, что очень привлекательно для частного строительства.

4.7.3. Легкий глинобетон на минеральном заполнителе

Общие положения

Для улучшения теплофизических свойств глинобетона вместо соломенной фибры рекомендуют добавлять различные пористые минеральные заполнители, например, керамзит, пеностекло, вулканический туф, вспученный перлит или пемзу. При правильном соотношении минеральных заполнителей можно полностью предотвратить усадку.

По сравнению с глинофибробетоном коэффициент паропроницаемости μ легкого глинобетона на минеральном заполнителе в два-три раза выше, поэтому вероятность образования конденсата в стене низка (раздел 2.4.2).

Еще одним преимуществом данного материала является то, что при перекачивании смеси в опалубку бетононасосами сокращаются трудозатраты. Укладка смеси в опалубку механизированным способом требует значительных инвестиций в оборудование, поэтому этот способ рекомендуется для объектов с большими объемами работ. Плотность глинобетона на минеральном заполнителе может быть $500\text{—}1200 \text{ кг/м}^3$.

Заполнитель

В некоторых индустриальных странах недорогим и легкодоступным заполнителем является керамзит. Это легкий и прочный заполнитель насыпной плотностью $250\text{—}800 \text{ кг/м}^3$. Его получают в процессе обжига легкоплавкой глины в печи при температуре до 1200°C . В изломе гранула керамзита имеет структуру застывшей пены. Спекшаяся оболочка, покрывающая гранулу, придает ей высокую прочность. В процессе обжига легкоплавкая глина переходит в пластичное состояние и вспучивается вследствие выделения внутри каждой гранулы газообразных продуктов. Они образуются при дегидратации слюдистых минералов и выгорании органических примесей.

Пеностекло представляет собой искусственный материал, подобный пемзе, с плотностью $100\text{—}700 \text{ кг/м}^3$. Процесс производства пеностекла заключается во вспучивании размоленного стекла, смешанного с небольшим количеством древесного угля, известняка или других материалов, выделяющих газ при температуре размягчения стекла.

Вспученный перлит изготавливают путем обжига водосодержащих вулканических стеклообразных пород при температуре до 1000°C . При обжиге вода испаряется и перлит увеличивается в объеме до 20 раз. Вспученный перлит имеет насыпную плотность 60 кг/м^3 ,

коэффициент теплопроводности λ 0,045 Вт/м К, коэффициент паропроницаемости μ 2,7, удельную теплоемкость 1000 Дж/кг К. Химический состав вспученного перлита — SiO_2 (60—75%), Al_2O_3 (12—16%), Na_2O (5—10%).

Вулканический туф — горные породы, образовавшиеся из твердых продуктов вулканических извержений: пемзы, пемзы и других, впоследствии уплотненных и сцементированных.

Пемза представляет собой пористое вулканическое стекло, образовавшееся в результате выделения газов при быстром застывании кислых и средних лав. Плотность пемзы 500—750 кг/м³.

Приготовление

Глиняные растворы рекомендуют готовить в циклических растворосмесителях с горизонтальным или вертикальным валами (раздел 3.2). Легкий глинобетон на минеральном заполнителе можно перемешать в бетоносмесителе, в который в первую очередь загружают легкий заполнитель, а затем глиняный раствор. Смесь готовят 3—5 минут. Глиняный раствор должен содержать большое количество глиняного вещества.

Влияние зернового состава заполнителя на плотность глинобетона

Гранулометрический состав минеральных заполнителей влияет на свойства легкого глинобетона. Плотность глинобетона 500 кг/м³ может быть получена на керамзите фракции 1—16 мм. Расход грунта и воды проектируют таким образом, чтобы пустоты между частицами заполнителей заполнялись не полностью, а керамзит был склеен только в точках соприкосновения. Глинобетон плотностью 500 кг/м³ имеет следующий состав: 2,5 объемные части глинистого грунта и 12 частей керамзита фракции 8—16 мм. Глинобетонные блоки такого состава имеют слабые кромки углов. Поэтому для увеличения прочности материала рекомендуют следующий состав глинобетона: 24 объемные части керамзита фракции 8—16 мм, 5 частей керамзита фракции 1—2 мм и 5—7 частей грунта. Плотность получаемых изделий составит 640—700 кг/м³. Для получения глинобетона высокой плотности применяют керамзит фракции 4—8 мм и крупнозернистый песок.

Подача глинобетонной смеси

Подачу в конструкцию глинобетонной смеси на минеральном заполнителе, в отличие от глинофибробетонной, можно механизировать. Транспортируют глинобетонную смесь посредством бетононасоса. Наибольший объем глинобетонной смеси укладывается в монолитные конструкции и подается строительными кранами с помощью бадей. Более подробное описание способов приготовления и подачи готовой смеси приведено в разделе 10.

Теплопроводность

Теплопроводность легкого глинобетона на минераль-

ном заполнителе зависит от его плотности и соответствует теплопроводности легкого глинофибробетона, при плотности выше 600 кг/м³. При плотности менее 600 кг/м³ теплопроводность легкого глинобетона на минеральном заполнителе ниже теплопроводности легкого глинофибробетона, так как соломенная фибра отличается более высоким равновесным влагосодержанием, следовательно, содержит больше влаги, которая ухудшает теплоизоляционные свойства. Равновесная влажность ржаной соломы при относительной влажности 50% и температуре окружающего воздуха 21°С составляет 13%, тогда как при тех же условиях этот показатель для керамзита равен 0,1%.

Энергозатраты

Многие специалисты считают, что искусственные легкие минеральные заполнители, такие как керамзит, требуют значительных энергозатрат для их производства. Однако энергозатраты на производство деревянных пиломатериалов и эффективного кирпича значительно выше. Расчетные энергозатраты на производство 1 м³ строительной древесины в 6 раз выше энергозатрат на изготовление теплоизоляционных минеральных изделий и в два раза выше энергозатрат на производство керамзита того же объема.

Для сравнения можно привести следующие цифры. При производстве керамзита плотностью 300 кг/м³ затрачивается энергии 300 кВт ч/м³, на 1 м³ кладки стены из эффективного кирпича на легком растворе — 430 кВт ч, из силикатного кирпича — 390 кВт ч, на изготовление 1 м³ пиломатериалов — 600 кВт ч (Туровский, 1977 г., Веллер и Реберг, 1979 г., Елиас 1980 г., Марме и Зеебергер, 1982 г.).

4.7.4. Легкий глинопробкобетон

При производстве глинопробкобетона применяют пробковую крошку. К преимуществам использования пробковой крошки можно отнести ее низкую насыпную плотность. Недостатком является то, что данный заполнитель относительно дорог, а прочность при сжатии глинопробкобетона значительно ниже прочности глинокерамзитобетона. Глинопробкобетонные блоки имеют слабые кромки углов.

Немецкая фирма «Хаак» производит сухие смеси, которые состоят из пробковой крошки, грунта, трепела и соломенной фибры, а также небольшого количества целлюлозы. Эту смесь применяют в качестве теплоизоляции при возведении стен, а также для приготовления теплоизоляционных штукатурных растворов. В построечных условиях смеси перемешивают с водой в принудительном смесителе, подают в опалубку и слегка уплотняют. Штукатурные растворы наносят штукатурными агрегатами или торкрет-установками. Глинопробкобетон имеет следующие свойства: плотность 300—450 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,07—0,08 Вт/м К, коэффициент паропроницаемости 4—19, усадку 1—2%.

4.7.5. Легкий глинодеревобетон

Древесные опилки, стружку и щепу также используют в качестве легких заполнителей в глинобетоне для снижения его теплопроводности. Древесина имеет большую плотность по сравнению с соломой или пробкой, поэтому теплопроводность глинодеревобетона выше. На практике трудно получить глинодеревобетон плотностью ниже 500 кг/м^3 , так как материал имеет низкую прочность. Опасность образования грибка в глинодеревобетоне намного меньше, по сравнению с глинофибробетоном, но все же существует.

4.7.6. Глиногазобетон

Традиционные пенообразователи, которые применяют для создания ячеистой структуры в пенобетоне, не пригодны для глинобетона, так как его естественная сушка длится продолжительное время, а жизнеспособность пены ограничивается несколькими минутами. Создание пористой структуры в глинобетоне до-

стигается за счет введения в смесь газообразующих добавок. Они образуют ячеистую структуру в глинобетоне и ускоряют его сушку. Глиногазобетон представляет собой геополимер (раздел 4.5.5), который состоит из глинопорошка с добавками кварцевого песка, мела и растворимого стекла. Его поризация происходит за счет введения перекиси водорода (H_2O_2). Глиногазобетон имеет плотность 90 кг/м^3 , твердеет в течение 2 часов при температуре 20°C и через 1 час — при температуре 50°C . Этот продукт производит немецкая фирма «Хульс». Он имеет следующие характеристики: прочность при сжатии $10\text{—}20 \text{ кг/см}^2$, удельная теплоемкость $0,2 \text{ кДж/кгК}$, коэффициент теплопроводности $0,10\text{—}0,12 \text{ Вт/м К}$, значение рН $9\text{—}10$. Глиногазобетон идеально подходит для изготовления крупных блоков и изделий. Немецкая фирма «Лорроверк» производит теплоизоляционные изделия по аналогичной технологии, которые имеют плотность 300 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности $0,08 \text{ Вт/м К}$. Первичные энергозатраты на производство составляют всего 5 кВт ч/м^3 .

5. Возведение стен из тяжелого глинобетона

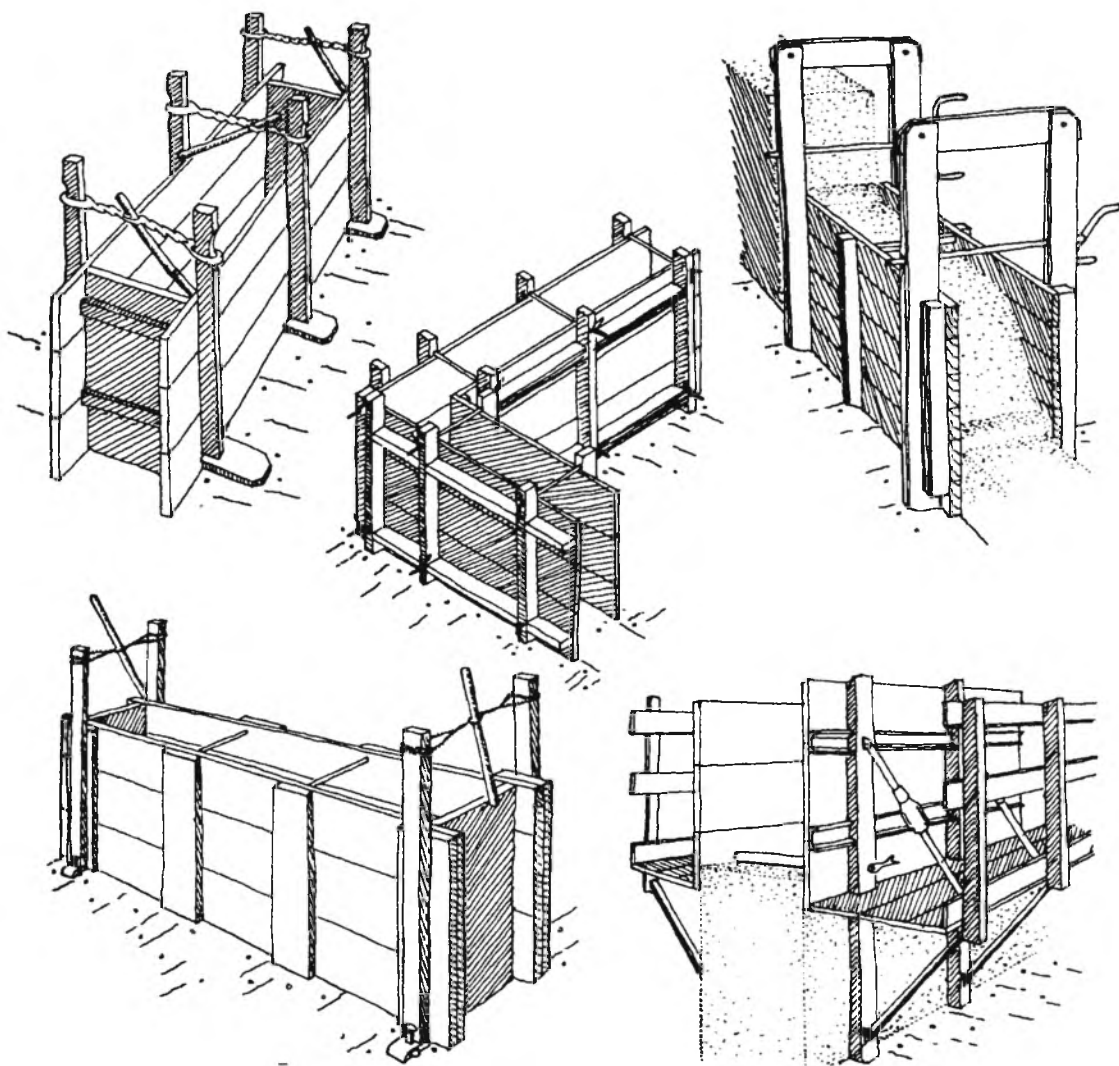
5.1. Общие сведения

В течение многих веков глинобитный способ возведения монолитных конструкций применяется на всех пяти континентах земного шара. Монолитные глинобитные фундаменты древних строений обнаружены в Ассирии, история которых своими корнями уходит в 5-е тысячелетие до н. э.

При глинобитном способе возведения монолитных конструкций глинобетонную смесь оптимальной влажности укладывают в опалубку послойно толщиной 10—15 см и уплотняют трамбовкой. Опалубка представляет собой совокупность элементов и деталей и предназначена для образования формы монолитных

глинобетонных конструкций и сооружений, возводимых на строительной площадке (рис. 5.2-1).

Во Франции этот способ возведения конструкций называют *pise de terre* или *terre pise*; в Испании — *barro apisonado* или *tapial*, а в Германии — *Stampflehbau*. Этот способ является традиционным и для развивающихся стран, где применяется и в настоящее время. Использование усовершенствованных систем опалубок, а также электрического и пневматического инструмента для уплотнения смеси значительно сокращает трудозатраты, что позволяет применять эту технологию в некоторых индустриальных странах. Механизированная технология возведения конструкций из тяжелого глинобетона может стать альтернативой кирпич-



5.2-1 Опалубка для возведения конструкций из тяжелого глинобетона

ной кладке по экологическим и экономическим соображениям для стран, где не предъявляются высокие требования по теплозащите зданий.

Многие строительные фирмы на юго-западе США и в Австралии применяют эту технологию.

Усадка тяжелого глинобетона ниже, а прочность выше при уплотнении смеси трамбованием по сравнению с методом торкретирования, где применяют составы пластичной консистенции (раздел 9). Монолитный глинобетон долговечнее по сравнению с кладкой из грунтового кирпича (раздел 7).

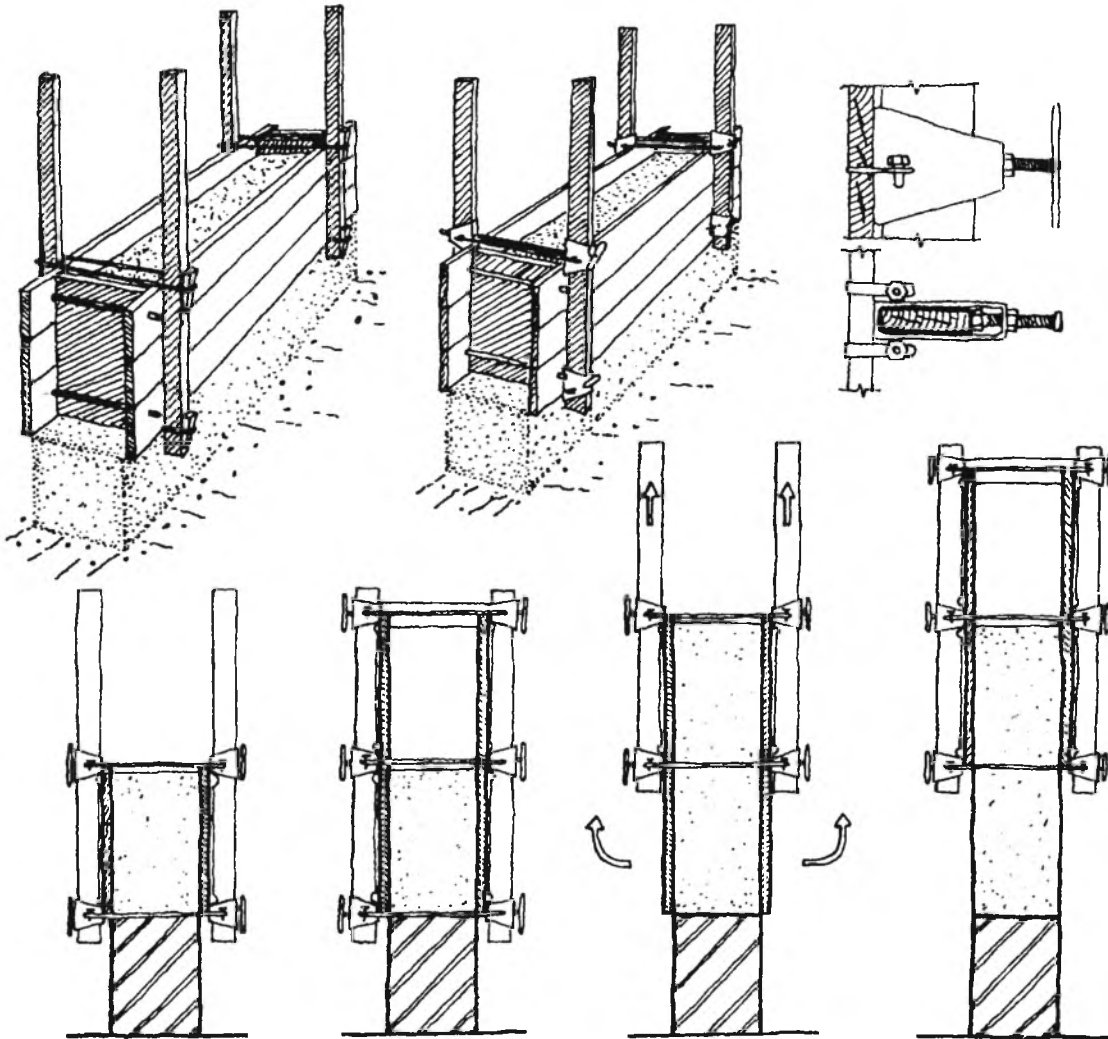
Эта глава посвящена технологии возведения монолитных конструкций из тяжелого глинобетона. В разделе 14.13.4 описана технология возведения конструкций из тяжелого глинобетона, армированного бамбуком. Эти конструкции применяют для сейсмостойкого строительства. О полах из тяжелого глинобетона идет речь в разделе 14.4.

5.2. Опалубка

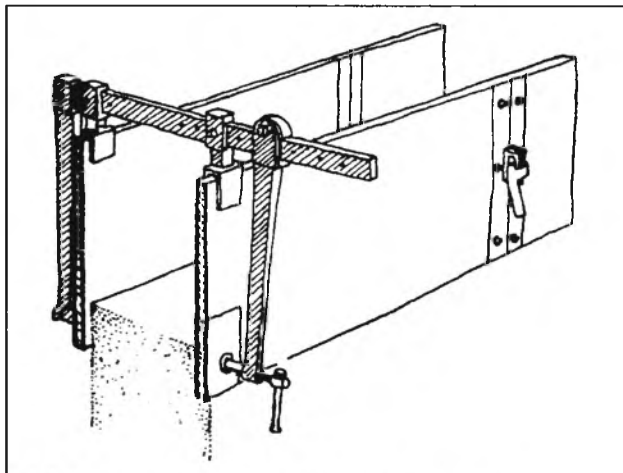
Для крепления щитов между собой, а также со схватками в каркасе щита устраивают круглые отверстия, через которые устанавливают тяжи. Закрепление тяжей осуществляют с помощью замков. Недостатком такой конструкции опалубки является то, что после ее снятия в стене остается арматура, которую необходимо срезать.

В лаборатории FEB (Германия) была разработана опалубочная система, в которой применяют очень тонкие тяжи (4—6 мм) (рис. 5.2-2). Для того, чтобы полностью избавиться от этого недостатка, разработаны опалубки без тяжей (рис. 5.2-3, раздел 5.6.1).

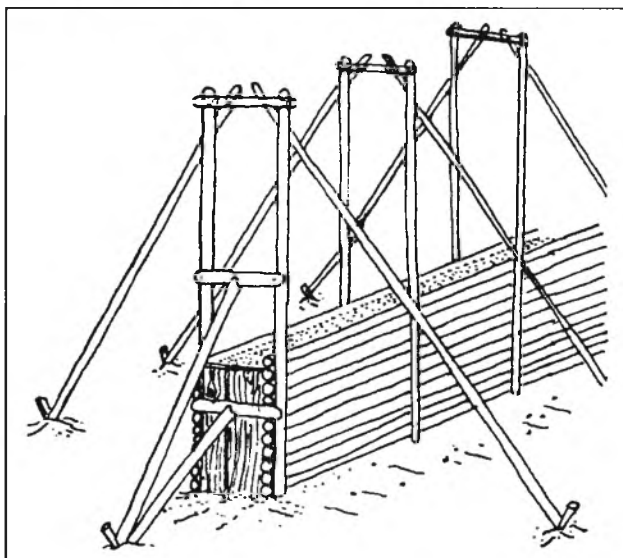
В конструкции опалубки, изображенной на рисунке 5.2-4, нет тяжей. Ее палуба крепится с помощью системы растяжек, которая занимает много места и неудобна для производства работ.



5.2-2 Разборно-переставная мелкощитовая опалубка, разработанная в лаборатории FEB (Минке, 1984 г.)



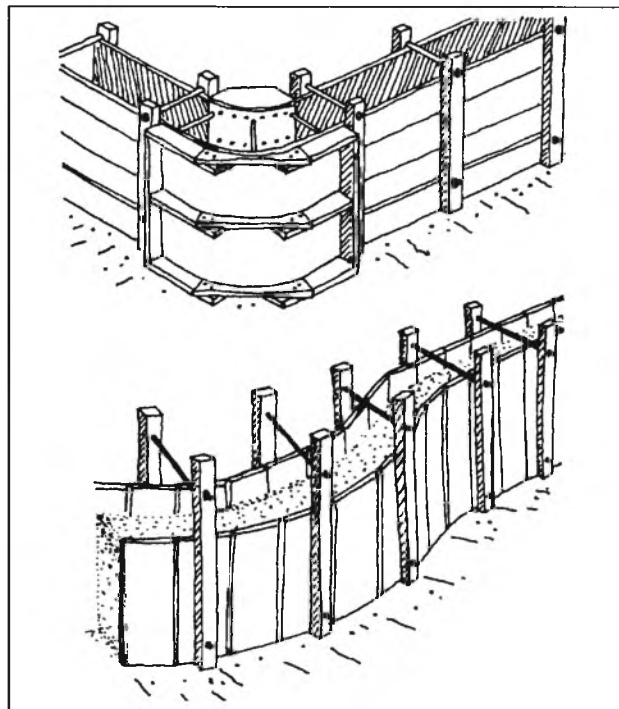
5.2-3 Крепление опалубки с помощью траверсы



5.2-4 Традиционная китайская опалубка

Используя специальные системы опалубок, можно возводить стены различной формы (рис. 5.2-5). На рисунке 5.2-6 показан амбар, построенный в 1931 г. в Больбрюгге (Германия), стены которого имеют форму окружности. Они построены из тяжелого глинобетона и имеют толщину 90 см.

Опалубка для традиционного монолитного бетона имеет значительную массу и дорогостояща, но может применяться и для монолитного глинобетона. В Европе обычно применяют и в качестве палубы деревянные панели размером 50×150 см и толщиной 19 мм. Через каждые 75 см их укрепляют вертикальными схватками. Невыполнение этих мероприятий приводит к изгибу палубы при уплотнении смеси. Более экономичным решением является применение в качестве палубы досок толщиной 30—45 см, которые укрепляют через 100—150 см.



5.2-5 Опалубка для возведения стен различной формы

В лаборатории ГЕВ были проведены исследования опалубочных систем с палубой из различных материалов с разной степенью обработки поверхностей. Лучшие результаты показала палуба из древесины хвойных пород, покрытая одним слоем лака. Распалубку производят после окончания производства работ на захватке.

Опалубка должна быть привязана к конкретному объекту. В противном случае трудозатраты увеличиваются до 30%. При выборе опалубочной системы необходимо обращать внимание на следующие моменты:

- Опалубка должна быть сертифицирована.
- Все элементы опалубки должны быть легкими, чтобы их могли переносить два человека.
- Монтаж опалубки не должен быть трудоемким.
- По возможности опалубка должна быть унифицированной.
- Торцы деревянной палубы должны быть защищены по всему периметру от механических повреждений.

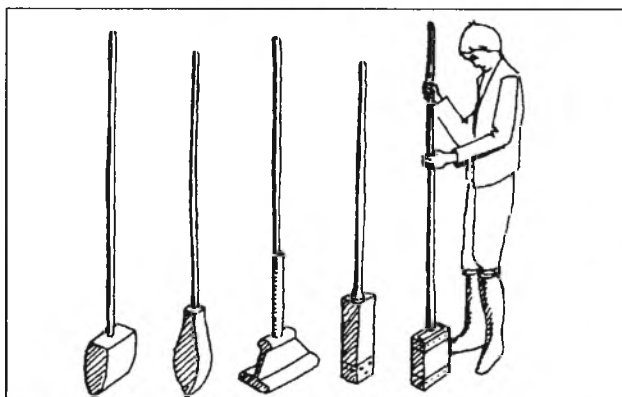
5.3. Ручной инструмент и оборудование

Традиционно глинобетонную смесь уплотняли в опалубке ручными трамбовками с коническим или плоским основанием (рис. 5.3-1). Обе трамбовки имеют преимущества и недостатки.

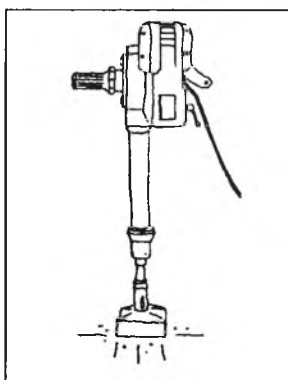
Ручные трамбовки с коническим основанием более эффективны для уплотнения грунтовых смесей с повышенной влажностью и высоким содержанием гли-



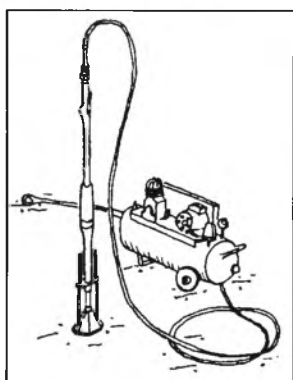
5.2-6 Амбар со стенами круговой формы, Больбрюгге, Германия, 1931 г.



5.3-1 Ручной инструмент для уплотнения смеси



5.3-3 Электрическая трамбовка фирмы «Вакер»



5.3-4 Пневматическая трамбовка, Австралия



5.3-2 Двухсторонняя ручная трамбовка, Эквадор



5.3-5 Пневматические трамбовки фирмы «Атлас — Копко»



5.3-6 Электрическая виброплита фирмы «Хойзер»



5.3-7 Виброплита фирмы «Хойзер»

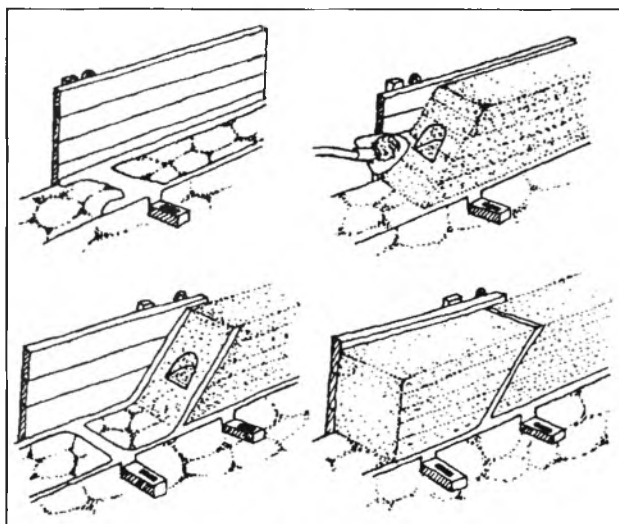
нистого вещества. Работа с такими трамбовками более трудоемка по сравнению с инструментом, который имеет плоское основание. Сопротивление поперечному сдвигу стен, уплотненных трамбовками с плоским основанием, незначительно, поэтому на такие конструкции рекомендуют прикладывать только вертикальные нагрузки. Основание трамбовки не должно быть острым, чтобы не повредить деревянную опалубку. Оно должно иметь площадь 60—200 см². Рекомендуют применять двухстороннюю трамбовку с круглым и квадратным основанием и массой 5—9 кг.

С помощью такой трамбовки, которая широко применяется в настоящее время в Эквадоре, можно уплотнить всю обрабатываемую поверхность, даже углы (рис. 5.3-2).

Уже с двадцатых годов прошлого века в Германии, Франции и Австралии для уплотнения глинобетонной смеси в опалубке применяли электрические и пневматические трамбовки. Электрическая трамбовка немец-



5.4-1 Усадочные трещины в монолитной глинобетонной стене, Эквадор



5.4-2 Устройство рабочего шва

кой фирмы «Векер», изображенная на рисунке 5.3-3, в свое время была очень востребована. Ее эффективность достигалась за счет технологических параметров уплотнения. Ход поршня трамбовки составлял 33 мм, частота 540 ударов в минуту. Ее недостатком была большая масса (24 кг), что создавало определенные неудобства для персонала при работе с трамбовкой. В настоящее время она снята с производства.

В 50-х годах в Австралии широко применялась пневматическая трамбовка массой 11 кг (рис. 5.3-4), работающая как отбойный молоток с частотой 160 ударов в минуту.

Оборудование для уплотнения песчаных грунтов, используемое в дорожном строительстве, не подходит для уплотнения глинобетонной смеси. Оно имеет высокую частоту (более 2000 об/мин) и маленькую амплитуду. Его используют для уплотнения несвязных грунтов.

Пневматические трамбовки, представленные на рисунке 5.3-5, эффективны для уплотнения глинобетонной смеси. Модель Ram II G, которую производит фирма «Атлас Копко», отвечает всем необходимым требованиям. Ее рабочий орган не подвержен вращению при работе с насадкой квадратной формы. Все эти трамбовки работают при давлении 6 бар и требуют расход воздуха 0,4—0,9 м³/мин. Электровибрационные трамбовки были разработаны в лаборатории ФЕВ (рис. 5.3-6 и 5.3-7). Вибрацию (частота 1000—1200 об/мин) создает электродвигатель, который устанавливают на специальную плиту. При работе трамбовка самостоятельно совершает поступательные движения в опалубке. Толщина уплотнения глинобетона составляет 7 см.



5.5-1 Обработка поверхности монолитного глинобетона после разопалубки

5.4. Укладка глинобетонной смеси

При любом способе укладки глинобетонной смеси должно быть соблюдено основное правило — приготовленную смесь укладывают до начала высыхания ранее уложенного монолитного глинобетона. Смесь укладывают горизонтальными слоями. Толщину укладываемого слоя определяют в зависимости от применяемого оборудования и свойств глинобетонной смеси. Общая высота яруса достигает 50—80 см. После уплотнения смеси опалубку снимают и переставляют на новую позицию. При укладке смеси на втором ярусе влажность глинобетона нижнего яруса ниже влажности укладываемой смеси. Различная влажность приводит к неравномерной усадке, в результате чего появляются горизонтальные усадочные трещины на стыках (рис. 5.4-1). Капиллярная вода может мигрировать в стыки, застаиваться там, вызывая набухание и разрушение конструкции. На стенах могут появляться не только горизонтальные усадочные трещины, но и вертикальные.

Применение французского опыта позволяет избежать появления усадочных трещин. На рабочий шов укладывают известковый раствор, который твердеет в течение нескольких недель. Он остается пластичным до прекращения усадки глинобетона. Рабочий шов выполняют под углом (рис. 5.4-2).

Для предотвращения появления горизонтальных усадочных трещин монолитные глинобетонные конструкции возводят на всю высоту без перерыва, исключая рабочие швы (раздел 5.6).

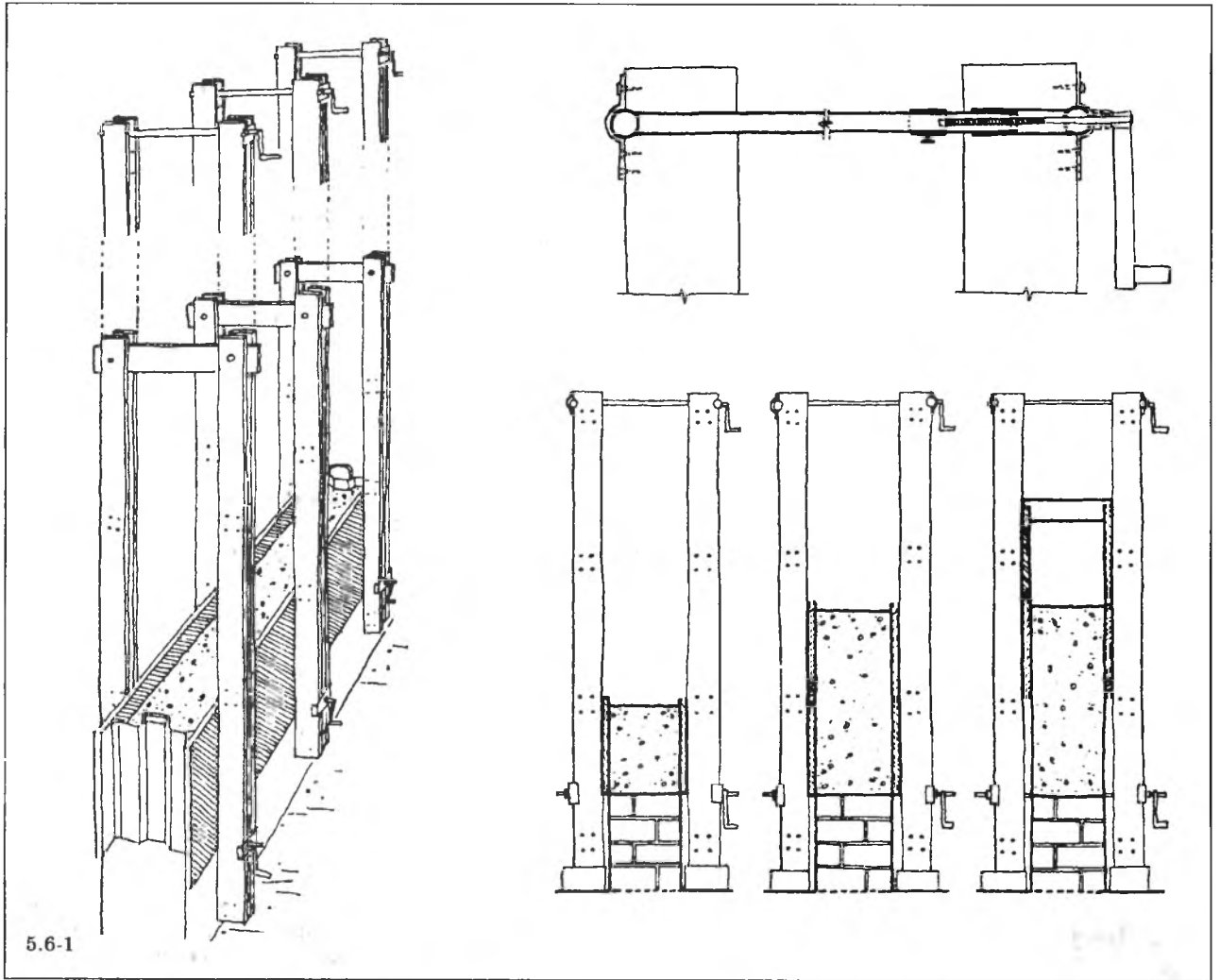
5.5. Устройство проемов

После уплотнения смеси можно сразу демонтировать опалубку и приступать к обработке поверхности. Дверные и оконные проемы при возведении монолитных бетонных стен и перегородок не бетонируют, для этого в опалубке устраивают вставки. Однако при возведении монолитных глинобетонных стен можно не оставлять дверные и оконные проемы. После демонтажа опалубки проемы вырезают при помощи ножа или электрической пилы. На рисунке 5.5-1 показано, как ручным инструментом можно придать нужную форму косякам и подоконникам. Уплотненный пластичный глинобетон обладает хорошей гвоздимостью.

5.6. Новые способы возведения стен

5.6.1. Кассельский способ возведения монолитных глинобетонных конструкций

Для того, чтобы исключить появление горизонтальных усадочных трещин, которые появляются при традиционном способе возведения монолитных глинобетонных конструкций, лабораторией ФЕВ была разработана новая технология. При этом конструкция возводится непрерывно на всю высоту этажа захватками длиной



5.6-1

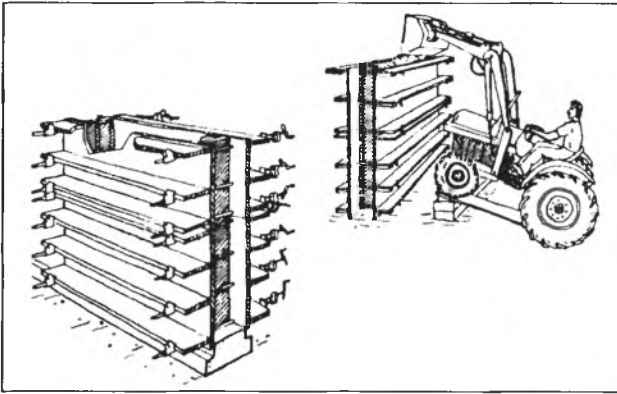


5.6-2



5.6-3

5.6-1—5.6-3 Подъемно-переставная опалубка для возведения монолитных глинобетонных конструкций



5.6-4 Опалубка, США

до 2,4 м. Предложенный способ возведения монолитных глинобетонных конструкций исключает появление только горизонтальных усадочных трещин. Образующиеся вертикальные усадочные трещины заделывают после завершения усадки. Для обеспечения поперечной жесткости конструкции в вертикальных рабочих швах ранее уложенного монолитного глинобетона устраивают технологические углубления, как показано на рисунке 5.4-2.

Новая технология включает в себя разработку подъемно-переставной опалубки. На рисунке 5.6-3 показана опалубочная система со стальными поддерживающими элементами. С целью уменьшения массы опалубки поддерживающие элементы позже были выполнены деревянными (рис. 5.6-1 и 5.6-2).

Опалубочную систему фиксируют у основания стальными стержнями. После ее демонтажа остаются небольшие отверстия. Крепление вертикальных поддерживающих элементов сверху осуществляют над верхним уровнем стены, что не мешает работе глинобетонщиков. Как видно из рисунков, существует возможность крепления поддерживающих элементов опалубки к каркасу здания. Стальные вертикальные поддерживающие элементы позволяют осуществлять точную регулировку системы.

Первое экспериментальное здание было построено по данной технологии в Касселе в 1982 году (рис. 5.6-5). Оптимальный состав тяжелого глинобетона содержал 10% глинистых частиц, 30—50% пыли и 40—60% песчаных частиц. Уплотнение смеси осуществили с помощью электрической виброплиты, описанной в разделе 5.3. Линейная усадка составила 0,4%. После высыхания вертикальные швы были заделаны глиняным раствором с добавкой 8% льняной олифы. Конструктивные мероприятия, а именно 60-см вылет свеса карниза и 50-см цоколь из эффективного обожженного кирпича, обеспечили защиту стен от косых дождей и отскока брызг.

5.6.2. Механизированная технология

Фирма архитектора Давида Астона «Глинобитные работы» построила в Калифорнии (США) многие дома



5.6-5 Экспериментальная постройка со стенами из монолитного глинобетона, Кассельский университет, Германия, 1982 г.



5.6-6, 5.6-7 Возведение стен из монолитного глинобетона, фирма «Террастоне»



5.6-8

со стенами из монолитного глинобетона. При строительстве домов применяли специальную опалубку, выполненную из многослойной фанеры (рис. 5.6-4), и пневматические трамбовки. Подачу смеси в опалубку осуществляли малогабаритным фронтальным погрузчиком. Применение средств механизации позволило снизить трудозатраты, которые составили 2 часа на м³ конструкции.

В Австралии также существуют несколько фирм, специализирующихся на таком способе возведения монолитных конструкций (рис. 5.6-6 и 5.6-7). На протяжении последних двух десятилетий в стране было построено более сотни зданий из монолитного глино-

бетона (Оливер, 1986 г.). На рисунке 5.6-8 показана церковь в Маргарет Ривер. Проект разработан архитекторами Ходж и Уилсоном, а построена она фирмой «Рамтек». Несущие колонны и ограждающие стены выполнены из монолитного глинобетона (рис. 5.6-9). В 1992 г. в Австралии был построен отель со стенами из монолитного глинобетона (рис. 5.6-10 и 5.6-11).

5.6.3. Каркасные дома со стенами из монолитного цементогрунта

В центре «СЕРЕД», Салвадор, Бразилия, была разработана технология возведения стен из монолитного цементогрунта в каркасном домостроении. Данная технология применялась при строительстве недорогого жилья в Бразилии. Монтаж каркаса осуществлялся из сборного железобетона.

Опалубка устанавливалась между ж/б стойками каркаса и крепилась к ним. Таким образом, толщина стен соответствовала толщине стоек каркаса (рис. 5.6-12). При приготовлении смеси применялся местный грунт, укрепленный 6%—8% цемента.

5.6.4. Односторонняя и несъемная опалубки

Стоимость опалубочных систем достаточно высока, поэтому с целью снижения издержек при строительстве рекомендуют применять одностороннюю опалубку. С другой стороны, в качестве несъемной опалубки



5.6-8, 5.6-9 Церковь, Маргарет Ривер, Австралия



5.6-12 Возведение цементогрунтовых стен каркасных домов, СЕРЕД, Бразилия



5.6-10, 5.6-11 Отель со стенами из монолитного глинобетона, Австралия

применяют кладку из грунтового кирпича или устанавливают теплоизоляционные плиты, что приводит к повышению термического сопротивления наружной стены. Теплоизоляционные плиты должны быть жесткими, чтобы выдерживать нагрузку при уплотнении смеси. На рисунке 5.6-13 представлены различные конструктивные варианты наружных стен. В первом и втором вариантах в качестве несъемной опалубки с внутренней стороны стены применена кладка из грунтового кирпича. Односторонняя опалубка в данном случае установлена с наружной стороны стены, а затем уложена легкая глинобетонная смесь на минеральном заполнителе. Поверхность глинобетона после демонтажа опалубки оштукатурена. В третьем варианте в качестве несъемной опалубки применена кладка из эффективного грунтового кирпича, но с наружной

стороны стены. После монтажа односторонней опалубки с внутренней стороны стены уложена тяжелая глинобетонная смесь и послойно уплотнена. На рисунке 5.6-14 представлены конструктивные варианты наружных стен, которые выполнены с применением двухсторонней несъемной опалубки. Несъемная опалубка с внутренней стороны стены может быть выполнена из грунтовых кирпичей, глинобетонных блоков или изделий, а также из жестких гипсоволокнистых или древесностружечных плит на минеральном связующем (воздушные магнезиальные или гидравлические вяжущие). Защищают глинобетонные конструкции от атмосферных воздействий штукатурным раствором, кирпичной обкладкой или деревянной облицовкой с воздушной прослойкой.

5.7. Монолитный глинобетонный купол

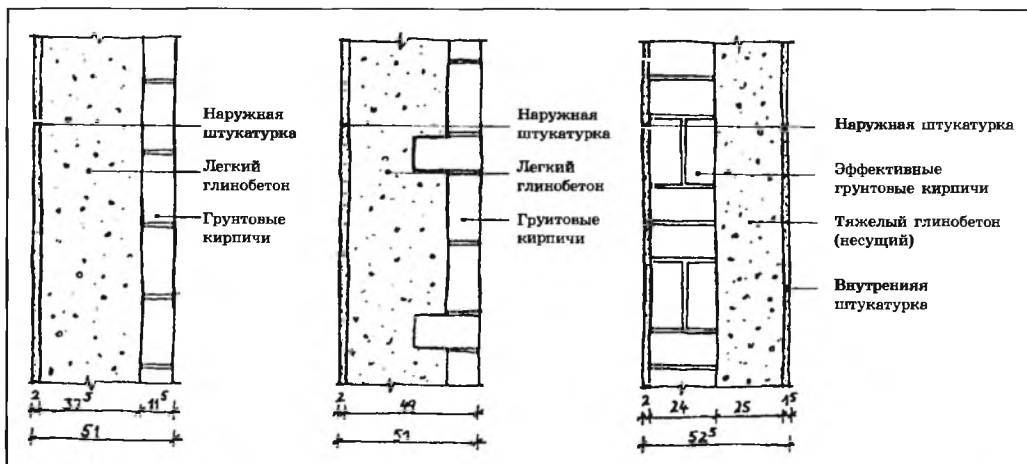
Первый монолитный глинобетонный купол был возведен в 1983 году в Касселе (Германия). Технология его возведения была разработана в лаборатории FEB за счет финансовых средств немецкого исследовательского общества. Для возведения купола применена скользящая опалубка, в которой уплотнена смесь (рис. 5.7-1, 5.7-2 и 5.7-3).

Толщина купола составила 18 см у основания и 12 см в верхней части. Стены, 6-гранные снаружи и 12-гранные изнутри, также выполнены из монолитного глинобетона. Нагрузку от купола на фундамент передавали стены, связанные с контрфорсами. Профилирование верхней части контрфорсов и окон осуществлено с помощью кухонного ножа сразу после демонтажа опалубки. Стеновая опалубка была изготовлена под заказ и привязана к экспериментальному зданию, план и разрез которого изображены на рисунке 5.7-1. Уплотнение глинобетонной смеси в опалубке осуществля-

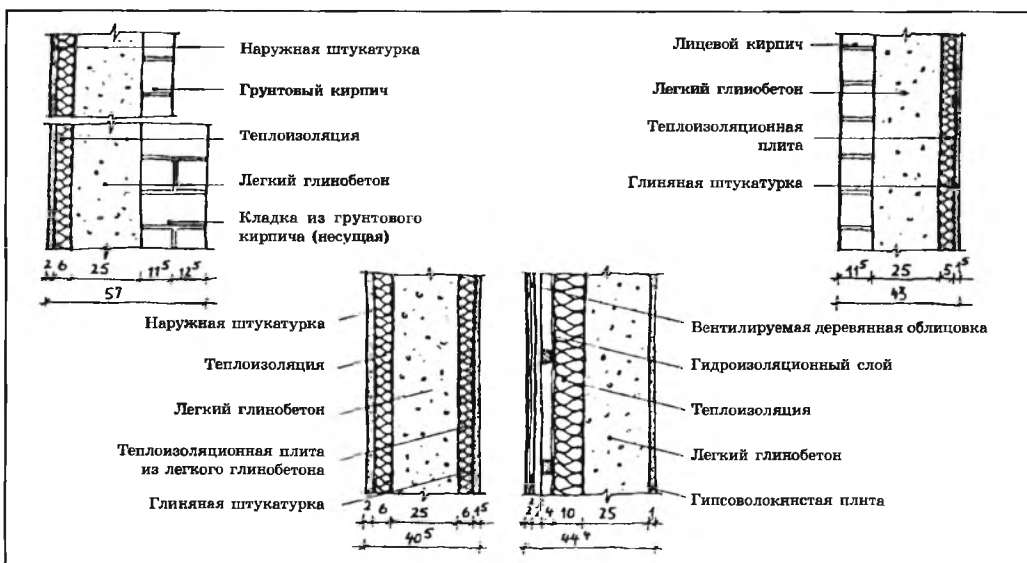
лось как с помощью виброплиты (раздел 5.3), так и вручную. Опалубочная система для возведения купола была сконструирована таким образом, что рама, воспринимающая нагрузки от давления смеси, могла подниматься по центру, ряд за рядом, а также имела направляющую, которая автоматически регулирует радиус и наклон палубы (рис. 5.7-3).

5.8. Сушка

Высыхание монолитной глинобетонной стены зависит от погоды, движения воздуха, толщины и других факторов, поэтому невозможно сказать точно, в какое время она станет сухой. В любом случае продолжительность высыхания глинобетонной стены меньше, чем у кирпичной или бетонной (раздел 2.3.9). При сухой теплой погоде и активном движении воздуха усадка прекращается через несколько дней. Через три недели стена становится совершенно сухой на ощупь, хотя содержание влаги все еще немного выше равновесной влажности.



5.6-13 Конструктивные варианты наружных глинобетонных стен с односторонней несъемной опалубкой



5.6-14 Конструктивные варианты наружных глинобетонных стен с двухсторонней несъемной опалубкой

5.9. Трудозатраты

Трудозатраты при возведении монолитных глинобетонных конструкций традиционным способом, вручную, включая подготовку грунта, приготовление смеси, ее транспортировку, укладку и уплотнение, составляют 20—30 ч/м³. С применением усовершенствованных опалубочных систем и электрического ручного инструмента для уплотнения смеси можно добиться сокращения трудозатрат до 10 ч/м³. Механизированные технологии (раздел 5.6.2), где транспортировку и укладку смеси в опалубку осуществляют с применением малогабаритных фронтальных погрузчиков, а уплотнение — пневматическими трамбовками, позволяют снизить трудозатраты до 2 ч/м³, что составляет всего 10% от трудозатрат на возведение конструкций традиционным способом. Механизированный способ возведения монолитных глинобетонных конструкций менее трудоемок по сравнению с кладкой из кирпича.

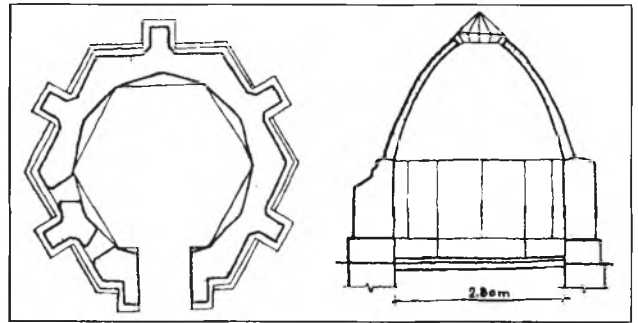
5.10. Сопротивление теплопередачи

Сопротивление теплопередачи монолитных конструкций из тяжелого глинобетона не соответствует требованиям, предъявляемым к теплозащите зданий для условий холодного климата. Коэффициент теплопередачи монолитной глинобетонной стены толщиной 30 см составляет 1,9—2,0 Вт/м² К. Для того чтобы получить коэффициент теплопередачи, равный 0,5 Вт/м² К, — обязательное требование во многих европейских странах, — толщина стены должна быть 1,6—1,8 м. Поэтому в условиях холодного климата наружные монолитные глинобетонные конструкции дополнительно утепляют эффективными теплоизоляционными материалами.

В разделе 14.2.1 приведены некоторые возможные варианты стен, удовлетворяющие современным требованиям по теплозащите зданий.

5.11. Обработка поверхности

На обработку поверхности стены из монолитного глинобетона требуется меньше материальных и трудовых затрат по сравнению с обработкой поверхностей стен, которые возвели другими способами грунтового строительства. Наносить штукатурку на стену из монолитного глинобетона не рекомендуют. После демонтажа опалубки стена имеет гладкую поверхность. Однако, если требуется убрать неровности и выступы на поверхности стены, то это делают с помощью смоченного в воде мастерка. Из эстетических соображений стену можно покрасить слоем краски или оклеить обоями (внутреннюю поверхность стены).



5.7-1 Экспериментальное здание, Кассель



5.7-2, 5.7-3 Возведение монолитного глинобетонного купола с применением скользящей опалубки

6. Технология кладки из глинобетонного кирпича

6.1. Общие сведения

Существуют различные способы изготовления глинобетонного кирпича. Саманный кирпич ручного изготовления формуют из глиносоломенной смеси, которую укладывают в формы различных размеров. Грунтовый кирпич формуют из полусухой смеси на прессах полусухого прессования. Необожженный глиняный кирпич, который изготавливается в заводских условиях на прессах пластического формования, называют кирпич-сырец. Эти три типа глинобетонного кирпича обычно имеют те же размеры, что и обожженный кирпич.

Во многих странах установлены стандарты на размеры обожженного кирпича. Например, самые распространенные размеры в Германии:

NF («стандартный»): 71×115×240 мм

2DF («утолщенный»): 113×115×240 мм

В строительстве из глиносырцовых материалов обычно не применяют грунтовый кирпич больших размеров и с большой пустотностью, т. к. его прочность мала. Особенности применения глинобетонного кирпича для стеновой кладки, для устройства перекрытий, сводов и куполов рассматриваются в главе 14 (разделы 14.2, 14.3 и 14.7).

6.2. Ретроспективный обзор

Строительство из глинобетонного кирпича всегда было широко распространено в зонах с сухим, умеренным, жарким и субтропическим климатом. В Туркмении, на территории бывшего СССР (Пумпелли, 1980 г.) были обнаружены сооружения из саманного кирпича, построенные в период между 8 и 6 тысячелетием до н. э. В Ассирии строили такие сооружения за 4000 лет до н. э. В Верхнем Египте до сих пор сохранились монументальные руины из глиносырцовых материалов, которым приблизительно 3200 лет, а также крепостные стены из грунтового кирпича в Мединет Габу и своды погребального храма Рамзеса II недалеко от Гурны (рис. 1.2-1).

Технология устройства сводов и куполов из глинобетонного кирпича была известна во многих культурах (раздел 14.7). Например, индейцы Пуэбло (Таос, штат Нью Мексико, США) столетиями строили свои дома из глиносырцовых материалов. Глинистый грунт они смешивали с водой из ближайшей реки и соломой, которая оставалась на их полях (рис. 6.2-2).

Исторический центр города Шибам в Йемене, который представляет собой замкнутую территорию пло-



6.2-1 Историческая часть города Шибам, Йемен

падью примерно 20 тыс. м² с одним-единственным входом, полностью построено из глинобетонного кирпича. Большинство домов имеют восемь этажей. Часть их построена в 15 в. (рис. 6.2-1).

В скандинавских странах и в Англии в 17 и 18 вв. было распространено строительство домов из дерна. Стены возводили без раствора из нарезанных кусков глинистого дерна, которые укладывали травой вниз. Эмигранты из Европы экспортировали эту технологию в США, по которой в 18 и 19 вв. строили дома (рис. 6.2-3).

Некоторые переселенцы заимствовали эту идею у североамериканских индейцев: например, индейцы племени Омаха задолго до появления белых крыли свои круглые хижины дерном (Хоубен, Гуилад, 1980 г.). На территории штата Нью Мексико использовали для стеновой кладки «кирпич», который нарезали из лёссовой глины на дне высохших рек, насыщенной корнями прибрежных растений, что придавало им дополнительную прочность. Такой «кирпич», который назывался по-испански “terronis” (по-английски “terrones”), иногда применялся также в Мексике и Центральной Америке. Интересно отметить, что стандарт штата Нью Мексико до сих пор допускает строительство из “terrones”.

На территории Германии строительные конструкции из глинобетонного кирпича применялись уже в 6 в. до н. э.: при строительстве крепости Хойнебург в округе Сигмаринген использовались грунтовые блоки размерами 40×40 см и высотой от 6 до 8 см (Ден, 1957 г.). По данным Гюнцеля, при возведении крепостных стен высотой 3 м было использовано приблизительно 140 тыс. грунтовых блоков и 400 м³ глиняного раствора (Гюнцель, 1986 г., р. 23). Еще одно документальное историческое свидетельство строительства из глинобетона — официальный «циркуляр» 1764 г. «о применении саманного кирпича в стеновой кладке» (Гюнцель, 1986 г., р. 23). В 1787 и 1790 гг. Давид Гилли, советник прусского королевского строительного департамента, выпустил руководство по строительству из грунтового кирпича.



6.2-2 Традиционные жилые дома индейцев пуэбло, Таос, Нью Мексико, США.

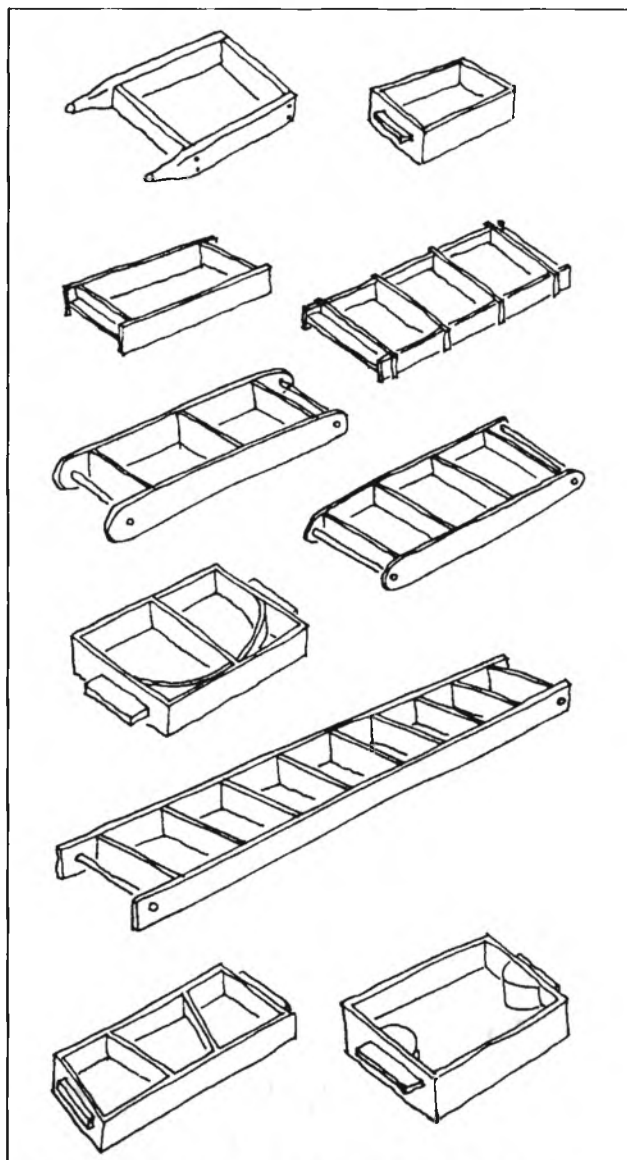
6.3. Изготовление глинобетонного кирпича

Для изготовления саманного кирпича используются деревянные формы, которые показаны на рисунке 6.3-1. В эти формы, в зависимости от консистенции, заливают или укладывают глиняную смесь. Такой способ изготовления саманного кирпича по сей день остается наиболее распространенным в развивающихся странах (рис. 6.3-2, 6.3-3 и 6.3-4). При этом глинистый грунт смешивается с водой и резаной соломой до получения однородной смеси, которую с силой забрасывают в деревянные формы, лежащие на земле. Чем сильнее бросок, тем плотнее укладывается глиняная смесь в форму, тем плотнее структура кирпича и выше его прочность после сушки. Лишняя смесь срезается рукой, деревянной доской, кельмой или проволокой (рис. 6.3-1)

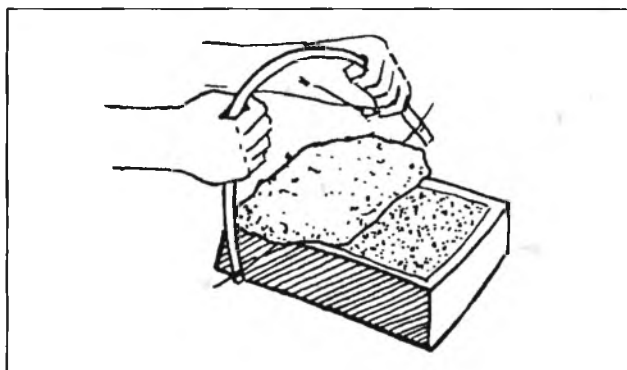
Производительность труда одного работника — примерно 300 штук саманного кирпича в день (включая приготовление, транспортировку глиняной смеси, укладку готового кирпича в штабеля). В Индии, где используются двойные деревянные формы и саманный кирпич меньшего размера, производительность труда может достигать 500 штук кирпича на человека в день. Для облегчения труда можно разместить формы на рабочем столе, как это традиционно делали формовщики в Германии (рис. 6.3-5). Есть еще один простой способ облегчить рабочий процесс: формы делают с ручками длиной до 80 см, чтобы не наклоняться во время работы (рис. 6.3-6).



6.2-3 Дом из дерна, США



6.3-1 Деревянные формы для саманных кирпичей



Технология изготовления прессованного грунтового кирпича была известна в Европе уже в 18 в. В 1789 г. французский архитектор Франсуа Куантеро изобрел ручной пресс для изготовления грунтового кирпича. После этого были созданы многочисленные конструкции подобных прессов. Самая распространенная модель в мире — это пресс CINVA-Ram, изобретенный в Колумбии чилийским инженером Рамиресом (рис. 6.3-8). Впоследствии появился целый ряд ручных прессов аналогичной конструкции. На рисунке 6.3-9 показан в работе пресс SETA-Ram, который был изобретен в Парагвае. На этом прессе можно изготавливать одновременно три кирпича.

Ручные прессы такой конструкции развивают удельное давление от 5 до 25 кг/см². Для того, чтобы обеспечить оптимальную работу прессы, требуется от 3 до 5 человек. Гидравлические прессы с ручным управлением, такие как, например, ВРЕРАК (Англия), развивают удельное давление до 100 кг/см².

Несмотря на то, что процесс изготовления кирпича механизирован, и с помощью прессов можно добиться производительности 150—200 кирпичей в день на человека, это значительно ниже, чем при примитивном ручном способе изготовления саманных кирпичей в деревянных формах.

Преимущество прессов жесткого формования состоит в том, что они позволяют использовать полусухую грунтовую смесь, благодаря чему отпрессованный кирпич можно сразу укладывать в штабеля.

Недостатком является то, что в смесь нужно добавлять от 4 до 8% цемента для прочности кирпича, т. к. малое содержание воды не позволяет полностью активизировать вяжущие свойства глинистого вещества грунта. Кроме того, вследствие указанных причин у прессованного кирпича, если не добавлять в его состав цемент, ниже прочность на сжатие, чем у изготовленного вручную саманного кирпича (раздел 4.5.3).

Другой недостаток прессования состоит в том, что приготовленная глинопесчаная смесь должна иметь постоянную плотность и влажность. Если меняется состав смеси, то меняется и ее количество, которое поступает в матрицу. Это приводит к тому, что прессованный кирпич на выходе имеет разные размеры по высоте, а также разную плотность и соответственно прочность.

Автоматические прессы для грунтового кирпича (рис. 6.3-10 и 6.3-11) могут производить от 1500 до 4000 штук прессованного кирпича в день. Однако они требуют гораздо более крупных капиталовложений, чаще ломаются и их сложнее ремонтировать, что особенно существенно для развивающихся стран. Для таких машин часто требуются специальные смесители и дробилки, чтобы обеспечить постоянную влажность исходной грунтовой смеси.

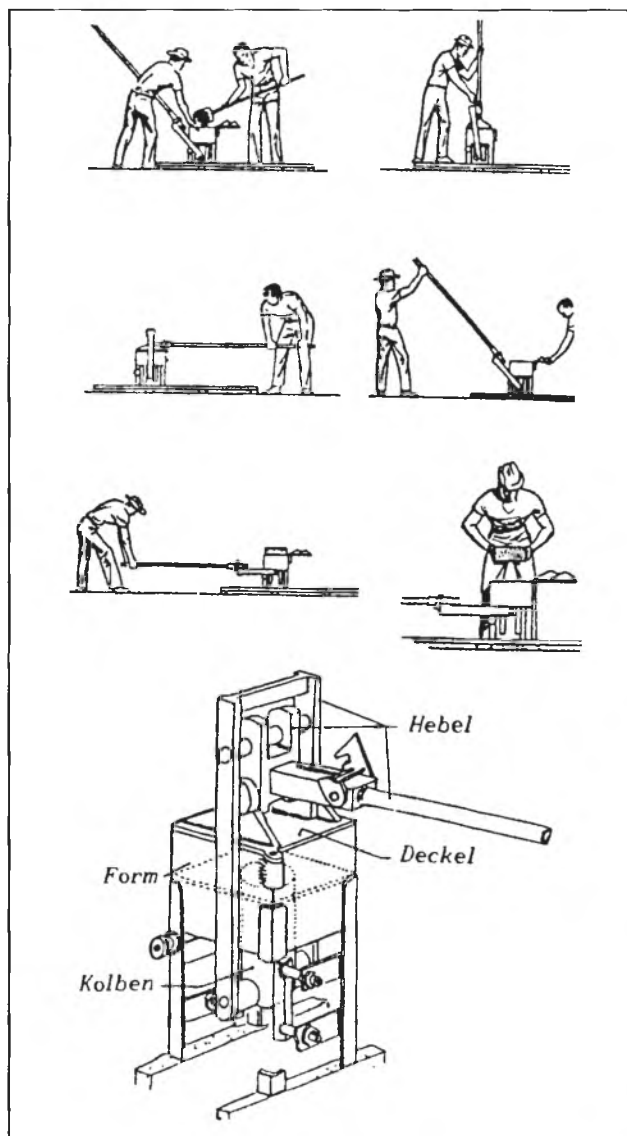
Автоматические прессы окупаются только при длительной работе без серьезных поломок и при условии, что на месте имеется готовая к применению грунтовая смесь. В противном случае амортизация, расходы по ремонту и техническому обслуживанию существенно снижают ожидаемую экономическую выгоду. В стра-



6.3-2, 6.3-3 и 6.3-4 Производство саманного кирпича в Эквадоре

6.3-5 Изготовление саманных кирпичей вручную на рабочем столе

6.3-6 Металлическая форма с рукоятками



6.3-8 Ручной пресс CINVA-Ram, Колумбия



6.3-9. Ручной пресс СЕТА-Ram, Парагвай

нах с дешевой рабочей силой обычно бывает рентабельнее ручное производство грунтового кирпича, в развитых странах — индустриальное производство кирпича-сырца на кирпичных заводах. В индустриальных странах автоматические прессы могут оказаться рентабельными только при очень высоких транспортных издержках (более подробно о производстве кирпича на автоматических прессах см. Мукери, 1986 г., Шмит и Вебб, 1987 г., Мукери, 1988 г. и Кратерр, 1991 г.). Более простой и эффективной выглядит установка для формования грунтового блока, изобретенная и запатентованная в США в 1946 г. Хансом Штумпфом (рис. 6.3-12 и 6.3-13). Грунтовую смесь сначала приготавливают в принудительном смесителе до подвижной консистенции, затем через бункер-воронку заливают в ячейки деревянной формы. После заполнения форм поверхность грунтовой массы выравнивают с помощью механических приспособлений. После этого форму поднимают, и полученные таким образом блоки оставляют на земле для их сушки. После недолгой предварительной сушки блоки можно ставить на ребро для равномерной и окончательной просушки. На механизированных кирпичных заводах глиняное



6.3-10 Автоматический пресс для грунтовых кирпичей CLU 3000, Швейцария



6.3-11 Автоматический пресс для грунтовых кирпичей Pacific Adobe, США

6. Технология кладки из глинобетонного кирпича

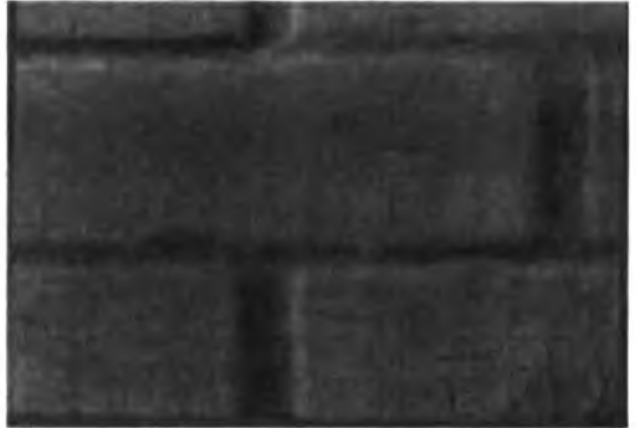


6.3-12, 6.3-13 Производство саманного кирпича по технологии Ханса Штумфа, США

сырье, после предварительного измельчения в дробилках и перемешивания в смесителе, подается в ленточный пресс, после которого выходят глиняные бруски. Эти бруски затем разрезаются с помощью проволоки на отдельные кирпичи. Форма и размеры кирпича определяются мунштуком пресса, через который выдавливается смесь при формовании. Полученный таким образом кирпич-сырец обычно поступает сначала в сушильные камеры, а затем в печи для обжига. Поскольку в наши дни на кирпичных заводах этот процесс полностью компьютеризован, то изъять кирпич-сырец из технологической цепочки до стадии обжига не так-то просто. Поэтому себестоимость кирпича-сырца иногда оказывается выше, чем у обычного обожженного кирпича.

В то же время, при неавтоматизированном производстве кирпича с естественной сушкой на открытом воздухе в ряде случаев в Германии удавалось получать кирпич-сырец, который был на 40% дешевле, чем обычный обожженный кирпич.

На рисунке 6.3-14 показан традиционный способ скла-



6.4-3 Образование трещин после высыхания намокшего кирпича-сырца



6.3-14 Сушка кирпича-сырца на открытом воздухе, кирпичный завод Гумбель, Гильзеберг, Германия



6.5-1 Распиловка сырцовых кирпичей с помощью пилы

дирования для сушки сырцового кирпича на открытом воздухе.

6.4. Оптимальный состав смеси

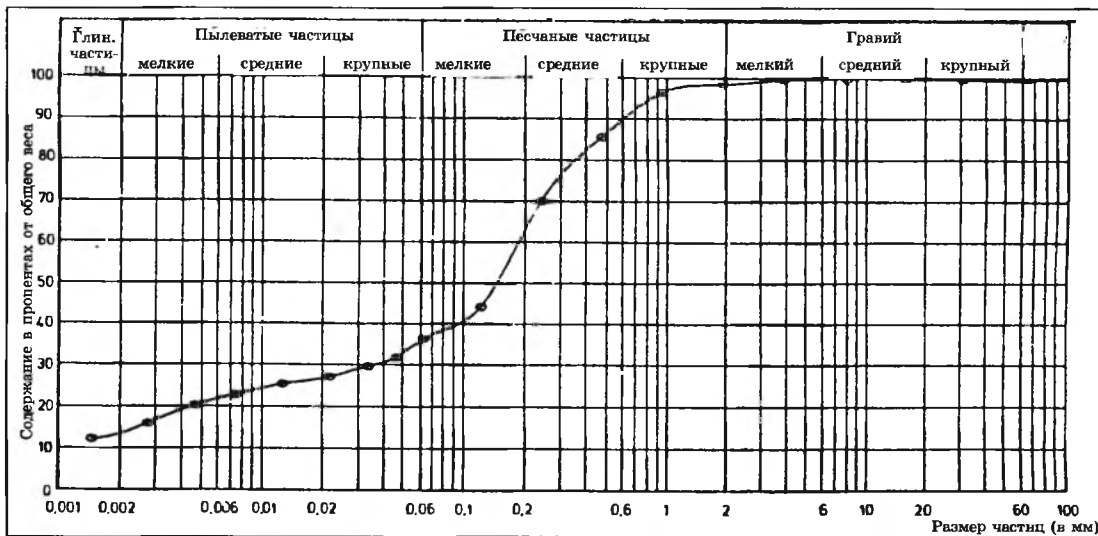
Шихта, применяемая на кирпичных заводах при производстве обжигового кирпича, должна иметь высокое содержание глинистых частиц. На рисунке 6.4-1 показан гранулометрический состав такой смеси. В ней содержится 24% глинистых частиц, 50% пылевидных частиц, 23% песчаных частиц и 3% гравия. Этот состав не пригоден для изготовления из него грунтового или саманного кирпича, т. к. при увлажнении он набухает и дает усадку при высыхании, результатом чего могут служить усадочные трещины (рис. 6.4-3). Оптимальный гранулометрический состав смеси, которая используется для ручного изготовления грунтового кирпича, представлен на рисунке 6.4-2. Здесь

другое соотношение составляющих смеси: 14% глинистых частиц, 23% пылевидных частиц, 62% песчаных частиц и 2% гравия. Грунтовые кирпичи из такой смеси не дают усадочных трещин.

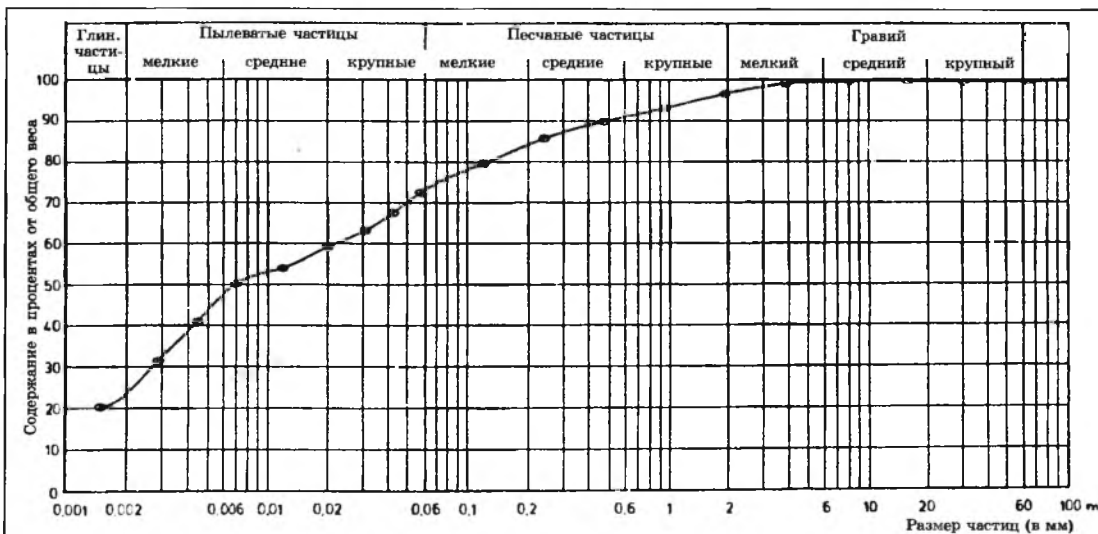
В целом, можно утверждать, что составы смесей для изготовления саманного, грунтового или сырцового кирпича различны и должны иметь каждый свое оптимальное содержание глинистых, пылевидных и песчаных частиц.

6.5. Кладка из глинобетонного кирпича

При организации работ на стройплощадке необходимо обеспечить защиту глинобетонного кирпича от попадания воды. В промышленных странах кирпич обычно поступает с завода на поддонах в стандартной упаковке из водонепроницаемой полимерной пленки. При устройстве кладки из глинобетонного кирпича



6.4-1 Кривая гранулометрического состава шихты, применяемой на кирпичных заводах



6.4-2 Оптимальная кривая гранулометрического состава смеси для саманного кирпича ручного изготовления

применяют глиняный или известково-песчаный растворы (из обычной или высокосортной гидравлической извести). Допускается вести кладку на глиняном растворе с добавкой цемента в незначительных количествах. Не рекомендуется применять цементно-песчаный или известково-цементно-песчаный растворы, т. к. они слишком хрупки и имеют низкую прочность при растяжении. Для глинобетонного кирпича нужен более подвижный раствор, чем для обожженного кирпича, т. к. глиносырцовые материалы быстро «вытягивают» воду из раствора. Во избежание появления усадочных трещин в глиняном растворе при высыхании, его отопают песком.

Содержание глинистых частиц в глиняном растворе может колебаться от 4 до 10%. Для того, чтобы предотвратить появление усадочных трещин, рекомендуется делать более тонкие горизонтальные швы, чем при кладке из обожженного кирпича. С глиняным раствором легко работать, он не оказывает раздражающего действия на кожу. Известковый раствор, напротив, разъедает кожу и может вызвать аллергические реакции. Стеновую кладку из кирпича-сырца можно выполнить и без раствора, если кирпичи перед кладкой некоторое время выдержать в воде, чтобы их наружная поверхность стала мягкой и вязкой. Такие размягченные кирпичи укладывают с перевязкой, плотно прижимая друг к другу, так что после высыхания обеспечивается их сцепление. Однако этот способ требует от каменщика большого мастерства и точного глазомера, т. к. точно укладывать кирпичи в перевязку трудно, особенно при большой площади стен. В отличие от стеновой кладки из обожженного кирпича, где растворные швы позволяют выравнивать отклонения по горизонтали, при кладке сырцовых кирпичей швы между ними практически отсутствуют, и выровнять какие-либо отклонения невозможно.



6.7-1 Крепление книжной полки к стене из глинобетонного кирпича



6.6-1 Стена из необожженного кирпича, покрытая известково-глиняным молоком. Жилой дом в Бендиго, Австралия

Необожженный сырцовый кирпич гораздо легче поддается обработке, чем обожженный. Его можно легко резать, например, с помощью обычной лучковой пилы (рис. 6.5.-1.). Если нужно отколоть часть кирпича, то достаточно сделать неглубокий надрез пилой (до 2 см), а затем отбить лишний кусок молотком каменщика. Надрез можно сделать и любым другим режущим инструментом: кельмой, ножом и даже лезвием отвертки.

6.6. Обработка поверхностей

Неровную или шероховатую поверхность стены из сырцового кирпича после завершения кладки можно легко выровнять, если предварительно смочить ее (например, с помощью кисти макловицы), а затем обработать войлочной теркой. Не рекомендуется применять штукатурку, т. к. она снижает способность грунтовых стен адсорбировать водяные пары и таким образом нарушает естественное регулирование влажностного режима в помещении (раздел 1.4.4).

Если по эстетическим соображениям необходимо скрыть косметические недостатки, то лучше использовать известково-глиняное молоко, в которое для

прочности добавляют казеин (рис. 6.6-1). Добавка казеина позволяет получать водостойкое покрытие (более подробную информацию об обработке поверхностей см. в разделе 12.3).

6.7. Крепление к стенам из глинобетонного кирпича

Забить гвоздь в стену из глинобетонного кирпича гораздо проще, чем в стену из обожженного кирпича. Чем выше влажность и пористость кирпича, тем легче входит в него гвоздь. При этом кирпич-сырец чаще раскалывается, чем саманный кирпич ручной формовки. При использовании гвоздей большого диаметра рекомендуется предварительно просверлить в стене отверстие. Тяжелые подвесные полки или шкафы легко крепятся к стенам с помощью шурупов и дюбелей. Отверстие под дюбель нужно сверлить с большей глубиной и диаметром относительно размеров шурупа, чтобы при завинчивании не расклинило кирпич. С помощью дюбелей и шурупов можно без проблем закрепить на стене из необожженного кирпича тяжелые книжные полки весом более ста килограммов (рис. 6.7-1).

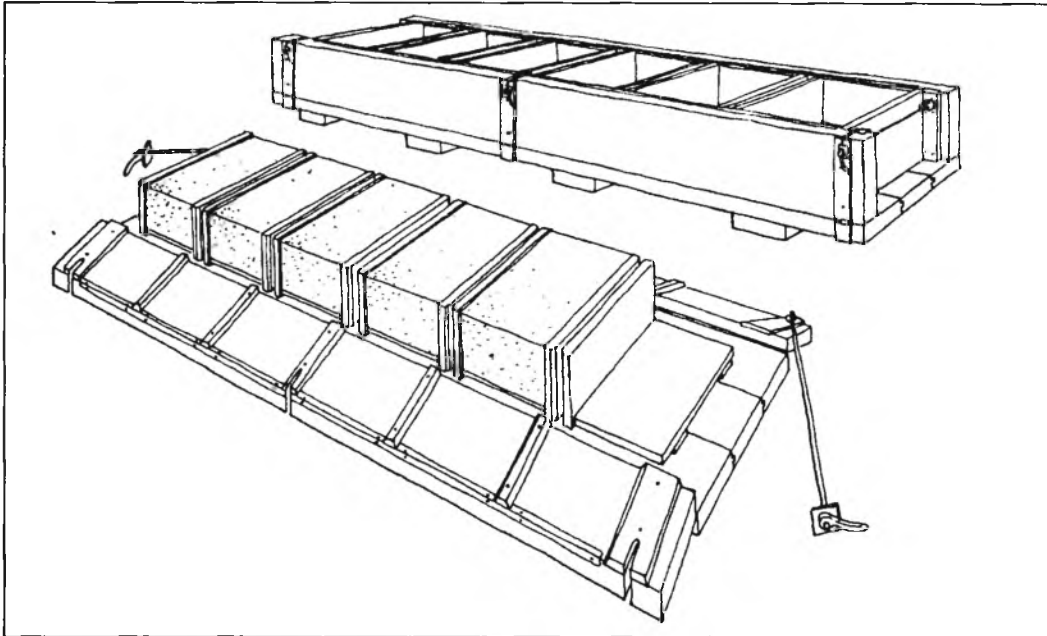
7. Изделия и конструкции из глинобетона

7.1. Общие сведения

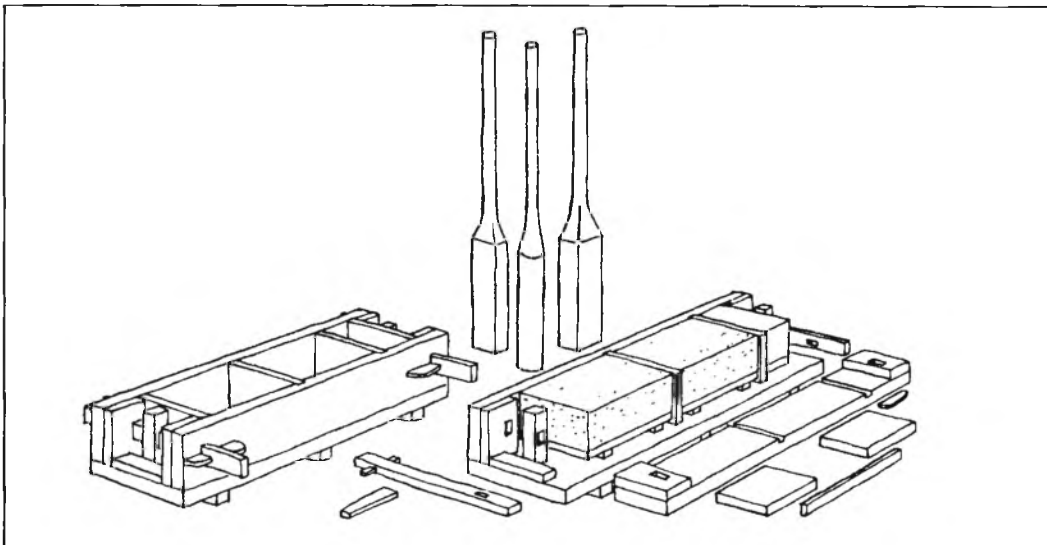
Возведение глинолитных и глинобитных стен, а также кладка из глинобетонного кирпича требуют значительных затрат ручного труда и длительного времени сушки. Все это замедляет пуск объектов в эксплуатацию. Для того чтобы сократить время на строительство, был разработан ряд технологий, позволяющих использовать готовые сборные изделия и конструкции из глинобетона.

7.2. Блоки

Кладка из блоков ведется быстрее, чем из кирпича стандартного размера при условии, что отформованные блоки достаточно легки, чтобы укладывать их одной или двумя руками. Для этого в блоках должны быть предусмотрены отверстия для захвата руками или специальными устройствами. Для снижения массы блоков можно применять легкие добавки или изготавливать их пустотелыми.

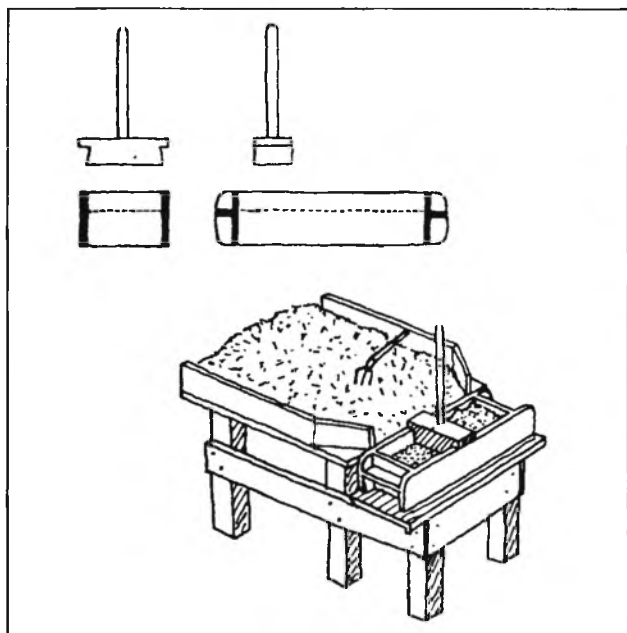


7.2-1 Разборная форма для изготовления глинобетонных блоков, Фаут, 1933 г.

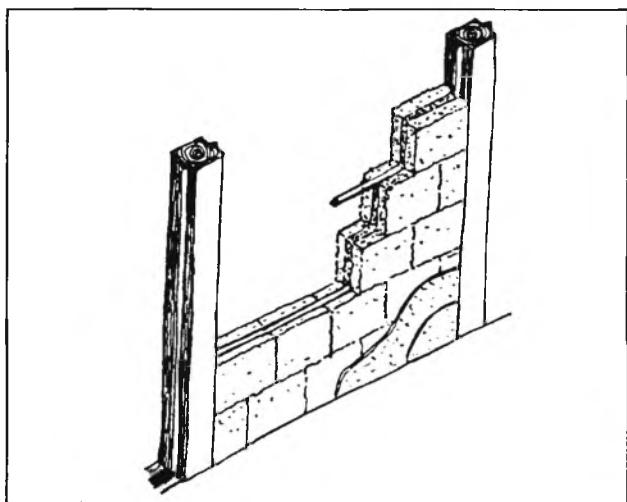


7.2-2 Разборная деревянная форма (без металлических тяжей) для изготовления глинобетонных блоков, Миллер, 1947 г.

Два способа изготовления глинобетонных блоков с помощью разборных форм, разработанные в Германии, проиллюстрированы на рисунках 7.2-1 и 7.2-2. На рисунке 7.2-3 изображен рабочий стол с формой для изготовления саманного блока. На следующем рисунке 7.2-4 показано, как выполняется стеновая кладка из саманных блоков, изготовленных в заводских условиях (размер: $15 \times 24 \times 30$ см, вес: примерно 9,5 кг). Каждый такой блок имеет желоб по всему периметру, который заполняется раствором. Для большей прочности кладки горизонтально в желоба блоков, через один ряд, укладывается армирующая деревянная рей-



7.2-3 Рабочий стол с формой для изготовления саманного блока, Полак, Рихтер, 1952 г.



7.2-4 Внутренняя стена из саманных блоков, изготовленных в заводских условиях, Полак, Рихтер, 1952 г.

ка. Такая технология требует больших трудозатрат, чем обычная стеновая кладка из эффективного кирпича-сырца стандартного размера, что вызвано большим весом блоков, отсутствием приспособлений для захвата и необходимостью укреплять кладку деревянными рейками. Более эффективны для стеновой кладки легкие саманные блоки размером $50 \times 60 \times 30$ см, с успехом применявшиеся немецким архитектором Сильвестром Дуфтером на нескольких строительных объектах. Каждый такой блок весит примерно 26 кг.



7.2-5 Изготовление саманных блоков



7.2-6 Наружная стена из саманных блоков

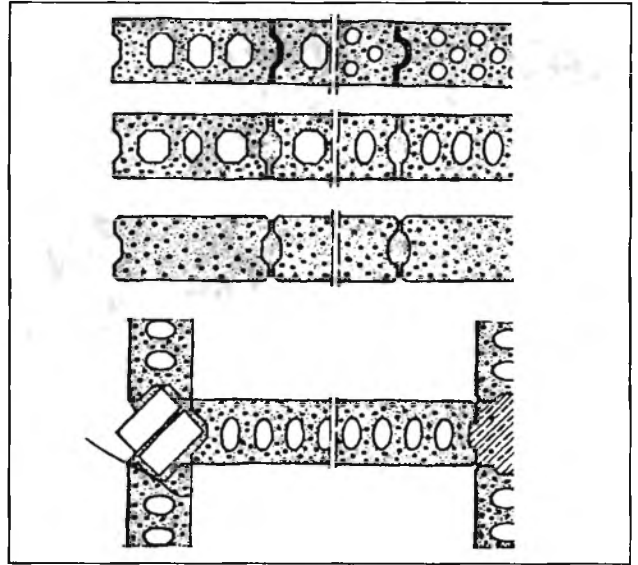
Они изготавливаются в специальной опалубке, под навесом для защиты от дождя, непосредственно у строящейся стены, после чего их можно сразу укладывать в кладку в нужном положении (рис. 7.2-5 и 7.2-6). Благодаря низкой плотности глиносырцового блока при толщине кладки в 50 см стена имеет коэффициент теплопередачи k 0,3 Вт/м²С (в строительной терминологии Германии эту величину называют также k — оценкой или коэффициентом Фиккентгера). Под руководством С. Дуфтера такие блоки использовались в проекте «свой дом своими руками», когда семья строит для себя дом собственными силами. В одном из

таких случаев семейная строительная бригада изготовила за пять недель 1500 саманных блоков (необходимое количество для того, чтобы полностью построить дом).

В Венгрии для изготовления легких глинокерамзитовых блоков размером 15×15×30 см использовался станок для формования бетонных блоков «несушка» (рис. 7.2-7). Такие блоки применялись в качестве облицовки и дополнительной теплоизоляции наружной стены первого этажа жилого дома из грунтового кирпича, а также в качестве несущей стены на втором этаже в Тата (Венгрия) (рис. 7.2-8).



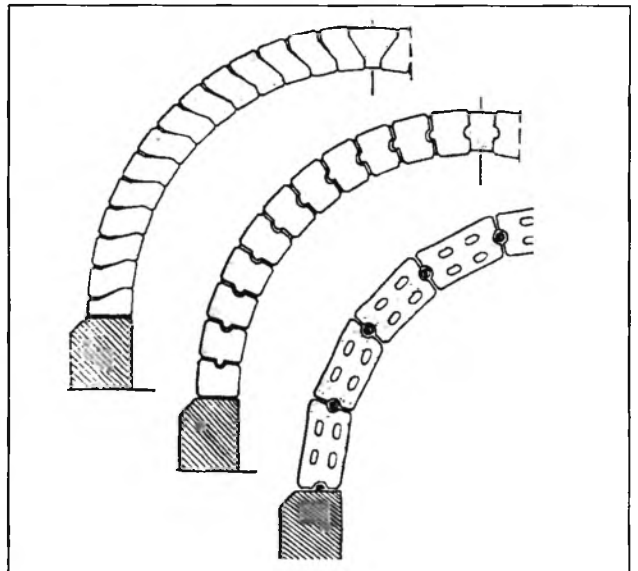
7.2-7 Изготовление глинокерамзитовых блоков, Тата, Венгрия



7.2-9 Легкие глинобетонные блоки



7.2-8 Облицовка наружной стены из глинокерамзитовых блоков для дополнительной теплоизоляции, Тата, Венгрия



7.2-10 Легкие глинобетонные блоки для сводов

Различные сборные легкие глинобетонные блоки, предназначенные для стеновых конструкций, разработаны автором. Они показаны на рисунке 7.2-9 (в разрезе). Такие блоки можно применять как для устройства внутренних стен, так и для облицовки наружных стен в качестве дополнительной теплоизоляции. Пустотелые блоки имеют ряд преимуществ, т. к. имеют малую массу и низкий коэффициент теплопроводности, а также значительно облегчают работу каменщика. Аналогичные блоки из глинобетона, показанные на рисунке 7.2-10, предназначены для устройства цилиндрических сводов.



7.3-1 Внутренняя стена из легких глинобетонных плит



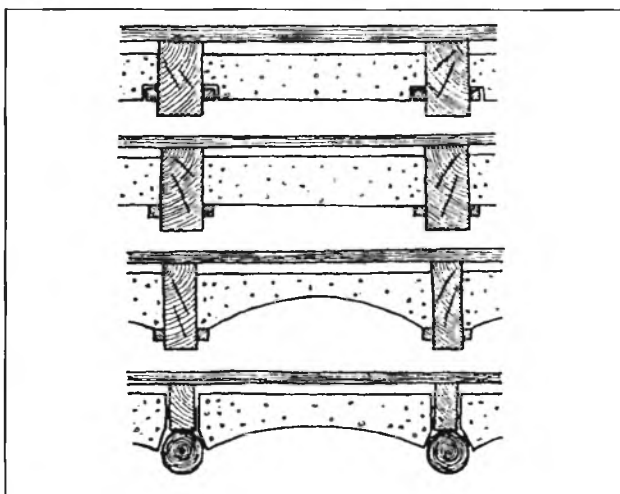
7.3-3 Панели для каркасных домов с заполнением из легкого глинобетона.

7.3. Плиты

Для внутренних ненесущих стен можно применять предварительно изготовленные глинобетонные плиты толщиной 6—12 см и размерами от 30×60 см до 62,5×100 см. Оптимальная плотность таких плит колеблется от 800 до 1000 кг/м³. Плиты плотностью менее 800 кг/м³ дополнительно укрепляют с помощью деревянных реек для защиты кромок углов. Глинобетонные плиты плотностью 550 кг/м³ разработаны немецкой фирмой Брайденбах. Для изготовления та-



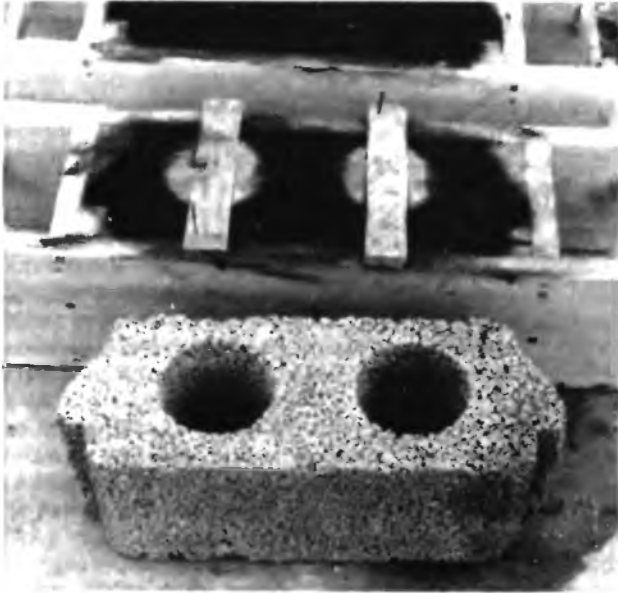
7.3-2



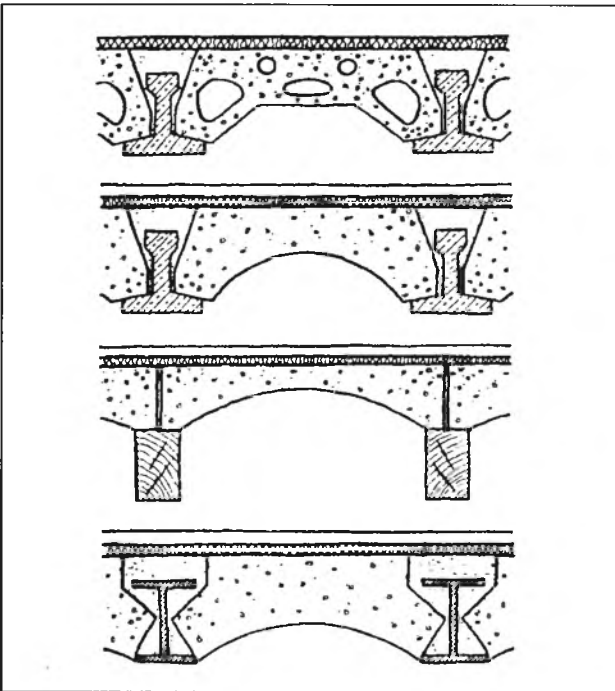
7.4-1 Сборные изделия из глинобетона для заполнения пространства между несущими балками

ких плит используются камыш и глинистый грунт. Наружные поверхности покрывают джутовой тканью. На рисунке 7.3-1 показана стена из глинобетонных плит. Она изготовлена из глинопорошка и соломы (размер: 62,5×25×10 см). Плотность этого материала — 950 кг/м³. Плиты немецкой фирмы «Тераформ» раз-

мером от 50 см по ширине и до 2 м по длине под названием «Resiclay» производятся на ленточном прессе. Другая немецкая фирма «ХДБ Вайсингер» производит крупные деревянные панели для каркасных домов (ширина от 1 м, высота до 3 м), которые заполняются легким глинобетоном (рис. 7.3-3).



7.4-2 Несущие цементогрунтовые изделия для сборных перекрытий, Венгрия



7.4-3 Несущие цементогрунтовые изделия.



7.5-1 Фрагмент сводчатого перекрытия из кирпича оригинальной формы



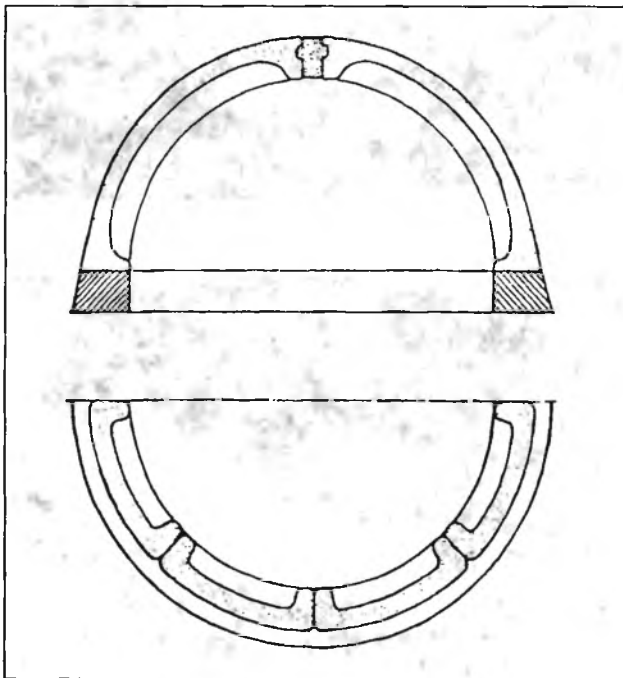
7.5-2 Пустотелый грунтовоый кирпич с закругленными углами

7.4. Изделия для перекрытий

Глинобетонные несущие изделия, которые используются для заполнения пространства между несущими балками перекрытий, служат также для звуко- и теплоизоляции (рис. 7.4-1). Несущие цементогрунтовые изделия для перекрытий были разработаны автором в 1987 г. в Венгрии. Их изготавливают из керамзита, глинистого грунта и цемента, который добавляют для прочности. На рисунке 7.4-2 показан блок рядом с деревянной формой. На рис. 7.4-3 показаны другие возможные варианты несущих цементогрунтовых изделий для перекрытий.

7.5. Конструкции сводов

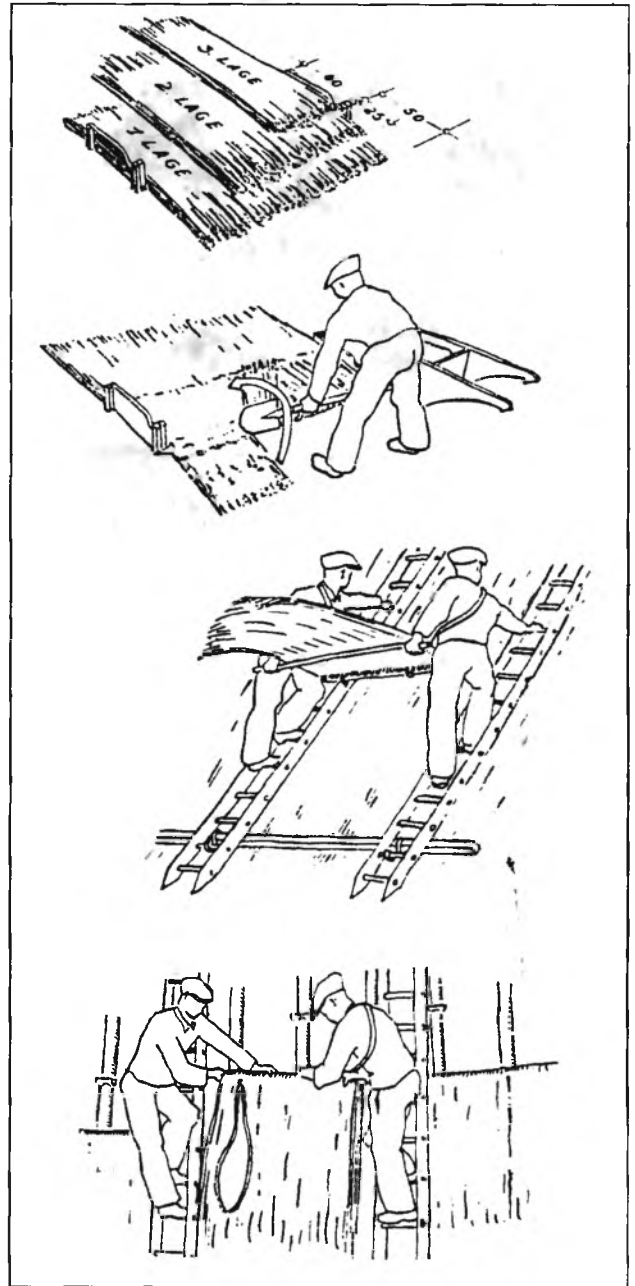
Для улучшения акустических свойств внутренних помещений автор разработал специальную форму пустотелого грунтового кирпича с закругленными углами (рис. 7.5-2). В зданиях со сводчатыми и куполообразными покрытиями из кирпича оригинальной формы улучшается распространение звука, а также создается определенный звукопоглощающий эффект (7.5-1). Оригинальным проектным решением автора является разработка сборных сводчатых конструктивных элементов из глинобетона. Они имеют необходимую прочность для монтажа и транспортировки, которая достигается за счет армирования. Монтаж конструкции осуществляется с помощью грузоподъемной техники. Восемь сборных элементов образуют купол (рис. 7.5-3).



7.5-3 Сводчатая глинобетонная конструкция из сборных элементов

7.6. Глиносоломенный гонт

Глинобетонная кровля — это кровля из глинистого грунта и соломы. «Глиносоломенный гонт», предварительно изготовленный, служит для покрытия двух- или четырехскатных крыш. Глиносоломенные кровли пропагандировались и подробно описывались в Германии в первой половине 19 в. в многочисленных публикациях по грунтовому строительству как пожа-



7.6-1 Изготовление и крепление элементов глиносоломенной кровли, Поллак, Рихтер, 1952 г.

робезопасная альтернатива соломенных кровель. Интерес к этой конструкции был столь велик, что для нее был даже разработан стандарт (DIN 18957, 1956 г.) Но прочность и долговечность глиносоломенной кровли в то время была невелика, и интерес к ней быстро угас. Современный уровень знаний позволяет получить с помощью соответствующих добавок водостойкий глинобетон (раздел 4.3). Это может снова вызвать интерес к глиносоломенной кровле, особенно в развивающихся странах, где стоимость кровли часто составляет от 30 до 40% общей стоимости строительства.

«Глиносоломенный гонт» — это изделие из соломы, покрытое с обеих сторон слоем глиняного раствора, который служит защитой от пожара. Толщина изделия должна быть не менее 20 см, что позволяет выдерживать нагрузку на крышу 90 кг/м^2 . «Глиносоломенный гонт» изготавливают из ржаной соломы с длинными стеблями, которые укладывают на специальном формовочном столе внахлест, в три слоя (толщина каждого слоя примерно 7 см) так, что образуется покатая поверхность, как показано на рисунке 7.6-1.

Пучки соломы длиной примерно 70 см и диаметром 3 см каждый зажимаются с двух сторон формовочного стола. Таким образом солома уплотняется. После этого на заготовку наносится слой глиняного раствора (шириной 25 см и толщиной 1,5 см). Выступающие за рамки формовочного стола стебли соломы перегибают через специальный круглый валик (3 см в диаметре) и снова вдавливают сверху в глиняный раствор. Валик после этого фиксируют в пазах средней части формовочного стола. Затем наносят второй слой глиняного раствора (примерно на $2/3$ площади формовочного стола), который с силой вдавливают в слой соломы.

После этого поверхность глиняного слоя выравнивают. Верхние края готового «глиносоломенного гонта» приглаживают шпателем или ножом, чтобы получился легкий скат: тогда следующий гонт, который накладывают сверху внахлест, будет плотнее прилегать к нижнему. Два человека поднимают «глиносоломенный гонт» на крышу и укладывают на обрешетку.

Для увеличения долговечности и стойкости к непогоде полезно нанести на готовую глиносоломенную кровлю дополнительное покрытие из глиняного раствора, не дающего усадочных трещин, как это было сделано в проекте, описанном в разделе 14.6.3. Общие указания по повышению водостойкости глиносырцовых материалов приведены в разделе 4.3.

7.7. Напольные плитки

В качестве напольного покрытия можно использовать предварительно изготовленные плитки из глинобетона повышенной прочности, которые укладывают на глиняный или известковый раствор. По сравнению с глинобитным полом они имеют ряд преимуществ, но главное преимущество состоит в том, что усадочные трещины могут возникнуть только в швах. Миллер, Григутш и Шульце (1947 г., с. 5) рекомендовали для повышения сопротивляемости истирающим усилиям в глинобетоне применять окалину (Fe_3O_4), бычью кровь и деготь.

Исследования, проведенные в лаборатории FFB, показали, что сопротивление глинобетонных плит истиранию можно повысить за счет добавки 6% льняной олифы и уплотнения смеси.

Способы повышения прочности на истирание плиток описаны в разделе 14.4.3.

8. Технология кладки из пластичных глинобетонных изделий

8.1. Общие сведения

При затворении глинистого грунта водой получают пластичную смесь, которой можно придать любую форму. Эта способность природного сырья предоставляет уникальные возможности для творческих людей.

Ручное изготовление глиносырцовых материалов для грунтового строительства имеет широкое распространение в Африке и Азии, а также известно в Европе и Америке.

Этот способ изготовления прост и не требует никаких инструментов и оборудования.

Еще одним преимуществом данного способа, где приготовленную смесь формируют вручную и сразу укладывают в конструкцию, является то, что не нужно предварительного складирования глиносырцовых материалов.

Недостатком является то, что глинистые грунты, содержащие даже 10 %—15 % глинистого вещества, дают усадку до 3—6 %. Чем больше глинистых час-



8.1-1
Изготовление скамьи
из глинистого грунта



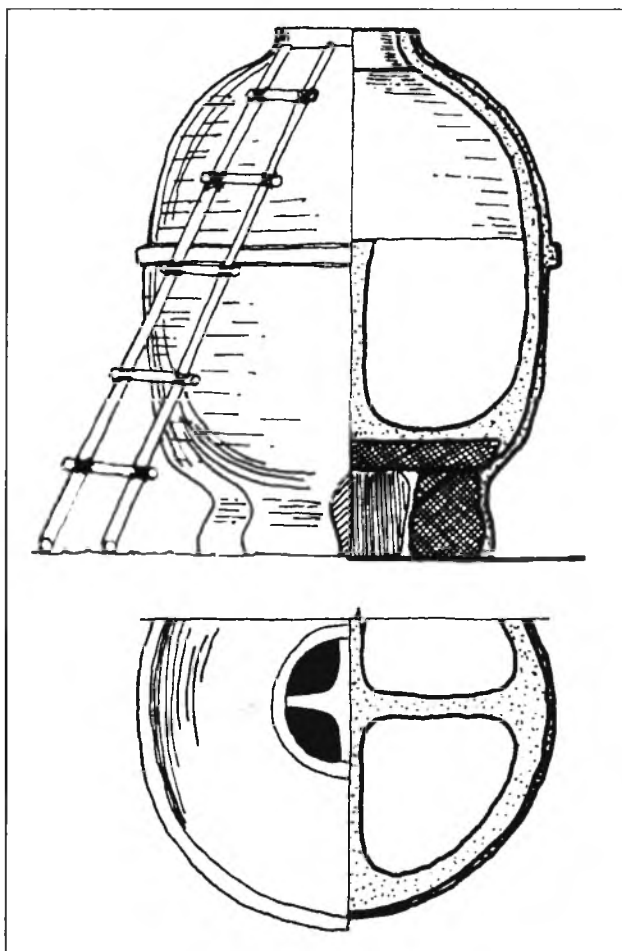
8.1-2
Усадочные трещины
после высыхания

тиц в грунте, тем больше расходуется воды и тем больше усадка. У более жирных грунтов усадка может быть больше 10%. Рисунки 8.1-1 и 8.1-2 показывают, что может произойти с малой формой, если не принимать во внимание воздушную усадку грунта. Следующий раздел и глава 4.2 показывают, как можно уменьшить и полностью избежать усадочных трещин, изменяя состав глинобетона за счет введения различных добавок.

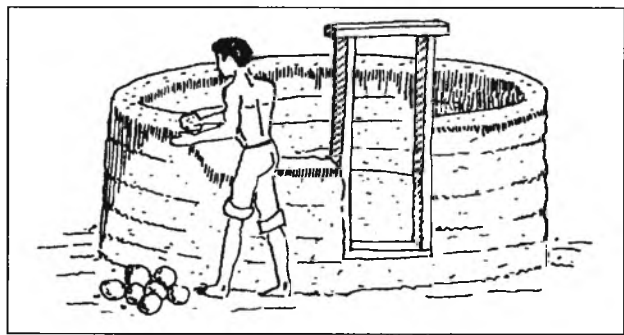
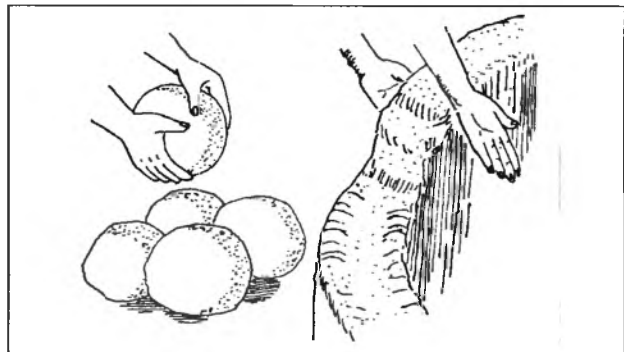
8.2. Традиционные технологии кладки из пластичных глиносырцовых материалов

Кладка глинобетонных блоков ведется на глиняном растворе. Глиносырцовые материалы можно укладывать без раствора. До настоящего времени во многих странах сохранились различные традиционные способы возведения стен из глиносырцовых материалов. Сейчас в Южной Индии существует довольно простая технология возведения глиносырцовых стен, в которой используется из инструментов только мотыга. Грунт смешивают с водой до тестообразного состояния. Глиняный раствор в емкостях на головах доставляют к месту строительства и укладывают в конструкцию толщиной от 2 до 4 см. В солнечные дни глиняный раствор довольно быстро высыхает, что позволяет наносить слои друг на друга.

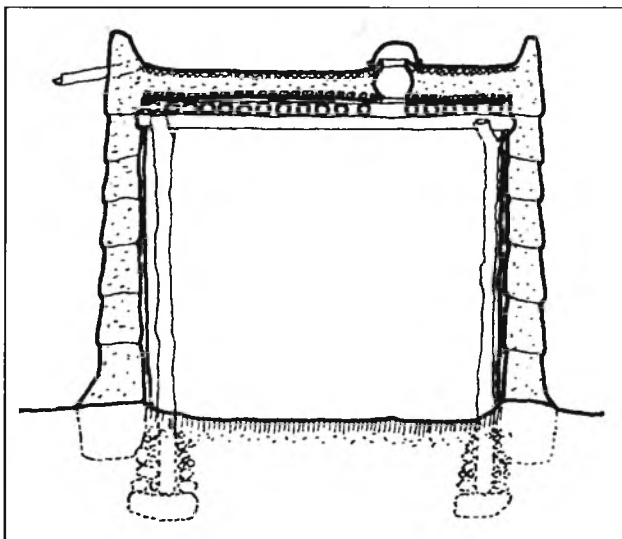
В северо-восточной Гане применяется другой способ возведения стен. Ногами перемешивают глинистый



8.2-3 Грунтовый амбар, Гана



8.2-1, 8.2-2 Возведение стен из глиносырцовых шаров, северо-восточная Гана



8.2-4 Традиционный способ возведения глиносырцовых стен, северо-запад Ганы

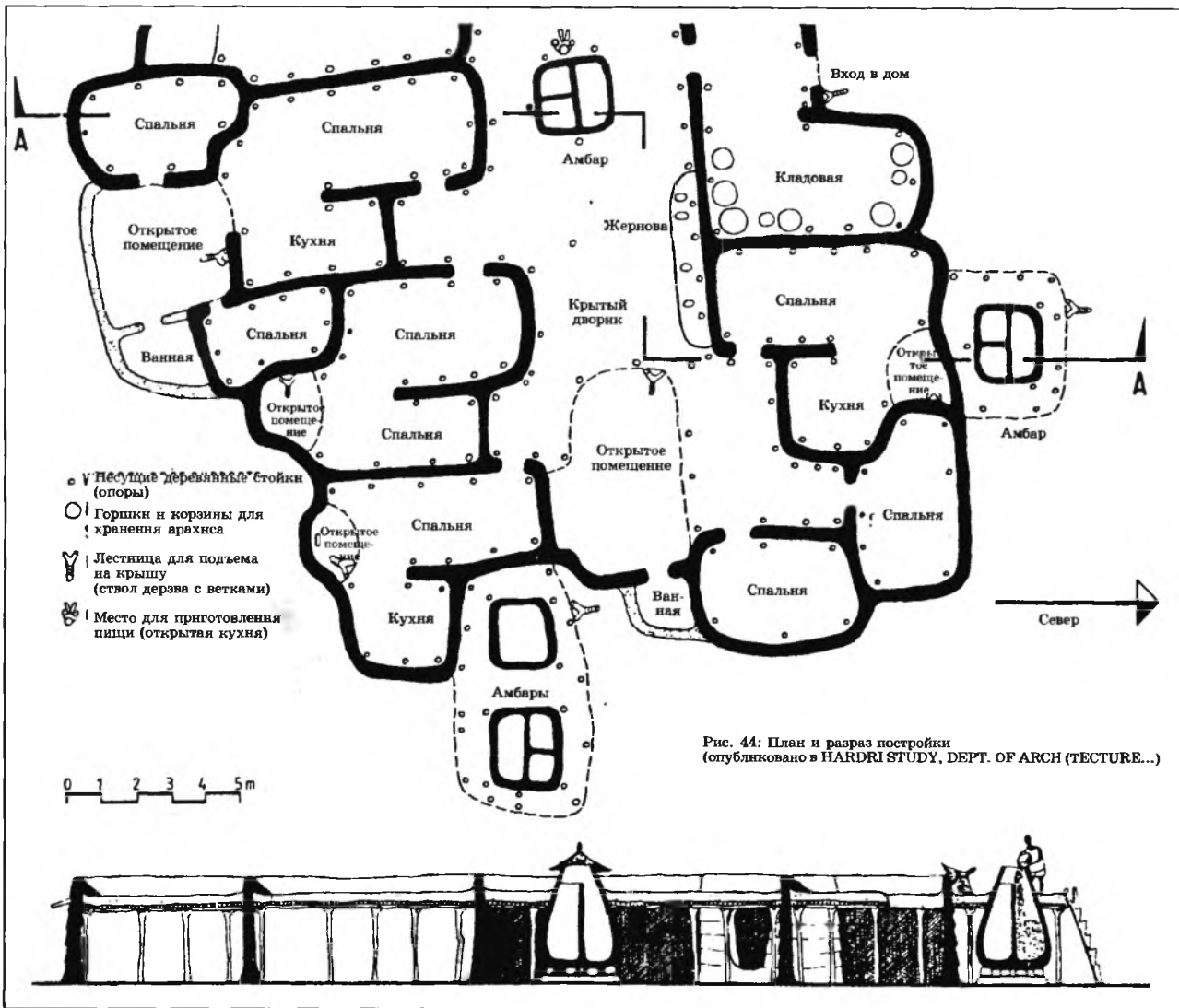
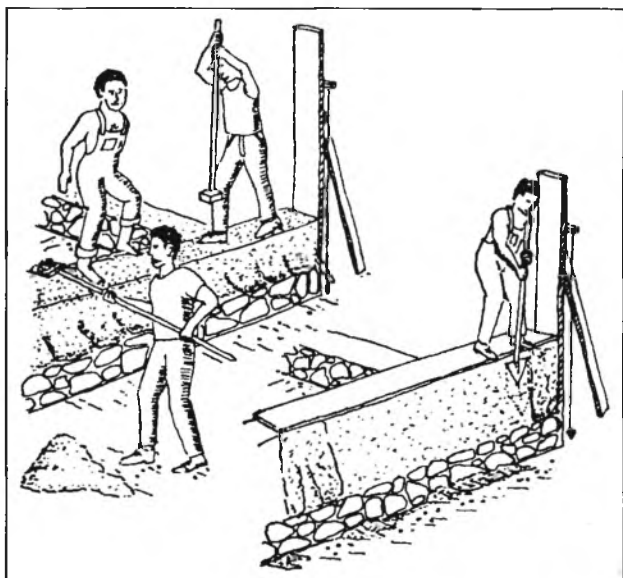


Рис. 44: План и разрез постройки (опубликовано в HARDRI STUDY, DEPT. OF ARCH (TECTURE...))

8.2-5 Типовой жилой комплекс, северо-запад Ганы

грунт с водой, а затем вручную из смеси формируют шары, которые сразу укладывают в конструкцию друг на друга, слегка прижимая (рис. 8.2-1, 8.2-2). После того как стены просохнут, их с обеих сторон штукатурят, выравнивают и полируют при помощи плоских камней вращательными движениями. На рисунке 8.2-3 показан грунтовый амбар, построенный по описанной технологии из грунта, навоза и соломы. В северо-западной Гане традиционно применяли следующий способ. Стены толщиной 40 см выкладывали из глиносырцовых шаров послонно внахлест (рис. 8.2-4). Комнаты таких домов имеют прямоугольную форму с закругленными углами (рис. 8.2-5). В северном Йемене столетиями строительство многоэтажных домов велось по технологии «забур» (рис. 8.2-6, 8.2-7, 8.2-8). Отформованные вручную шары из смеси глинистого грунта, соломы и воды с большой

силой забрасывали в конструкцию друг на друга, образуя однородную массу. Поверхность стен постоянно утрамбовывалась при помощи деревянного мастерка. В Венгрии и Словакии способы возведения стен из глиносырцовых материалов были уже известны в средневековье. Глинистые грунты оптимальной влажности формовались вручную в цилиндрических или конусообразных формах и сразу укладывались без раствора друг на друга, образуя стену (рис. 1.2-7, правый снизу). С XV по XIX в. на северо-западе Англии, особенно в Девоне, был широко распространен способ возведения стен из глиносырцовых материалов. Хилл следующим образом описывает этот способ: «Один человек находится сверху на стене с вилами, имеющими три зубца, в то время как второй внизу вручную формирует из глиноволокнистой смеси шар размером в два кулака и



8.2-9 Традиционный для Германии способ возведения стен

бросает его первому, который ловит его вилами, а затем укладывает в стену и уплотняет ногами». После возведения стены она выравнивалась. Толщина стен достигала 45—60 см». (МакКенн, 1983 г.).

В средние века аналогичный способ возведения стен был известен и в Германии, преимущественно в Тюрингии и Саксонии. Глиносоломенную смесь укладывали непосредственно вилами, а затем уплотняли ногами или деревянными трамбовками (рис. 8.2-9). Высота слоев достигала 80—90 см. После того, как слой подсыхал, стену выравнивали лопатой.

8.3. Глиносырцовые «батоны»

Способ возведения стен, который был известен в Словакии и Йемене, описанный в разделе 8.2, применялся и в Северной Африке. Вдохновленный увиденным, немецкий миссионер Густав Ван Бодельшвинг экспортировал этот способ в Германию. Свое название этот способ берет от названия маленького городка Дюн, где он впервые был применен.

Кладку из глиносырцовых «батонов» вели аналогично каменной кладке, но без раствора. На боковой поверхности каждого «батона» пальцами делали конусообраз-

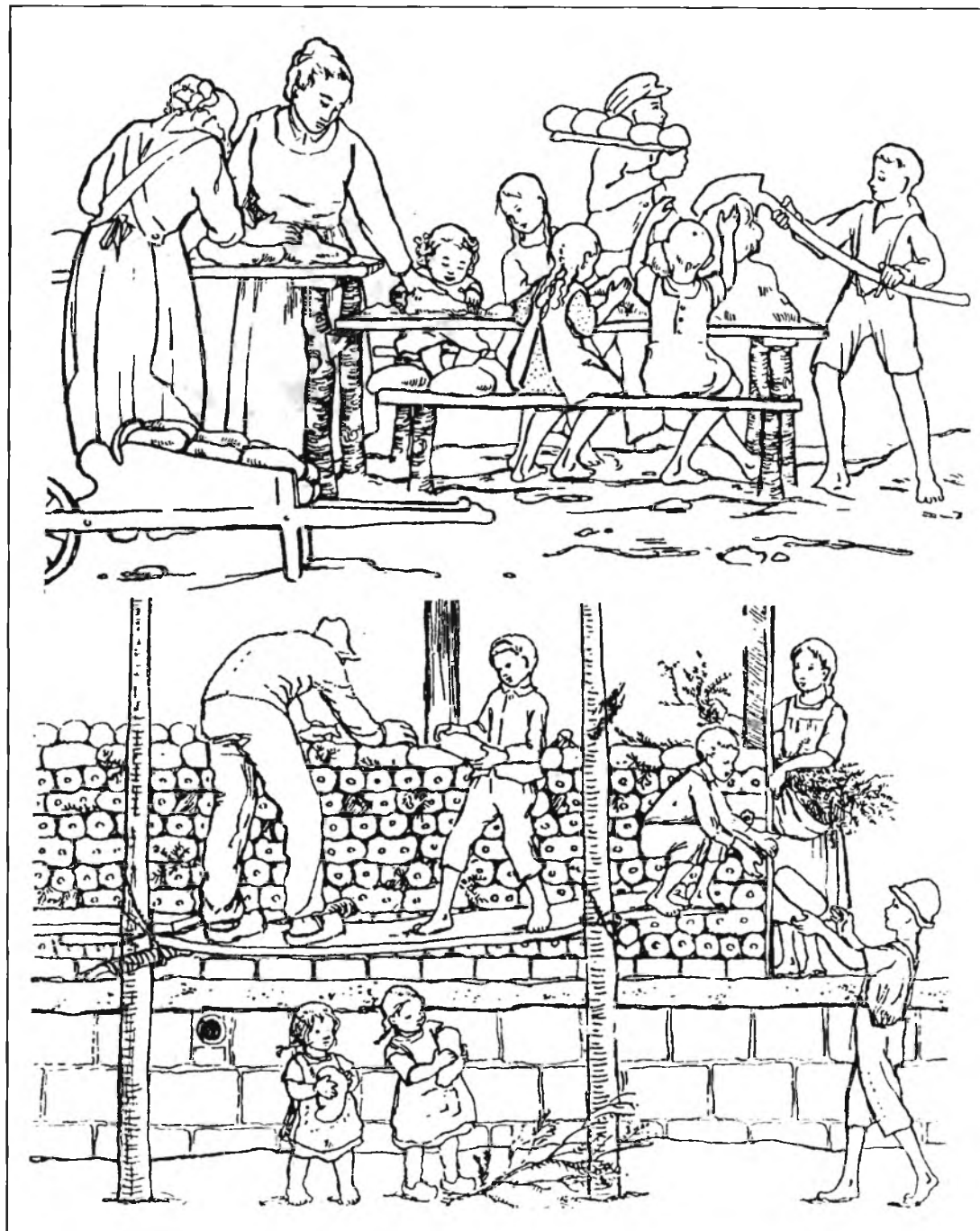


8.2-6 Многоэтажный дом, глиносырцовые стены которого возведены способом «забур»

8.2-7, 8.2-8 Возведение глиносырцовых стен способом «забур»

ное сквозное отверстие, что обеспечивало лучшее сцепление с ранее уложенным слоем (рис. 8.3-1 и 8.3-2). В день удавалось положить от 3 до 5 рядов. Для защиты глиносырцовых стен от атмосферных воздействий на высохшую поверхность наносили известковую штукатурку. Первое здание было построено в 1925 г.

(рис. 8.3-3). В течение пяти лет членами кооператива, организованного безработными по инициативе Ван Бодельшвинга, было построено более 300 домов. В изготовлении глиносырцовых «батон» и строительстве из них принимали участие целые семьи, как это показано на рисунке 8.3-1.



8.3-1
Возведение
стен из
глиносырцовых
«батон»,
Германия



8.3-2 Нештукатуренная стена овчарни, Дюн, Германия



8.3-3 Жилой дом, Дюн, Германия

8.4. Технология кладки из глиносырцовых изделий

8.4.1. Общие сведения

В 1982 г. в Кассельском университете, (Германия), была разработана новая технология возведения стен из глиносырцовых изделий, которая позволяет укладывать стены, своды и купола без раствора.

8.4.2. Изготовление глиносырцовых изделий

Для механизированного изготовления глиносырцовых изделий Кассельским университетом было разрабо-

тано специальное оборудование. При помощи вертикального пресса пластического формования можно получать изделия длиной 2 метра и сечением 8×16 см. Производительность формовочного оборудования 1,4 м³/час (рис. 8.4-1). Позднее это оборудование было усовершенствовано. Новый горизонтальный ленточный пресс формовал изделия длиной 3 метра и имел производительность 2 м³/час (рис. 8.4-2).

Принцип работы пресса следующий. Основной шнековый вал получает вращение от стандартного редукторного привода и пары цилиндрических шестерен. На вал, проходящий через прессовые камеры, насажены шнековые лопасти. В результате продавливания массы шнековой лопастью через решетку, из нее удаляется воздух. Затем она транспортируется в камеру, выпорной лопастью уплотняется в прессовой головке и выдавливается через мундштук.



8.4-1 Вертикальный пресс для формования глиносырцовых изделий



8.4-2 Горизонтальный пресс для формования глиносырцовых изделий



8.4-3, 8.4-4 Стены из глиносырцовых изделий, экспериментальное здание, Кассельский университет, 1982 г.



8.4.3. Оптимизация состава глинобетона

Эксперименты, проведенные с 30 различными составами глинобетона доказали, что введение таких волокнистых заполнителей как солома, сосновая хвоя и стружка, незначительно уменьшают усадку, а также снижают производительность пресса, т. к. увеличивается время для приготовления однородной смеси. Увеличить производительность оборудования можно за счет введения в смесь молочной сыворотки, которая повышает также водостойкость и прочность на истирание глинобетона. Молочную сыворотку можно частично разбавлять водой. Вместо нее также применяют нежирный творог, затворенный водой.

Для механизированной технологии изготовления глиносырцовых изделий подходит глинистый грунт с содержанием глинистой фракции 15%. Изделия, сфор-

мованные на глинистом грунте с пониженным содержанием глинистого вещества, имеют низкую сырьцовую прочность. Если содержание фракции размером менее 0,005 мм превышает рекомендуемое, то возможно появление трещин при высыхании изделия. Влажность смеси должна быть также оптимальной. Отклонения от рекомендуемого содержания воды в смеси приводит к браку при изготовлении изделий и ухудшению физико-механических свойств.

8.4.4. Кладка пластичных изделий

При строительстве в 1982 г. в Германии первого экспериментального здания (рис. 8.4-3, 8.4.4) применялись глиносырцовые изделия длиной 2 м. От пресса к конструкции изделия транспортировались на деревянных поддонах, с которых их укладывали в стену.



8.4-5 Формование глиносырцовых изделий



8.4-7



8.4-6, 8.4-7, 8.4-8 Укладка глиносырцовых изделий



8.4-8



8.4-9 Обработка поверхности влажной губкой



8.4-14 Глиноизвестковая побелка стены из глиносырцовых изделий



8.4-10 Законченная внутренняя стена из глиносырцовых изделий



8.4-13 Уплотнение шва



8.4-11 Стена из глиносырцовых изделий

Швы между изделиями обрабатывали руками и расшивкой.

В день укладывали 4-5 рядов.

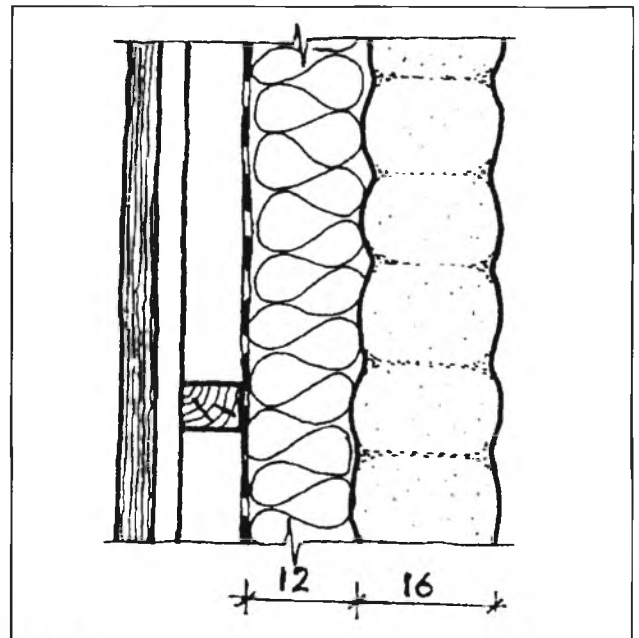
Так как глиносырцовые изделия после высыхания имели 3% усадки, то необходимо было заделывать появляющиеся трещины. Поскольку это было довольно утомительным занятием, при возведении стен следующего здания — жилого дома, построенного в Германии в Касселе в 1984 г., — решено было использовать изделия длиной 70 см. Оборудование для изготовления глиносырцовых изделий располагалось в центре здания, что позволяло свести к минимуму затраты на транспортировку.

На рисунках 8.4-5, 8.4-6, 8.4-7, 8.4-8 показаны технологические процессы изготовления, доставки и укладки глиносырцовых изделий. Глиносырцовые внутренние стены жилого дома длиной 2,1 м имеют вид брусьев. Стеновая панель разделена на три части. Через

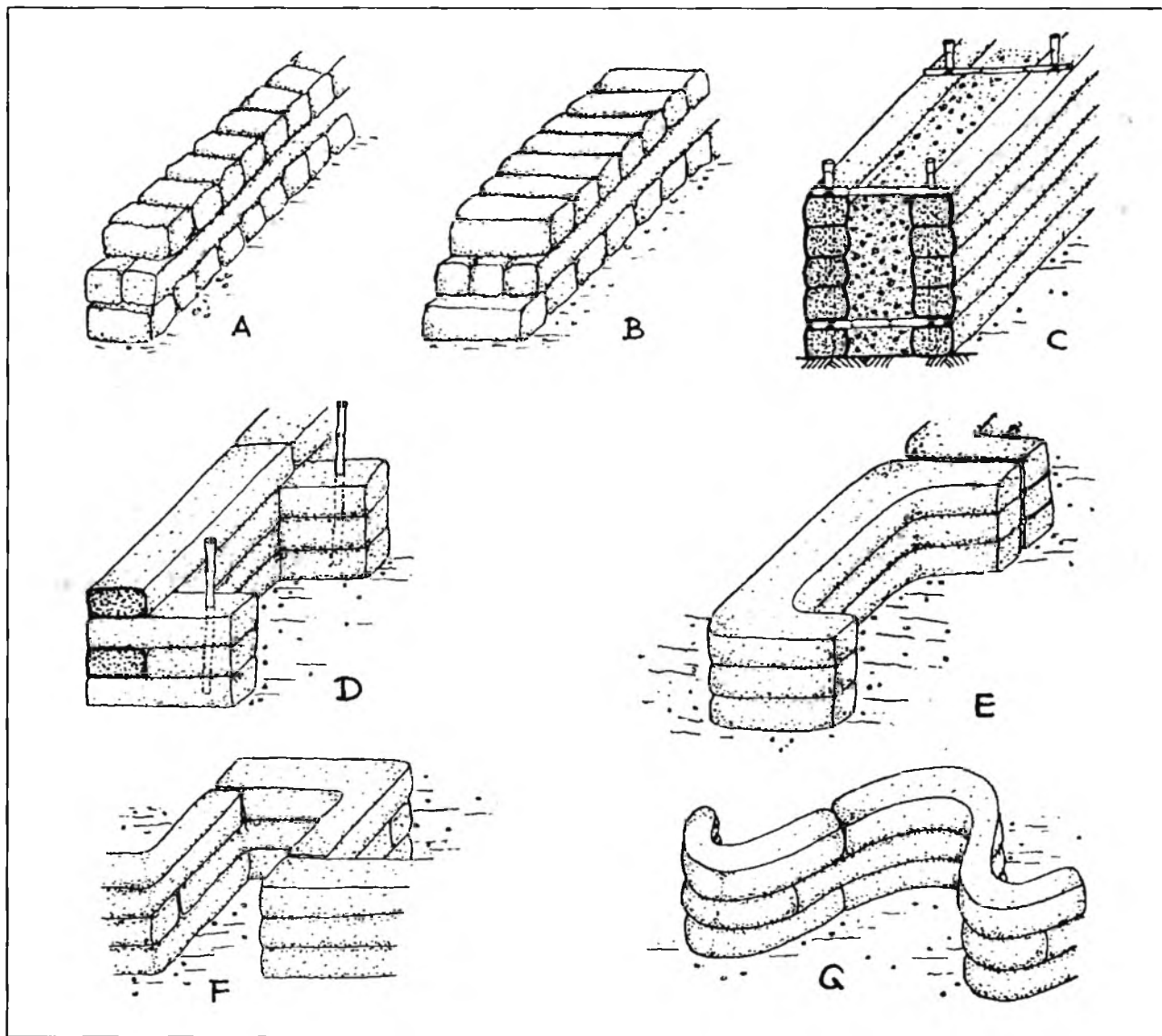


8.4-12 Внутренняя стена из глиносырцовых изделий

каждые 0,7 м стеновой панели установлены вертикальные деревянные элементы сечением 4×4 см, которые применяются в качестве шпунтов, скрепляя глиносырцовые изделия и обеспечивая горизонтальную устойчивость. После укладки изделий на их стыках при помощи мастерка делается углубление, которое выполняет роль усадочного шва. По мере высыхания изделий шов увеличивается. Он может быть заделан сложным раствором, приготовленным из извести, гипса, песка и глины. Поверхность стен из глиносырцовых изделий легко обрабатывается при помощи влажной губки (рис. 8.4-9). На рисунке 8.4-13 показан процесс зачеканивания усадочного шва глиняным раствором при помощи молотка и деревянного бруска. На рисунке 8.4-10 изображена глиносырцовая стена после ее окончательной отделки. Глиносырцовым стенам можно придать требуемую форму, как это показано на рисунках 8.4-11, 8.4-12. В помещениях, к поверхностям которых не предъявляются жестких требований по отделке, стены достаточно побелить составом из глины, извести и обезжиренного творога в отношении 1:1:1 (рис. 8.4-14).



8.4-16 Глиносырцовая стена с внешней теплоизоляцией



8.4-15 Виды внешних и внутренних стен из глиносырцовых изделий

8.4.5. Варианты стен

Линейная усадка глиносырцовых стен составляет 3—5%, поэтому не регламентируется длина изделий. На рисунке 8.4-15 показаны несколько видов внешних и внутренних стен, при кладке которых применялись небольшие глиносырцовые изделия. Вариант «С» на этом рисунке предлагается только для наружных стен. Для уменьшения теплопередачи внутреннее пространство между глиняными изделиями может быть заполнено легким заполнителем, например, пробкой, керамзитом, пемзой и т. п. Здесь же могут быть расположены стойки несущего каркаса здания и полученные таким образом блоки оставляют на земле для их суш-

ки. После недолгой предварительной сушки блоки можно ставить на ребро для равномерной и окончательной просушки.

На механизированных кирпичных заводах глиняное сырье после предварительного измельчения в дробилках и перемешивания в смесителе подается в ленточный пресс, из-под которого выходят глиняные бруски. Эти бруски затем нарезаются с помощью проволоки на отдельные кирпичи. Форма и размеры кирпича определяются мундштуком пресса, через который выдавливается смесь при формировании. Полученный таким образом кирпич-сырец обычно поступает сначала в сушильные камеры, а затем в печи для обжига. Поскольку в наши дни на кирпичных заводах этот



8.4-17, 8.4-18 Кладка перегородок из сырцовых блоков



8.4-19 Законченная перегородка из сырцовых блоков, Германия, 1986 г.



процесс полностью компьютеризован, то изъять кирпич-сырец из технологической цепочки до стадии обжига не так-то просто. Поэтому себестоимость кирпича-сырца иногда оказывается выше, чем у обычного обожженного кирпича.

Варианты «А,В,Д,Е» могут применяться и для наружных стен при условии их дополнительной теплоизоляции. Конструкция глиносырцовой стены с наружной теплоизоляцией, общий вид которой приводится на рисунке 8.4-16, имеет коэффициент теплопередачи $0,295 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ\text{С}$. На рисунках 8.4-17, 8.4-18, 8.4-19 проиллюстрирован опыт работы по кладке перегородок из сырцовых блоков заводского изготовления в жилом доме в Германии. Шнековые прессы пластического формования, работающие на кирпичных заводах, не способны формовать шихту оптимального состава глинобетона, поэтому применяли сырцовые блоки, которые имеют большее содержание глинистого вещества, чем это требуется для изготовления глиносырцовых изделий. С целью уменьшения линейной усадки в конструкции из сырцовых блоков их укладывали полусухими, но без раствора.

8.4.6. Кладка куполов

В 1984 г. Кассельским университетом был разработан способ укладки куполов из глиносырцовых блоков длиной 40 см (рис. 8.4-21, 8.4-22, 8.4-23). Купол возводился без опалубки и без раствора. Стены имели толщину внизу 30 см, наверху 20 см. При укладке глиносырцовых блоков их уплотняли деревянным молотком для лучшего сцепления с предыдущим слоем. Далее купол покрывался полиэтиленовой пленкой и дерном из свежей травы. Пленка служила гидроизоляцией и защитой от прорастания корней травы. Для предотвращения сползания дерна использовали старые автомобильные покрышки. Другие примеры покрытия куполов приводятся в разделе 14.7.

8.4-21, 8.4-22

Кладка купола из глиносырцовых блоков

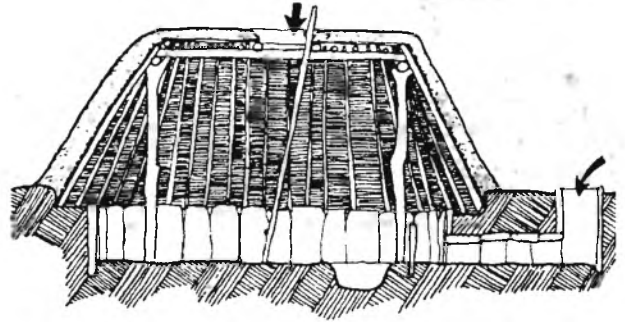
8.4-23

Экспериментальный купол, покрытый дерном. Кассельский университет, 1984 г.

9. Возведение глиносырцовых стен каркасных зданий

9.1. Общие сведения

На протяжении тысячелетий глинистый грунт использовался для возведения мазанковых и вальковых стен. В традиционных европейской, американской, африканской и азиатской технологиях возведения стен глинобетонная смесь вручную наносилась на плетеную обвязку каркаса (рис. 9.1-1). В этой главе приводятся как традиционные способы возведения глиносырцовых стен, так и современные, с применением существующего оборудования, описанные в разделах 9.3, 9.6 и 9.7.



9.1-1 Традиционные дома индейцев, 3 в. н. э., 1978 г.

9.2. Традиционные способы возведения глиносырцовых стен

Способы возведения мазанковых и вальковых стен в тропических, субтропических и умеренных климатических поясах, возможно, являются более древними, чем способы возведения глинобитных стен и укладки глиносырцовых изделий.

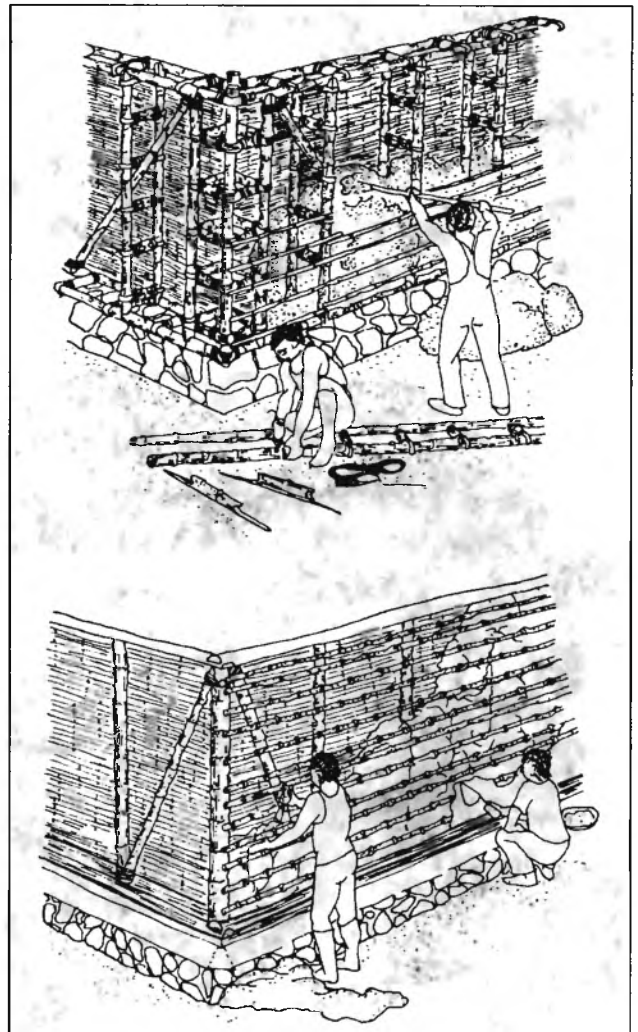
В Европе плетеная обвязка состояла из вертикальных и горизонтальных элементов, которые вплетались в несущий каркас (рис. 9.2-2).

Глинистый грунт, обычно смешанный с соломой или древесным волокном, наносили на эту плетенку с минимальной толщиной в два сантиметра. Если наносимый слой был незначительным и некачественно выполненным, то стена постепенно разрушалась (рис. 9.2-1). Подвижность используемой глинобетонной смеси можно было проверить, бросив шарик, сформованный вручную, диаметром 10 см с высоты 1 м на твердую поверхность. Если диаметр отпечатка находился в пределах 13—14 см, то консистенция подобрана правильно.

На рисунках 9.2-3 и 9.2-4 показан способ нанесения глинобетонной смеси на двухстороннюю плетеную обвязку с размером ячейки более 20 см. Пространство между плетенками заполняется тяжелым глинобетоном, гравием или камнями. Стена, изображенная на рисунке 9.2-4, экономична. Такие стены возводили в местечке Бахия (Бразилия).

9.3. Механизированный способ нанесения глинобетонной смеси

Способ нанесения глинобетонной смеси вручную является очень трудоемким. Изобретателями предпринимались неоднократные попытки создать специальное оборудование для механизированного нанесения глинобетонного раствора. С целью сокращения трещинообразования в глинобетоне в смесь добавляли крупнозернистые и волокнистые заполнители. Немецким архитектором Ганс-Бернд Краусом был усовер-



9.2-1 Традиционная конструкция стен для ручного нанесения глинобетонной смеси, Венесуэла



9.2-2 Традиционная конструкция стен для ручного нанесения глинобетонной смеси, Германия



9.2-3 Варианты нанесения глинобетонной смеси, 1979 г.



9.2-4 Предварительная подготовка к нанесению, Бразилия

шенствован и внедрен механизированный способ нанесения глинобетонной смеси. При помощи сжатого воздуха (способ торкретирования) глинобетонная смесь наносится на обрабатываемую поверхность. Торкретированный глинобетон наносится толщиной 4—6 см. Для повышения теплозащиты стены в глинобетонную смесь добавляется волокнистый наполнитель (рис. 9.3-1). Другое оборудование для нанесения легкой глинобетонной смеси будет описано в разделе 11.5.

9.4. Вальковые стены

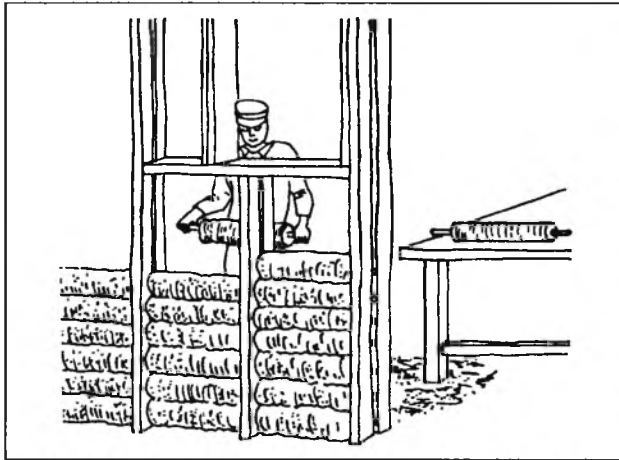
В Германии и Франции традиционно стены каркасных зданий заполняли вальками. Так называются жерди толщиной в 6—7 см, обвитые соломенными жгутами, предварительно вымоченными в жирном глиняном растворе. Толщина навивки составляет 3—4 см (рис. 9.4-1, 9.4-2). При данном способе возведения стен затрачивается гораздо меньше усилий и сокращается трещинообразование по сравнению с возведением стен ручным нанесением на плетень.

Второй способ изготовления вальков заключается в том, что на солому наносится жирный глиняный раствор, а затем навивается на жердь. Оба способа очень трудоемки по сравнению со способом, рассмотренным в разделе 8.4.

Способ изготовления вальков был опробован в Германии, в Кассельском университете. Глиняный раствор с большим содержанием песка 2-х сантиметровым слоем наносили на пластиковую сетку, а затем навивали на бамбуковую палку для получения валька



9.3-1 Механизированное нанесение легкой глинобетонной смеси



9.4-1 Вальковая стена с деревянным каркасом, 1984 г.



9.4-2 Традиционное изготовление вальков



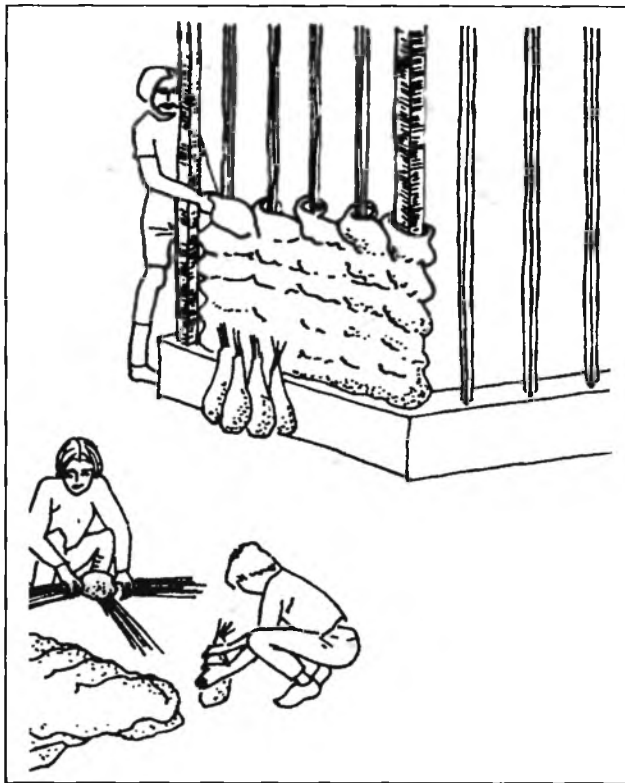
9.4-3



9.4-4



9.4-3 – 9.4-5 Современные способы изготовления вальков



9.4-6 Традиционный способ изготовления глиносырцовых изделий в форме «бутылок»

(рис. 9.4-3, 9.4-4 и 9.4-5). Изготовленные вальки сразу укладывали в конструкцию. На рисунке 9.4-6 изображен традиционный немецкий способ возведения каркасных стен из глиносырцовых изделий в форме «бутылок». Для этого в каркасе устанавливаются дополнительные вертикальные стойки на расстоянии 15—20 см друг от друга. «Бутылки» изготавливаются следующим образом: 1,5 литра глиняного раствора укладывают в центр сложенных поперек двух вязанок соломы. Затем края вязанок поднимают вверх и закатывают глиняным раствором. Свежеотформованную «бутылку» укладывают горизонтально, а ее «горлышко» при помощи соломёных стеблей оборачивают вокруг вертикальной стойки. Нижнюю часть «бутылки» вручную уплотняют к горлышку предыдущей «бутылки».

9.5. Повышение теплозащиты стен

Традиционные способы возведения стен, описанные ранее, не могут быть применены при строительстве современных зданий в широтах с холодным климатом, так как они не соответствуют нормам по теплозащите зданий. Для того, чтобы достичь требуемого сопротивления теплопередаче этих конструкций, необходимо предусмотреть дополнительную теплоизоляцию. Способы повышения теплозащиты стен даны в разделе 14.2.1. Легкие добавки описаны в разделах 4.7.2—4.7.4.

9.6. Современная технология кладки из глиносырцовых изделий

Современная технология кладки стен из глиносырцовых изделий описана в разделе 8.4 и 10.7.

10. Возведение стен из легкого глинобетона

10.1. Общие сведения

Данная глава содержит описание нескольких способов возведения монолитных глинобетонных конструкций и ограждающих стен из глиносырцовых изделий. Приготовление глинобетонной смеси может осуществляться как в построечных условиях, так и на бетонных заводах. Транспортирование смеси на объекты выполняется автобетоносмесителями. Подвижность глинобетонной смеси в зависимости от способа возведения конструкции различна. Глинобетонную смесь можно подавать в конструкцию вручную (ведрами и т. п.), при помощи крана и неповоротной бабды, а также при помощи бетононасоса. Укладку смеси осуществляют с уплотнением (трамбованием) или без него. Составы глинобетона приведены в разделе 4.7, а в параграфе 9.5 говорится о возможности применения легкого глинобетона для заполнения стен каркасных зданий. В разделе 11.5 описывается способ нанесения штукатурки. В части 14.2.1 даются конструкции стен, обеспечивающие повышенную теплозащиту зданий, а в главе 13.6 — дополнительные меры по

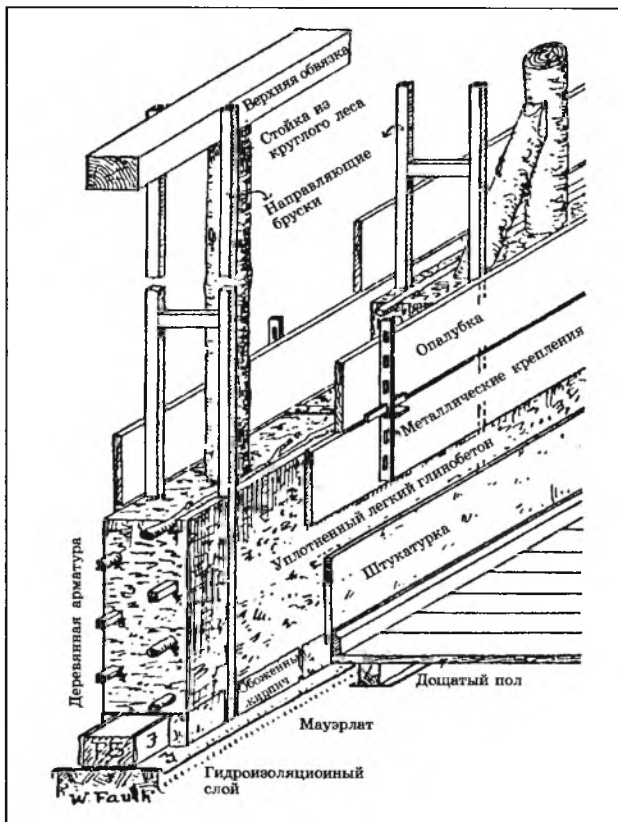
увеличению сопротивления теплопередаче при использовании легкого глинобетона.

10.2. Опалубка

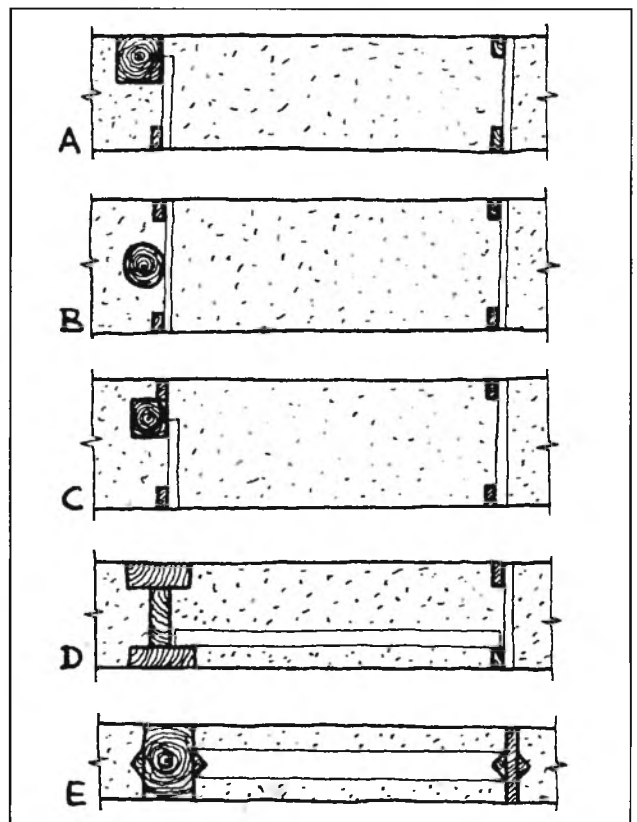
Для возведения стен из легкого глинобетона подходит любой тип опалубки. На рисунке 10.2-1 представлена опалубочная система для стен из легкого глинобетона, предложенная Фаутом (1948 г.).

В этой конструкции направляющие вертикальные стойки для крепления палубы остаются в стене. Опалубочные доски можно крепить с обеих сторон при помощи гвоздей или саморезов, не оставляя при этом сквозных отверстий, которые образуются при возведении глинобитных стен (раздел 5). Для жесткости вертикальный деревянный внутренний каркас опалубочной системы можно прикрепить к несущему каркасу здания.

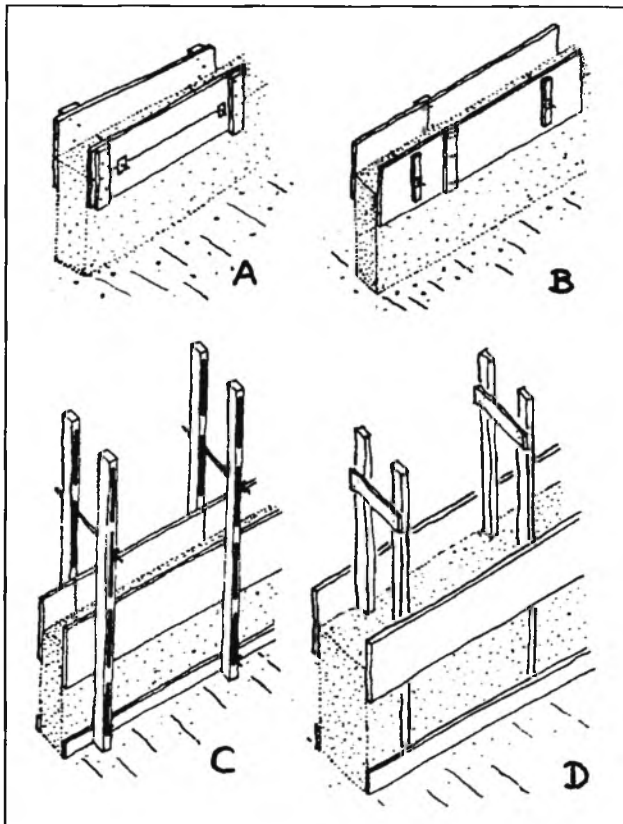
Для того чтобы сэкономить дорогостоящий материал, применяют подъемно-переставную опалубку (рис. 10.2-3).



10.2-1 Опалубочная система для стен из легкого глинобетона



10.2-2 Различные варианты крепления опалубочной системы к каркасу здания



10.2-3 Виды подъемно-переставных опалубок

В труднодоступных местах используют одностороннюю опалубку.

10.3. Стены из глиобетона на органическом заполнителе (солома)

На рисунке 10.3-1 представлена организация рабочего места и труда глиобетонщиков, на котором обрабатывают, укладывают и утрамбовывают в стену легкую глиобетонную смесь на органическом заполнителе. Приготовление смеси описано в разделе 4.7.2. Смесь вручную или (что более распространено) вилами укладывают послойно высотой 10—20 см в опалубку и уплотняют при помощи легкой ручной трамбовки. Верхнюю часть стены под перекрытием уплотняют с боковой стороны при наличии односторонней опалубки, как показано на рисунке 10.3-2.

Известно, что легкий глиобетон имеет большую усадку, которая служит причиной образования усадочных трещин. На рисунке 10.3-3 представлен фрагмент экспериментальной стены высотой 1 м, усадка в котором составила 9%.

Другим недостатком глиобетона на органическом заполнителе с плотностью ниже 600 кг/м^3 и толщиной стены более 25 см, является возможность образования плесени из-за гниения соломы внутри стены. На рисунке 10.3-4 изображена стена из глиобетона плотностью 350 кг/м^3 и толщиной 30 см. Через несколько месяцев после окончания общестроительных работ, когда казалось, что наружная стена полностью просохла, в ней начали прокладывать штробу для электропроводки. В результате выяснилось, что внутренняя часть стены гниет. Микроорганизмы развели также стойку деревянного каркаса на 2 см, находив-



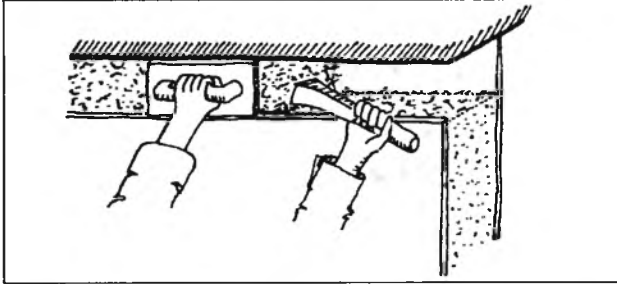
1. Измельчение соломы и других волокнистых материалов на фибру длиной 10—15 см.
2. Пропитка волокнистых материалов глиняным шликером.
3. Перемешивание грунтофибробетонной смеси с помощью вил.
4. Укладка фибробетонной смеси в опалубку.
5. Уплотнение смеси.
6. Армирование стены деревянной арматурой.

10.3-1 Организация рабочего места и труда глиобетонщиков, Фаут, 1948 г.

шуются в центре ограждающей стены (Шмит, 1993 г.). В стенах из легкого глинобетона могут завестись древесные вши, которые питаются соломой. Поэтому плотность глинобетона на органическом заполнителе должна быть больше 600 кг/м³.

10.4. Стены из глинобетона на органическом заполнителе (стружка, опилки)

В наши дни в качестве легкого заполнителя для глинобетона вместо соломы часто используют деревян-



10.3-2 Уплотнение смеси, Волхард, 1983 г.



10.3-3 Фрагмент экспериментальной стены



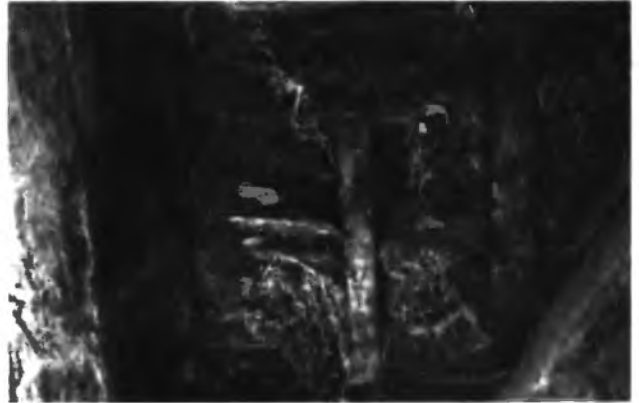
10.3-4 Фрагменты прогнившей стены из легкого глинобетона на органическом заполнителе (солома)

ную стружку и опилки, т. к. эти добавки легче перемешать с глинистым грунтом. Однако применение в качестве заполнителя стружки или опилок вместо соломы ухудшает теплофизические свойства глинобетона и требует большего времени для его высыхания. На рисунке 10.4-1 изображено отреставрированное историческое здание, имеющее толщину стены 50 см. Весь деревянный каркас в стене был уничтожен грибом, так как на высыхание глинобетона потребовался продолжительный срок.

10.5. Стены из глинобетона на минеральном заполнителе

10.5.1. Общие сведения

Легкую глинобетонную смесь на минеральном заполнителе (так же, как и на органическом заполнителе) можно уплотнять в опалубке. Преимуществом глинобетонной смеси на минеральном заполнителе является то, что ее можно подавать не только ведрами вручную, но и бетононасосом. Она быстрее высыхает, меньше подвержена воздействию грибка, имеет большую прочность в сухом состоянии, более высокий коэффици-



10.4-1 Стена из легкого глинобетона на органическом заполнителе (стружка), пораженная грибом



10.5-1 Возведение стены из глинопемзобетона, Паждили, Эквадор

ент паропроницаемости. Разнообразные легкие минеральные заполнители описаны в разделе 4.7.3.

10.5.2. Стены из глинопемзобетона

На рисунке 10.5-1 изображено строительство здания из глинопемзобетона в Паджили, Эквадор. На этом объекте при возведении стен из глинобетона в качестве

легкого заполнителя использовали пемзу. Глинистый грунт и пемзу перемешивали в смесителе принудительного действия в постройечных условиях. Приготовленную смесь укладывали в деревянную опалубку, затем уплотняли ручными трамбовками. Утрамбованная конструкция имела достаточную прочность, что давало возможность сразу после окончания работ по



10.5-2 Устройство оконных проемов при помощи мачете



10.5-4 Укладка глинокерамзитобетонной смеси в опалубку



10.5-3 Приготовление глинокерамзитобетонной смеси



10.5-5 Приготовление глиняного раствора при помощи электрического инструмента с насадкой

уплотнению стены снимать опалубку. Интересно, что при возведении стен не оставляли проемы под окна и двери. Только после распалубки в стене при помощи специального ножа (мачете) вырезали оконные и дверные проемы. (рис. 10.5-2).

10.5.3. Стены из глинокерамзитобетона

В отличие от глинобетонных смесей на органическом заполнителе, которые необходимо утрамбовать в опалубке, глинокерамзитобетонные смеси не требуют уплотнения.

На сегодняшний день существует несколько технологий возведения стен из глинокерамзитобетона. Принципиальное их отличие заключается в технологии приготовления глинобетонной смеси на минеральном заполнителе. В первом случае смесь приготавливают в смесителе принудительного действия с горизонтальным валом. Перемешивание осуществляют в следующей последовательности: глино порошок смешивают с водой, затем добавляют песок и керамзит. Приготовленную смесь ведрами подают в опалубку (рис. 10.5-4). Вторая технология приготовления смеси заключается в двухстадийном перемешивании. В отдельной емкости при помощи электроинструмента с насадкой приготавливается глинистый шликер из грунта с большим содержанием глинистых частиц (рис. 10.5-5). Затем во вращающийся с керамзитом бетоносмеситель за-

ливают глиняный шликер (рис.10.5-6) и перемешивают в течение 4 минут.

В Тата (Венгрия) построен 2-этажный дом с несущими стенами из глинокерамзитобетона толщиной 50 см. Для возведения стен из глинокерамзитобетона применяли известный технологический процесс подачи цементобетонной смеси с использованием крана и неповоротной бабды. Доставленная автобетоносмесителем глинокерамзитобетонная смесь разгружалась



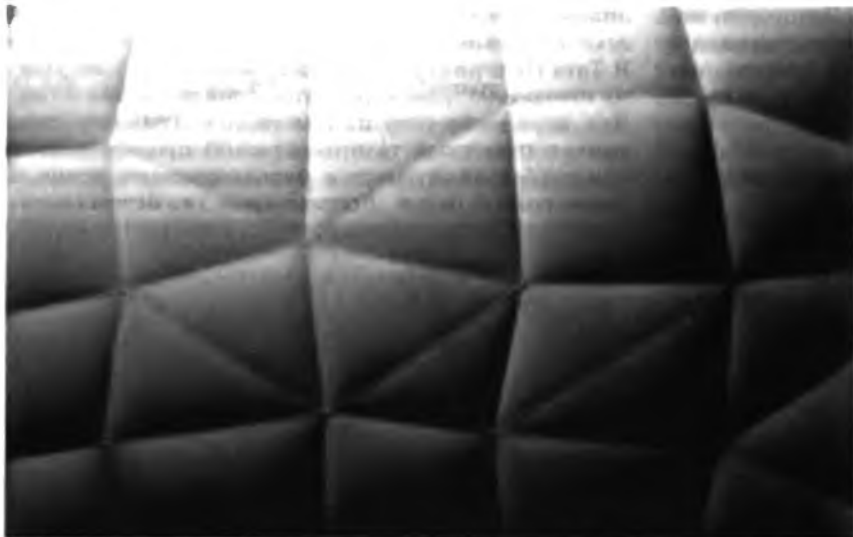
10.5-7 Доставка и транспортировка в опалубку глинобетонной смеси



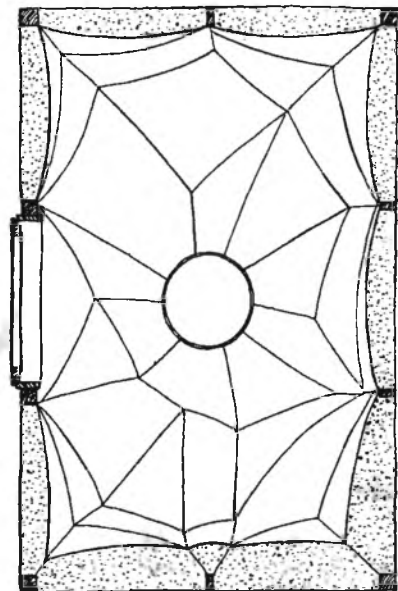
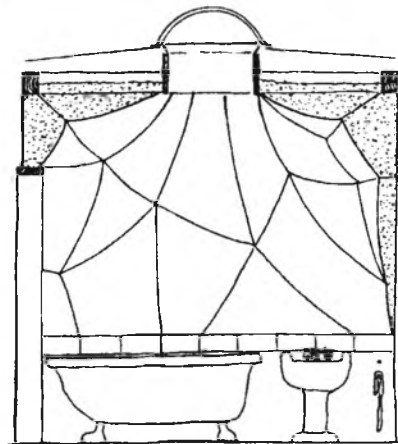
10.5-6 Приготовление глинокерамзитобетонной смеси в бетономешалке



10.5-8 Транспортировка глинобетонной смеси в несъемную опалубку



10.5-9, 10.5-10 Фрагменты внутренних стен с применением несъемной текстильной опалубки



10.5-11 Возведение стен и перекрытия из легкого глиобетона в ванной комнате с применением несъемной текстильной опалубки

на объекте в неповоротные бадьи и автомобильным краном подавалась в конструкцию (рис. 10.5-7). На этом объекте применяли деревянную опалубку, но можно было сократить издержки за счет использования с одной или обеих сторон стены несъемной опалубки из камышового тростника (рис. 10.5-8). Из рисунков 10.5-9—10.5-11 видно, какой может быть несъемная текстильная опалубка, разработанная автором. Текстильное полотно удерживается при помощи стальной проволоки, прикрепленной к деревянному каркасу.

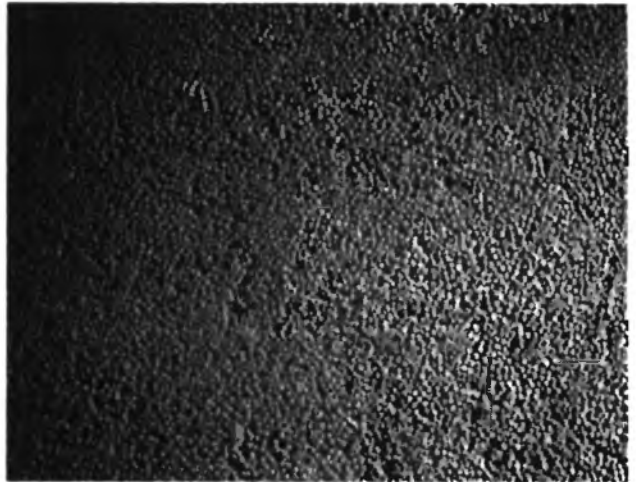
10.5.4. Перекачивание глиобетонной смеси бетононасосами

Трубопроводный транспорт успешно используется для перемещения бетонной смеси на строительной

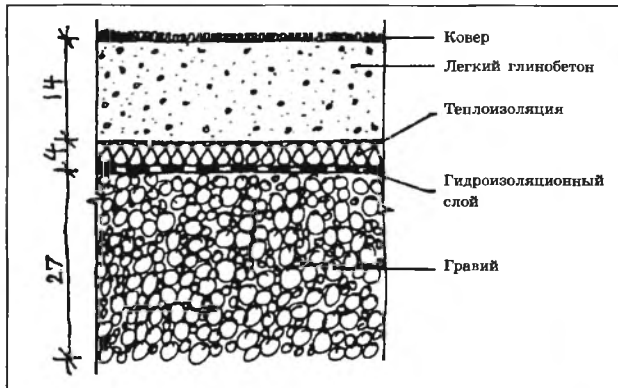
площадке и в пределах возводимого объекта. Этот способ наиболее эффективен при больших объемах бетонирования. Подача глиобетонной смеси осуществляется бетононасосами. Обеспечивать строительный объект товарным глиобетоном в данном случае должен бетонный завод. Подвижность глинокерамзитобетонной смеси для перекачивания ее бетононасосами должна быть литой. На рисунке 10.5-12 изображен фахверковый дом в Германии, построенный 300 лет назад и недавно отреставрированный. Глиобетонная смесь приготавливалась на бетонном заводе, затем транспортировалась автобетоносмесителями к объекту, где перегружалась в бетононасос, при помощи которого перекачивалась в опалубку.



10.5-12 Доставка и перекачивание бетононасосом глинобетонной смеси



10.5-13 Поверхность стены из легкого глинобетона после снятия опалубки



10.6-1 Конструкция пола

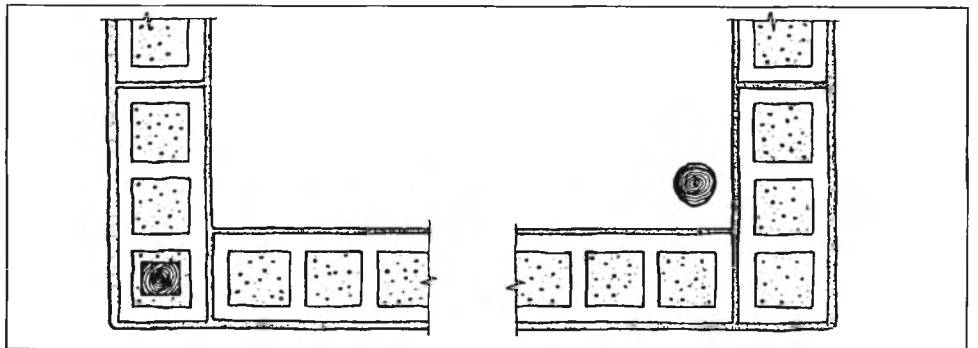


10.6-2 Легкий глинобетон в перекрытии



10.5-14 Обработка поверхности стены из глинокерамзитобетона граблями

10.7-1 Варианты расположения стоек несущего каркаса по отношению к ограждающей стене





10.8-1 Заполнение хлопчатобумажной оболочки легкой глинобетонной смесью при помощи винтового насоса



10.8-2, 10.8-3 Заполнение хлопчатобумажной оболочки легкой глинобетонной смесью при помощи воронки



10.8-2

10.5.5. Обработка поверхности

Независимо от способа возведения стен из глинобетона на минеральном заполнителе плотностью от 600 до 900 кг/м³ после снятия опалубки стены имеют шероховатую поверхность (рис. 10.5-13), на которую достаточно нанести однослойную штукатурку. При обработке стен из глинобетона на органическом заполнителе требуется наносить не менее двух слоев штукатурки. На рисунке 10.5-14 показано, как при помощи граблей обрабатывают поверхность стены из глинокерамзитобетона плотностью 1000 кг/м³, после того как была снята опалубка. В результате получается шероховатая текстурированная поверхность, которую впоследствии нужно будет только покрасить. Применяемый метод обработки поверхностей удешевляет строительство, т. к. штукатурка не наносится.

10.6. Тепло- и звукоизоляция перекрытий из глинобетона на минеральном заполнителе

Способ перекачивания глинобетонной смеси на минеральном заполнителе бетононасосами идеально подходит для устройства тепло- и звукоизоляции полов и перекрытий. На рисунке 10.6-1 представлен разрез пола первого этажа. Такая конструкция пола эффективна для холодного климата. На рисунке 10.6-2 показано, как можно использовать легкий глинобетон на минеральном заполнителе в качестве теплоизоляции между деревянными балками перекрытия. Если плотность глинобетона выше 1000 кг/м³, то перекрытие будет иметь хорошую звукоизоляцию, а также хорошо аккумулировать тепло.

10.7. Стены из мелкоштучных пустотелых блоков, заполненных глинобетоном

В промышленно развитых странах строительная индустрия выпускает разнообразные пустотелые мелко-



10.8-4 по 10.8-6 Кладка перегородок в ванной комнате из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке

штучные блоки, пустоты которых заполняют бетоном на известковом или цементном вяжущем. В качестве заполнителей применяют пемзу, керамзит, древесное волокно, песок, шамот, пенополистирол. Если стена не является несущей, то вместо цементного и известкового вяжущего можно использовать глиняное. Стойки несущего каркаса можно установить внутри или рядом с ограждающими стенами, как показано на рисунке 10.7-1.

Если необходимо обеспечить высокий уровень звукоизоляции стены, то в глиняную смесь следует добавить тяжелый заполнитель. Для удовлетворения требований по теплозащите зданий применяют глинобетон на легких заполнителях.

10.8. Стены из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке

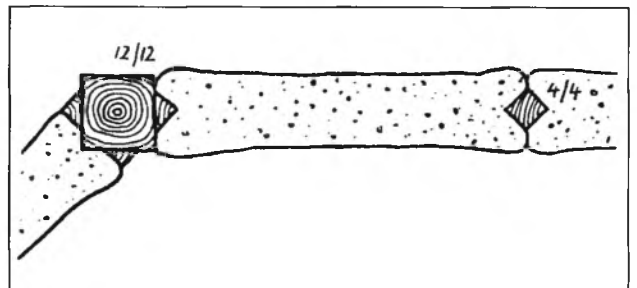
Автор данной монографии разработал новую технологию изготовления в построечных условиях глинобетонных изделий в хлопчатобумажной оболочке и устройстве из них ограждающих стен и перегородок. Эта технология была внедрена в 1992 г. при строительстве трех жилых домов в г. Кассель, Германия. Несмотря на то, что внешне стены, возведенные по этой технологии, напоминают стены из глиносырцовых изделий, описанных в разделе 8.4, методы подготовки, обработки глинистых грунтов и способы укладки из-



10.8-5



10.8-6



10.8-7 Сечение внутренней перегородки из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке



10.8-8 Внутренняя стена зимнего сада из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке, служащая для аккумуляции тепла и регулирования влажности в помещении



10.8-9 Внутренняя перегородка из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке

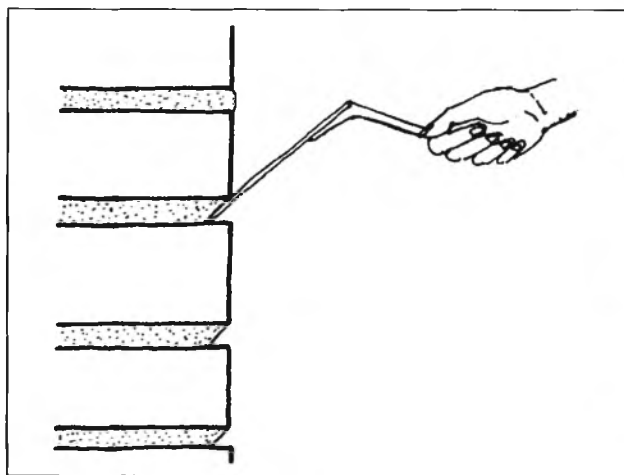
делий в этих технологиях отличаются. В данном случае эластичная хлопчатобумажная оболочка заполняется глинобетонной смесью на легком минеральном заполнителе. Для наполнения оболочки можно использовать винтовой (шнековый) насос (рис. 10.8-1) или воронку (рис. 10.8-2 и 10.8-3). После заполнения глинобетонной смесью до требуемой длины, оболочка отрезается, а ее концы натягиваются и завязываются узлом. Глиносырцовые изделия удобны в применении, так как имеют хлопчатобумажную оболочку. Ткань при ручном разглаживании пропитывается глиняным молоком, которое служит клеем для изделий, уложенных в конструкцию (рис. 10.8-4 и 10.8-5). Глиносырцовым изделиям в хлопчатобумажной оболочке можно легко придать разную форму, не ломая их при этом (рис. 10.8-6—10.8.8).

После того как изделия будут уложены и слегка подсохнут, их поверхность можно будет обработать при помощи влажной щетки. Внутренняя перегородка, выложенная из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке длиной 70 см, изображена на рисунке 10.8-9. Интересно, что изделия уложены без перевязки, а фиксаторами служат вертикальные деревянные стойки и бруски размером 4×4 см (рис. 10.8-7). Как правило, в день можно уложить от 3 до 5 рядов. В случае, если требуется увеличить производительность, то необходимо заменить глинобетон на цементогрунт (на керамзитовом песке), т. к. это ускорит процесс набора прочности. В разделе 13.6.5 объясняется, каким образом можно увеличить сопротивление теплопередачи за счет применения глиносырцовых изделий в оболочке.

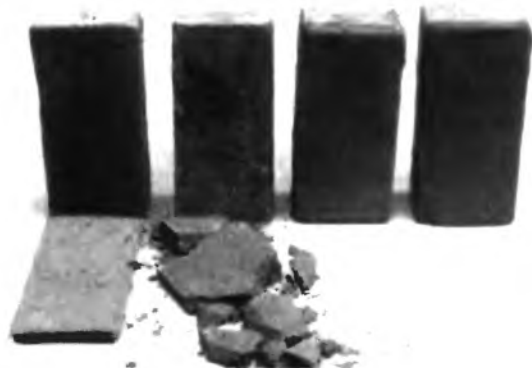
11. Глиняная штукатурка

11.1. Общие положения

Глиняный штукатурный раствор состоит из песчаных, пылевидных и глинистых частиц, а также воды. Содержание глинистого вещества колеблется в пределах 5—12 % от веса воздушно-сухих компонентов грунта. На физико-механические свойства глиняной штукатурки влияют гранулометрический и минералогический составы исходных грунтов, добавки, содержание воды, технология нанесения. Для подбора состава глиняного штукатурного раствора в первую очередь исследуют свойства исходных грунтов. Глиняный штукатурный раствор очень хорошо укладывается не только на глиносырцовые поверхности, но и на шероховатые поверхности обжигового и автоклавного кирпича, природного камня и бетона. Способность глиняной штукатурки регулировать влажность внутри помещений описывается в разделе 1.4.



11.2-1 Расшивка швов

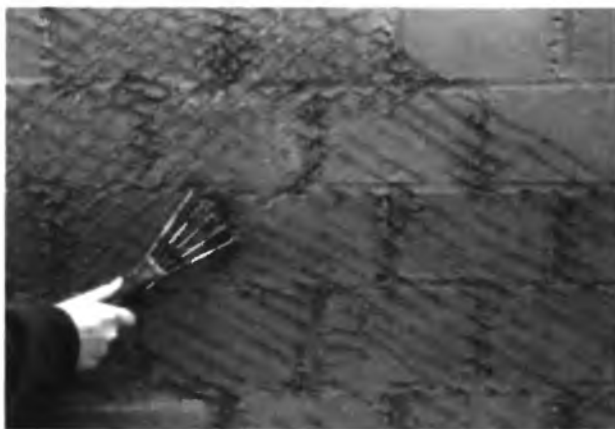


11.2-4 Испытание глиняной штукатурки в построечных условиях

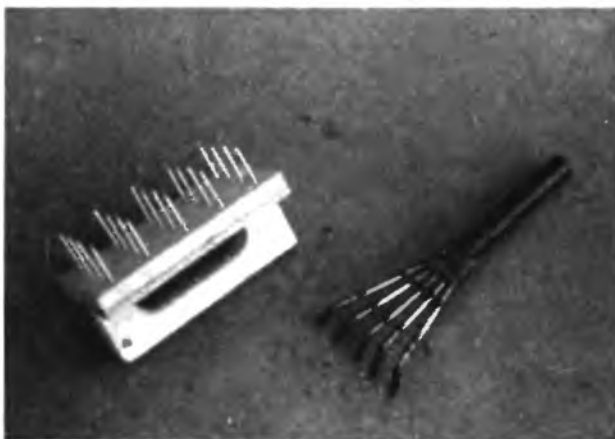
11.2. Подготовка поверхности

Глиняный раствор не образует химических связей с оштукатуриваемым основанием, поэтому для обеспечения хорошего сцепления, поверхность должна быть шероховатой. Если штукатурный раствор наносится на каменную кладку из лицевого кирпича, рекомендуется расшивку шва сделать под углом 45°, как показано на рисунке 11.2-1. Другой способ обеспечить хорошее сцепление раствора с глиносырцовыми стенами заключается в следующем. Поверхность стены сильно увлажняют, а затем насекают при помощи цапки (рис. 11.2-2 и 11.2-3).

Для оштукатуривания деревянных, железобетонных или стальных опор и балок в каркасном домостроении применяют специальное основание из оцинкованной или пластиковой сеток, а также камышитовые плиты и т. д.



11.2-2 Обработка увлажненной поверхности глиносырцовой стены при помощи цапки



11.2-3 Ручной инструмент для насечки

11.3. Глиняные штукатурные растворы

11.3.1. Общие сведения

Глиняная штукатурка не должна иметь усадочных трещин. Для этого необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- Глинистый грунт должен содержать достаточное количество крупнозернистого песка и глинистого вещества.
- В штукатурный раствор рекомендуют вводить кокосовое или сизальное волокно, мелкую соломенную или льняную сечку.
- Для отощения штукатурного раствора для внутренней отделки можно применять в качестве добавок опилки, древесные и целлюлозные волокна.
- Глиняный штукатурный раствор должен быть тщательно перемешан.
- При правильной консистенции раствора он должен прилипать к мастерку, находящемуся в вертикальном положении, а при нанесении — легко отделяться от ручного инструмента и не сползать со стены.

Глиняный раствор легко можно проверить на адгезионные свойства в построчных условиях. Различные составы растворов наносят толщиной 2 см на постель сухого, обожженного, лицевого кирпича и оставляют на 2—4 дня в положении «на ребро», до полного высыхания.

Если штукатурка отслоилась полностью (крайний слева пример на рисунке 11.2-4), то раствор содержит слишком много глинистого вещества и его следует отощить крупнозернистым песком. Если же штукатурка отслаивается небольшими кусочками при нанесении сильных ударов по кирпичу, как это показано на втором примере рисунка 11.2-4, то раствор имеет низкую адгезию и в него необходимо добавить жирный глинистый грунт. Штукатурка, которая держится на кирпиче, но имеет незначительные усадочные трещины, может применяться в качестве первого слоя грунта (третий пример на рисунке 11.2-4). При добавлении крупнозернистого песка раствор можно использовать для последующих слоев грунта. Покрытие, не имеющее трещин и устойчивое к ударам (четвертый пример справа на рисунке 11.2-4), рекомендуется к применению. Соотношение компонентов смеси в данном случае является оптимальным. Раствор оптимального состава наносят на пробную поверхность размером 1×2 м. При появлении усадочных трещин в смесь добавляют крупнозернистый песок или органическую фибру.

11.3.2. Наружная глиняная штукатурка

Наружная глиняная штукатурка должна быть устойчивой к атмосферным воздействиям или иметь специальное защитное покрытие. Для холодного климата важно, чтобы штукатурка, защищенная специальным покрытием, была паропроницаемой и способной проводить влагу, образующуюся при конденсировании водяного пара из толщи стены наружу. Наружная штукатурка должна быть более «эластичной» по сравнению

со слоем, на который она наносится, так как перепады температур и влажности могут вызывать появление трещин. В целом, для холодного климата применение глиняной наружной штукатурки не рекомендуется, за исключением зданий с широким карнизом, высокоподнятым цоколем и дополнительным покрытием поверхности стен.

Кромки углов оштукатуренных стен легко разрушаются, поэтому их следует закруглять или защищать. В экстремальных климатических условиях рекомендуется регулярно осматривать оштукатуренные поверхности и температурные швы, которые при необходимости своевременно заполняют эластичными герметиками. Влияние добавок на трещинообразование, повышение прочности и атмосферостойчивости глинобетона описывается в главах 4.2, 4.3 и 4.6.

11.3.3. Глиняный раствор для внутренних работ

При оштукатуривании внутренних стен глиняным раствором, который обычно наносят толщиной 15 мм, могут появиться усадочные трещины, которые закрывают слоем краски. Сухую оштукатуренную поверхность легко выровнять, если ее намочить и обработать при помощи широкой кисти.

При выравнивании поверхности толщина штукатурного намета может быть больше 15 мм. Первый слой грунта наносят смесью жирного глинистого грунта, крупнозернистого песка и воды. Появившиеся усадочные трещины первого слоя улучшают сцепление со вторым слоем.

Исследования, проведенные автором, показали, что добавки ржаной муки, казеинового клея, состоящего из 1 части извести и 4—6 частей обезжиренного творога, а также борной кислоты, мочевины, глюконата натрия и целлюлозы к глиняному раствору улучшают возможность его укладку и повышают сопротивление истиранию и мелению глинобетонных поверхностей. Ниже приводятся некоторые составы смесей.

Составляющие компоненты	Составы смесей ¹⁾				
	А	В	С	Д	Е
Литой глиняный раствор ²⁾	10	10	10	10	10
Песок (0 — 2)	25	25	25	25	25
Целлюлоза ³⁾	-	5	5	-	5
Казеиновый клей ⁴⁾	1	-	-	-	1
Обезжиренный творог	-	-	-	1	-
Мочевина	-	-	0,2	-	-
Глюконат натрия	-	0,2	-	-	-

1) В объемных частях

2) Из 1 части жирного глинистого грунта и 2 частей песка

3) Обрабатывают раствором борной кислоты

4) Приготавливают из 4 частей обезжиренного творога и 1 части гидравлической извести путем интенсивного перемешивания в течение 2 минут

Известь вступает в реакцию с казеином, который содержится в обезжиренном твороге, с образованием водостойкого химического соединения. Аналогичная



11.5-1 Нанесение легкого глиняного штукатурного раствора механизированным способом



11.6-1 Глинокерамзитовая штукатурка

химическая реакция происходит между содержащейся в целлюлозе борной кислотой и известью. Глюко-нат натрия, служащий пластификатором, добавляют в водном растворе, что позволяет сократить количество воды, необходимой для приготовления смеси. За счет этого уменьшается опасность появления усадочных трещин. Добавка мочевины в раствор на основе глинистого грунта с большим содержанием пылевидных частиц повышает его прочность на сжатие и на изгиб (глава 4.5).

Добавка целлюлозы в глиняный раствор снижает его

трещинообразование. Нанесенный грунт из штукатурных растворов смесей В, С и Е легко подвергается обработке. При применении штукатурных растворов смесей А и Е рекомендуется сначала перемешать казеиновый клей, целлюлозу и воду, а затем, примерно через час, добавить глинистый грунт и песок.

Практика показала, что затирку поверхностей, оштукатуренных глиняными растворами, легче всего производить через несколько часов (или через сутки).

11.4. Правила нанесения штукатурного раствора на глиносырцовые стены

Глиняный штукатурный раствор, не содержащий добавок при нанесении на поверхность, не образует химических соединений с ней, поэтому поверхность необходимо подготовить таким образом, чтобы штукатурка держалась прочно. Для этого следует обратить внимание на следующие правила:

1. Глиносырцовая стена, на которую наносится штукатурный раствор, должна быть сухой.
2. С поверхности стены должны быть удалены пыль, масляные пятна и т. п.
3. Основание под оштукатуривание должно быть шероховатым. При необходимости его увлажняют и насекают. При нанесении штукатурного раствора на кирпичную стену ее поверхность обрабатывают парапкой с образованием бороздок (глава 11.2).
4. Непосредственно перед нанесением раствора поверхность сильно увлажняют, в результате чего происходит раздвижка слоев кристаллической решетки глинистых минералов.
5. Глиняный раствор накидывают с силой, для того чтобы обеспечить надежное сцепление.
6. Если толщина штукатурного намета превышает 10—15 мм, его наносят в два или три слоя для избежания усадочных трещин.
7. Для уменьшения трещинообразования глиняный раствор должен содержать достаточное количество крупнозернистого песка и, при необходимости, мелкого гравия, а также волокнистые добавки.
8. Для увеличения прочности поверхности при механических воздействиях, ее водостойкости и сопротивления истиранию в раствор добавляют коровий навоз, известь, казеин и др. (главы 4.3 и 4.6).
9. Грунтовые поверхности мелят, поэтому их следует покрывать краской.
10. Следует обращать внимание на то, что добавки в глиняные штукатурные растворы, а также окрашивание поверхности штукатурки снижают паропроницаемость штукатурного слоя.

11.5. Торкретштукатурка

В 1984 г. автором был исследован теплоизоляционный штукатурный раствор, который состоял из глинистого грунта, волокон старой бумаги и воды. Раствор наносили в один слой толщиной до 30 мм при помощи винтового насоса (рис. 11.5-1). Для сокраще-

ния времени схватывания в раствор добавляли трассовую известь и гипс. Способ возведения стен фахверковых домов методом торкретирования с применением легкого глинобетона описан в главе 9.3.

11.6. Глинокерамзитовая штукатурка

На рисунке 11.6-1 показана поверхность стены, оштукатуренная глинокерамзитовым раствором на керамзитовом заполнителе крупностью до 4 мм. Толщина штукатурки составляла 8 мм. Для сокращения времени схватывания раствора и уменьшения паропроницаемости штукатурного слоя в раствор добавляли 5% трассовой извести. Выровнять глинокерамзитовый намет не так просто, шарики керамзита могут отделяться от основной массы. Чтобы этого избежать, в раствор добавляют волокно старых газет или казеиновый клей.



11.7-1

11.7. Африканская штукатурка

На рисунках 11.7-1 и 11.7-2 представлен традиционный африканский способ нанесения штукатурного раствора, который заключается в ручном набрасывании шариков из глиномассы на стену. В жилом доме, в Касселе, на перегородку в зимнем саду, устроенную из древесноволокнистых плит, была нанесена таким способом штукатурка (дополнительно смотри главу 14.8). Для увеличения сцепления в плиты были наполовину вбиты бамбуковые штыри.



11.7-1 и 11.7-2 Африканская штукатурка, служащая для регулирования влажности и аккумуляции тепла в зимнем саду

11.8. Глиняная штукатурка на соломенных стенах

Дома из соломенных блоков в штате Небраска (Соединенные Штаты Америки) известны с конца 19 в. Они получили второе рождение в 80 г. 20 в. В этот период множество домов с соломенными стенами было построено в Австралии, Франции, Скандинавии и других европейских странах. Несущий деревянный каркас таких домов обкладывают соломенными блоками. Самым простым способом отделки соломенных стен является нанесение глиняного штукатурного раствора по оцинкованной или пластиковой сетке, вручную или с применением традиционного оборудования.

11.9. Лепные работы на глиняной штукатурке

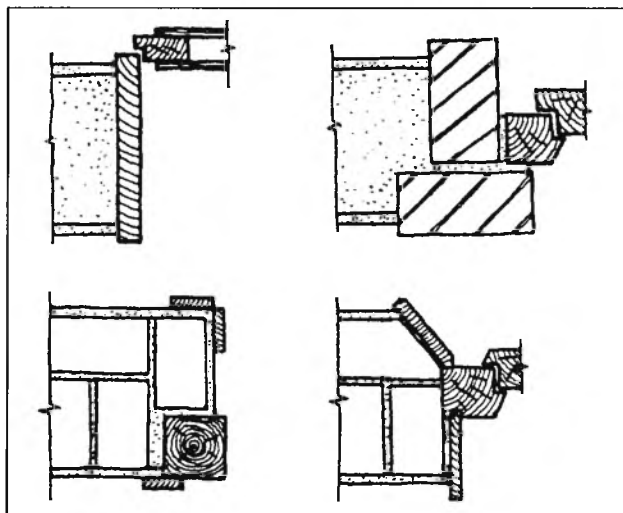
Глиняный раствор продолжительное время сохраняет пластичность и, главное, не разъедает кожу рук, при работе с ним в отличие от известкового или цементного раствора. Глиняный раствор очень хорошо подходит для ручной лепки. На рисунке 11.9-1 показан пример лепнины из глиняного раствора с добавкой извести и казеина, выполненный на наружной глиносырцевой стене.



11.9-1

11.10. Защита углов

Глиняная штукатурка подвержена механическим воздействиям, поэтому углы зданий лучше защищать деревянной обкладкой или выкладывать из обожженных кирпичей (рис. 11.10-1).



11.10-1 Защита кромок углов глиносырцовых стен

12. Защита глинобетонных поверхностей от атмосферных воздействий

12.1. Общие сведения

Придать атмосферостойкость глинобетону можно за счет введения стабилизирующих добавок на стадии приготовления смеси. Защитить глиносырцовые поверхности от атмосферных воздействий возможно с помощью штукатурных или окрасочных покрытий. В данной главе приводятся различные составы и способы их нанесения на глинобетонные поверхности, а также предлагаются конструктивные мероприятия, необходимые для защиты от атмосферных воздействий.

12.2. Традиционный способ затирки глинобетонной поверхности

Самым простым способом повышения сопротивляемости глиносырцовой поверхности атмосферным воздействиям, в первую очередь от дождя и ветра, является затирка ее специальным инструментом. Эту операцию выполняют сразу после укладки глинобетонных материалов. Традиционные индийские и африканские способы основывались на использовании слегка выпуклых камней, при помощи которых круговыми движениями с одновременным уплотнением затирали поверхность. Обработку поверхности считали качественной, если после ее затирки она блестела и не имела видимых пор или трещин.

12.3. Защита окрасочными покрытиями

12.3.1. Общие сведения

Окрасочные покрытия на глиносырцовых поверхностях следует периодически обновлять. Физическое разрушение краски происходит под воздействием ветра, мороза или дождя, химическое — под воздействием ультрафиолетового излучения или кислотного дождя. Краски для наружных покрытий должны быть водостойкими, а для регионов с холодным климатом важно, чтобы они имели пористую структуру, которая позволяла бы пропускать образовавшийся конденсат в стене наружу. По этой причине не рекомендуется применять латексные и дисперсионные краски. Дополнительную информацию о красках можно найти у Велте (1985).

12.3.2. Огрунтовка поверхности

В том случае, если обрабатываемая поверхность глиняной штукатурки содержит много пылевидных частиц (лессовидный грунт), в качестве грунта рекомендуют наносить известковое молоко, которое состоит из 2 частей гашеной извести, одной части обезжиренного творога и 15 частей воды. На слегка подсохшую, но еще влажную глинобетонную поверхность тонким сло-

ем наносят известково-казеиновое молоко, который затем втирают при помощи стального шпателя.

12.3.3. Рекомендуемые окрасочные составы

Известковая краска

Известковая краска должна быть жидкой консистенции, которую рекомендуется наносить тонким слоем для того, чтобы избежать отслоений после высыхания покрытия. Обычно поверхность покрывают в три или четыре слоя, причем первый должен быть самым тонким. Известковую краску приготавливают из 50 кг гидравлической извести и 60 литров воды с добавкой 1—2 кг пищевой соли, которая, будучи гигроскопичной, создает благоприятный режим отверждения в слое краски. Известковая окраска при высыхании имеет светло-белый оттенок. Для создания поверхности различных оттенков в суспензию добавляют цветной глинопорошок. Поверхности, окрашенные известковой краской, мелют.

Известково-казеиновая краска

Известковая краска становится устойчивой к мелению, если в нее добавить молочную сыворотку, обезжиренный творог или казеиновый порошок. Обезжиренный творог, который содержит 11% казеина, получают из обезжиренного молока. Известь вступает с казеином в химическое соединение, образуя известковый альбуминат. На сегодняшний день применение обезжиренного творога является самым удачным решением при приготвлении известково-казеиновой краски. Традиционно в известково-казеиновой краске вместо обезжиренного творога использовали молочную сыворотку или обезжиренное молоко.

Красочный состав, содержащий одну часть обезжиренного творога, 1—3 части гидравлической извести и 1,5—2,5 части воды, является оптимальным. Небольшое количество льняной олифы (не более 4% от объема обезжиренного творога) повышает прочность покрытия на изгиб. Определенные трудности возникают при приготовлении красочного состава, однородности которого добиваются в принудительном смесителе. Состав периодически перемешивают через каждые 5 минут. Красочный состав, состоящий из одной части гидравлической извести, 5 частей обезжиренного творога и 5 частей глинистого грунта, имеет повышенные физико-механические характеристики покрытия.

Для ванных комнат и кухонь, где предъявляются особые требования к качеству поверхностей, предлагается следующий окрасочный состав и способ его приготовления.

При помощи электрического инструмента с насадкой перемешивают в течение 2 минут 1 часть гидравлической извести с 5 частями обезжиренного творога.

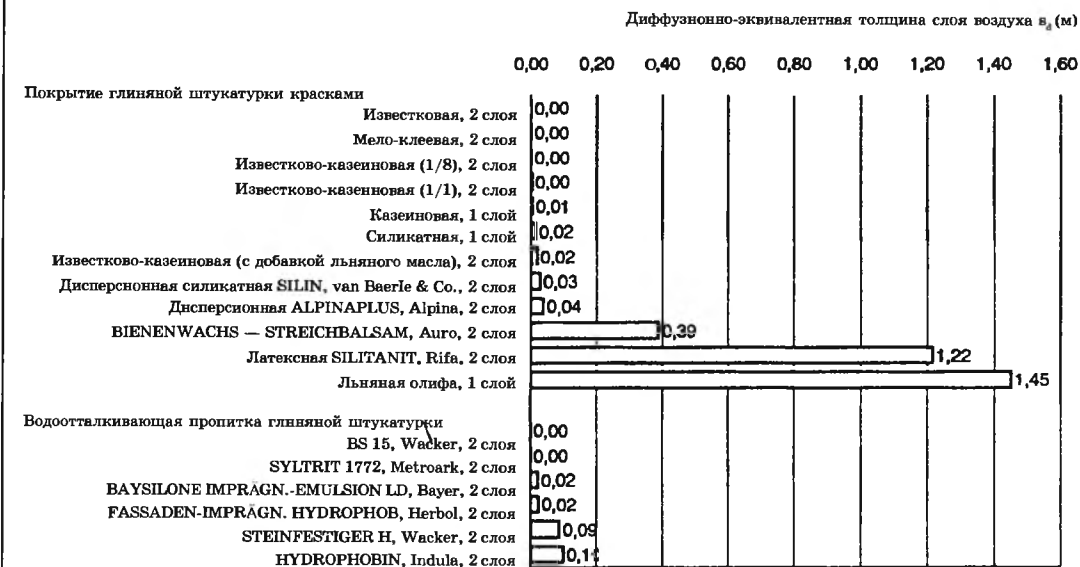
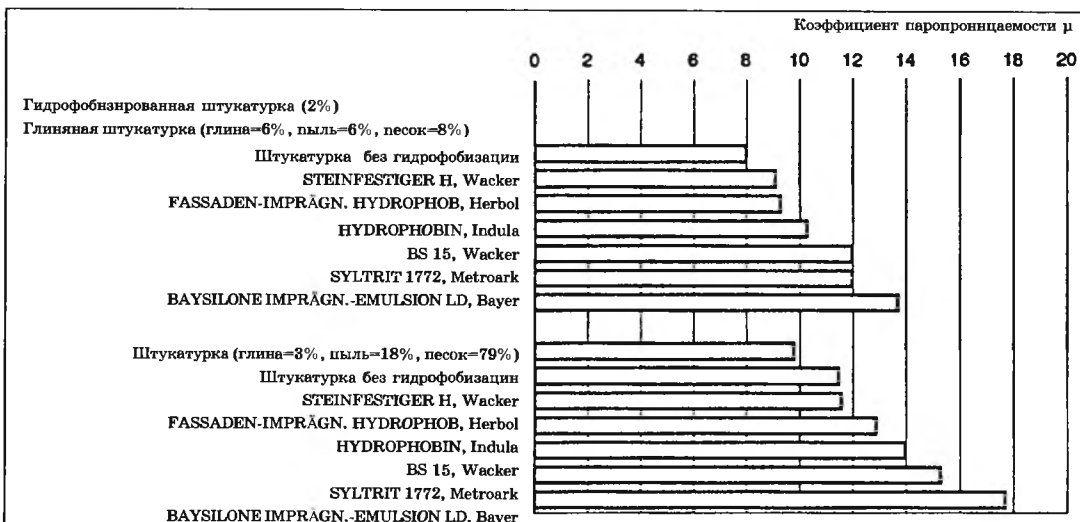
Затем добавляют 20 частей извести, 2 части 4% льняной олифы, воду и еще раз перемешивают. Два слоя такой краски придают поверхности устойчивость к мелению. Несколько частей извести можно заменить глиняными пигментами.

Казеиновая краска

В известково-казеиновой краске вместо гидравлической извести можно применять борную кислоту, которая вступает в химическую реакцию с казеином подобно извести и создает водостойкие соединения. При повышенном содержании борной кислоты образуются кристаллы, которые можно видеть на окра-

шенной поверхности. В отличие от извести, борная кислота не дает белого цвета, и поэтому ее рекомендуют применять для темных цветов. С целью получения светлых и плотных окрасочных покрытий в качестве добавки используют меловой порошок. Небольшое количество глиняного порошка повышает удобообрабатываемость и предотвращает осадку суспензии.

При применении вместо обезжиренного творога казеинового порошка, его растворяют в воде в течение 3 часов (320 г казеинового порошка на 1 литр воды), затем 65 г борной кислоты, растворенной в горячей воде, смешивают с казеиновым раствором. После чего добавляют 12 литров воды и еще раз тщательно перемешивают.



12.3-1 Значения s_d для различных красок и коэффициент паропроницаемости μ для штукатурки, обработанной различными гидрофобными составами

(*) Соотношение в объемных частях

Бесцветная казеиновая краска

Для того чтобы сохранить естественный цвет глинобетонной поверхности и одновременно повысить ее устойчивость к мелению, можно применять суспензию следующего состава: 1 часть обезжиренного творога с 1,8—2 частями воды и 1,8—1,9 части известкового порошка. Этот состав имеет бесцветное покрытие с молочным оттенком и с умеренным шелковистым блеском, вызванным мелкокристаллической структурой компонентов смеси.

Известковая паста

Известковую пасту, применяемую в Непале для окраски наружных глинобетонных поверхностей, приготавливают следующим способом: 15 кг негашеной молотой извести, 6 кг растопленного животного жира и 36 литров воды тщательно перемешивают с соблюдением техники безопасности, т. к. в момент гашения извести можно получить серьезные ожоги. Затем добавляют 6 кг пищевой соли, еще раз перемешивают и оставляют смесь на 24 часа в прохладном месте. После чего воду, образовавшуюся в верхней части, сливают, а оставшуюся пастообразную смесь перемешивают с 3 кг мелкого кварцевого песка и наносят на стену при помощи кисти 3—5 мм слоями (Манандар, 1983 г.). Для отверждения покрытия необходимо несколько недель. По утверждениям непальцев, это покрытие служит от 4 до 6 лет. Аналогичный состав был успешно внедрен в Австралии департаментом строительства в 1981 г. Испытания, проведенные с этим пастовым составом в исследовательской лаборатории FEB, показали, что он очень хорошо держится на глиняной штукатурке с шероховатой поверхностью, которая имеет небольшое содержание глинистых частиц. Однако поверхность глинобетонного купола, выполненного из жирных глинистых грунтов, покрытая непальским составом, через несколько месяцев отслоилась. Причиной могли служить атмосферные воздействия, а также непрочное сцепление краски с гладкой поверхностью.

Другие известковые краски

В некоторых древних источниках встречаются рекомендации по окраске поверхностей составом, в который входит гидравлическая известь и урина. Исследования Вайса (1963 г.) показали, что прочность изделий повышается при введении в каолиновую глину урины и ацетата аммония. Применение очищенной урины в шихте для изготовления сверхтонкого фарфора было широко распространено в древнем Китае.

Известковая краска, согласно Джанетала (1978), имеющая в своем составе 70 грамм животного клея, растворенного в 0,5 литра кипящей воды и смешанного с 1 килограммом гидравлической извести, имела повышенную атмосферостойчивость.

В Ауровилле (Индия), купола из глинобетонных кирпичей покрывали следующим составом: 60 яичных белков смешивали с 2 литрами пахты и 5 литрами пальмового ликера, а затем в эту смесь добавляли 40 литров известняка-ракушечника и 4 литра цемента (Пингель, 1993 г.).

Согласно различным источникам, повысить атмосферостойчивость известковых красок можно за счет добавок растительного происхождения:

- Клейстер из ржаной муки (15 литров ржаной муки и небольшое количество сульфата цинка добавляют в 220 литров кипящей воды),
- Сок агавы,
- Сок из прокипяченных листьев банана,
- Сок кактуса (*opuntia*),
- Сок из *euphorbia lacteal* (растение «волчье молоко»),
- Масло капка,
- Льняная олифа.

Клеевые краски

Клеевые краски приготавливают с использованием синтетических клеев — на основе карбоксилметилцеллюлозы и других полимеров с использованием мела. Клеевые составы не водостойки, поэтому их применяют для окрашивания внутренних поверхностей.

Битумные лаки

Битумные лаки хорошо защищают от атмосферных воздействий наружные поверхности стен. В центральном строительном научно-исследовательском институте (CBRI), Рурки (Индия) был разработан и исследован состав битумного лака. 1 часть битума 80/100 нагревалась и перемешивалась в специальном контейнере с 2 частями лигроина. Затем полученную смесь наносили кистью на сухую глинобетонную поверхность. После высыхания первого слоя наносили следующий. Для того, чтобы защитить поверхность черного цвета от солнечных лучей, рекомендовалось окрашивать последний слой известковой краской, которая состоит из 70 г животного клея, смешанного с 1 кг гидравлической извести и 0,5 литра воды (Джанеталь, 1978 г.).

12.3.4. Паропроницаемость

Различные краски и лаки способны значительно уменьшить диффузию пара через глинобетонную стену. Необходимо помнить, что для холодного климата коэффициент паропроницаемости наружной окраски стен должен быть меньше аналогичного показателя внутреннего покрытия.

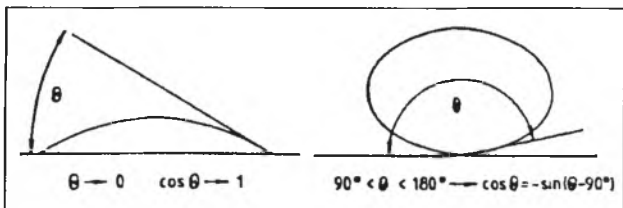
К сожалению, коэффициент паропроницаемости красок, представленных на рынке, не указывается на их упаковке, что доставляет определенные трудности для потребителей. Результаты экспериментов, проведенные лабораторией FEB, с различными красками и штукатурками представлены на рисунке 12.3-1.

12.3.5. Влияние коэффициента капиллярного всасывания

Коэффициент капиллярного всасывания изменяется при обработке глиняных поверхностей различными составами (таблица 12.1).

Таблица 12.1 коэффициент капиллярного всасывания в глиняных штукатурках с покрытиями и без них

Покрытие	Расход г/м ²	Значение w, кг/м ² h ^{0,5}	
Без покрытия	0	9,5	
Льняное масло	400	0,0	
Известково-казеиновое 1:1	420/350	0,6/1,5	0,6/6-24
Известково-казеиновое 1:8	300/300	0,7	
Silin-краска (Van Baerle)	700/250/310	0,3	
hydrophob (Herbol)	390/390	0,0	
Baysoline LD (Bayer)	400/290	0,2	
Syltrit (Metroark)	350/320	0,0	
BS 15 (Wacker)	450/430	0,1	
Steinfestiger H (Wacker)	290/290	0,0	



12.4-1 Капля воды на поверхности, обработанной водоотталкивающим составом (справа, угол больше 90°) и на необработанной поверхности (слева, угол меньше 90°)



12.4-2 Оборудование для дождевания образцов (FEB)

12.4. Защита водоотталкивающими покрытиями

12.4.1. Гидрофобные средства

Покрытие глиобетонных поверхностей водоотталкивающими составами производится с целью защиты их от вредного воздействия атмосферы. Водоотталкивающее свойство поверхности может быть определено как тангенс угла между поверхностью и краем капли воды (Рис. 12.4-1). Если этот угол, измеренный, как показано на рисунке, более 90°, тогда поверхность имеет водоотталкивающие свойства. Водоотталкивающее средство проникает в поры глиобетона, не закупоривая их, так что капиллярное всасывание материала снижается, а паропроницаемость изменяется незначительно. Гидрофобные средства растворяются в органических спиртах, углеводородах или воде. Различают следующие исходные продукты для получения гидрофобных средств:

- Силан и силоксан
- Полисилоксан (кремниевые смолы)
- Силиконат
- Акриловые смолы
- Эфир кремниевой кислоты с гидрофобными добавками
- Силикаты с гидрофобными добавками

Силан, силоксан и полисилоксан, которые обладают гидрофобными свойствами, вступают в химическую реакцию с минеральными веществами глиобетона и тем самым повышают их атмосферостойкость. Кроме того, они сокращают водопоглощение более чем на 90%, а паропроницаемость уменьшается только на 5—8%. Эфир кремниевой кислоты и акриловые смолы также снижают водопоглощение, но паропроницаемость снижается уже на 15—30%. Глиобетонные поверхности, обработанные другими гидрофобными средствами будут иметь иное водопоглощение и паропроницаемость. Коэффициент капиллярного всасывания w глиняных штукатурок, обработанных различными гидрофобными средствами, находится в пределах от 0,0 до 0,2 кг/м²h^{0,5} и представлен в таблице 12.1.

12.4.2. Нанесение гидрофобных средств

Гидрофобный раствор наносят обильно в два слоя при помощи валика. Второй слой накладывают до высыхания первого. Глиобетонная поверхность до обработки должна быть сухой и иметь температуру от 8°C до 25°C. Только силан и силоксан требуют, чтобы основание было немного влажным. Обработку гидрофобными средствами повторяют при необходимости.

12.4.3. Дождевание

Оборудование для проведения испытаний на дождевание глиобетонных образцов, разработанное FEB, показано на рисунке 12.4-2. Карусель, на которой установлены образцы, вращается со скоростью 7,5 об/мин. Температура воды в душе должна быть 36°C, а скорость ее подачи — 12 литров в минуту. Аналогичное оборудование было описано в разделе 2.3.7.

12.5. Защита известковой штукатуркой

12.5.1. Общие сведения

Глинобетонные стены должны быть защищены от атмосферных воздействий наружной штукатуркой. В 11 главе рекомендуется применять для защиты наружных стен глиняную штукатурку в том случае, если она трещино- и водостойка. Практика показывает, что лучше применять для этих целей известковую штукатурку. Разные деформативные свойства глинобетона и цементного раствора не позволяют использовать его в качестве штукатурки. Термические и механические напряжения, возникающие в цементной штукатурке, вызывают в ней появление волосяных трещин, через которые вода проникает в глинобетонную конструкцию. Сцепление с основанием ослабевает, что приводит к отслаиванию штукатурки.

В 1992 г. в ходе проведения ремонтных работ в доме, построенном в 1795 г. (рис. 1.2-8), было обнаружено, что глинобетонная стена, защищенная цементной штукатуркой несколько десятилетий назад, разрушена на глубину 20 см. Причиной этому послужила вода, которая проникла через трещины в цементной штукатурке. Зимой вода в стене замерзала, а так как глинобетон не морозостойкий материал, он разрушился. По данным Бургеоса (1991 г.), похожая проблема возникла в Нью-Мехико (США). Стены церкви из глинобетона, возведенные в 1815 г. (рис. 12.5-1), во время реконструкции в 1967 г. были защищены цементной штукатуркой. Спустя 11 лет цементную штукатурку пришлось убрать, так как ее повышенное сопротивление паропроницанию по сравнению с внутренней шту-

катуркой не обеспечивало просушку стены от образовавшейся влаги.

В холодных погодных условиях, если дождь проникает в наружную конструкцию или в ней происходит конденсация пара, важна быстрая просушка стены. Поэтому сопротивление паропроницанию наружной штукатурки, включая покрытие, должно быть ниже сопротивления паропроницания внутренней штукатурки, в том числе ее покраски.

Немецкий стандарт DIN 18550, часть 3, гласит, что наружная водоотталкивающая штукатурка должна отвечать следующим требованиям:

коэффициент капиллярного всасывания $w = 0,5 \text{ кг/м}^2 \text{ h}^{0,5}$,
 диффузионно-эквивалентная толщина слоя воздуха $s_d = 2,0 \text{ м}$,
 произведение $w \times s_d = 0,2 \text{ кг/м h}^{0,5}$.

В последующих разделах приводится описание технологии нанесения штукатурок, составы которых не содержат глинистого вещества.

12.5.2. Подготовка поверхности под оштукатуривание и ее обрызг

Глинобетонные поверхности, подлежащие оштукатуриванию, должны быть сухими и шероховатыми в целях обеспечения лучшего сцепления. Гладкие поверхности необходимо увлажнить и обработать стальными щетками с образованием диагональных канавок глубиной 2—3 мм, как показано на рисунке 11.2-2. На подготовленную влажную поверхность наносят обрызг, представляющей собой слабый раствор известкового молока, который должен пропитать основание на глубину нескольких миллиметров. Может быть использован и другой состав: 0,5—1 часть обезжиренного



12.5-1 Церковь в Сан-Франциско из глинобетона, США

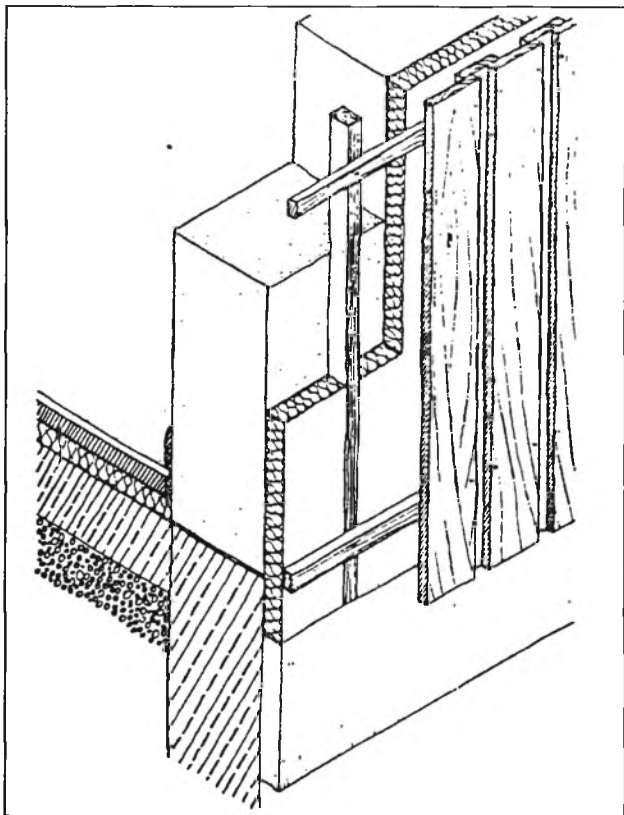
творога, 2 части гидравлической извести и 30 частей воды. В том случае, если известковая штукатурка подвержена сильным термическим напряжениям, а также обрабатываемая поверхность велика или имеет слабое основание, рекомендуется применять металлические сетки или камышитовые плиты. При использовании камышитовых плит рекомендуется пропитать их в растворе известкового молока во избежание гниения.

12.5.3. Армирование

Штукатурку, подверженную сильным термическим напряжениям, рекомендуют армировать. Для усиления штукатурного намета применяют сетки из гальванизированной стали с шестигранными ячейками или сетки с пластиковым покрытием, так как они не подвержены действию коррозии и являются более гибкими.

12.5.4. Состав

Известковая штукатурка по DIN 18550 состоит из 1 части гидравлической извести и 3-4 частей песка. Так как эта смесь широко используется в строительстве по всему миру, дальнейшее описание ее в этой книге нецелесообразно. Однако известково-казеиновые штукатурные растворы не являются настолько распространенными, поэтому их описание приведено ниже.



12.6-1 Утепленная снаружи глинобетонная стена, защищенная деревянной вагонкой с воздушной прослойкой.

В исторических очерках часто встречается информация о том, что добавление волос животных и казеина в штукатурные растворы улучшает его свойства. Раньше казеин добавляли в виде молочной сыворотки или пахты. Между казеином и известью происходит химическая реакция, в результате которой образуется водостойкий альбуминат кальция. Добавка казеина снижает водопоглощение известковой штукатурки и ухудшает ее паропроницаемость.

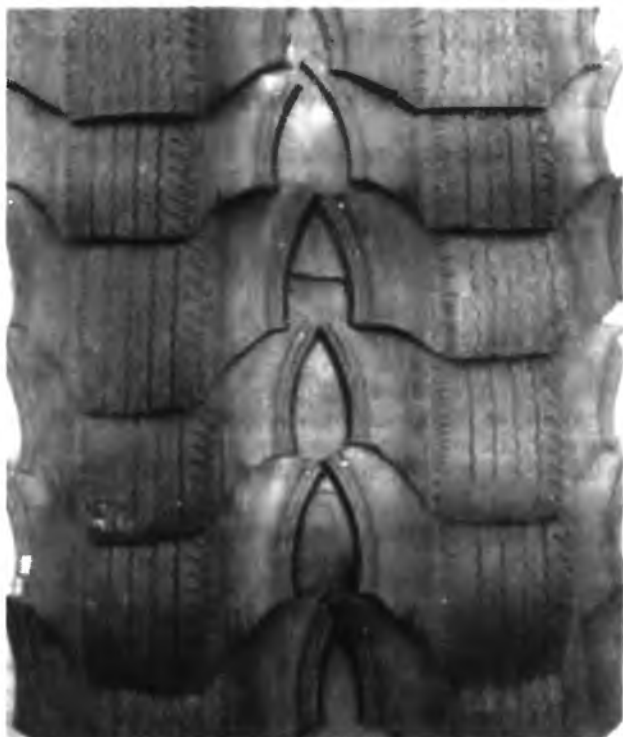
В лабораториях ГЕБ успешно проведены исследования известково-казеиновой штукатурки, предназначенной для наружного применения. Смесь состояла из обезжиренного творога, гидравлической извести и песка в соотношении 1:10:40. Способ приготовления: сначала интенсивно перемешивают известь с творогом без добавления воды до пастообразного состояния. Затем добавляют воду, песок и опять интенсивно перемешивают. При нанесении смеси на поверхность с помощью кисти тонким слоем состав, состоящий соответственно из тех же компонентов, корректируют в следующих объемных частях: 1:6:25. В условиях теплого климата в смесь рекомендуется добавить немного пищевой соли, что сохраняет известковую штукатурку влажной в течение большего промежутка времени. Протекающие в этой среде физико-химические процессы способствуют образованию соответствующих гидратов в гелевом состоянии, их постепенному уплотнению и росту прочности.

12.5.5. Нанесение штукатурного раствора

Перед нанесением грунта штукатурного намета необходимо увлажнить глинобетонную поверхность и нанести обрызг без пропусков известково-казеиновым молоком. После этого наносят монолитную штукатурку в два слоя с общей толщиной, не превышающей 20 мм. В состав первого слоя можно добавить немного цемента, что обеспечит его более быстрое твердение. Второй слой наносят по сырому основанию первого. При образовании усадочных трещин их следует смочить известковым молоком при помощи кисти, а затем затереть. Гидравлическая известь после предварительного твердения при контакте с углекислым газом, содержащимся в воздухе, твердеет во влажной среде. Этот химический процесс возможен только при наличии достаточного количества воды. Поэтому стены необходимо оградить от попадания прямых солнечных лучей и ветра, или поддерживать их во влажном состоянии с помощью смоченной в воде материи. Внутренняя штукатурка может наноситься в один слой. Во внутренних помещениях можно применять гипсовую или гипсо-известковую штукатурку, с добавкой казеина или без него. Цементная штукатурка для внутренних работ не рекомендуется.

12.5.6. Паропроницаемость известковых штукатурок

Паропроницаемость известковых штукатурок с добавками льняной олифы и казеина была изучена в лабо-



12.6-2



12.6-4 Приспособление для утилизации автомобильных покрышек (ФЕВ)



12.6-2, 12.6-3 Штучные изделия из автомобильных покрышек



12.6-5 Глинобетонный купол, покрытый пластинами для офсетной печати (ФЕВ).

ратории ФЕВ. Полученные значения коэффициента паропроницаемости μ , приведены в таблице 12.2.

Таблица 12.2 коэффициент паропроницаемости μ известковых штукатурок (составы даны в объемных частях)

Известь	Известь с добавками трасса	Песок 0-4	Обожженный творог	Льняная олифа	Жирный глинистый грунт	Коровий навоз	Коэффициент паропроницаемости μ
1	-	3	-	-	-	-	112
-	1	3	-	-	-	-	10,8
1	-	6	0,5	-	-	-	6,2
1	-	15	0,5	-	3	-	9,7
1	-	3	-	0,05	-	-	15,2
1	-	3	0,25	0,05	-	-	28,5
1,5	-	19	-	-	2	6	8,0

12.6. Защита облицовкой

Для защиты глинобетонных стен можно применять облицовку плитами, деревянной или пластиковой вагонкой, а также устраивать обкладку из обожженного кирпича с воздушной прослойкой. Эти способы защиты особенно уместны там, где требуется устройство дополнительной теплоизоляции наружной стены (рис. 12.6-1). На рисунках 12.6-2 и 12.6-3 показаны варианты облицовки, разработанные сотрудниками лаборатории ФЕВ. Они необычны тем, что предполагают применение использованных автомобильных шин, разрезанных на штучные изделия. Они могут крепиться непосредственно к глинобетонной стене, а так же через деревянную обрешетку. На рисунке 12.6-4 показано оборудование, разработанное специально для раскройки автомобильных шин на три части. Автомобильная крышка фиксируется на вращающемся диске, и при помощи ножа протектор отрезают от боковин шины. Вырезанные протекторы долговечны, и их можно применять в качестве покрытия купола (рис. 12.6-3). На рисунке 12.6-5 показан купол из глинобетонного кирпича, покрытый штучными изделиями, которые выполнены из алюминиевых пластин, применявшихся в офсетной печати. В Месопотамии глинобетонные стены тысячелетиями обкладывали обожженным кирпичом.

Обкладку устраивали с воздушной прослойкой, через которую происходит удаление влаги из конструкции.

12.7. Конструктивные мероприятия

12.7.1. Защита от дождя

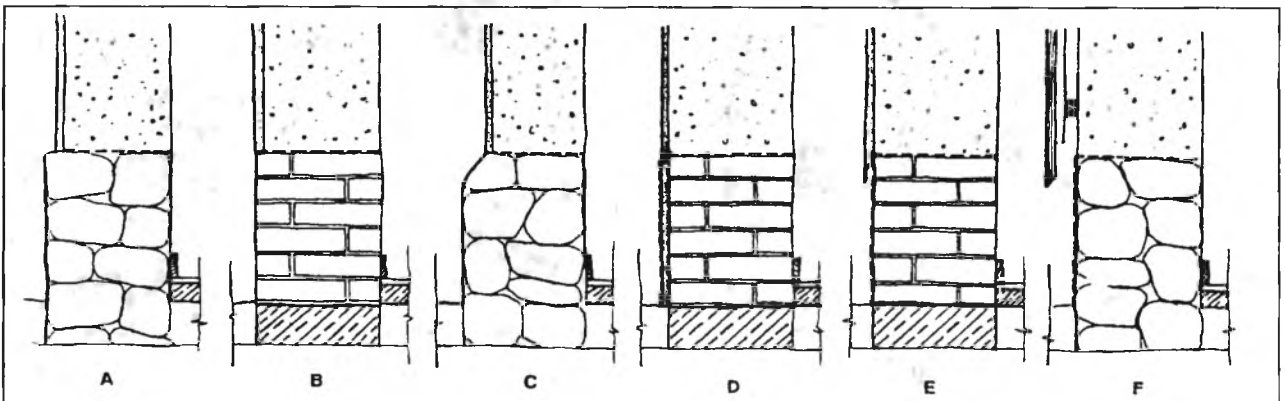
При проектировании глинобетонных зданий и сооружений важная роль отводится конструктивным мероприятиям. Для предотвращения попадания атмосферной влаги на глиносырцовые конструкции карнизные свесы крыши устраивают длиннее. Цоколь выкладывают высотой минимум 30—50 см, он не должен выступать за уровень стены, как это показано на рисунке 12.7-1, вариант А. Конструктивные решения В, С также не рекомендуются к применению. Для климатических зон с умеренными и частыми атмосферными осадками предназначены решения D, E и F.

12.7.2. Гидроизоляция стен

В стенах из глинобетона, впрочем, как и в стенах из других материалов, необходимо устраивать гидроизоляцию, которая защищает их от капиллярной влаги. Гидроизоляционные материалы должны отвечать установленным требованиям по водонепроницаемости, водопоглощению и механической прочности. Для гидроизоляции применяют материалы на основе полимеров, битумов и дегтей. В развивающихся странах эти материалы очень дорогие, поэтому альтернативой им служит 3—4 см слой цементного раствора с добавками битума или отработанного автомобильного масла.

12.7.3. Защита от воды во внутренних помещениях

В кухнях и ванных комнатах должна быть выполнена защита глинобетонных стен и пола от случайно разорвавшейся трубы в водопроводе или стиральной машине. С этой целью стены с внутренней стороны обкладывают обожженным кирпичом, оштукатуривают цементным раствором или обмазывают битумом.



12.7-1 Варианты устройства цоколя

13. Ремонт глиносырцовых стен

13.1. Общие сведения

Ремонт поврежденных глинобетонных поверхностей, особенно трещин и швов, требует выполнения специальных мероприятий, отличных от тех, которые применяются при восстановлении традиционных штукатурок. В данном разделе даются предложения по дополнительной теплоизоляции глиносырцовых стен старых зданий, имеющих культурно-историческое значение, а также технологии ремонта глинобетонных поверхностей.

13.2. Причины возникновения повреждений

В результате температурных напряжений, воздействия воды, механических ударов или истирания может произойти повреждение глинобетонной конструкции. В случае, если глиняная штукатурка имеет разные физико-механические свойства с основанием, существует большая вероятность того, что она не будет долговечной и через некоторое время отслоится. Слабые места в штукатурке можно легко обнаружить ее простукиванием. Большое скопление водного конденсата в глиносырцовой стене и невозможность его удаления приводит к размоканию глинобетона и отслоению штукатурки. Подобное повреждение может также произойти при просачивании воды через трещины или другие отверстия в стене.

Если стена не просохла до заморозков, вода в ней замерзает и расширяется, что может привести к разрушению конструкции.

13.3. Заделка трещин и швов глиноцементными и глиноизвестковыми растворами

13.3.1. Общие сведения

Для заполнения швов и заделывания трещин в сухих глиносырцовых конструкциях требуются специальные мероприятия, которые предусматривают тщательную подготовку основания и подбор состава глинобетона с минимальной усадкой.

13.3.2. Составы растворов для заделки швов

При проектировании состава раствора для ремонта старых зданий следует принять во внимание:

- Раствор должен обладать достаточной адгезионной способностью, которая позволит ему прочно сцепляться с увлажненными поверхностями трещины или шва.
- Раствор должен содержать достаточное количество крупнозернистых или волокнистых добавок с тем, чтобы максимально уменьшить усадку.
- Для сокращения времени твердения и усадки глиняного раствора в него следует добавлять гипс, из-

весть или цемент. Однако при этом снижается адгезия и прочность на сжатие.

Для заделки трещин и швов во внутренних помещениях можно применять состав, состоящий из 1 части глинистого грунта, 0,5—1 части гидравлической извести и 0,5-1 части гипса.

Для заделки швов наружных поверхностей нельзя применять гипс. При ремонте глинобетонных поверхностей, подверженных атмосферным воздействиям, можно применять глино-цементное или глино-известковое вяжущее на основе гидравлической извести или извести с добавками трасса, а также смесь этих вяжущих от 8 до 20%. Добавка от 4 до 7% льняной олифы придает раствору пластичность на нескольких недель и даже месяцев.

13.3.3. Заделка швов

Для того чтобы получить хорошее сцепление между старой глинобетонной поверхностью и свежим раствором, необходимо расширить трещину до 1 см, удалить пыль и увлажнить края швов так, чтобы глиносырцовая поверхность стала пластичной. В случае, если шов заделывается раствором, в состав которого входит льняная олифа, его поверхность необходимо предварительно обработать олифой.

В первую очередь раствором обрабатывают края шва, а затем заполняют сам шов (рис. 8.4-14). Рекомендуется для заполнения швов приготавливать большее количество сухой смеси, чем необходимо, так как при высыхании образуются трещины, которые необходимо снова заделывать.

13.4. Заделка трещин и швов традиционными растворами

13.4.1. Общие сведения

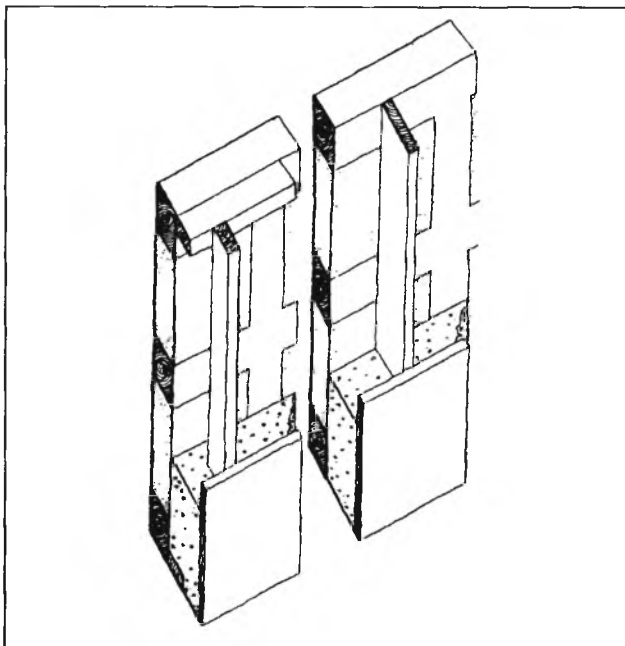
Заделка трещин и швов глиносырцовых конструкций глиняными растворами очень трудоемка, а также требует определенных навыков и знаний. В следующем разделе приводятся альтернативные материалы для заделки швов с меньшей усадкой, работа с которыми менее трудоемка.

13.4.2. Традиционные составы

Для заделки швов можно применять традиционные штукатурные растворы, где в качестве вяжущего используют известь, цемент (с добавками трасса и без него), гипс, казеин, целлюлозу и льняную олифу. В качестве минеральных заполнителей применяют пыль, песок, гравий. В качестве органических — пробку, опилки, измельченную солому или бумагу. При заполнении наружных швов глиносырцовых конструкций не рекомендуется в растворах применять органические заполнители за исключением случаев, когда смесь



13.6-1 Перекачивание легкого глинобетона на минеральном заполнителе



13.6-2 Дополнительная теплоизоляция легким глинобетоном с внутренней стороны факверковой стены

имеет высокое значение рН, что предотвращает рост и развитие микроорганизмов. Акриловые или кремний-органические синтетические смеси также можно применять для заделки швов. Кремнийорганические составы имеют хорошее сцепление с глинобетонной поверхностью при условии, что поверхность сухая и очищена от отколовшихся частей.

13.5. Ремонт стен

13.5.1. Ремонт глиняной штукатурки

Ремонт глиносырцовых поверхностей с большой площадью разрушения начинают с очищения отслоившихся частей штукатурки и увлажнения основания для нанесения глиняного раствора. Более подробно с технологией нанесения глиняного штукатурного раствора можно познакомиться в разделе 11.

Раствор наносится толщиной 1—1,5 см. Если глиняная штукатурка отслоилась на глубину более 2 см, рекомендуется дополнительно снять глинобетон на глубину 4—6 см. Только после этого на ремонтируемую поверхность наносят глиняный раствор. В суровых климатических зонах наружные стены не рекомендуется выкладывать из кирпича-сырца, т. к. он не морозостоек.

13.5.2. Грунтовочные составы

Глинобетонные поверхности перед новой покраской очищают от наслоений старых красочных пленок. После этого наносят грунтовочный состав. Им может служить известково-казеиновое молоко (раздел 12.3.2). Если обрабатываемая поверхность выполнена из супесчаных грунтов, лучше применять казеиновый клей, который состоит из 1 части гидравлической извести и 5 частей обезжиренного творога. Эту смесь интенсивно перемешивают в течение 2 минут без добавления воды. Затем ей дают выстояться некоторое время и затворяют водой в пропорции 1:5. Клей выработывают в течение часа (Лесцнер и Штайн 1987 г., с. 145).

13.6. Повышение термического сопротивления стен

13.6.1. Общие сведения

В этом разделе приводятся общие рекомендации по строительной физике, а также конструктивные мероприятия с применением легкого глинобетона, цель которых — повысить термическое сопротивление стен глиносырцовых зданий. В разделе 4.7 приведены составы легкого глинобетона. Его применение в каркасном домостроении описано в главе 4.10. Конструкции современных наружных стен из легкого глинобетона с высоким сопротивлением теплопередачи представлены в параграфе 14.2.1.

13.6.2. Причина образования конденсата

За несколько последних десятилетий стены старых факверковых домов в Германии претерпели значительные повреждения. Причинами разрушений, в первую

очередь, послужили образование конденсата в стенах, повышение температуры воздуха внутренних помещений домов за счет усиления отопления и изменившийся порядок использования жилых зданий.

Следует отметить, что в настоящее время в кухнях и ванных комнатах образуется значительно больше влажных паров. Для современного человека ежедневный теплый душ является обычным явлением. Раньше люди чаще мылись под холодной водой. Более того, одежду стирали вне дома и сушили ее под открытым небом. Сегодня стирка и сушка белья обычно происходят дома. Все вышеперечисленные факторы способствуют образованию в современном доме большей влажности. К тому же внутренняя температура в помещении в настоящее время намного выше по сравнению с более ранними временами. Относительная влажность воздуха внутри помещения приблизительно на том же уровне, а абсолютная значительно выше. Более того, двери и окна в современном фахверковом доме намного герметичнее, поэтому скорость воздухообмена значительно ниже.

Все эти факторы приводят к образованию конденсата в стенах. Следовательно, необходимо более тщательно подходить к проектированию наружной стены с тем, чтобы предотвратить вредное влияние выпадения большого количества конденсата в поперечном сечении конструкций.

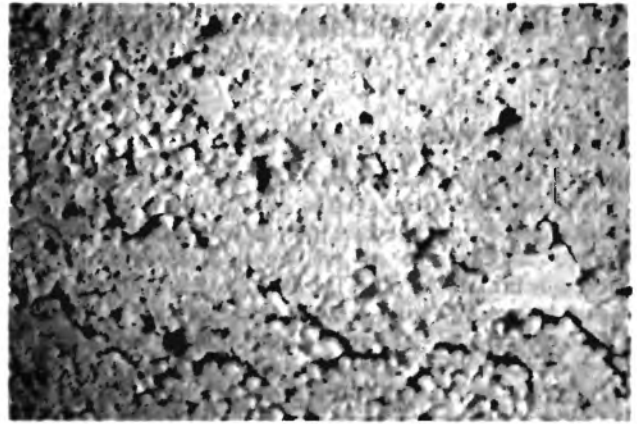
13.6.3. Мероприятия по теплозащите

Наружные стены фахверковых домов имеют толщину от 14 до 20 см. Деревянный каркас закладывали обожженным или глинобетонным кирпичом, а также устраивали вальковые стены. Коэффициент теплопередачи k таких стен находится в пределах 2,0 и 2,7 Вт/м² К. С учетом деревянного каркаса значение k снижается до 1,2—2,2 Вт/м² К. Это означает, что передача тепла через такие стены в 3—6 раз выше современных стандартов для условий умеренного и холодного климатов.

Самым простым и наилучшим с точки зрения строительной физики решением повышения термического сопротивления стен старых фахверковых домов является устройство дополнительной теплоизоляции с наружной стороны стены. Если дом представляет собой памятник архитектуры и поэтому не может быть получено разрешения на наружную теплоизоляцию, приходится применять дополнительную теплоизоляцию изнутри. Это, в свою очередь, зачастую ведет к проблемам, так как на практике нельзя полностью избежать «мостиков холода и водяных паров». Они могут привести к частичному увлажнению стены в связи с высоким уровнем конденсации и впоследствии — к разрушению поверхности стены. Кроме того, повышаются потери тепла, появляется возможность распространения грибка.

13.6.4. Дополнительная теплоизоляция стен легким глинобетоном

Один из вариантов устройства дополнительной теплоизоляции изнутри показан на рисунке 13.6-2. В данном случае легкий глинобетон укладывают вплотную



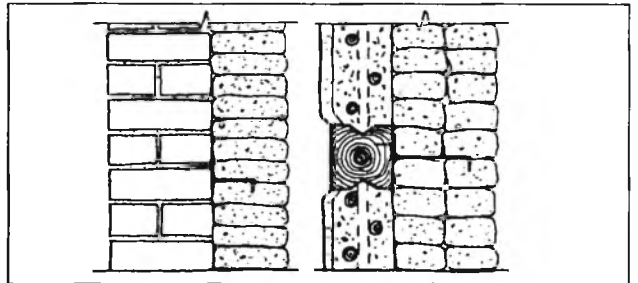
13.6-3 Поверхность глинокерамзитобетонной стены плотностью 1000 кг/м³

к существующей стене, чтобы не было воздушной прослойки. Имея хорошие показатели капиллярного всасывания, легкий глинобетон быстро транспортирует через себя образовавшийся конденсат.

На рисунке 13.6-1 показана заливка легкого глинобетона на минеральном заполнителе при помощи винтового насоса в стену площадью 60 м². Уложили глинобетон за 8 часов. На рисунке 13.6-3 показана законченная поверхность этой стены после снятия опалубки. Плотность легкого глинобетона равна 1000 кг/м³. Эта плотность была выбрана с целью обеспечения достаточной звукоизоляции, сохранения тепла и регулирования влажности. Легким глинобетоном можно утеплять стены и с наружной стороны, но плотность его должна быть ниже.

13.6.5. Дополнительная теплоизоляция стен эффективными мелкоштучными изделиями заводского изготовления

Для дополнительной внутренней теплоизоляции можно также применять эффективные мелкоштучные изделия из глинобетона заводского изготовления (разделы 7 и 10.7). Изделия укладывают без опалубки в один или два ряда, как показано на рисунке 13.6-4. Связь стены с мелкоштучными изделиями обеспечивают закладные детали. Их расход составляет 4 штуки на м².



13.6-4 Дополнительная внутренняя теплоизоляция стен эффективными мелкоштучными изделиями заводского изготовления

14. Конструктивные решения частей глиносырцовых зданий

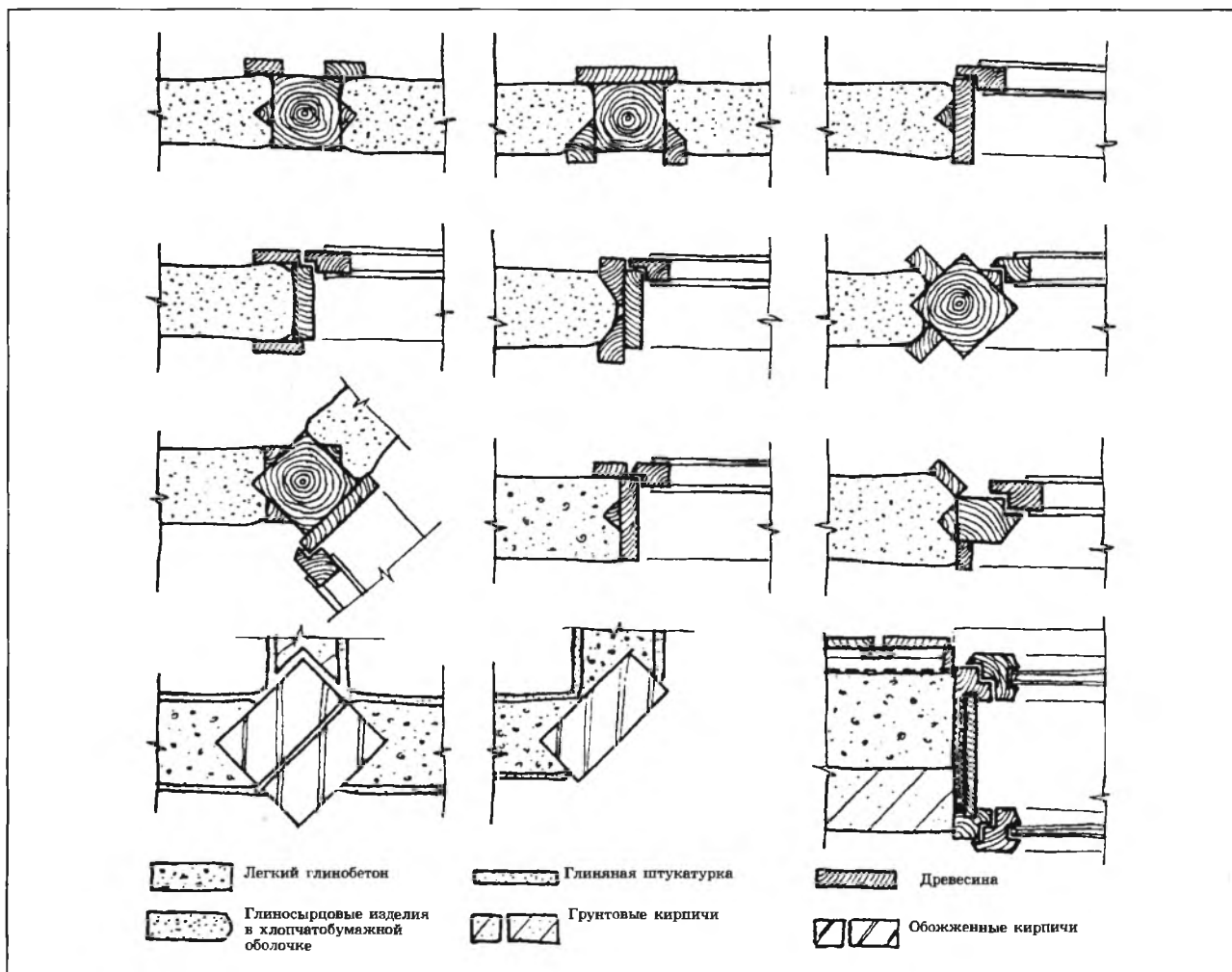
14.1. Контурные соединения

Соединения глиносырцовых изделий с несущими конструктивными элементами, оконными и дверными рамами имеют ряд особенностей, поэтому необходимо обращать внимание на следующие моменты:

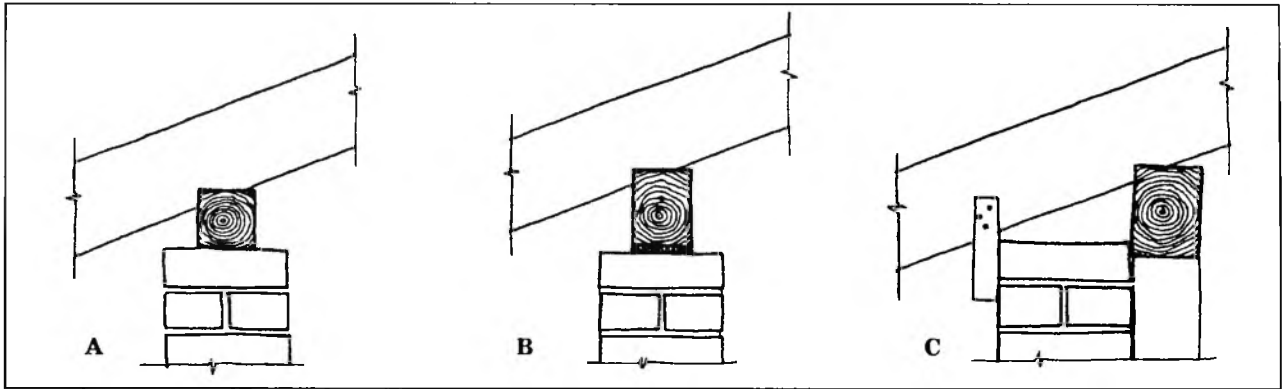
- пластичный глинобетон дает усадку при высыхании, что приводит к появлению в швах щелей;
- в том случае, если применяют глинобетонные изделия в сухом состоянии, щели появляются из-за усадки деревянных конструкций, высыхание которых может длиться до двух лет (пока не будет достигнут уровень равновесного влагосодержания);
- по мере поглощения или удаления влаги деревянная конструкция разбухает или дает усадку.

На рисунке 14.1-1 представлены различные варианты контурного соединения сопрягаемых элементов в глиносырцовом здании.

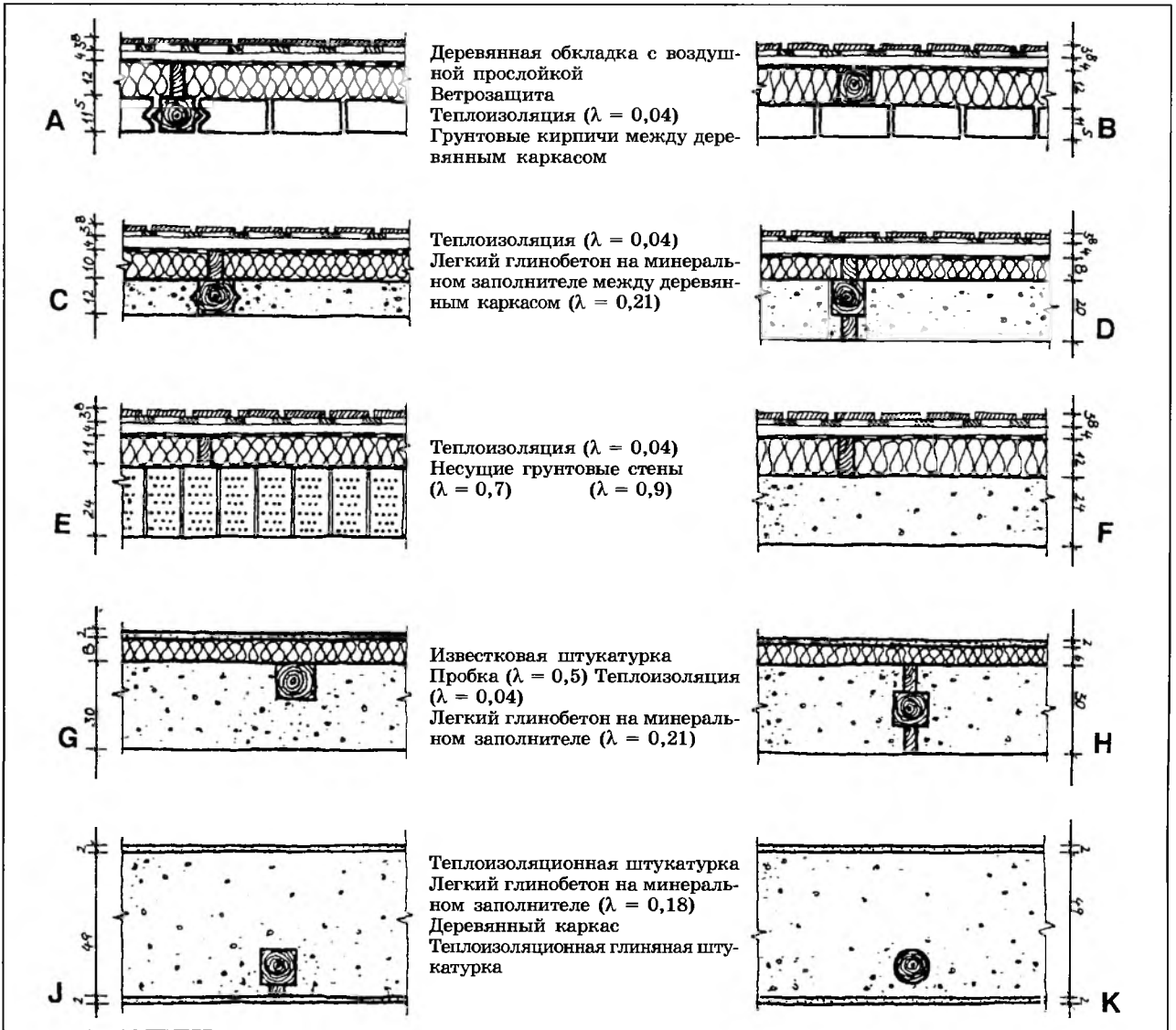
Стропильная система крыши не должна опираться на несущую грунтовую стену, ее устанавливают на деревянный мауэрлатный брус, как показано на рисунке 14.1-2 А. В том случае, если стропила опираются на деревянный каркас, то необходимо учитывать усадку деревянных конструкций. В конструктивном решении В между мауэрлатным брусом и несущей стеной уложена эластичная прокладка. На рисунке 14.1-2 С предложен вариант с несущим деревянным каркасом и ограждающей стеной из грунтового кирпича. В этом случае стена укреплена со стропильной системой кобылками, что обеспечивает дополнительную устойчивость стены.



14.1-1 Варианты контурного соединения



14.1-2 Узлы опирания стропильной системы на несущие и самонесущие глиносырцовые стены



14.2-1 Конструктивные решения стен с коэффициентом теплопередачи $0,3 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

14.2. Стены

14.2.1. Глинобетонные стены с высоким термическим сопротивлением

Коэффициент теплопередачи монолитной стены из тяжелого глинобетона толщиной 30 см равен $1,3 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$. Для того чтобы коэффициент теплопередачи такой стены составил $0,3 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, толщина ее должна равняться 1,65 м. Из этого примера видно, что тяжелый глинобетон не подходит для строительства домов в зонах с холодным климатом, где требуется высокий уровень термического сопротивления наружных стен. На рисунке 14.2-1 представлены конструкции стен, которые характеризуются требуемым уровнем звукоизоляции и высоким термическим сопротивлением с коэффициентом теплопередачи $0,3 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, что позволяет аккумулировать тепло и регулировать влажность. Конструктивные решения Е и F предназначены для несущих стен, а остальные — для ограждающих. В вариантах G и H в качестве теплоизоляции применяют легкие древесно-волоконистые плиты на цементном вяжущем, которые можно использовать как несъемную опалубку при заливке легкого глинобетона, а также в

качестве основания для оштукатуривания известковыми растворами. Простыми, с точки зрения строительной физики, являются конструктивные решения J и K, которые выполнены из монолитного глинобетона низкой плотности.

Для дождливого климата предпочтительными являются конструкции стен А и F с вентилируемыми фасадами, где в качестве облицовки можно применять деревянную вагонку или облицовочный обожженный кирпич.

14.2.2. Стены из старых автомобильных покрышек, заполненных глинистым грунтом

Возможность применения пустотелых блоков, заполненных легким глинобетоном, для укладки стен описывается в разделе 10.7. В случае если требования к теплоизоляции стен не очень высоки, то их можно заполнить обычным глинистым грунтом.

Майкл Е. Рейнольдс построил несколько жилых домов в штате Нью-Мексико (США), стены которых были выложены из использованных автомобильных шин, заполненных глинистым грунтом, добытым при уст-



14.2-2

ройстве котлована под фундамент. Для устойчивости верхние покрышки заполнялись жестким бетоном и крепились к деревянному кольцевому анкеру. Внутреннюю поверхность стен покрывали металлической сеткой и наносили штукатурный раствор.

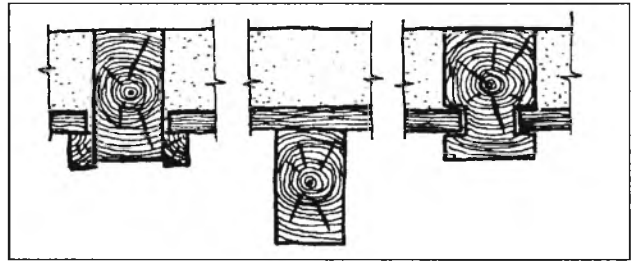
14.3. Перекрытия

14.3.1. Традиционные перекрытия

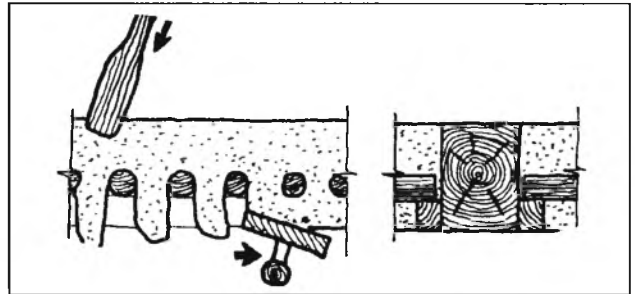
В Германии при устройстве перекрытий в фахверковых домах использовали глинистый грунт с целью повышения огнестойкости, звукоизоляции и, в некоторых случаях, теплоизоляции. Описываемые в этом разделе традиционные способы устройства перекрытий очень трудоемкие, поэтому в наши дни к ним прибегают только при реконструкции зданий, представляющих культурно-историческую ценность.

Перекрытие с засыпкой грунтом

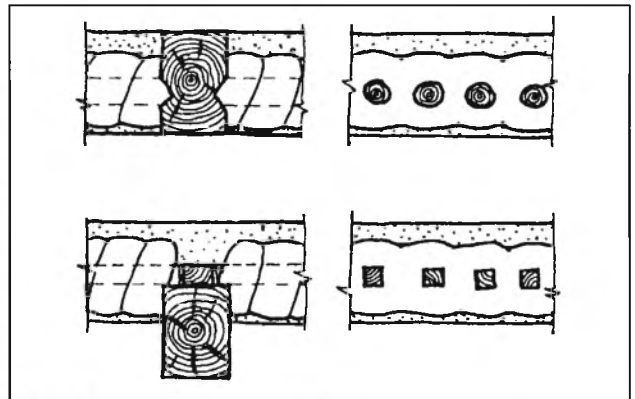
На рисунке 14.3-1 представлены конструктивные решения деревянных перекрытий с заполнением глинистым грунтом. На несущие деревянные балки уложена сплошная обрешетка. Сверху на обрешетку засыпан грунт, который слегка уплотнен при помощи трамбовки. Для того чтобы грунт не просыпался через обрешетку, на нее укладывали слой соломы или глиняный раствор армированный соломённой фиброй



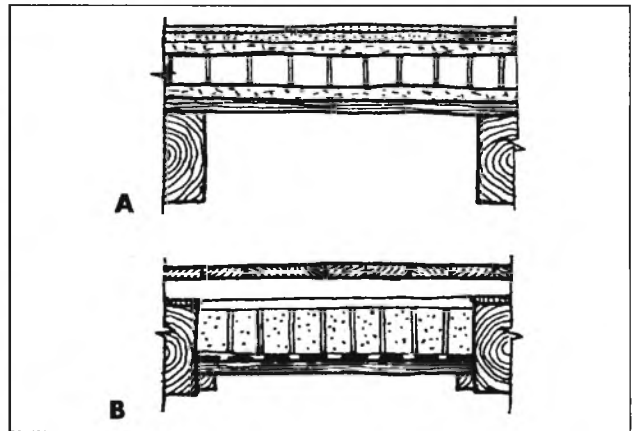
14.3-1 Монолитное глинобетонное перекрытие на несущих деревянных балках



14.3-2 Деревянное перекрытие с заполнением глинобетоном



14.3-3 Вальковое перекрытие



14.3-4 Деревянные перекрытия с заполнением глинобетоном



14.2-2, 14.2-3 Стена из использованных автомобильных шин, заполненных грунтом, США



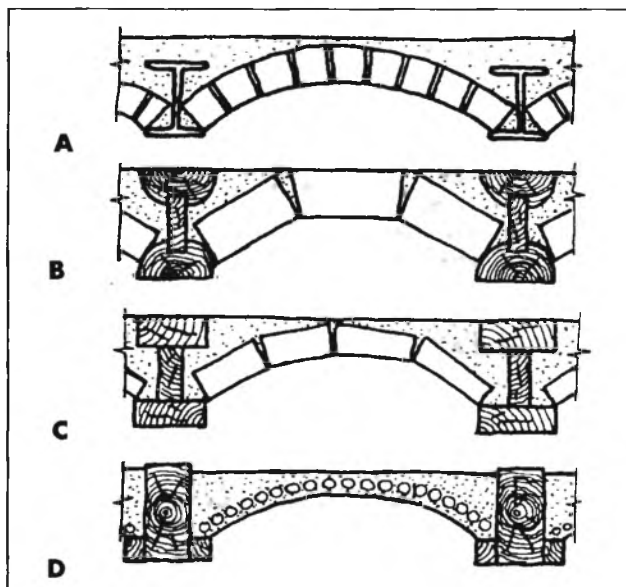
14.3-5 Укладка кирпича-сырца в перекрытие

толщиной 2 см. В наши дни вместо соломы используется промасленная бумага.

Деревянное перекрытие с заполнением глинобетоном
На рисунке 14.3-2 изображено перекрытие, распространенное в Германии, где штакетник укладывается между несущими деревянными балками на расстоянии от 3 до 6 см. Глиносоломенную смесь уплотняют сверху таким образом, чтобы она заполнила прозоры между штакетниками и свисала ниже их на 8—10 см. Затем смесь разравнивают, как показано на рисунке, при помощи терки или полутерки.

Вальковое перекрытие

Вальковое перекрытие устраивают из вальков, которые укладывают на несущие балки. Вальками назы-



14.3-6 Сводчатые перекрытия

ваются жерди толщиной в 6—7 см, обвитые соломенными жгутами, предварительно вымоченными в жирном глиняном растворе (раздел 9.4). Сверху на вальки укладывают глиняный раствор, армированный соломой (рис. 14.3-3).

14.3.2. Современные перекрытия

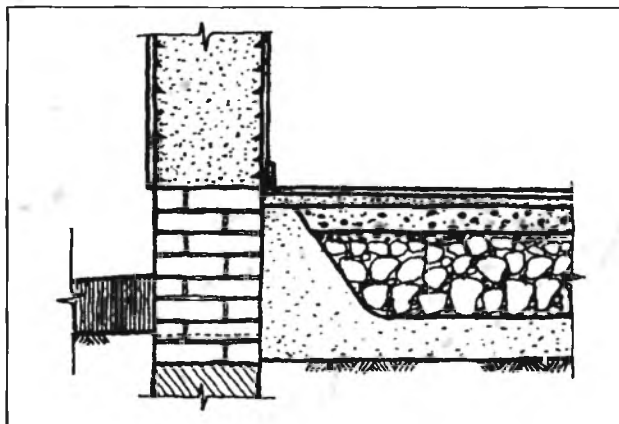
В современном строительстве из глинобетона в качестве заполнения в деревянных перекрытиях можно использовать глиносырцовые кирпичи, не применяя при этом раствор. На рисунке 14.3-4 А показана конструкция перекрытия, обеспечивающего требуемый уровень звукоизоляции от воздушных и ударных шумов. На рисунке 14.3-5 изображен пример укладки кирпича-сырца в перекрытии. В примере на рисунке 14.3-4 В толщина перекрытия меньше, что является преимуществом, однако его устройство более трудоемкое.

На рисунке 14.3-6 представлены конструкции сводов. В примерах А, В и С применяются глинобетонные кирпичи, которые перераспределяют нагрузку в перекрытии на несущие балки. Конструктивное решение D представляет собой самонесущий свод, выполненный заливкой легкого глинобетона на изогнутый камышовый мат.

14.4. Полы

14.4.1. Общие сведения

Полы являются частью здания, воспринимающие и противостоящие многим функциональным и технологическим воздействиям. Они должны быть водостойкими, прочными, износо- и трещиностойкими. Глинобетонные полы, которые удовлетворяли бы всем этим свойствам, создать сложно, но все же возможно. Непросто добиться требуемого сопротивления истиранию (раздел 2.6-6), поэтому покрытие полов устраивают из деревянного настила, керамических плиток или защищают ковровыми материалами.



14.4-1 Грунтовые полы в жилых помещениях (по Нимейеру, 1947 г.)

14.4.2. Традиционные грунтовые полы

На рисунке 14.4-1 представлена конструкция грунтового пола, разработанная Нимейером в 1946 г. На основании лежит жирный глинистый грунт толщиной 15 см, который служит водным барьером. Его укладывают двумя слоями, с уплотнением и заделыванием образовавшихся трещин в процессе высыхания. Следующий слой толщиной 20 см, содержащий крупный щебень, необходим для разрушения капиллярной системы глинистого грунта. Он также препятствует повышению влажности. Затем выкладывается теплоизоляционный слой из легкого глинобетона толщиной 10 см, потом — деревоцементогрунтовый раствор толщиной 4 см, который согласно Нимейеру состоит из легкой глинобетонной смеси с добавкой цемента и песка в соотношении 1:6, что придает полам большую прочность. Нимейер предлагает также в качестве покрытия пола цементный раствор с опилками толщиной 2 см. На влажную поверхность покрытия наносятся два слоя жидкого стекла. После того как поверхность полностью высохнет, ее покрывают воском.

Автор данной монографии предлагает усовершенствовать конструкцию пола и поменять порядок расположения двух нижних слоев. Слой из крупного щебня должен лежать на основании. Затем следует гидроизоляционный слой из жирного глинистого грунта. Раствор на цементном вяжущем можно заменить стабилизированным глиняным раствором, как описано в разделе 14.4.3.

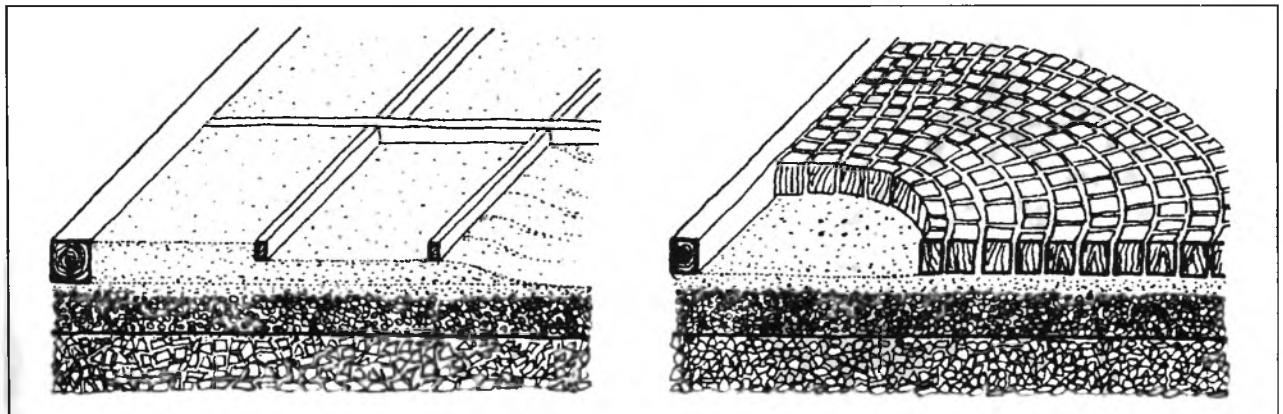
Грунтовые полы в немецких фермерских домах и амбарах традиционно устраивали именно такой конструкции, благодаря чему по ним могли ездить даже автомобили (без пневматических шин). Вместо цементной стяжки применяли глиняную, в состав которой входили жирная глина, крупнозернистый песок и мелкий гравий. Раствор укладывали слоем толщиной 7 см и уплотняли. Для повышения сопротивления истиранию поверхности в раствор, добавив кровь крупного рогатого скота или смолу, утрамбовывали при помощи молотка отходы Fe_3O_4 , образующиеся в процессековки железа.



14.4-3 — 14.4-5 Устройство грунтового пола



14.4-4



14.4-2 Современные грунтовые полы, Минке, 1985 г.



14.4-4-5

14.4.3. Современные грунтовые полы

В 1984 году в лаборатории экспериментального строительства (FEB) в университете г. Касселя (Германия) проводились испытания двух видов грунтовых полов, которые показали хорошие результаты (рис. 14.4.-2). Покрытие пола образца А рассчитано на нагрузку от людей. Для предупреждения появления усадочных трещин покрытие разделено на отдельные карты. Покрытие пола в образце В выполнено из деревянной брусчатки.



14.4-6 Покрытие грунтового пола деревянной брусчаткой

Конструкции грунтовых полов состоят из слоя гравия толщиной 15 см, разрушающего капиллярную систему основания, гидроизоляционного слоя и теплоизоляции из керамзита толщиной 10 см.

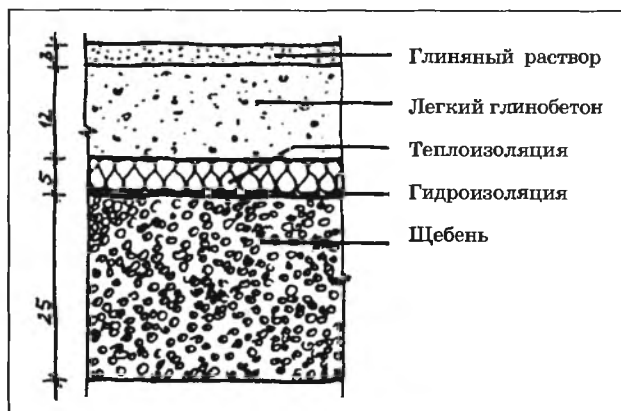
На теплоизоляцию уложен и уплотнен слой глинистого грунта (рис. 14.4-3 и 14.4-4). Уплотненный слой разделен на отдельные карты размером 1,8×1,8 м деревянными брусками сечением 10×10 см.

Каждая карта пола образца В заполнена деревянной брусчаткой, которая уложена на стабилизированный глиняный раствор с добавкой 6%—8% (по объему) льняной олифы. Брусчатка выложена годичными кольцами кверху (рис. 14.4-6).

В образце А уложен и уплотнен второй слой глиняного раствора, на котором размещены решетки из деревянных реек 2×4 см с размерами ячеек 30×30 см. Образовавшиеся поля заполнены третьим слоем глиняного раствора, стабилизированного 6%—8% (по объему) льняной олифой. Затем при помощи мастерка поверхность затерта до блеска (рис. 14.4-5).

Как видно из вышеизложенного, технология устройства данных видов полов очень трудоемка, поэтому автор настоящей монографии разработал еще одну конструкцию пола (рис.14.4-7). Ее устройство позволяет значительно сократить время. Конструкция пола включает в себя: слой крупного щебня, за счет которого разрушается капиллярная система основания, гидроизоляционный слой из рубероида, теплоизоляционный слой из жесткой минеральной ваты и слой легкого глинобетона толщиной 12 см.

Легкий глинобетон приготовлен в бетономешалке и перевезен на тачке (рис. 14.4-8). С целью сокращения времени твердения в смесь добавлено 4% цемента. Для того чтобы поверхность пола была прочной к истиранию, его покрытие выполнено стабилизированным глиняным раствором толщиной 3 см в два слоя. Глинистый грунт, зерновой состав которого искусственно улучшен, включает в себя 7% глинистых частиц, 10% пылевидных частиц и крупнозернистый песок, позволяющий свести до минимума возможность появления усадочных трещин. Для повышения прочности раствора в него добавлены различные стабилиза-

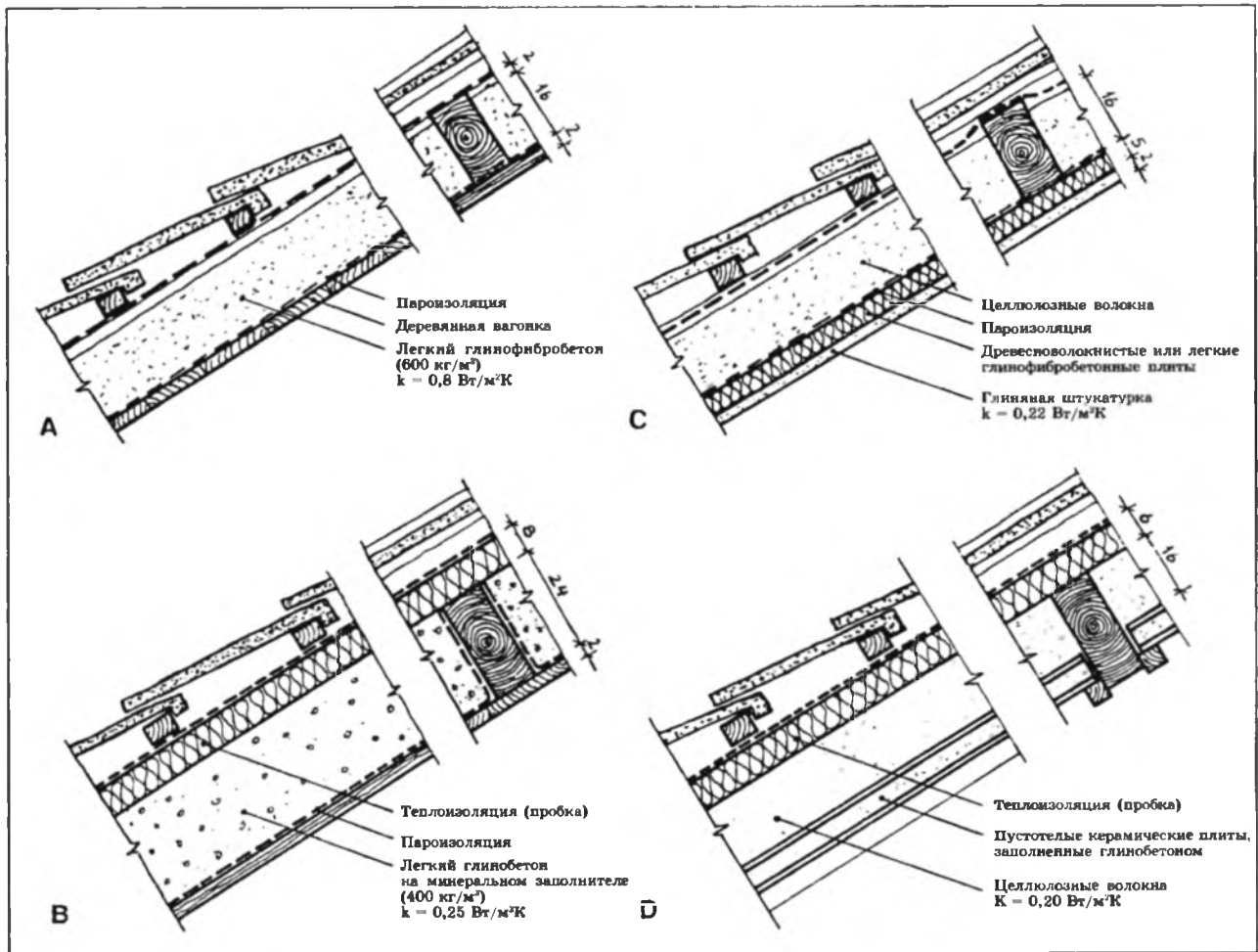


14.4-7 Вертикальный разрез грунтового пола

14. Конструктивные решения частей глиносырцовых зданий



14.4-8, 14.4-9 Устройство грунтового пола с покрытием гидрофобным составом



14.5-1 Скатные крыши, утепленные легким глинобетоном

торы в количестве 6% от массы сухих компонентов грунта: жидкое натриевое стекло, разбавленное с водой в пропорции 1:1; льняная олифа; известково-казеиновый клей (изготовлен из 1 части гидравлической извести и 5 частей обезжиренного творога, который в течение 2 минут интенсивно перемешивают без добавления воды, после чего раствор выдерживают). Последний комбинированный стабилизатор — 6% известково-казеинового клея и 10% мела от массы воздушно-сухого состояния грунта.

Приготовленные смеси уложены на подготовленные поверхности и выравнены мастерками. После набора прочности раствором его поверхность покрыта воском. Все разработанные составы растворов показали хорошие результаты. Прочность раствора, стабилизированного льняной олифой, оказалась самой высокой, но он имеет недостаток — сильный запах и длительный период отвердения.

14.5. Теплоизоляция скатных крыш легким глинобетоном

Теплоизоляцию скатной крыши, покрытой керамической черепицей, можно выполнять из легкого глинобетона. На рисунке 14.5-1 А представлена конструкция крыши с теплоизоляционным слоем из легкого глинобетона плотностью 600 кг/м^3 и толщиной 16 см. Деревянный потолок служит одновременно несъемной опалубкой для монолитной теплоизоляции. Коэффициент теплопередачи такой крыши составляет $0,8 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. В вариантах В, С и D рисунка показано, каким образом можно добиться увеличения термического сопро-

тивления крыш для соответствия их современным требованиям строительной теплотехники.

14.6. Крыши

14.6.1. Общие сведения

В сухих климатических зонах в течение многих веков грунтовые кровли на плоских крышах пользовались особой популярностью в сельском строительстве. Одной из самых сложных задач при строительстве зданий в развивающихся странах является устройство водонепроницаемого грунтового кровельного покрытия. Эта проблема актуальна и для территорий с большим количеством осадков. Другая немаловажная задача — снижение затрат на устройство крыши, поскольку ее стоимость в странах третьего мира с применением асбестоцементных листов составляет, как правило, 25%—30% от расходов на строительство всего дома. Грунтовая кровля на плоских крышах (раздел 7.6) была распространена в Германии в начале 19 столетия, и для нее был разработан стандарт DIN 18957. В данном разделе приводятся некоторые виды традиционных грунтовых кровель, а также результаты проведенных экспериментов с грунтовыми покрытиями.

14.6.2. Традиционные крыши из глиносырцовых материалов

Во многих субтропических, умеренных и холодных климатических зонах в течение многих столетий строились дома с плоскими и скатными крышами с грунто-



14.6-1 Грунтовая кровля по односкатной крыше в деревне племени догон, Шанга, Мали

вым покрытием. Примерами могут служить грунтовые кровли домов на плоских крышах, распространенные у индейцев пуэбло в Нью-Мексико (США), (рис. 6.2.-2), и у племени догон из Мали (Африка) (рис. 14.6-1).

Плоская крыша имеет следующую конструкцию. Основой служат несущие элементы из круглого дерева или бамбука. На них укладывают ветви или прутья, а сверху глиномассу. Покрытие кровли устраивают из нескольких слоев глиняного раствора, состоящего из жирного глинистого грунта, крупнозернистого песка, коровьего помета и волокнистых добавок.

В зонах с небольшим количеством осадков усадочные трещины в покрытии кровли не опасны. Вода, попадая на грунтовую поверхность, смачивает ее. В результате глинистые частицы набухают и склеивают трещины. В некоторых случаях используются дополнительные покрытия. В Анатолии (Турция) грунтовые кровли обрабатывают шламом, в состав которого входит соль и глинистое вещество. Его добывают на берегах Соленых Озер. Благодаря гигроскопичности соли, находящейся в грунтовом покрытии, оно дольше остается влажным, а во влажном состоянии кровля предотвращает проникновение воды. Даже если в процессе высыхания появляются усадочные трещины, то во время дождя глина разбухает и склеивает их. После того как дождь смывает некоторую часть соли, жители посыпают кровлю солью или поливают ее соленой водой (Дэлокей, 1969 г.).

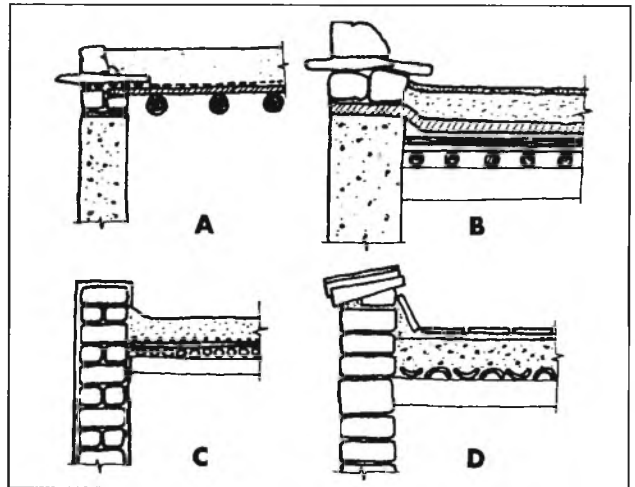
При устройстве кровли с грунтовым покрытием следует помнить о подверженности ее краев эрозии при ветровом и дождевом воздействии. Повреждений можно избежать, если применять конструктивные решения, представленные на рисунке 14.6-3. Кровлю, которая также будет использоваться в качестве террасы, рекомендуется защитить керамическими плитками или природным камнем (рис. 16.6-3 конструкция D). На рисунке 14.6.2 показана скатная крыша, распространенная на севере Венесуэлы. Грунтовая кровля покрыта глиняным раствором, который состоит из жирного глинистого грунта, крупнозернистого песка, растительных волокон и коровьего помета. Помет добавляют с целью придания атмосферостойкости грунтового покрытия. Приготовленную глиномассу укладывают несколькими слоями (от 8 до 12 см) на основание из веток и прутьев. После того как сезон дождей заканчивается, верхний слой, как правило, обновляется.

14.6.3. Современные скатные крыши из глинобетона

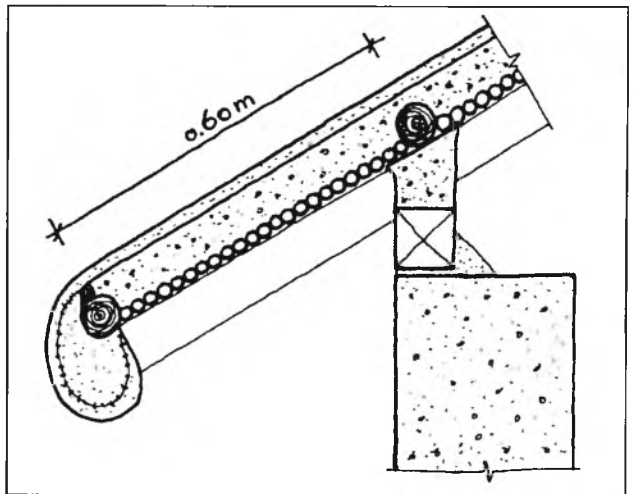
В районах с большим количеством осадков при строительстве традиционных домов со скатной крышей не применяют грунтовое кровельное покрытие. В ходе недавних проведенных экспериментов было доказано, что некоторые добавки повышают атмосферостойкость грунтовых покрытий. Группой «Фунхабит» из Кито и автором настоящей книги на основе проведенных в лаборатории ФЕВ исследований была разработана экономичная конструкция крыши. (Результаты исследо-



14.6-2 Традиционная грунтовая кровля, север Венесуэлы



14.6-3 Традиционные грунтовые кровли по односкатной крыше



14.6-4 Вертикальный разрез грунтовой кровли, Паджили, Эквадор

ваний приведены в разделе 4.3). Крыша, устроенная в Паджили (Эквадор) имеет следующую конструкцию. На стропила уложена обрешетка и камышитовые плиты, а сверху несколько слоев глиняного раствора общей толщиной 8 см (рис. 14.6-4). Первый слой раствора состоит из жирного глинистого грунта, отощенного пемзой диаметром до 12 мм и отработанного масла в соотношении: 52 части грунта, 28 частей пемзы, 1 часть масла. Полусухая глинобетонная смесь уложена и слегка уплотнена. Этот слой являлся теплоизоляционным. Верхний слой глиняного раствора толщиной от 2 до 3 см состоит из 72 частей грунта, 36 частей пемзы с диаметром до 5 мм, 12 частей коровьего помета, 12 частей ослиного помета, 8,5 частей отработанного масла, 6 частей сизальных волокон длиной от 3 до 5 см и 1 части льняного масла. Уложенная смесь разровне-

на мастерком, а спустя день, пока глинобетон не потерял пластичность, еще раз затерта.

14.7. Сводчатые и куполообразные крыши

14.7.1. Общие сведения

Своды и купола из грунтового кирпича в Европе встречаются главным образом в культовых сооружениях. В Восточной Европе, Азии и Африке подобные формы покрытий также пользовались популярностью при строительстве жилых домов, учреждений и общественных зданий (рис. 1.2-1, 1.2-2, 14.7-1 и 14.7-2).

В странах с жарким и сухим климатом, особенно в районах с большими суточными перепадами температуры такие покрытия имеют ряд преимуществ. Наблюдения



14.7-1 Купольные покрытия из грунтового кирпича, деревня недалеко от г. Алеппо, Сирия

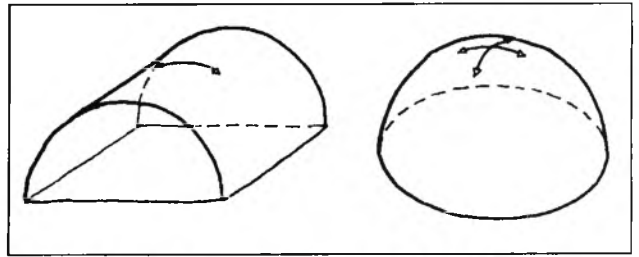


14.7-2 Купольные покрытия из грунтового кирпича, Сьестан, Афганистан

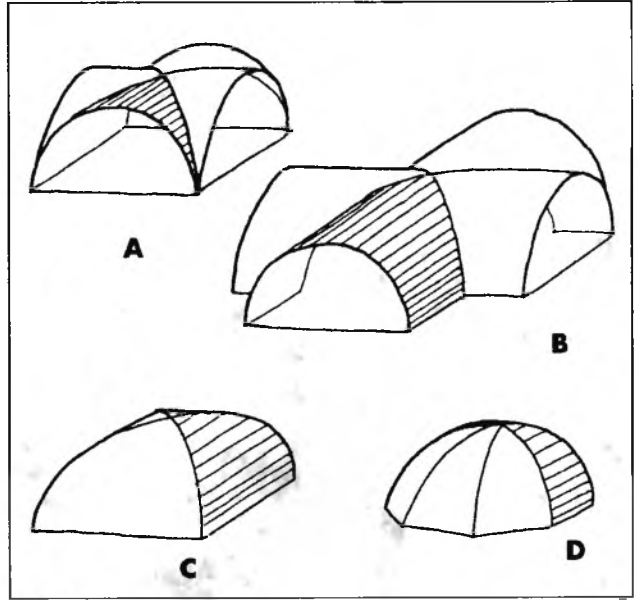
показали, что дома с куполообразными крышами создают лучший микроклимат по сравнению с помещениями кубической формы. Это достигается за счет высоты в середине помещений, где собирается легкий теплый воздух, и откуда он легко уходит через проемы. Площадь поверхности у сводчатых помещений меньше, чем у кубических того же объема. Следовательно, приток тепла в них тоже меньше.

Сводчатые и куполообразные крыши имеют ряд преимуществ в холодных и умеренных климатических зонах. Поскольку в таких помещениях площадь полной поверхности меньше, как было сказано выше, то и тепловые потери в них ниже. Кроме того, на их возведение затрачивается меньше строительного материала. Сводчатые и куполообразные крыши в развивающихся странах, как правило, обходятся дешевле по сравнению с плоскими или скатными. Было замечено, что по сравнению с традиционными помещениями с плоскими потолками, помещения со сводчатыми и куполообразными покрытиями оказывают приятное психологическое воздействие на их обитателей.

До недавнего времени своды и купола укладывали только из грунтового кирпича, за исключением экспериментального глинобитного свода, описанного в разделе 5.7, и купола, выложенного из глиносырцовых изделий (раздел 8.4.6). Во многих засушливых районах нашей планеты больше не осталось древесины, поэтому для них были разработаны технологии возведения сводов и куполов из грунтового кирпича, где не требуются несущие балки и опалубка. Описание этих технологий вы найдете в следующих разделах.



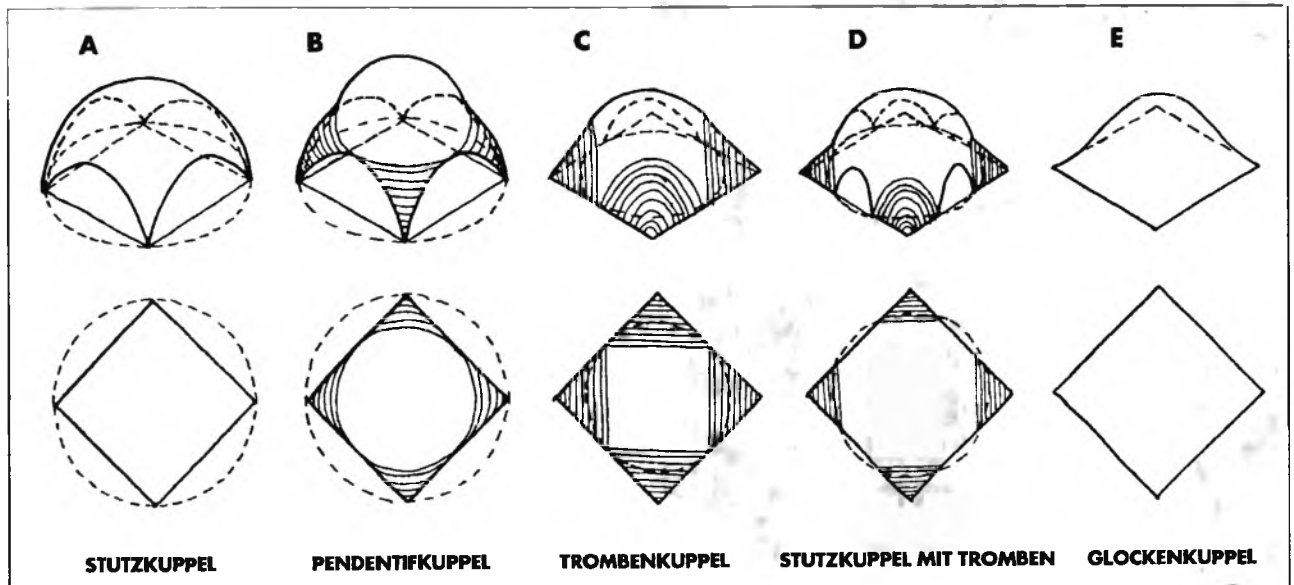
14.7-3 Цилиндрический и купольный своды



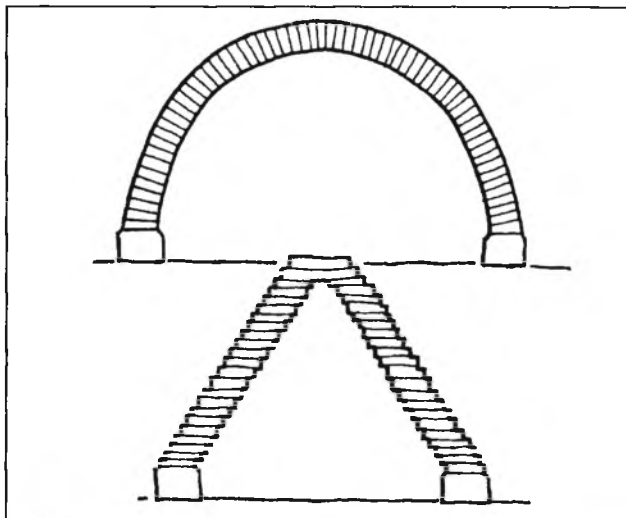
14.7-4

14.7.2. Геометрические формы сводов

Свод — несущая пространственная конструкция криволинейного очертания, служащая для покрытия про-



14.7-5 Типы куполов



14.7-6



14.7-7



14.7-8

мышленных, общественных зданий и жилых домов. В зависимости от количества изгибов свода бывают цилиндрическими (рис. 14.7-3, слева) или купольными (рис. 14.7-3, справа). Своды можно получить из различных геометрических форм. На рисунке 14.7-4 изображены два крестовых свода (А, В) и два сомкнутых свода (С, D), полученных из цилиндрических форм. При устройстве куполообразного покрытия, перекрывающего квадратное помещение, возникает проблема перехода от квадратных геометрических форм к сферическим формам купола. На рисунке 14.7-5 представлены четыре принципиальных решения, позволяющих решить данную проблему.

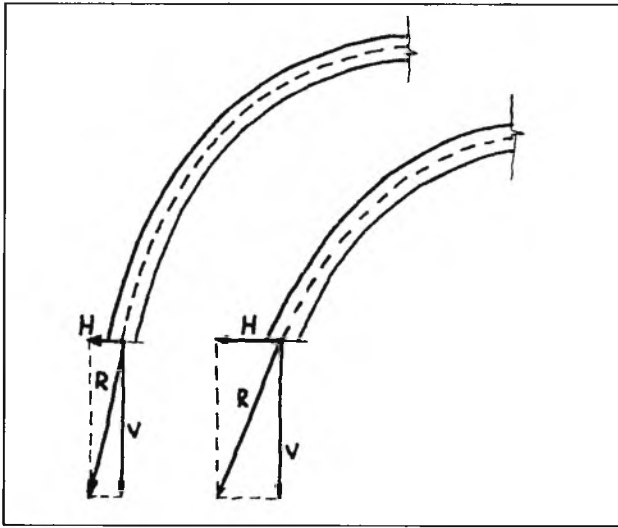
Решение А представляет собой ребристый купол, ребра которого, пересекаясь с квадратом, вписанным в нижнюю окружность купола, образуют арки. В варианте В изображен парусный купол. В данном случае сферический купол располагается на усеченном ребристом куполе. Решение С иллюстрирует конический купол, в котором нижняя окружность купола вписана в квадрат, четыре угла которого выложены из арок с возрастающим радиусом.

Изображение D представляет собой ребристо-конический купол, в нижнюю окружность которого вписан самый большой правильный восьмиугольник. Их пересечение образуют ребра и второстепенные круговые арки. Последнее решение Е полностью отличается от вышеприведенных. Его можно назвать колоколообразным куполом, поскольку он своей формой напоминает колокол.

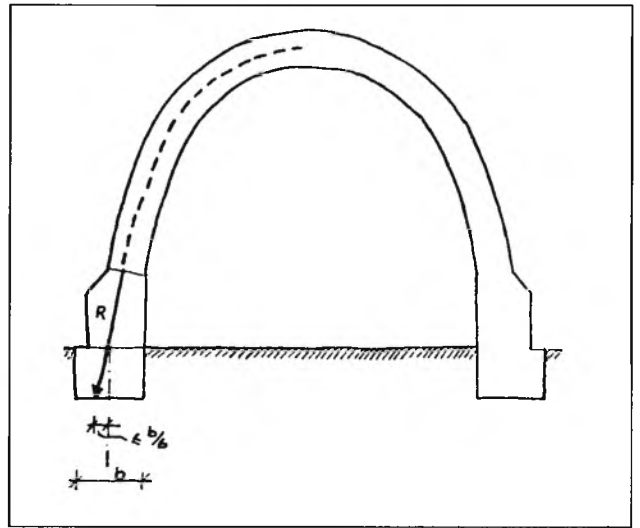
14.7.3. Статика сводчатых конструкций

Своды и купола представляют собой несущие пространственные конструкции криволинейного очертания, которые воспринимают внешние нагрузки и перераспределяют их на опоры. Как правило, куполообразные и сводчатые крыши выкладывают из обожженных кирпичей или плоских камней, где швы расположены перпендикулярно к поверхности свода (рис. 14.7-6, верхняя часть). Если швы кладки горизонтальные, а кирпичи уложены с выступом (рис. 14.7-6, нижняя часть), то подобная конструкция называется «ложным» сводом. Один из примеров «ложного» свода представлен на модели, изображенной на рисунке 14.7-7 и 14.7-8.

Главной задачей при проектировании и строительстве сводов является перераспределение нагрузок от собственной массы конструкции и внешних сил на фундамент. Каждый свод в точке соприкосновения с опорой имеет определенный наклон и сдвигающее усилие. Это усилие состоит из горизонтальной и вертикальной сил. Величина горизонтальной силы зависит не только от величины сдвигающего усилия, но и от угла наклона конструкции (рис. 14.7-9). Чем ближе результирующая сила к вертикальной оси, тем меньше горизонтальная сила, и следовательно, проще фундамент. В основе расчета конструкции свода лежит эмпирическое правило, которое заключается в следующем: результирующая сила от сдвигового усилия и собственной массы конструкции должна находиться в пределах се-



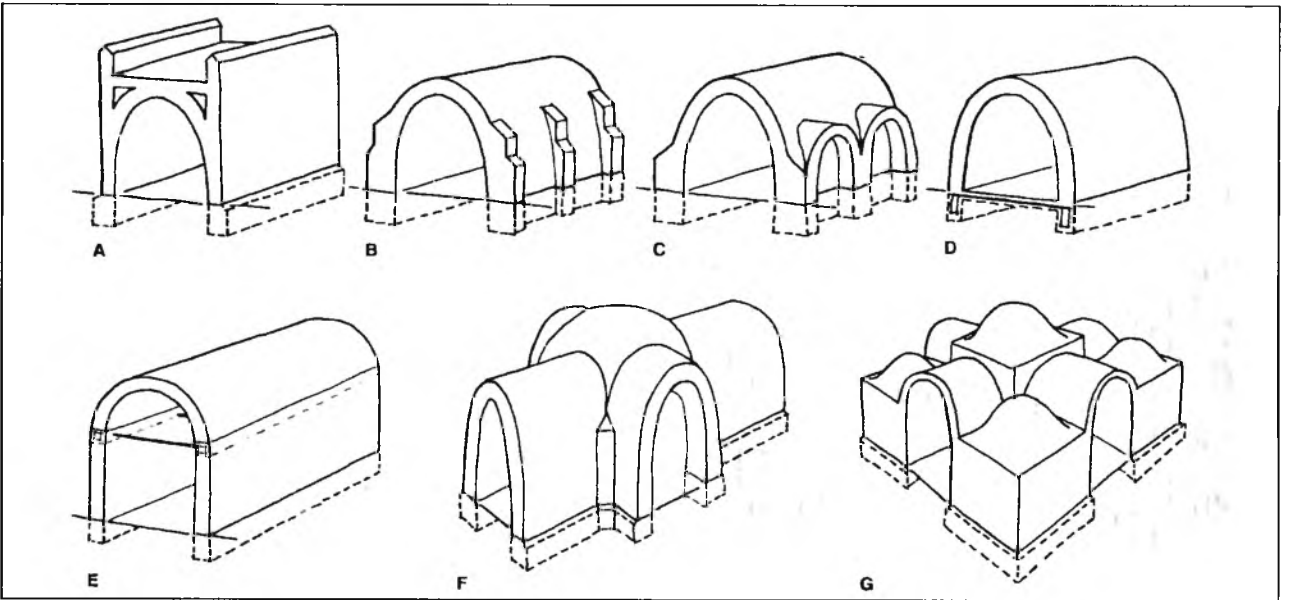
14.7-9



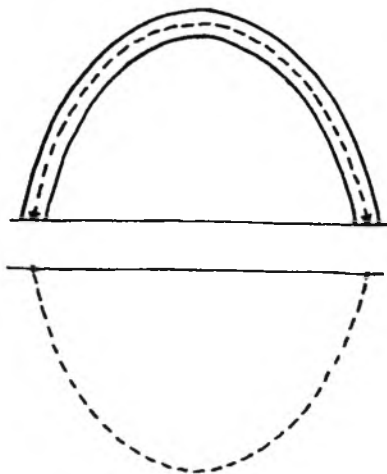
14.7-10

редины третьей части подошвы фундамента. Это значит, что эксцентриситет приложения силы должен быть меньше или равен $1/6$ ширины фундамента (рис. 14.7-10). Для снижения затрат на устройство фундамента целесообразно на стадии проектирования здания предусматривать дополнительные конструктивные мероприятия. Некоторые конструктивные решения представлены на рисунке 14.7-11. В решении А предлагается приложить дополнительную нагрузку (стены с парапетом), в результате чего результирующая сила максимально приближается к вертикальной оси. В варианте В применены контрфорсы. Расстояние между ними не должно быть слишком большим, в противном случае изгибающие напряжения могут выйти за пределы

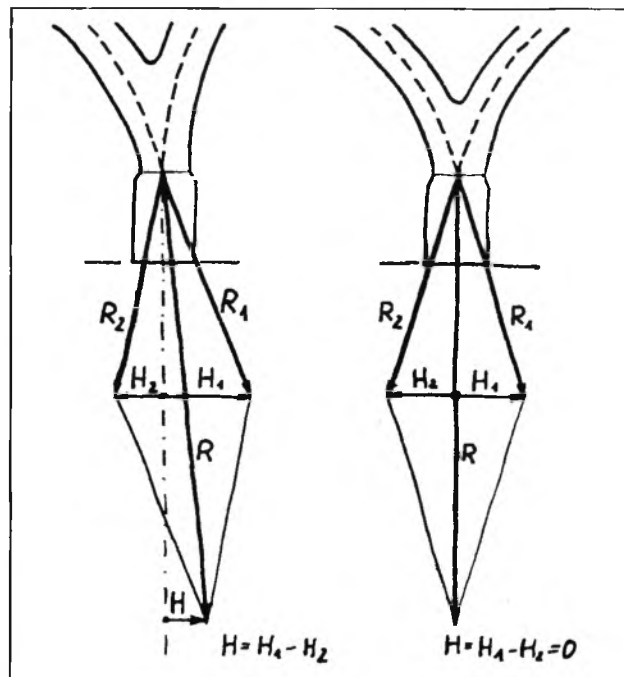
граничных значений. Из этих соображений лучшим конструктивным решением является вариант С, где контрфорсы соединены сводами в верхней части. Возникающие горизонтальные растягивающие напряжения в варианте Д уравниваются за счет устройства перекрытия. В решении Е показаны отдельные натяжные элементы, работающие аналогичным образом. При этом на стяжки укладывают настилы из дерева, металла или железобетона. В решениях F и G показаны два возможных варианта снижения действия сдвигающих усилий от центрального купола за счет возведения дополнительных сводов и куполов, выполняющих функции контрфорсов. При пересечении в основании двух равных сводов



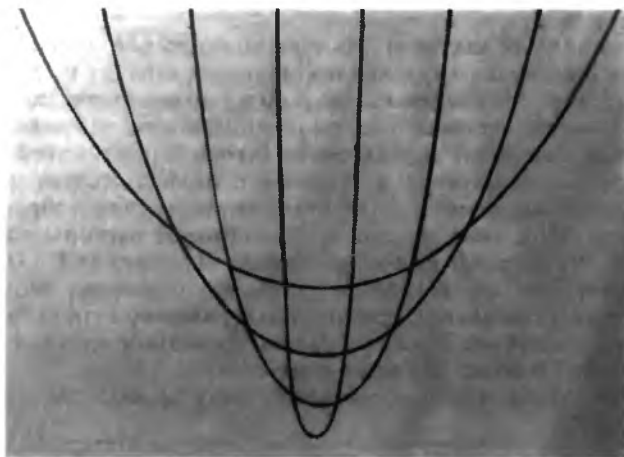
14.7-11



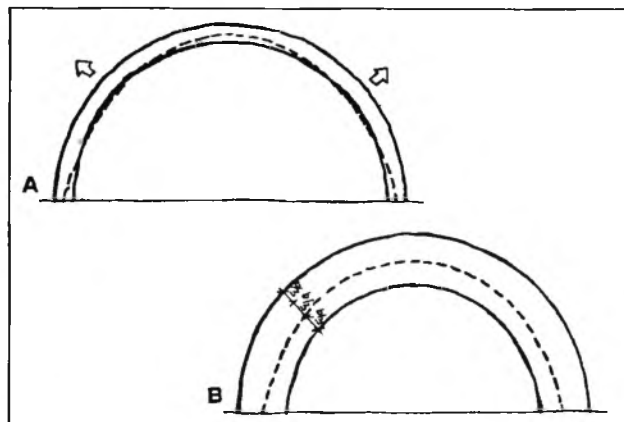
14.7-13



14.7-12



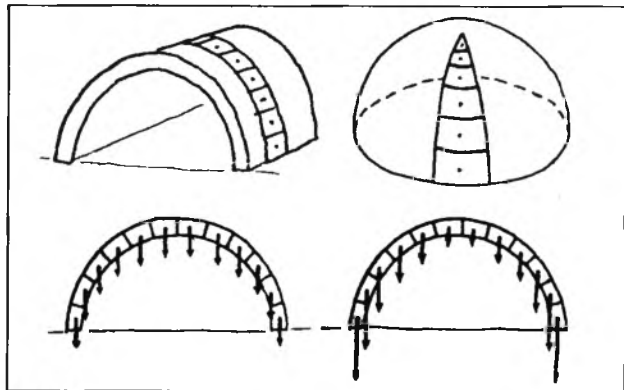
14.7-14



14.7-15



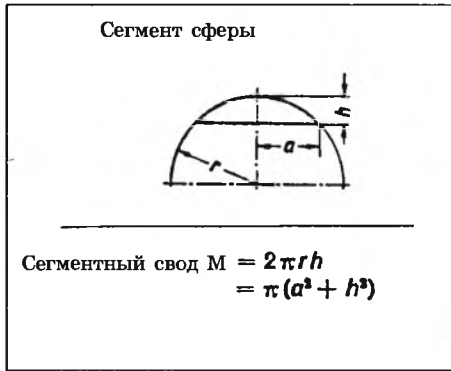
14.7-17



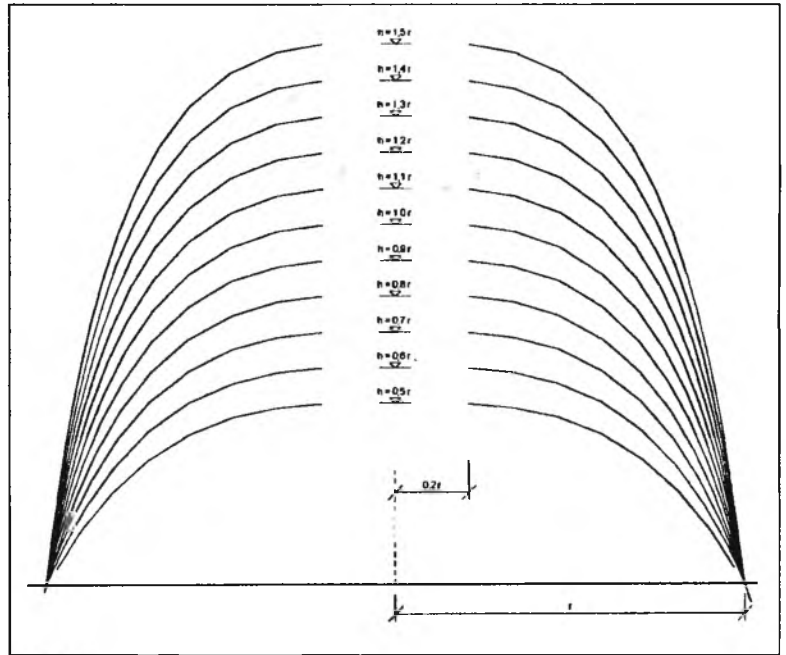
14.7-16

возникающие от сдвигающих усилий горизонтальные силы уравновешивают друг друга (рис. 14.7-12, справа). Если своды имеют разные формы, то горизонтальные силы не равны (рис. 14.7-12, слева). Конструкции сводов из грунтового кирпича не выдерживают растягивающих усилий, поэтому необходимо проектировать оптимальную форму покрытия, в которой возникают только сжимающие напряжения. Форма цилиндрического свода, находящегося под воздействием только собственной массы, в перевернутом виде имеет форму свободно подвешенной цепи. Свободно подвешенная цепь, растягиваемая силами собственного веса, образует кривую цепи. При этом возникают только растягивающие усилия. Если дан-

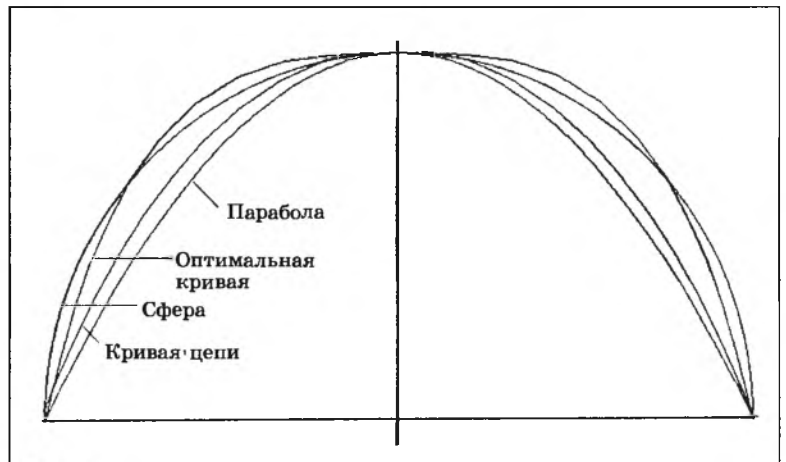
ную кривую перевернуть, получится оптимальная форма для свода, в котором под собственной массой возникают только сжимающие усилия (рис. 14.7-13). Кривая цепи рассчитывается по формуле $y = a \cos(x/a)$ и определяется на основании положения двух точек опоры и вершины (рис. 14.7-14). В полукруглом своде возникают изгибающие напряжения от собственной массы конструкции. Центральная ось свода не совпадает с оптимальной кривой и может даже выходить за пределы конструкции (рис. 14.7-15А), что приводит к ее разрушению. Если оптимальная кривая находится в пределах середины третьей части толщины свода (рис. 14.7-15В), этой опасности удастся избежать. При оптимальной форме купола в конструкции от



14.7-18



14.7-19



14.7-20



14.7-21

собственной массы возникают только сжимающие напряжения и отсутствуют растягивающие. В куполе могут возникнуть сжимающие кольцевые напряжения при устройстве дверных и оконных проемов. Для того чтобы получить оптимальную форму свода, делается разрез, как показано на рисунке 14.7-16 слева, который разбивается на сегменты равной длины. В результате образуются элементы с одинаковой площадью. Сосредоточенные силы от собственной массы находятся в центре каждого сегмента и имеют равные значения. На рисунке справа показан разрез купола, который также разбит на сегменты равной длины, но их ширина, а следовательно, и площадь уменьшаются от основания к вершине. Значения сосредоточенных сил тоже будут пропорционально уменьшаться. Оптимальную форму купола моделировали на цепочке, к которой прикладывали соответствующую нагрузку, в результате чего была достигнута идеальная кривая (рис. 14.7-17). Полученная идеальная кривая представлена на рисунке по сравнению со свободно подвешенной цепочкой. Рисунок 14.7-18 содержит формулы для расчета площадей сегментов сферы. Поскольку оптимальная форма купола не является сфе-

рической, то расчет площади ее сегментов немного отличается. Эти формулы можно применять для предварительного расчета и для куполов, которые имеют небольшие пролеты. Большую степень точности можно получить за счет последовательных повторений, заменяя изменяющиеся радиусы кривизны сегментов, измеренные на модели, и регулируя нагрузки в соответствии с рассчитанными площадями поверхностей сегментов. В том случае, если высота купола не равна его радиусу, то для расчета не применяют вышеуказанные формулы. За основу берут форму эллипса, ось которого располагается ниже основания купола. Данное допущение очень близко к идеальной форме, которую можно доработать на модели.

Высокой точности в получении идеальной кривой достигали с помощью метода графической статики и компьютерной программы. На рисунке 14.7-19 представлены полученные результаты расчета, где высота купола варьировалась от $h = 1.5$ до $h = 0.5$ г (где h — это высота, а $г$ — радиус купола). В каждом случае в расчет принимался световой фонарь, радиус которого составлял 0.2 г. На рисунке 14.7-20 изображена оптимальная кривая купола в сравнении с параболой, сферой и кривой цепи.

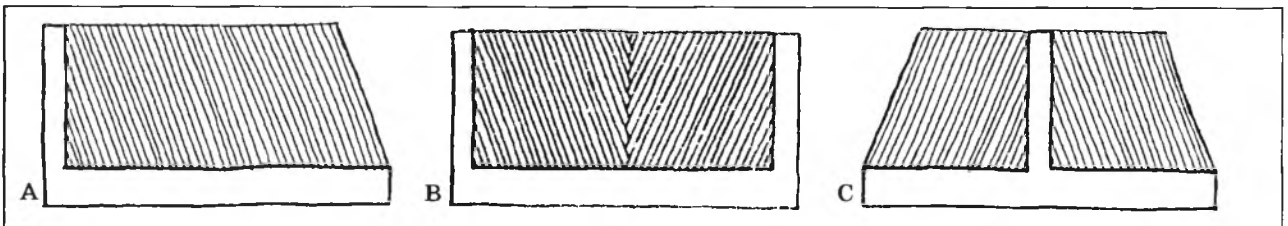
Если кривая купола проходит снаружи от оптимальной как нижняя часть сферы, то возникают кольцевые растягивающие напряжения, которые ведут к разрушению конструкции. Если кривая купола проходит внутри оптимальной формы как кривая цепи, то возникают кольцевые сжимающие напряжения. Эти напряжения не опасны, если в куполах не устраивать больших оконных и дверных проемов.

Таблица 14.7.1 содержит координаты оптимальных кривых для различных куполов, в которых их высота варьируется от $h = 0.8$ г до $h = 1.4$ г (где h — это высота, а $г$ — радиус купола). При этом верхние проемы в вершине в расчет не принимаются.

Купол рекомендуют размещать внутри оптимальной кривой, в особенности верхнюю часть конструкции. Это позволяет избежать растягивающих кольцевых напряжений, которые вызывают ветровые и другие нагрузки.

14.7.4. Нубийские своды

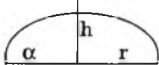
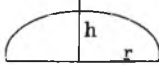
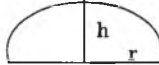
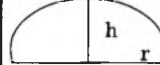
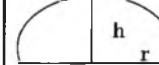

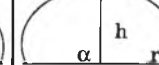
При устройстве нубийских цилиндрических сводов, распространенных многие века в Верхнем Египте, опалубку не применяли. Своды выкладывали из саманного кирпича наклонными арками. На рисунке 14.7-21



14.7-22

14. Конструктивные решения частей глиносырцовых зданий

Таблица 14.7.1

Nr	у	х	у	х	у	х	у	х	у	х	у	х	у	х
1	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
2	0,0452	0,9854	0,0454	0,9875	0,0479	0,9885	0,0470	0,9902	0,0422	0,9912	0,0494	0,9918	0,0469	0,9929
3	0,0973	0,9674	0,0982	0,9720	0,1013	0,9750	0,1007	0,9783	0,1016	0,9807	0,1036	0,9823	0,1013	0,9844
4	0,1489	0,9483	0,1508	0,9556	0,1544	0,9608	0,1543	0,9658	0,1555	0,9696	0,1578	0,9724	0,1556	0,9755
5	0,2001	0,9279	0,2030	0,9381	0,2073	0,9456	0,2077	0,9526	0,2093	0,9579	0,2118	0,9620	0,2098	0,9662
6	0,2506	0,9061	0,2548	0,9195	0,2600	0,9295	0,2610	0,9386	0,2629	0,9456	0,2657	0,9511	0,2640	0,9565
7	0,3005	0,8827	0,3061	0,8996	0,3123	0,9124	0,3139	0,9237	0,3164	0,9326	0,3195	0,9396	0,3180	0,9462
8	0,3495	0,8575	0,3569	0,8782	0,3642	0,8940	0,3667	0,9079	0,3697	0,9188	0,3732	0,9274	0,3720	0,9354
9	0,3974	0,8303	0,4069	0,8552	0,4156	0,8744	0,4191	0,8911	0,4227	0,9041	0,4267	0,9145	0,4258	0,9241
10	0,4441	0,8011	0,4562	0,8305	0,4665	0,8533	0,4711	0,8730	0,4755	0,8885	0,4800	0,9008	0,4795	0,9121
11	0,4893	0,7695	0,5043	0,8038	0,5167	0,8306	0,5226	0,8536	0,5280	0,8718	0,5331	0,8863	0,5331	0,8993
12	0,5327	0,7355	0,5513	0,7749	0,5660	0,8060	0,5736	0,8328	0,5800	0,8540	0,5859	0,8708	0,5864	0,8858
13	0,5738	0,6987	0,5967	0,7436	0,6143	0,7795	0,6239	0,8103	0,6316	0,8347	0,6384	0,8542	0,6396	0,8714
14	0,6124	0,6592	0,6402	0,7097	0,6613	0,7507	0,6733	0,7860	0,6827	0,8140	0,6905	0,8364	0,6924	0,8561
15	0,6479	0,6170	0,6815	0,6731	0,7067	0,7194	0,7217	0,7596	0,7330	0,7917	0,7422	0,8173	0,7450	0,8397
16	0,6799	0,5721	0,7200	0,6337	0,7502	0,6855	0,7688	0,7309	0,7825	0,7674	0,7932	0,7966	0,7971	0,8220
17	0,7081	0,5246	0,7554	0,5913	0,7913	0,6487	0,8143	0,6998	0,8309	0,7411	0,8436	0,7743	0,8488	0,8030
18	0,7322	0,4750	0,7872	0,5462	0,8296	0,6090	0,8578	0,6658	0,8780	0,7124	0,8930	0,7500	0,8999	0,7825
19	0,7522	0,4235	0,8149	0,4984	0,8646	0,5663	0,8988	0,6290	0,9234	0,6811	0,9414	0,7235	0,9503	0,7602
20	0,7680	0,3707	0,8384	0,4485	0,8957	0,5207	0,9369	0,5891	0,9667	0,6470	0,9883	0,6947	0,9998	0,7360
21	0,7801	0,3168	0,8576	0,3967	0,9227	0,4725	0,9716	0,5461	1,0076	0,6099	1,0336	0,6632	1,0482	0,7096
22	0,7887	0,2624	0,8725	0,3436	0,9452	0,4221	1,0023	0,5002	1,0453	0,5696	1,0767	0,6287	1,0951	0,6807
23	0,7944	0,2076	0,8836	0,2896	0,9633	0,3700	1,0286	0,4517	1,0795	0,5262	1,1172	0,5912	1,1403	0,6491
24	0,7978	0,1526	0,8912	0,2350	0,9771	0,3165	1,0504	0,4009	1,1095	0,4799	1,1544	0,5505	1,1830	0,6145
25	0,7994	0,0975	0,8961	0,1801	0,9870	0,2623	1,0675	0,3485	1,1350	0,4309	1,1879	0,5065	1,2236	0,5768
26	0,8000	0,0425	0,8987	0,1251	0,9936	0,2075	1,0804	0,2948	1,1557	0,3798	1,2170	0,4596	1,2606	0,5358
27	0,8000	0,0000	0,8998	0,0700	0,9974	0,1526	1,0894	0,2404	1,1719	0,3270	1,2415	0,4101	1,2933	0,4915
28			0,9000	0,0000	0,9993	0,0975	1,0951	0,1856	1,1836	0,2731	1,2611	0,3585	1,3222	0,4443
29					0,9999	0,0425	1,0983	0,1306	1,1916	0,2185	1,2761	0,3054	1,3459	0,3944
30					1,0000	0,0000	1,0997	0,0755	1,1965	0,1636	1,2867	0,2513	1,3648	0,3425
31							1,1000	0,0205	1,1990	0,1086	1,2936	0,1966	1,3789	0,2892
32							1,1000	0,0000	1,1999	0,0535	1,2976	0,1416	1,3887	0,2349
33									1,2000	0,0000	1,2995	0,0865	1,3949	0,1801
34											1,3000	0,0315	1,3983	0,1251
35											1,3000	0,0000	1,3997	0,0700
36													1,4000	0,0150
37													1,4000	0,0000
														
α	$h=0,8r$ 72,6 deg	$h=0,9r$ 75,0 deg	$h=1,0r$ 76,9 deg	$h=1,1r$ 78,5 deg	$h=1,2r$ 79,7 deg	$h=1,3r$ 80,7 deg	$h=4r$ 81,6 deg							
A	5,3374 r ²	5,7789 r ²	6,2195 r ²	6,6941 r ²	7,1685 r ²	7,6426 r ²	8,1514 r ²							
V	16,1064 r ³	18,2911 r ²	20,4262 r ³	22,6921 r ³	24,9307 r ³	27,1455 r ³	29,5145 r ³							



14.7-23



14.7-24

изображен нубийский свод, которому уже 3200 лет. Он находится на территории храма Рамзеса II, возле Луксора. Изученные автором исторические постройки показали, что древние мастера при устройстве сводов применяли кирпич, который имел следующие размеры: ширина 15 см, длина 25 см и толщина 5—6 см. При незначительной массе кирпичи имели большую площадь опирания, которая препятствовала соскальзыванию кирпича, уложенного в наклонное положение. Угол наклона арки принимался непосредственно в момент ее устройства и находился в пределах 65—70° по горизонтали. Натурными испытаниями было доказано, что если угол наклона арки меньше указанного значения, то нижняя часть свода может разрушиться в процессе его кладки, а если угол наклона больше, то происходит соскальзывание кирпича.

Для нубийских сводов требуется одна или две вертикальные стены, которые служат опорой для наклонных арок (рис. 14.7-22 А и В). В качестве опоры может также служить центральная опорная арка, выложенная при



14.7-25

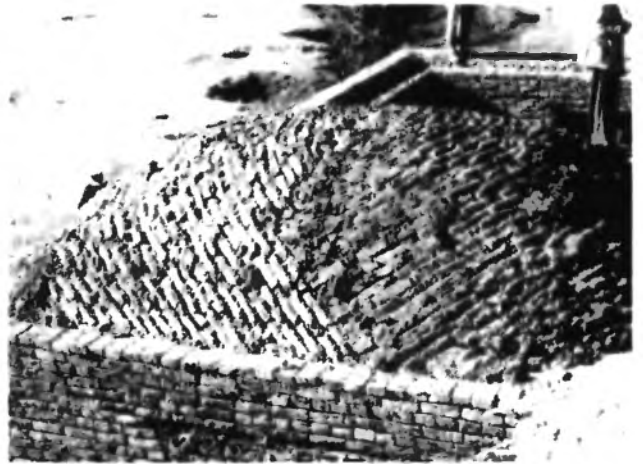
помощи опалубки (рис. 14.7-22 С и 14.7-23). При кладке сводов их форму рекомендуют выбирать таким образом, чтобы конструкция работала только на сжатие. Традиционный способ кладки нубийского свода был усовершенствован сотрудниками лаборатории FEB. Во-первых, в нижней части свода применяли кирпич размером 20×20×6 см, а в верхней части — кирпичи конической формы, с уменьшенной на 1,5 см стороной. Таким образом удалось сократить затраты труда и сэкономить раствор. Эмпирическим путем было доказано, что при кладке сводов на растворе оптимальной консистенции можно применять кирпич толщиной до 10 см. Это также приводит к экономии раствора и сокращает трудовые затраты. Вторым усовершенствованием стало использование при кладке свода натянутых веревок для контроля его формы. Вертвкн натягивали от одной «опорной стены» к другой, но закрепляли только с одной стороны, при этом другой конец веревки пропускали через кольцо, и на него подвешивали камень. Благодаря грузу веревка в случае удара или толчка не рвется и ее натяжение не ослабевает.

При устройстве наклонных арок рекомендуют кирпичи укладывать таким образом, чтобы они касались друг друга внутренними ребрами, а швы с наружной стороны свода укрепляют клиньями из обломков камня (рис. 14.7-24).

Нубийский свод из грунтового кирпича размером 10×10×20 см, выложенный «в елку», представлен на



14.7-26



14.7-27

рисунке 14.7-25. Его испытания, проведенные в лаборатории ГЕВ, показали высокую устойчивость конструкции. Однако при производстве работ были приложены значительные усилия для соблюдения правильной геометрической формы свода, несмотря на то, что она сначала моделировалась.

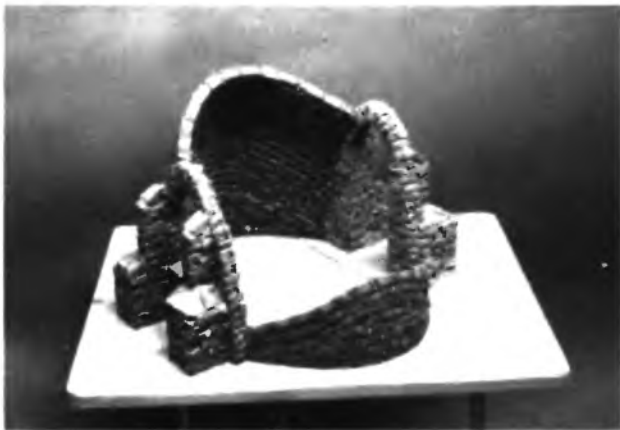
14.7.5. Афганские и персидские купола

В Афганистане куполообразные крыши возводят без применения опалубки. При этом плоские грунтовые кирпичи укладывают под углом 30° к горизонту. На рисунках 14.7-26, 14.7-27 и 14.7-28 показана кладка купола. 5—6 строителей выкладывают покрытие здания размером 4×4 м за полдня.

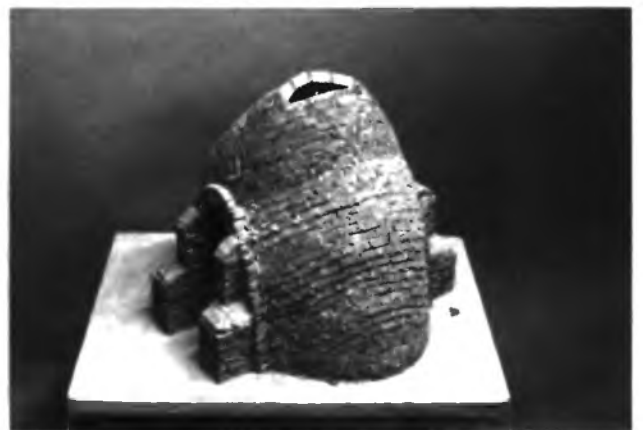
При кладке арок грунтовые кирпичи соприкасаются нижними ребрами, а в верхний зазор вставляются клинья (рис. 14.7-28). Уложенные в распор на несхватившемся растворе кирпичи образуют устойчивую и прочную конструкцию, которая не разрушается от собственного веса, а также позволяет выдерживать нагрузку от работающих на ней специалистов. В лабо-



14.7-28



14.7-29



14.7-30



14.7-31



14.7-33 Персидский купол



14.7-32 Нубийский свод в сочетании с афганским куполом

ратории FEB созданы различные модели, доказывающие возможность применения этих способов возведения. Возможно также их сочетание с другими способами при покрытии зданий разнообразных геометрических форм (рис. 14.7-29 — 14.7-32).

На рисунке 14.7-33 изображена разновидность афганского куполообразного покрытия, которое раньше было широко распространено в Персии, поэтому его часто называют персидским куполом. Наклонные арки имеют опоры во всех четырех углах конструкции. На этой модели в верхней части представлены четыре сводчатых проема, которые служат в качестве приточной вентиляции.

14.7.6. Нубийские купола

Способ возведения нубийских куполов был известен в Верхнем Египте в течение тысячелетий. Грунтовый кирпич выкладывали в круговые ряды при помощи шаблона (рис. 14.7-34) под углом относительно центральной оси. Этот способ каменной кладки позволял избежать соскальзывания выложенных кирпичей и требовал применения специального клинообразного кирпича (рис. 14.7-35). Поскольку трудозатраты данного способа каменной кладки высоки, при возведении куполов кирпичи не разворачивали, а выкладывали радиально.

Нубийский купол можно выложить только сферической формы, что является главным недостатком. Как уже было сказано в разделе 14.7.3, кольцевые растягивающие напряжения в сферических куполах возникают в нижней секции. Поэтому при перекрытии больших пролетов следует дополнительно усиливать нижнее опорное кольцо стальными полосами или устраивать железобетонные кольцевые балки. В против-

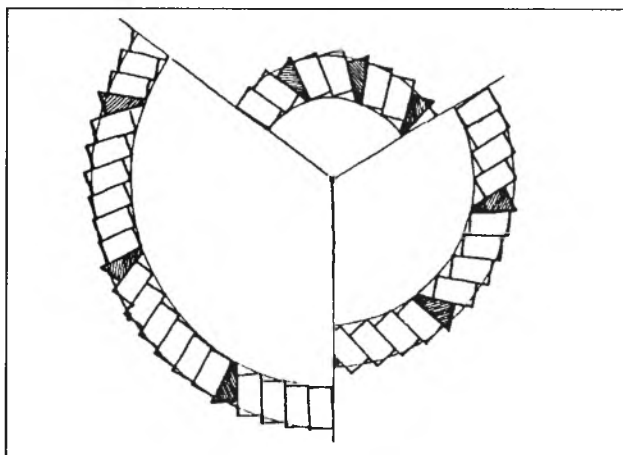
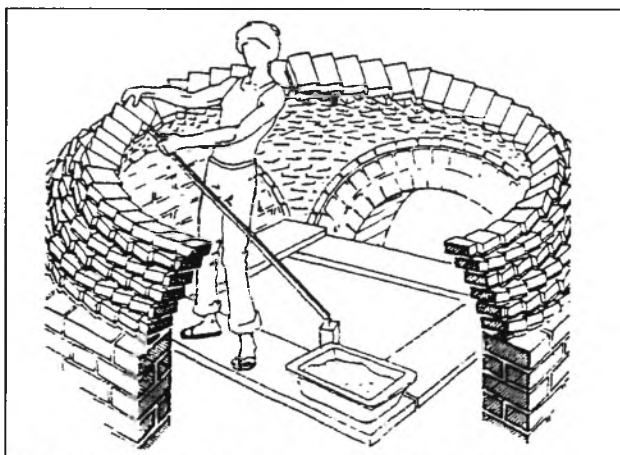
ном случае купол может разрушиться, как уже случилось на практике.

Группа «Development Workshop», Лозерт (Франция) возвела вышеописанным способом купола на нескольких жилых домах, административных и общественных зданиях в Нигере (рис. 14.7-36). При производстве работ вместо традиционного поворотного шаблона был использован поворотный шаблон с эксцентриситетом, благодаря чему достигнута форма, позволяющая избежать кольцевых растягивающих напряжений в нижней части конструкции. Тем не менее, эти напряжения могут возникнуть при устройстве больших оконных или дверных проемов.

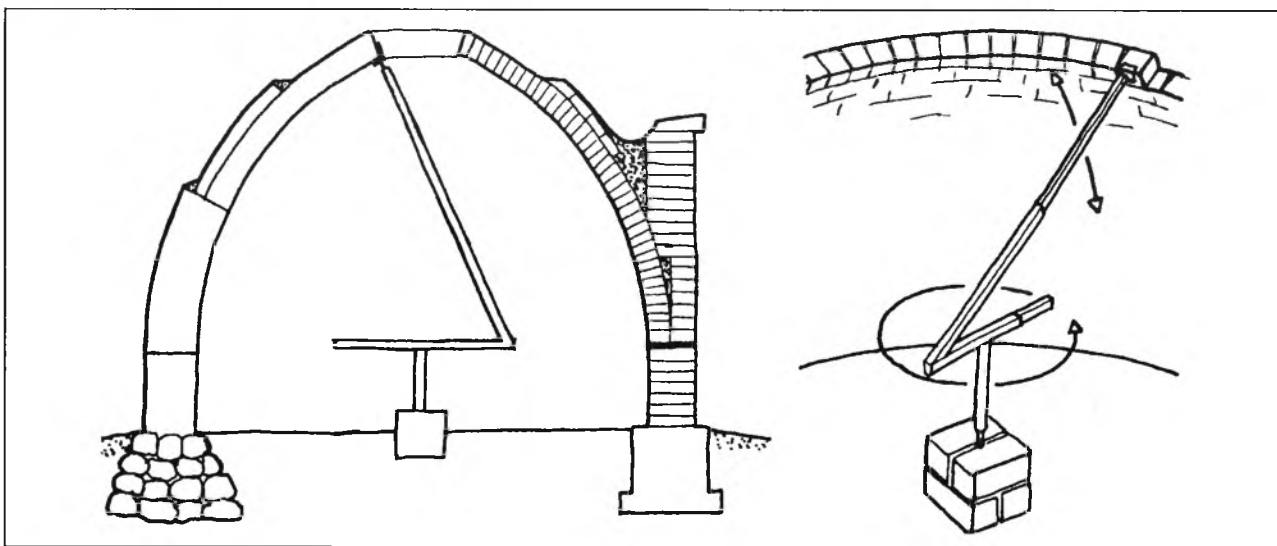
14.7.7. Купол оптимальной формы

Специалистами лаборатории FEB была усовершенствована технология возведения куполов. С помощью ново-

го поворотного шаблона удалось избежать недостатков, возникающих при возведении куполов традиционным способом (раздел 14.7.6), а также добиться оптимальной формы купола без использования опалубки. При такой форме удается избежать как растягивающих, так и сжимающих кольцевых усилий. Методика получения данной формы описывается в разделе 14.7.3. Поворотный шаблон имеет направляющую рейку, которая располагается параллельно к поверхности возводимого купола и вращается по горизонтали. Направляющая рейка связана с вертикальной стойкой с помощью профиля таврового сечения. На рисунках 14.7-37 — 14.7-40 показано возведение купола с пролетом 7 м и высотой 6 м с помощью поворотного шаблона в университете г. Касселя (Германия), в 1992 г. На вершине купола установлен 16-сторонний световой фонарь в форме пирамиды. Толщина стенок купола составляет 20 см. Оптимальная форма купола была получена



14.7-34, 14.7-35 Нубийский купол, CRATerre, 1979 г.



14.7-36 Возведение нубийского купола с помощью поворотного шаблона с эксцентриситетом



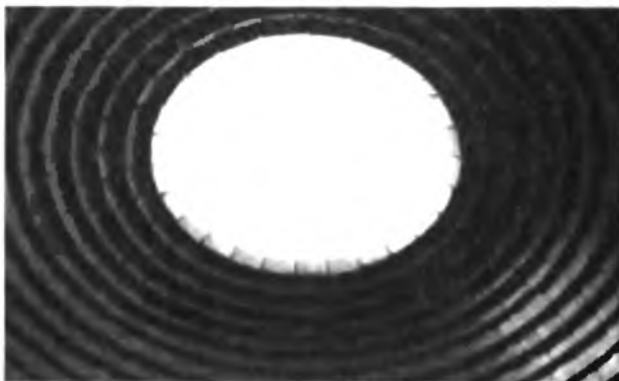
14.7-37



14.7-38



14.7-39



14.7-37—14.7-40 Возведение купола оптимальной формы с помощью поворотного шаблона, ГЕВ, Кассельский университет

с помощью компьютерной программы, что позволило избежать кольцевых усилий, описанных в разделе 14.7.3. Для того чтобы не допустить соскальзывания кирпичей в верхних рядах, их укладывали не прямо перпендикулярно поверхности купола, а с меньшим уклоном, из-за чего угол наклона верхнего ряда кладки на 20° меньше по сравнению с традиционным возведением куполов. Данный способ возведения имеет еще одно преимущество: звук не фокусируется (рис. 14.7-40). Грунтовые кирпичи конической формы изготовлены на прессе со специальным мундштуком.



14.7.8. Возведение куполов и сводов при помощи опалубки

Монтаж опалубки для возведения куполов — очень дорогая и трудоемкая работа. Практически во всех традиционных способах возведения куполов опалубка не применялась. За исключением так называемого «каталанского купола» (в Индии известен под названием «канатный каркас»), который представляет собой колоколообразный купол, служащий покрытием для зданий треугольной, квадратной, прямоугольной и др. форм. При небольших пролетах применяли опалубочную систему, где в качестве палубы использовали стеклопластик или стальные листы. Для придания конструкции определенной формы можно применять влажный песок, как показано на рисунке 14.7-43. При возведении сводов можно применять короткую опалубку, которую перемещают после окончания кладки на захватке. Данный способ используют при возведении сегментных сводов (рис. 14.3-6). На рисунке 14.7-41 и 14.7-42 изображены своды, кладку которых выполняли на опалубке с палубой из тонких реек. Рейки укрепляли под швы кладки из сырцового кирпича, которые укладывали без раствора. Затем швы увлажняли и заполняли сверху глиняным раствором.



14.7-41, 14.7-42 Возведение цилиндрических сводов с помощью опалубки

14.7.9. Обжиг грунтовых куполов

Персидский архитектор Надер Халили возвел в Иране и США несколько грунтовых куполов, которые затем обжигали изнутри.

Применение четырех стихий — земли, воды, воздуха и огня при возведении зданий придает им мистический характер, но в то же время у таких зданий имеются некоторые недостатки. При сжигании бревен, веток и прутьев происходит выброс вредных веществ в атмосферу, при этом также затрачивается много энергии. Более того, огонь нельзя полностью контролировать, следовательно, данный процесс нельзя считать оптимальным. В результате неравномерного нагревания кирпича могут появиться трещины, что в свою очередь может привести к потере прочности конструкции. К тому же большинство пор в кирпиче при обжиге закрывается, при этом способность материала поглощать и отдавать влагу значительно уменьшается (рис. 1.4-4), следовательно, теряется главное преимущество глинобетона как строительного материала.



14.7-43 Возведение купола при помощи опалубки с дополнительной палубой из влажного песка



14.7-44 Институт по исследованию пустыни, Садат Сити, Египет

14.7.10 Современные здания с куполообразными крышами из глинобетона

В данном разделе приведены примеры только трех зданий со сводчатыми и куполообразными крышами. Остальные примеры с подробным описанием содержатся в главе 15.

На рисунке 14.7-44 изображен Институт по исследованию пустыни при Американском университете в Каире, который был спроектирован Хассаном Фати и построен в 1979 году в Садат Сити (Египет). Все комнаты и коридоры в нем покрыты куполами или сводами, возведенными по нубийской технологии. Стены вы-

ложены из кирпича-сырца и оштукатурены известковым раствором. Кровельное покрытие куполов состоит из глиняной штукатурки, битумной краски и известково-цементной штукатурки.

В Нью-Дели в 1990 г. была построена выставочная галерея при Национальном культурном центре Индирь Ганди (архитектор Санья Пракаш), (рис. 14.7-45). Стены и купола возведены из грунтовых нестабилизированных кирпичей. Пролет центрального купола равен 9,2 м. Здание строилось только на время проведения выставки, но его продолжают эксплуатировать и сейчас.

На рисунках 14.7-46—14.7-48 изображены помещения со сводами и куполами центра Висса Вассеф в Каире (Египет).



14.7-45 Выставочный зал, Нью-Дели, Индия



14.7-46



14.7-47



14.7-46—14.7-48 Центр Висса Вассефа, Каир, Египет



14.8-1 Стена зимнего сада, аккумулирующая тепло



14.8-2 Укладка пластичного глинобетона



14.9-1 Глиняные обои в ванной комнате

14.8. Грунтовая стена в зимнем саду

Зимний сад общей площадью 20 м² расположен в жилом доме в Касселе (Германия). С целью повышения способности внутренней стены аккумулировать тепло и регулировать влажностный режим в зимнем саду, она дополнительно обложена камнями из пластичного глинобетона (рис. 14.8-1 и 14.8-2).

Изготовление камней размером 20×14 см осуществлено вручную. Кладка пластичных камней велась без раствора. Таким образом, достигнуто двукратное увеличение аккумулирующей способности стены, а за счет адсорбционных и десорбционных процессов происходит регулирование относительной влажности в помещении. На поверхность стены над застекленным проемом (рис. 14.8-1), нанесена африканская штукатурка, о которой говорится в разделе 11.7.

14.9. Применение глинобетона в ваннных комнатах

Утверждение о том, что ванная комната с глинобетонными стенами является более гигиеничной, чем со стенами, облицованными керамической плиткой, многих удивляет. Однако многолетнее использование ваннных комнат с грунтовыми стенами, а также научные исследования адсорбционных и десорбционных свойств глинобетона, доказали правильность такого утверждения. Наблюдения показали, что зеркало, расположенное на потолке в ванной комнате и «запотевшее» после принятия горячего душа, «отпотевает» только спустя 30—60 минут при закрытых окнах и дверях. В противоположность этому, в ванной комнате с глиносырцовыми стенами зеркало в аналогичных условиях «отпотевает» через 3—6 минут. Причиной является то, что стены из глинобетона поглощают влажные пары из воздуха в помещении, относительная влажность которого превышает 50%, и отдают их, если влажность окружающего воздуха становится менее 50% (раздел 1.4.4). Влажность в помещении с глиносырцовыми стенами быстро снижается, поэтому образование грибка невозможно. Обратная картина наблюдается в ваннных комнатах с покрытием керамической плиткой, где влажность воздуха остается высокой в течение длительного периода, так как поверхность стен герметична. Это приводит к образованию грибка на стыках между плитками и особенно заметно на стыках, обработанных силиконовыми материалами. Предотвратить образование грибка можно за счет введения в смесь формальдегида, но при этом следует помнить, что этот химикат является канцерогенным.

Ванную комнату с глиносырцовыми стенами можно оборудовать душем с обязательной защитой обычными душевыми шторами или специальными панелями (рис. 14.10-4). На рисунке 14.9-1 показаны глиняные обои над ванной. Старую ткань опускают в глинистый шлам, пропитывают раствором, а затем наносят на поверхность и разглаживают вручную. Такую поверхность можно легко сделать водонепроницаемой, если нанести на нее водоотталкивающие вещества,

например, олифу, растворимое стекло, краску и другие покрытия.

14.10. Встроенная мебель и санитарно-технические приборы из глинобетона

На рисунке 14.10-2 изображена наружная стена с внутренней стороны, которая служит одновременно встроенным шкафом. Стена выложена из глиносырцовых изделий в хлопчатобумажной оболочке (раздел 8.4). Пилястры, служащие опорой наружной стены, одновременно являются перегородками для платяного шкафа. Бамбуковый стержень, уложенный при возведении стены, выполняет функцию планки для подвешивания одежды, а также повышает устойчивость боковых перегородок. На противоположной стене в спальняной комнате, изображенной на рисунке 14.10-1, устроены ниши и выступы, предназначенные для размещения личных вещей. Их устройство произведено сразу после кладки пластичных глинобетонных изделий.

В стенах из легких глинобетонных изделий в хлопчатобумажной оболочке (разделы 8.4 и 10.8) можно устраивать полки. Полки и зеркало, изображенные на рисунке 14.10-3, встроены в стену. На рисунке 14.10-4 можно увидеть ванную комнату, в которой душ и ванная обложены легкими глиносырцовыми изделиями.



14.10-1 Стена из глинобетонных изделий



14.10-2 Встроенный шкаф из глинобетонных изделий



14.10-4 Обкладка санитарных приборов глинобетонными изделиями в хлопчатобумажной оболочке, ванная комната жилого дома в Касселе, Германия



14.10-3 Встроенные в глинобетонную стену полки, зеркало, лампа



14.10-5 Ванная комната в жилом доме в Касселе, Германия

Санитарно-технические приборы можно изготавливать из глинобетона. Раковина, показанная на рисунке 14.10-5 выполнена на основе глинистого грунта, гранулометрический состав которого обеспечивает минимальную усадку, а водонепроницаемость достигается введением в смесь 1% водоотталкивающего вещества. Поверхность раковины покрыта тем же водоотталкивающим раствором.

Подставки для размещения мыльниц, пеналов с зубной пастой и щетками, а также основания для встроенной лампы и зеркала, выполнены из глинобетона того же состава. Раковина, изображенная на рисунке 14.10-6, изготовлена из глинобетона с высокой прочностью при растяжении в пластичном состоянии. Большое содержание песка в глинобетонной смеси позволило полностью избежать образования усадочных трещин. Водонепроницаемость глинобетона достигнута за счет введения в смесь олифы в количестве 6%. После высыхания санитарно-технические приборы покрыты одним слоем олифы. Раковина, изображенная на рисунке 14.10-5, эксплуатируется уже более восьми лет. За это время не обнаружено признаков ухудшения свойств глинобетона. В обоих случаях водопроводная подводка и отводы для исполь-



14.10-6 Раковина для умывания из глинобетона в жилом доме в Касселе, Германия

зованной воды установлены в керамическую муфту, на которую нанесена глинобетонная смесь. Глинобетонная обкладка в ванной комнате, изображенная на рисунке 14.10-3, эксплуатируется уже в течение 7 лет. Она выполнена из глинистого грунта, стабилизированного 6% известково-казеинового клея.

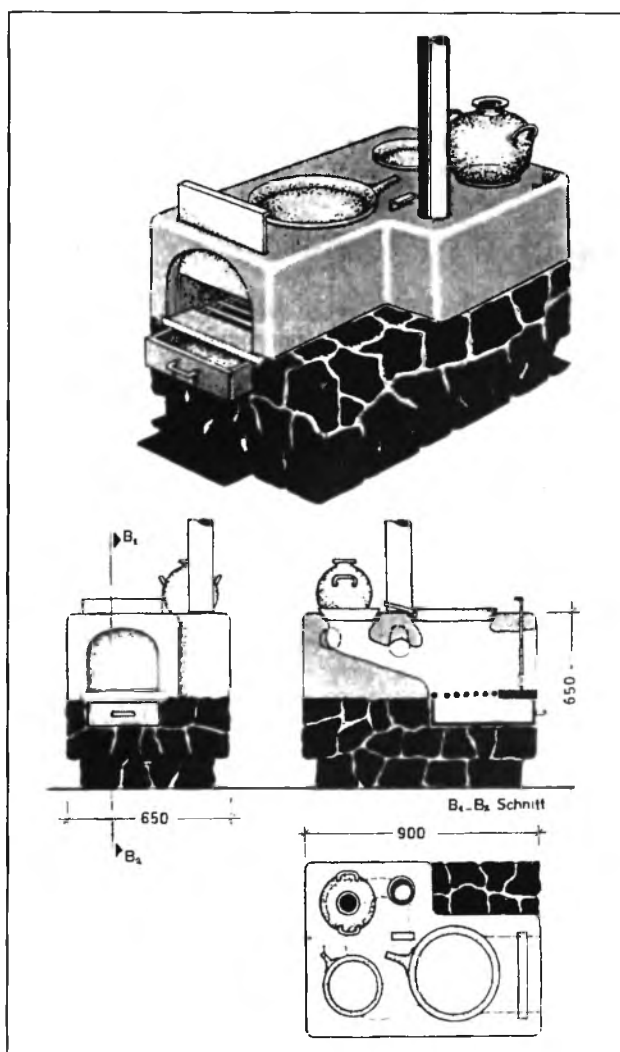
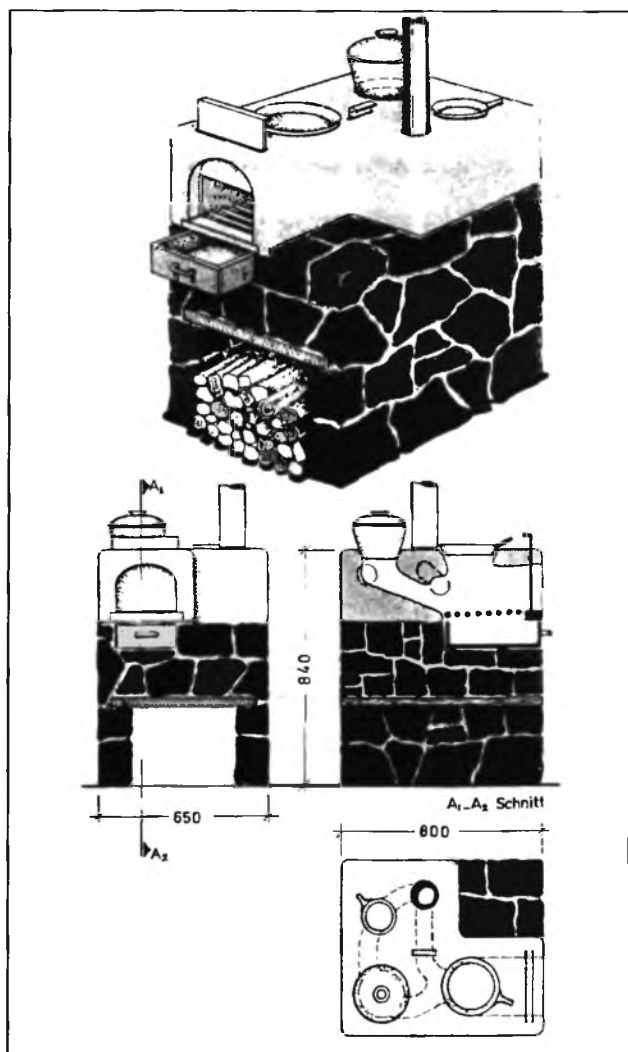
14.11. Печи из глинобетона

14.11.1. Печи с экономичным потреблением древесины

Для развивающихся стран разработано несколько проектов печей, которые позволяют сократить большой расход дров и, как следствие, истребление леса. При устройстве печей из глинобетонной смеси неоптимизированного состава в них возникают трещины, через которые происходит утечка дыма. (Эванс, 1979 г.). В 1978 г. одним из проектировщиков были возведе-

ны в Германии, Гватемале, Эквадоре несколько модернизированных печей с экономичным потреблением древесины.

На рисунке 14.11-1 показаны виды и разрезы печи, адаптированной к европейским требованиям, а на рисунке 14.11-2 — к условиям Гватемалы, где используются более длинные топливники для дров и конфорки с большим диаметром для так называемых сковородок «комал», предназначенных для жарки черепашек. В печи предусмотрены конфорки для приготовления пищи. Первая расположена непосредственно над огнем, ее рекомендуют использовать для жарки, вторая предназначена для хозяйственных нужд, а третья — для поддержания пищи в теплом состоянии. Система оснащена демпферной задвижкой, расположенной непосредственно перед дымоходом. Если ее открыть, то воздуху открывается кратчайший путь из топливника в дымоход. Задвижка используется для



14.11-1, 14.11-2 Печи с экономичным потреблением дров, Гватемала

разжигания огня и увеличения температуры нагрева в топливнике.

При закрытой демпферной задвижке горячий воздух проходит через все камеры. Для регулирования скорости движения потока горячих газов и прекращения их циркуляции в дымоходе установлены задвижки.

При устройстве печи применен следующий состав глинобетона: 10 частей легкого суглинка, 12 частей измельченной соломы, 1 часть опилок и 2 части коровьего навоза подвижной консистенции. На цоколе печи была установлена деревянная опалубка, а затем уложена и уплотнена глинобетонная смесь. Толщина стенок печи не превышает 15 см. В целях обеспечения более быстрого высыхания и экономии материала в блок топки при устройстве печи были заложены кирпичи, удаленные впоследствии после уплотнения смеси и демонтажа опалубки. Применение указанного состава глинобетона, а также соблюдение конструктивного требования к максимальной толщине стенки печи позволили избежать образованиясадочных трещин. Конфорки плиты устроены таким образом, что посуда при приготовлении пищи устанавливается глубже, чем обычно, чтобы нагрев осуществлялся прямым потоком горячего воздуха.

Как правило, каналы, диаметр которых обычно составляет 10 см, расширяются непосредственно перед ка-

мерой. Это приводит к резкому увеличению площади поперечного сечения, снижению скорости подачи воздуха, образованию нежелательной турбулентности. Для того, чтобы компенсировать этот недостаток, необходимо приподнять отметку дна камеры под конфоркой и придать ему выпуклую форму.

14.11.2. Печь с подогреваемым ложем

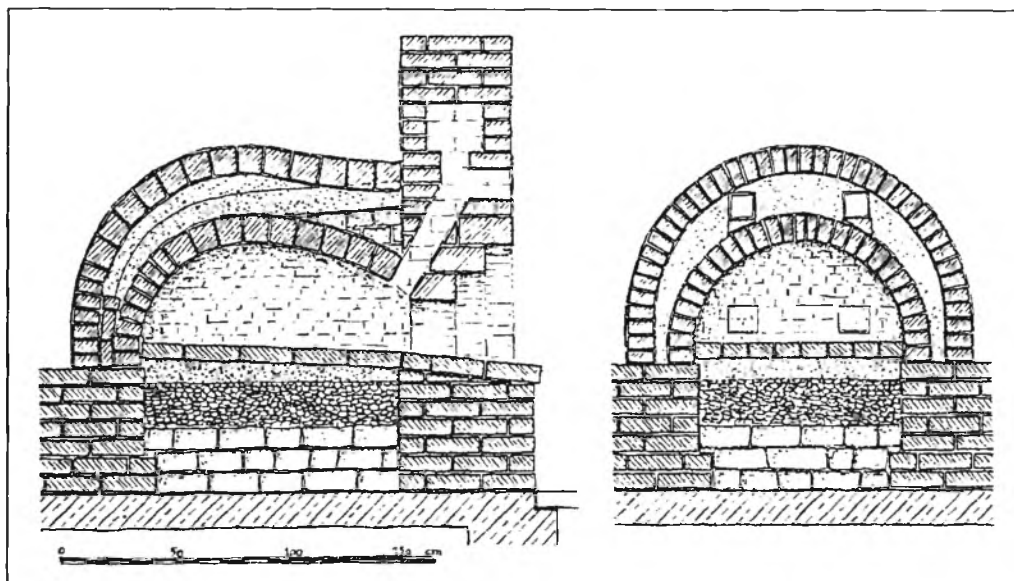
На рисунке 14.11-3 изображена отопительно-варочная печь, возведенная лабораторией ФЕВ. Горячий воздух циркулирует по конвективной системе под ложе, а затем поступает к дымовой трубе. Печь является полностью монолитной. После демонтажа опалубки ее поверхность обработана ножом. Только топливник выложен изнутри огнеупорным кирпичом. Над топливником размещается встроенная плита, на которой готовят пищу. При использовании печи для приготовления пищи поднимают демпферную заслонку, обеспечивая тем самым кратчайший путь для притока горячего воздуха.

14.11.3. Печь для приготовления пищи

На рисунке 14.11-4 представлена печь, которая предназначена для выпечки хлеба и пиццы. На каменный цоколь уложен один ряд грунтового кирпича.



14.11-3 Печь с подогреваемым ложем



14.11-4 Печь для выпечки хлеба и пиццы

Покрытие печи образуют два свода, также выложенные из грунтового кирпича. Между сводами находится воздушная полость, которая является теплоизоляционным слоем (Цюрхайд, 1986 г.).

Косвенным методом определения качества уплотнения смеси может служить след от обуви персонала. Уплотнение считается хорошим в том случае, если отпечаток не превышает одного сантиметра.

14.12. Гидроизоляция водоемов из глинобетона

14.12.1. Общие сведения

Применение глинобетона на основе грунтов с высоким содержанием глинистого вещества (свыше 30%) для гидроизоляции водоемов, водохранилищ и прудов является альтернативой широко применяемым на практике синтетическим материалам. Способ устройства гидроизоляции из глинобетона более трудоемкий, но из экологических соображений более предпочтительный. Гидроизоляция из глинобетона должна быть толщиной не менее 10 см и не иметь трещин. В качестве защитного покрытия рекомендуют применять слой мелкого щебня толщиной 10 см, который позволяет растениям закрепить свои корни. В настоящем разделе приводится описание четырех различных способов устройства гидроизоляции из глинобетона в водоемах.

14.12.2. Устройство монолитной глинобетонной гидроизоляции

Глинобетонную смесь карьерной влажности укладывают толщиной 15–18 см на предварительно выровненное дно водоема и уплотняют. Уплотненный слой должен иметь толщину 10–12 см. Уплотнение выполняют либо ручной трамбовкой, либо с помощью механизированных трамбовочных машин, применяемых при строительстве дорог.

14.12.3. Гидроизоляция из кирпича-сырца

В качестве гидроизоляции водоемов применяют сырцовые кирпичи, которые плотно, без пропусков укладывают на основание.

Стыки между кирпичами заполняют глиняным раствором, приготовленным из замоченного сырца. После укладки кирпичи смачивают водой для того, чтобы они разбухли, а затем защищают слоем щебня. Существует другой способ укладки сырцовых кирпичей, который заключается в том, что кирпичи предварительно смачивают в воде для размягчения их поверхности на глубину 1 см, а затем укладывают, плотно прижимая друг к другу.

14.12.4. Гидроизоляция из пластичных глиносырцовых изделий

Менее трудоемким способом по устройству гидроизоляции из глинобетона по сравнению с вышеописанными является укладка пластичных глиносырцовых изделий, изготовленных на ленточных прессах.

14.12.5. Гидроизоляционное полотно

В европейских странах выпускают специальное геотекстильное полотно, которое предназначено для гидроизоляции водоемов и прудов. Оно состоит из двух слоев уплотненного синтетического волокна с прослойкой из бентонитовой глины, содержащей 70% глинистого минерала — монтмориллонита. Масса изделия

составляет от 3,6 до 4,1 кг/м², а толщина — 8—10 мм. При намокании маты увеличиваются на 50%, образуя водонепроницаемый слой.

14.13. Сейсмостойкие глинобетонные здания

14.13.1. Общие положения

Причиной землетрясений может быть движение тектонических пластов или вулканическая активность. Районы земного шара, наиболее подверженные землетрясениям, показаны на рисунке 14.13-1. В Азии зарегистрированы землетрясения силой 8 баллов по шкале Рихтера, а в Андах — силой до 8,7 балла. Ежегодно регистрируются около ста землетрясений силой более 6 и двадцати землетрясений силой более 7 баллов по шкале Рихтера. Каждый год несколько тысяч людей страдают от землетрясений.

На устойчивость зданий и сооружений в основном влияют горизонтальные ускорения, которые создают колебания земли. Вертикальные ускорения, являющиеся причиной сейсмической активности, составляют менее 50% от числа горизонтальных ускорений. Этот раздел посвящен вопросам устойчивости к землетрясениям зданий не выше двух этажей, так как на практике, как правило, глиносырцовые строения не превышают указанной этажности.

В малоэтажных зданиях опасным является то, что во время землетрясений может произойти разрушение стен и обрушение крыши. Главной задачей при строительстве зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах является выполнение конструктивных мероприятий, которые обеспечивают устойчивость стен и крыши.

14.13.2. Конструктивные мероприятия

При проектировании зданий и сооружений для сейсмоопасных зон необходимо учитывать, что сейсмиче-

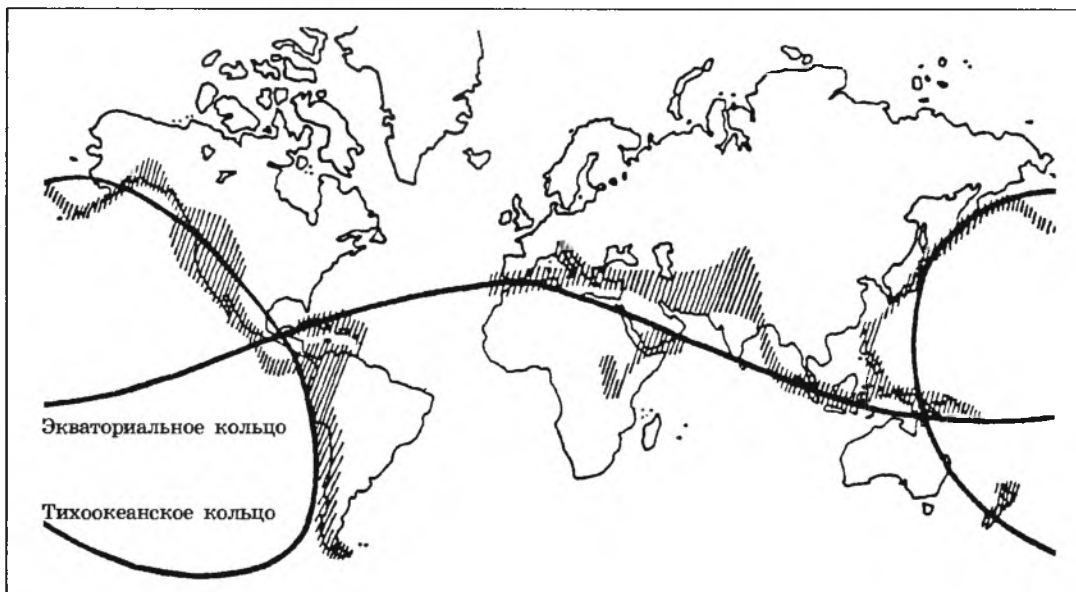
ские силы, воздействующие на объект, пропорциональны массе, а деформации значительно возрастают с увеличением высоты строения. Поэтому проектируют первый этаж кирпичным, а второй — легким с применением каркасной системы. В любом случае, не следует при устройстве кровли применять покрытие из каменных плит или кирпичей.

Разрушение стен при землетрясении можно объяснить тем, что они:

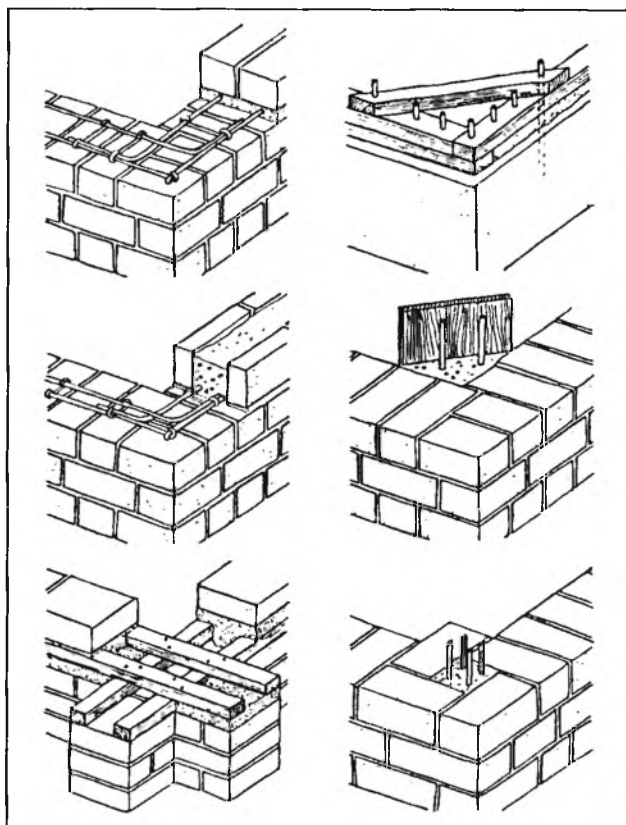
- не имеют замкнутой кольцевой балки,
- не обладают достаточным пределом прочности при изгибе и сдвиге, а дверные и оконные проемы ослабляют их конструкцию.

При сейсмическом воздействии силы концентрируются на углах проемов, вызывая образование трещин. Для того, чтобы уменьшить опасность разрушений при землетрясении, необходимо выполнять следующие мероприятия:

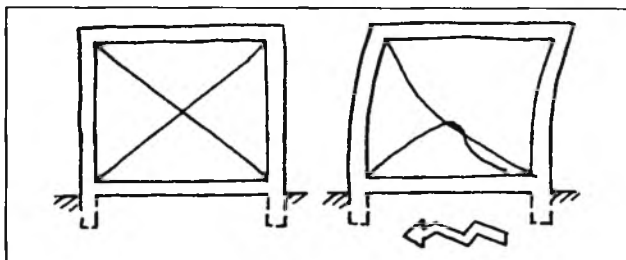
1. Здание должно быть отдельно стоящим.
2. Резонансная частота сооружения не должна совпадать с частотой колебания основания во время землетрясения. Поэтому основанием для тяжелых глиносырцовых монолитных зданий должны служить не скальные породы, а песчаные или глинистые грунты. Легкие сооружения безопаснее возводить на скальном основании.
3. Конструктивные части здания не должны располагаться на различных уровнях, а также не следует возводить их разными по высоте. Если все-таки этого избежать не удастся, конструктивные части необходимо возводить отдельно стоящими, так как здания разной высоты имеют различные резонансные частоты и должны колебаться независимо друг от друга.
4. Конструктивная схема здания должна быть максимально компактной. Его круглая форма обеспечивает большую, по сравнению с прямоугольной, устойчивость (раздел 14.13.3).



14.13-1
Сейсмоопасные
зоны,
Хоубен,
Гуйлауд, 1984 г.



14.13-2 Возможные варианты укрепления углов здания



14.13-3 Разрушение ребер жесткости при землетрясении

5. Фундамент выполняет функцию жесткой круговой балки, поэтому в необходимых случаях его устраивают из железобетона.
6. Фундамент, стены и крыша должны быть прочно связаны друг с другом. Связи должны выдерживать возникающие усилия сдвига.
7. Стены должны быть устойчивыми к возникающим усилиям сдвига и изгиба. Кладку стен нужно выполнять на растворе высокой прочности, которым необходимо полностью заполнять швы.
8. Толщина несущих кирпичных стен должна составлять минимум 30 см, а высота — не превышать их восьмикратную толщину.
9. Кирпичные стены должны быть усилены через каждые 4 м с помощью столбов или колонн сечением 30×30 см.

10. Углы здания, соединения между продольными и поперечными стенами, а также дверные проемы необходимо укрепить вертикальными стойками из дерева, стали или железобетона для того, чтобы горизонтальные ускорения не могли разрушить конструктивные элементы.
11. Стены должны быть усилены кольцевой балкой, которую необходимо прочно к ним прикрепить. Дверными и оконными перемычками должна служить кольцевая балка.
12. Масса крыши должны быть по возможности небольшой.
13. При куполообразных и сводчатых крышах сдвигающее усилие должны принимать круговые балки, стойки или анкера.

На рисунке 14.13-2 показаны возможные варианты укрепления углов здания.

Существуют два основных принципа проектирования зданий на устойчивость к землетрясениям. Первый и наиболее распространенный принцип заключается в том, что на основе расчета конструктивных элементов зданий и их соединений создается прочное и устойчивое сооружение, которое выдерживает напряжения и деформации от воздействия сейсмической нагрузки. Второй принцип проектирования состоит в том, что создают гибкую каркасную систему здания. Кинетическая энергия сейсмического удара рассеивается в результате деформации здания. Этот подход является наиболее дальновидным. Кроме того, он позволяет минимизировать материалы и затраты. Если каркасная стена, укрепленная жесткими связями, испытывает горизонтальный удар справа, как показано на рисунке 14.13-3, концентрация напряжений возникнет на обоих концах связи между левой нижней и правой верхней частями конструкции, что впоследствии может привести к разрушению стены. Тогда как в случае с гибкой каркасной системой без связей ни один конструктивный элемент не испытывает перегрузки, поэтому деформации обычно происходят без разрушения стены. Очевидно, что во втором случае стеновой материал, уложенный в каркасную конструкцию здания, должен быть не хрупким. Таким образом глиноплетневые стены менее подвержены разрушению по сравнению с кирпичными. На рисунке 14.13-4 показан дом в Гватемале после сильного землетрясения, который не разрушился благодаря своей гибкой каркасной системе.

14.13.3. Влияние формы здания на устойчивость при землетрясении

В рамках исследовательской работы, проведенной в Касельском университете, были изготовлены модели зданий различной формы, которые подвергались сейсмическим воздействиям аналогичным при землетрясении. Разработанная методика испытаний включала в себя применение груза массой 40 кг, подвешенного на направляющей длиной 5,5 м. Этим грузом воздействовали на модели глиносырцовых зданий (рис. 14.13-5). Сравнительные исследования квадратной и круглой



14.13-5



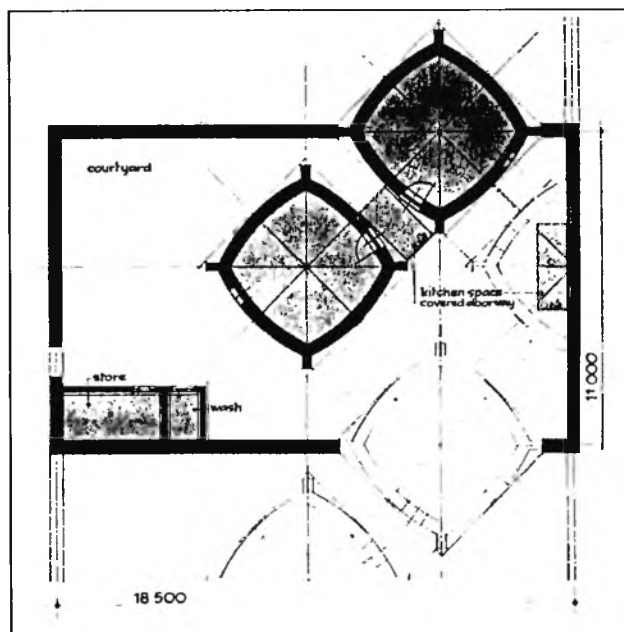
14.13-4 Дом с глиноплетневыми стенами после сильного землетрясения, Гватемала



14.13-6



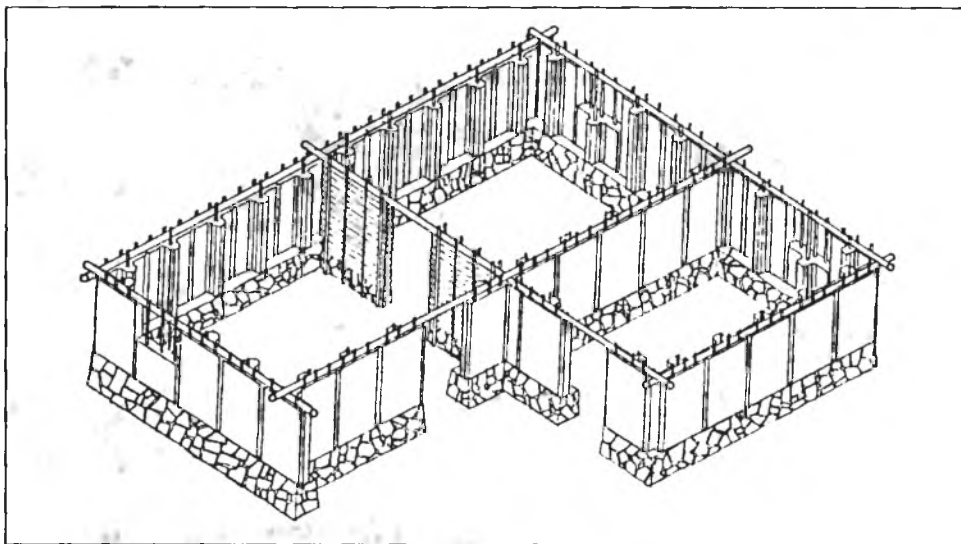
14.13-5—14.13-7 Испытание квадратных и круглых моделей глиносырцовых домов на устойчивость к землетрясениям



14.13-8 Глиносырцовые дома, устойчивые к землетрясениям, Афганистан, Сибтан, 1982 г.



14.13-9



14.13-10

форм зданий показали, что последняя обладает более высокой устойчивостью к землетрясениям.

После четырех ударов две стены модели квадратного здания были разрушены (рис. 14.13-6), тогда как круглая модель не разрушилась даже после семи ударов (рис. 14.13-7) (Яздани, 1985 г.).

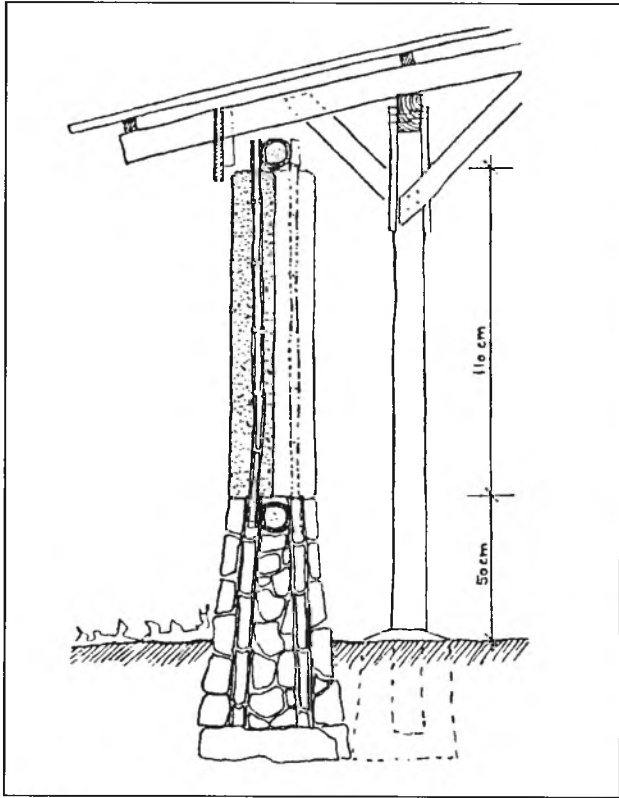
Сайд Сибтан построил в Афганистане несколько домов, устойчивых к землетрясениям. Эти здания имеют выпуклые наружные стены, углы которых дополнительно усилены опорами (рис. 14.13-8). Достигнутая устойчивость домов к землетрясениям не уступает устойчивости круглых зданий (Сибтан, 1982 г.).

14.13.4. Монолитные глинобетонные стены, армированные бамбуком

Технология возведения монолитных глинобетонных стен, армированных бамбуком, была разработана в 1978 г. в рамках научно-исследовательской работы, проведенной лабораторией FEB, и внедрена при участии университета (UFM), а также Центра экологических технологий (CEMAT) в Гватемале (рис. 14.13-9—14.13.13).

В ходе реализации проекта монолитные глинобетонные стены, армированные бамбуком, возводили высотой на весь этаж при ширине 80 см. Во время строи-

14. Конструктивные решения частей глиносырцовых зданий



14.13-11



14.13-12



14.13-9—14.13-13 Здание, устойчивое к землетрясениям, с монолитными глинобетонными стенами, армированными бамбуком, Гватемала, 1978 г.



14.13-14



14.13-15

14.13-14 Недорогое жилье, ФЕВ, 1978 г.

14.13-15 Возведение грунтовой стены в тканевой оболочке

14.13-16, 14.13-17 Элементы стены заводского изготовления



14.13-16



14.13-17



14.13-18



14.13-18, 14.13-19 Стена из глинобетонных изделий в джутовой оболочке, ФЕВ, 1978 г.

тельства использовалась Т-образная металлическая опалубка, шириной 80 см, высотой 40 см и толщиной от 14 до 30 см (рис. 14.13-12). Устойчивость отдельных элементов стены обеспечивалась бамбуковой арматурой толщиной 2—3 см и Т-образной формой стенового элемента.

Арматура стеновых элементов была связана с бамбуковыми кольцевыми балками, находящимися в верхней части конструкции стены и в бутобетонном цоколе.

Стеновой элемент имеет ребро жесткости, благодаря которому устойчивость конструкции к горизонтальным ускорениям при землетрясении в четыре раза выше по сравнению с обычной 14-сантиметровой стеной. После высыхания монолитного глинобетона между стеновыми элементами появлялся вертикальный 2-сантиметровый зазор, который затем зачеканивали глиняным раствором. Деформационный шов обеспечивает независимые колебания каждого стенового элемента во время землетрясения.

При землетрясении деформационные швы раскрываются, стеновая конструкция деформируется и рассеивает сейсмическую кинетическую энергию, не вызывая при этом разрушений. Нагрузку от крыши несут опоры, которые установлены в 50 см от стен с внутренней стороны (рис. 14.13-11). Таким образом, крыша является независимой от стеновых конструкций. Для защиты наружных стен от атмосферных воздействий глинобетонная поверхность покрашена двумя слоями известковой краски, которая состоит из 1 мешка гидравлической извести, 2 кг поваренной соли, 1 кг квасцов, 1 кг жирного глинистого грунта и около 40 литров воды (Минке, 1980 г.).

14.13.5. Грунтовые стены в тканевой оболочке

В рамках научно-исследовательской работы, начавшейся в 1978 г. в лаборатории ФЕВ, были разработаны технологии возведения стен с использованием тканевых материалов, заполненных глинистым грунтом. При возведении недорогих зданий и сооружений, предназначенных для эксплуатации в сейсмоопасных районах развивающихся стран, применяли разные конструкции стен. Наружная стена, показанная на рисунке 14.13-15, состояла из деревянных опор, к внутренней стороне которых крепились джутовая ткань.

Внутренняя полость ткани заполнена глинистым грунтом. Возведенную стену можно увидеть с правой стороны экспериментального здания на рисунке 14.13-14.

Текстильную оболочку с несущими элементами можно изготовить в заводских условиях длиной до 10 метров. Она легко транспортируется (рис. 14.13-16 и 14.13-17). Наружные стены, изображенные на рисунке 14.13-18, выкладывали из глинобетонных изделий в джутовой оболочке. Джутовую ткань обрабатывали несколькими слоями известковой краски для того, чтобы предотвратить гниение материала и придать поверхности водонепроницаемость.

В рамках совместного проекта, в котором участвовали лаборатория ФЕВ, UFM и СЕМАТ в 1978 г., в Гватемале был возведен экспериментальный дом площадью 55 м². В качестве стенового материала использованы глинобетонные изделия в джутовой оболочке диаметром 10 см (рис. 14.13-20—14.13-22). В качестве наполнителя в оболочку был уложен глинопемзобетон.

Изделия обрабатывали известковым молоком для предотвращения гниения ткани, а затем укладывали в стену между двумя вертикальными опорами, установленными на расстоянии 2,25 метра.

Дополнительную устойчивость стен обеспечили бамбуковые стойки, установленные вертикально с шагом 45 см. После того, как стены были возведены, их дополнительно покрыли известковой краской, которая состояла из 1 мешка гидравлической извести, 4 кг поваренной соли, 2 кг квасцов и 30 литров воды.

Конструкция крыши опирается на стойки, которые находятся на расстоянии 50 см от наружных стен с внутренней стороны. Затраты на строительство экспериментального дома оказались в два раза меньше затрат на строительство здания со стенами из бетонных блоков.

Информация о стенах, возведенных из глинобетонных изделий в хлопчатобумажной оболочке, приводится в разделах 10.8 и 14.10.



14.13-20



14.13-21



14.13-20—14.13-22 Недорогое жилье, Гватемала, 1978 г.

15. Новое строительство из глинобетона

15.1. Общие сведения

Во внешнем оформлении современных зданий, в которых основным строительным материалом является глинобетон, не обязательно должны присутствовать какие-либо отличительные признаки. Такие дома могут быть традиционными и современными, незамысловатыми и утонченными, скромными и эксклюзивными. В холодных климатических зонах глинобетон, как правило, не виден снаружи, так как его утепляют, а за-

тем устраивают вентилируемые фасады с защитой от атмосферных осадков. Но в оформлении интерьера можно увидеть разнообразное применение глинобетона. В данной главе представлены проекты домов, которые построены в разных климатических зонах. Некоторые современные дома покрыты сводами и куполами из грунтовых кирпичей, о которых упоминалось в разделе 14.7.10. В данной главе даны примеры не только жилых домов, но и офисного здания, детского сада, школ, церкви и оздоровительного центра.

15.2. Жилой дом, Хёрнеркирхен, Германия

Жилой дом включает в себя 2-этажный зимний сад. Внешний вид здания привлекает внимание благодаря правильным фасадам с точно выдержанными пропорциями. Фундамент — монолитная бетонная плита, которая уложена на песчаную подушку. На бетонную плиту уложены жесткие минераловатные плиты, а затем легкая глинокерамзитобетонная смесь толщиной 14 см, чем обеспечен надлежащий уровень термического сопротивления конструкции пола. Ковровое покрытие на основе кокосового волокна приклеено натуральным латексом. Для перекачивания легкой глинокерамзитобетонной смеси применялся бетононасос. При этом двое рабочих за один час укладывали 2 м³ смеси. Наружные стены представляют собой деревянный каркас, заполненный легким глинокерамзитобетоном, с дополнительной теплоизоляцией из жестких минераловатных плит. Наружное покрытие стен выполнено из деревянной вагонки. Устроенная в стене воздушная прослойка позволяет мигрировать наружу образовавшемуся конденсату. Стены возведены хозспособом.

Технические характеристики

Фундамент: монолитная бетонная плита.

Пол первого этажа: жесткие минераловатные плиты 4 см, легкий глинокерамзитобетон толщиной 14 см; ковровое покрытие на основе кокосового волокна, в помещениях с повышенным уровнем относительной влажности — плитка на пробковой основе.

Покрывтие пола второго этажа: деревянный настил
Наружные стены: деревянный каркас со стойками 12×12 см, легкий глинокерамзитобетон толщиной 18 см; жесткие минераловатные плиты 6 см; воздушная прослойка 4 см; деревянная вагонка.

Внутренние стены: деревянный каркас со стойками размером 12×12 см; кладка из кирпича.

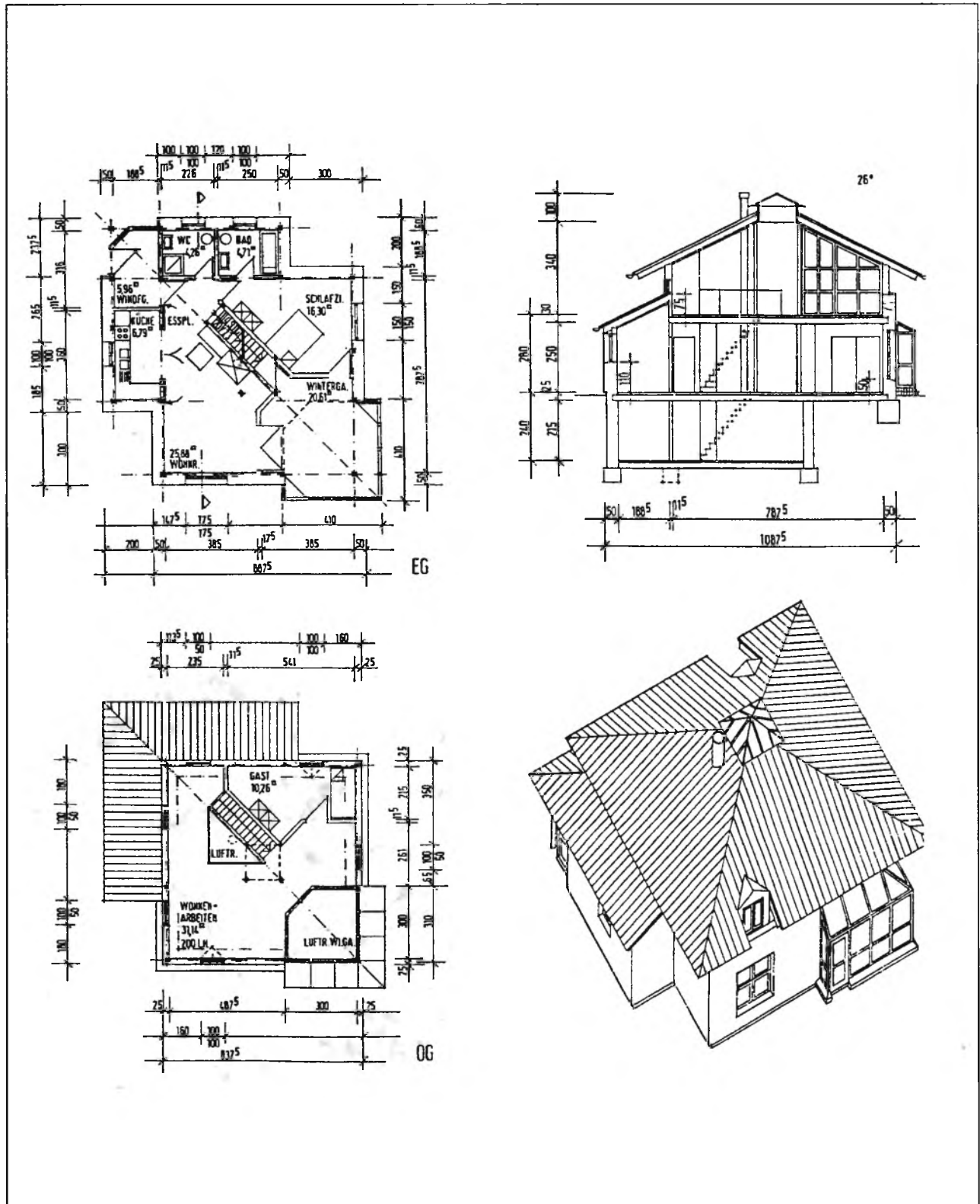
Архитектор: Дирк Боемер, Гамбург, Германия.

Год завершения строительства: 1987-й.

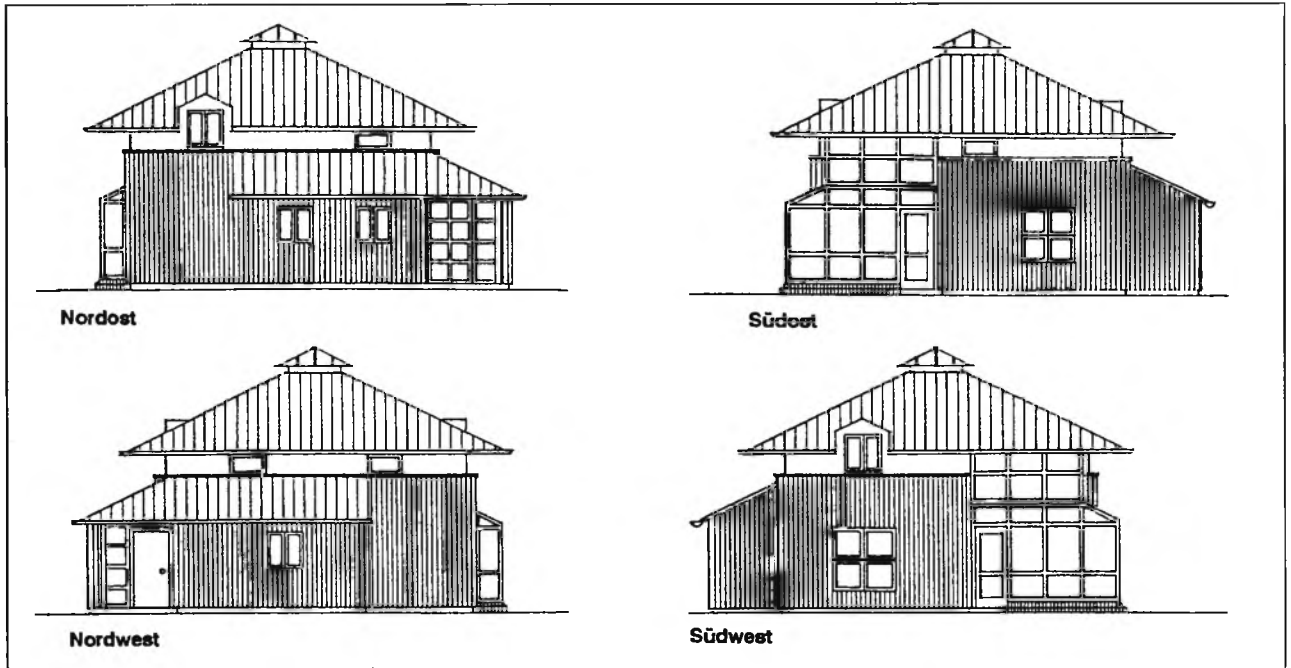
Общая площадь: 116 м².



15.2-1



15.2-2



15.2-3

15.3. Жилой дом со студией, Зиген, Германия

Архитектор Юрген Крист построил себе в Зигене дом своей мечты. Внутренний интерьер дома состоит из деревянного каркаса и светлоокрашенных стен из грунтового кирпича. В доме имеется 2-этажная гостиная с галереей и зимний сад. Снаружи внимание привлекает форма зеленой крыши.

Архитектор: Юрген Крист, Германия.
Год завершения строительства: 1987-й.
Общая площадь: 155 м² + 57 м² (студия).

Технические характеристики

Фундамент: ленточный, бетонный.

Наружные стены: силикатный кирпич, легкий глинокерамзитобетон с дополнительной наружной теплоизоляцией из базальтовых минераловатных плит, воздушная прослойка, деревянная вагонка.

Внутренние стены: деревянный каркас, заполненный грунтовым кирпичом.

Перекрытие: панели заводского изготовления.

Крыша: утепленный деревянный каркас, грунтовая кровля с верхним декоративным растительным слоем.

15.4. Два смежных дома, Кассель, Германия

Дома с куполообразными крышами (рис.15.4-1) и грунтовыми кровлями органично вписываются в окружающий пейзаж. В планировке домов внимание привлекает расположение комнат. Они расположены вокруг центрального холла, над которым устроена галерея (рис. 15.4-2), и зимний сад. Деревянный каркас внутренних стен выложен из грунтового кирпича. Полки и даже раковина в ванной комнате изготовлены из необожженной глины.

Архитектор: Гернот Минке, Кассель, Германия.
Год завершения строительства: 1985-й.
Общая площадь: 160 м² + 120 м².

Технические характеристики

Фундамент: ленточный, бетонный.

Пол первого этажа: крупный щебень толщиной 27 см, теплоизоляция, глинокерамзитобетон толщиной 14 см, ковровое покрытие.

Наружные стены: грунтовый кирпич, уплотненный глинобетон с дополнительным теплоизоляционным слоем, воздушная прослойка, необработанные деревянные панели (лиственница).

Внутренние стены: деревянный каркас, заложный грунтовым кирпичом.

Крыша: утепленный деревянный каркас (теплоизоляция 12 см), грунтовая кровля (15 см глинокерамзитобетон) с верхним декоративным травяным слоем.

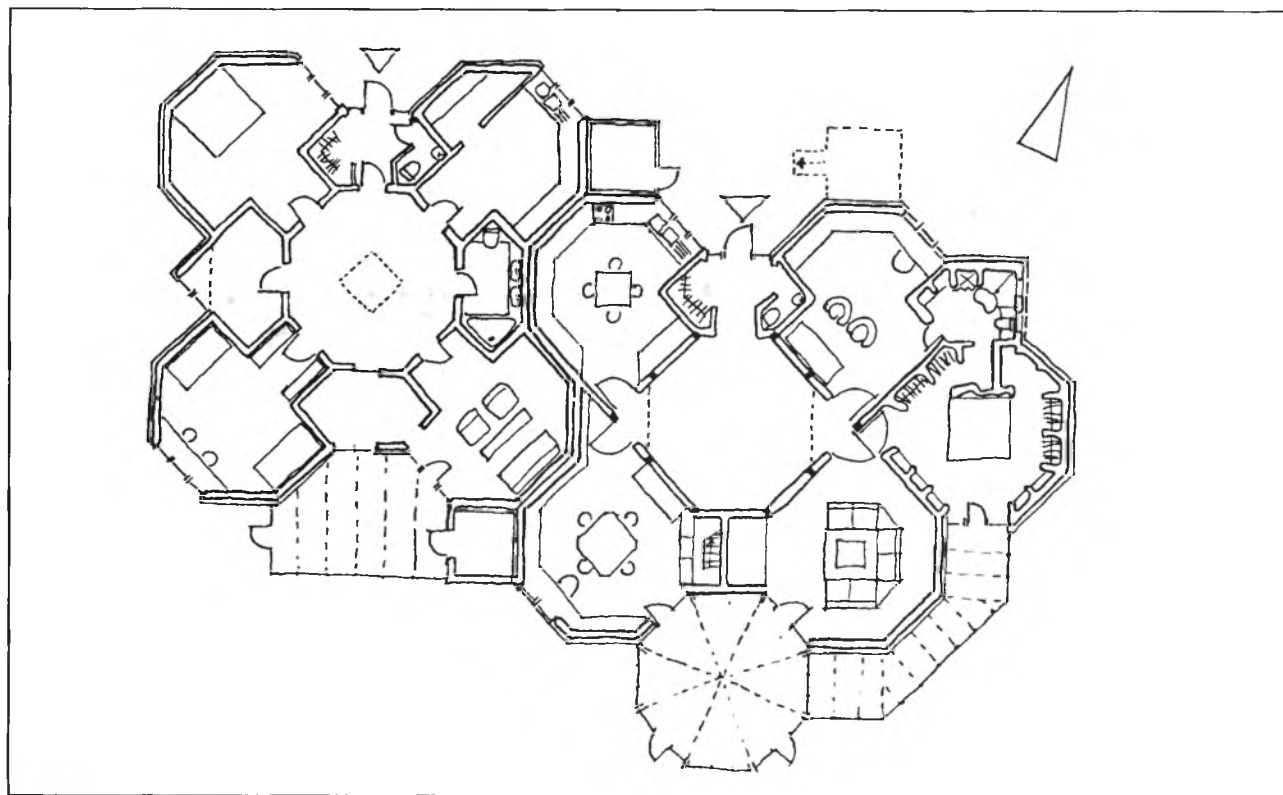
Система отопления: газовый котел.



15.3-1



15.4-1



15.4-2



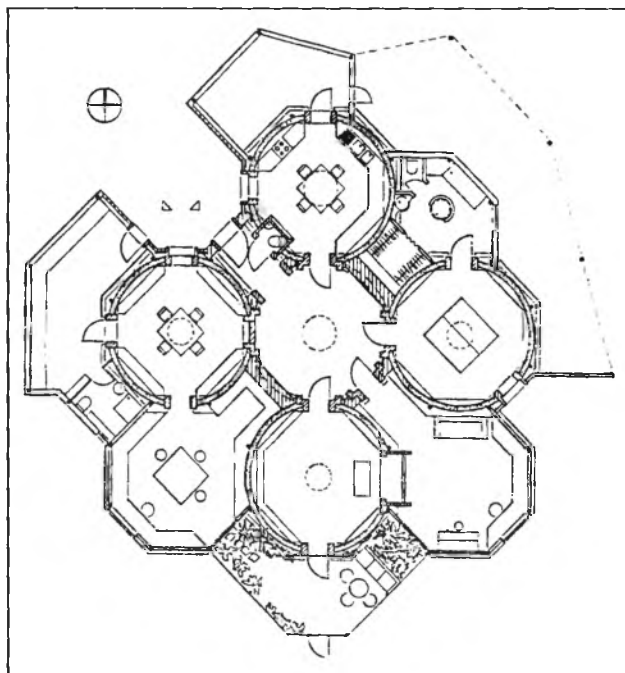
15.4-3



15.4-4



15.4-5



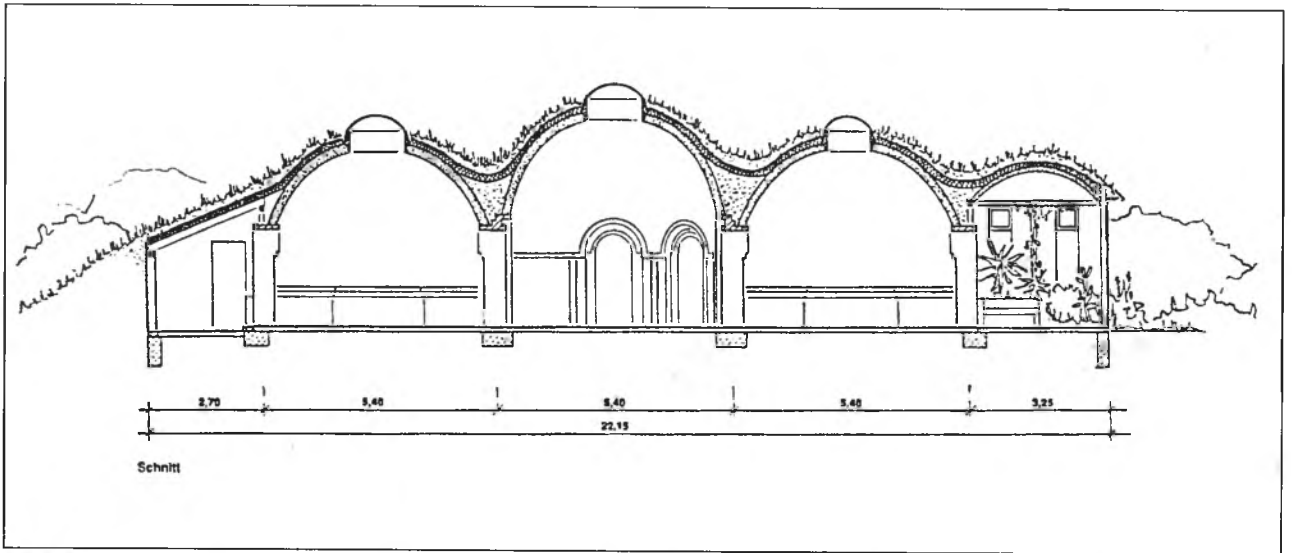
15.5-1

15.5. Жилой дом с офисом, Кассель, Германия

В Касселе (Германия) в экологически чистом районе в 1992 г. было построено здание, состоящее из жилых и офисных помещений. Все главные комнаты, а также ванная комната и зимний сад имеют куполообразные покрытия. Вход перекрыт тремя цилиндрическими сводами, выложенными из грунтового кирпича по технологии, описанной в главе 14.7.8. В центральном холле имеется купол, пролет которого в свету составляет 5,2 м, а высота — 4,6 м (рис. 15.5-4). По центру купола установлен световой фонарь, покрытый стеклопластиком из акрилового стекла. Смежные с холлом четыре комнаты также перекрыты куполами, которые имеют одинаковые пролеты и высоту в свету 4 м. В каждой из комнат имеется центральный световой фонарь и окно (кухня, рис. 15.5-5). Купола выложены из грунтового кирпича при помощи поворотного шаблона (раздел 14.7.7 и рис. 15.5-9). Несмотря на то, что центральный купол берет начало на высоте 1,75 м, кольцевая опорная балка не требуется, поскольку все равнодействующие силы конструкции находятся в пределах середины третьей части ширины подошвы фундамента. Купольные покрытия в ванной комнате и зимнем



15.5-2



15.5-3



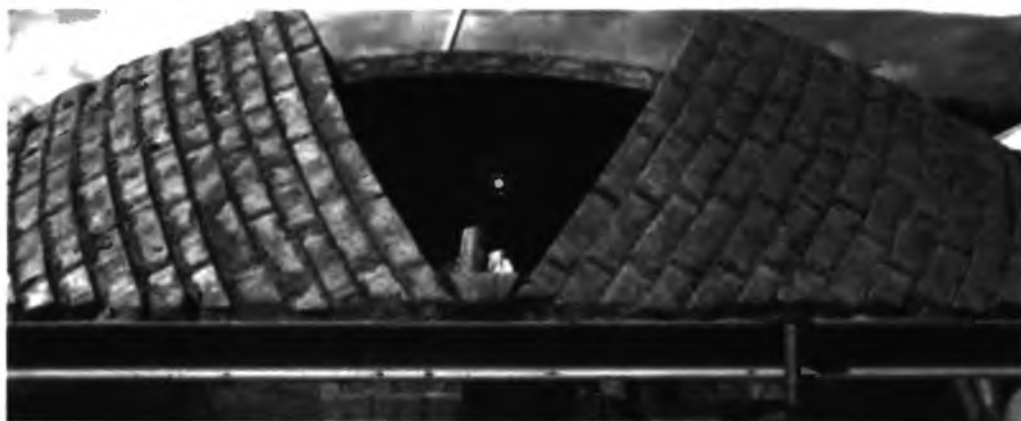
15.5-4



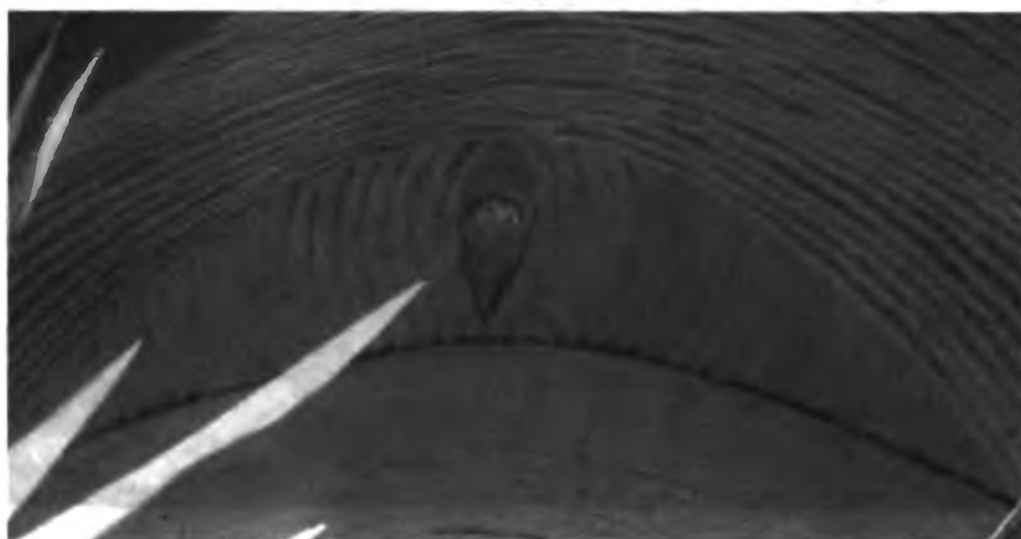
15.5-5



15.5-6



15.5-7



15.5-8



15.5-9

саду, в основании которых лежит неправильный шестиугольник, были возведены афганским способом (раздел 14.7.5), при котором арки выкладывали под углом 40—60° к горизонту (рис. 15.5-6—15.5-8).

Технологическое отверстие, образовавшееся после того, как арки сошлись у основания, было выложено при помощи шаблона, который развернули на 90°. Все купола утеплены минераловатными плитами толщиной 20 см. В качестве гидроизоляции применена пластиковая мембрана толщиной 2 мм, сваренная струей горячего воздуха. Кроме того, мембрана не позволяет прорастать корням растений. Затем уложен грунт толщиной 15 см, который служит субстратом для морозостойких и устойчивых к воздействию сквозняков трав. На рисунке 15.5-10 изображен фрагмент стены зимнего сада, аккумулирующей тепло. Стена устроена из глинобетонных изделий в хлопчатобумажной оболочке (раздел 10.8).

Архитектор: Гернот Минке, Кассель, Германия.
Год завершения строительства: 1993-й.
Общая площадь: 155 м² + 61 м² (офисное помещение).



15.5-10

15.6. Жилой дом, Корбеек-Ло, Бельгия

В данном проекте реализована идея строительства дома с использованием ограждающих конструкций, которые имеют высокое термическое сопротивление. Здесь же внедрены альтернативные источники энергии. В этом компактном доме с зимним садом солнечные коллекторы расположены с южной стороны

здания. Деревянный каркас стен заполнен легким глинофibreбетоном. Защиту от атмосферных воздействий обеспечивает глиняная штукатурка.

Архитектор: Германн Ремес.

Год завершения строительства: 1995-й.

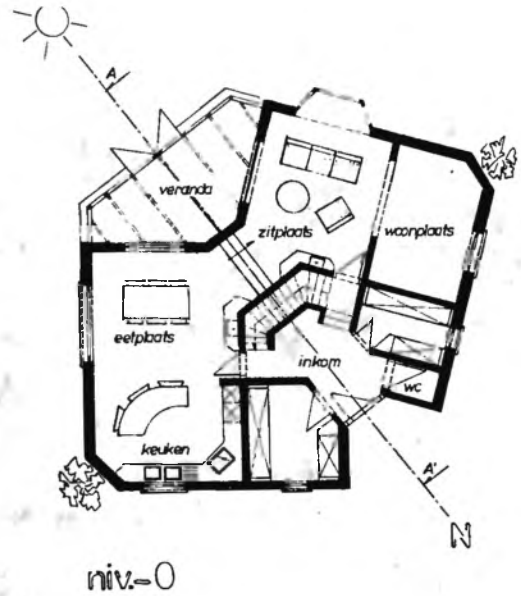
Общая площадь: 160 м².



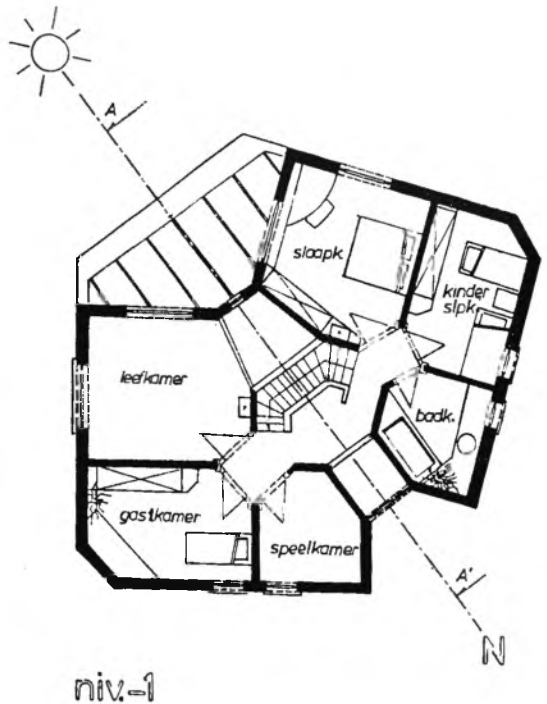
15.6-1



15.6-2



15.6-3



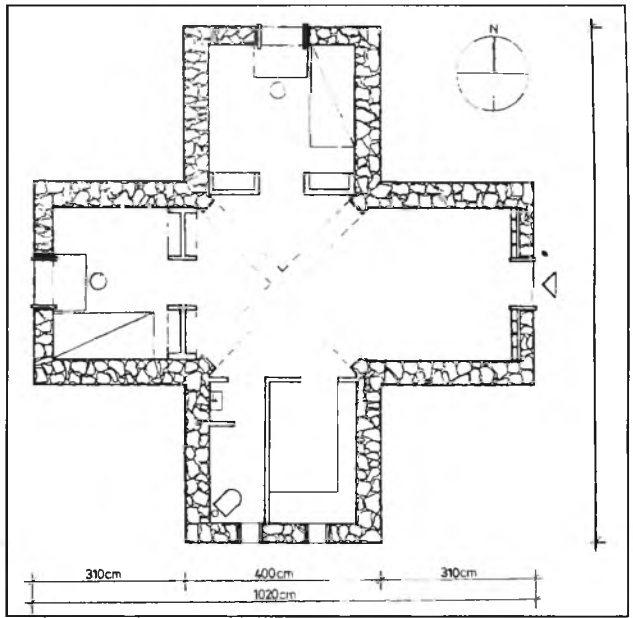
15.6-4

15.7. Общежитие для семинаристов Всемирного духовного университета, Маунт-Абу, Раджастан, Индия

Общежитие для семинаристов Всемирного духовного университета Брахма Кумарис в новом районе университета, расположенного за пределами Маунт-Абу, служит примером строительства дешевого жилья. Здание покрыто двумя перекрестными сводами, которые образуют пространство, где размещаются две спальня, гостиная, небольшая ванная комната и кухня.

Для возведения сводов применен кирпич, изготовленный из местного грунта на прессе. Кладка сводов велась по нубийской технологии (раздел 14.7.4) без применения опалубки. Гидроизоляция устроена из одного слоя рубероида (рис. 15.7-3). Воздушная прослойка и плиты из белого песчаника обеспечивают хороший уровень термического сопротивления покрытия. Наружная стена с восточной стороны выложена из грунтового кирпича и облицована гранитными плитками. Между ними имеется проветриваемая воздушная прослойка. Такая конструкция стены задерживает тепло, поэтому утреннее солнце не может прогреть помещение. Оптимальная конструкция, размеры и положение окон позволяют в летнее время не пропускать солнечные лучи, а в холодный сезон солнце свободно проникает в помещение.

При проектировании здания, его ориентации и внутренней компоновки помещений, учтены все клима-



15.7-1

тические особенности района. Несмотря на то, что окна имеют одинарное остекление, температура помещения летом на 10 градусов ниже наружной температуры.

Снабжение горячей водой для ванной комнаты и кухни обеспечивается за счет солнечного коллектора,



15.7-2



15.7-3



15.7-4

а электричеством — с помощью небольшого ветряного генератора на 500 Вт и солнечными элементами. Автор имеет более рентабельный проект, но он пока еще не реализован. Его модель представлена на рис. 15.7-5.

Архитектор: Гернот Минке, Кассель, Германия.
Энергосистемы: Йоахим Пильц, Маунт-Абу, Индия.
Год завершения строительства: 1993-й.
Общая площадь: 48 м².

Технические характеристики
Фундамент и цоколь: бутовый, ленточный.
Сводчатая крыша: грунтовый кирпич, воздушная прослойка, плиты из песчаника.
Стены: гранитная плитка, воздушная прослойка, грунтовый кирпич.
Внутренние перегородки: грунтовый кирпич.



15.7-5

15.8. Жилой дом в Тасконе, Аризона, США

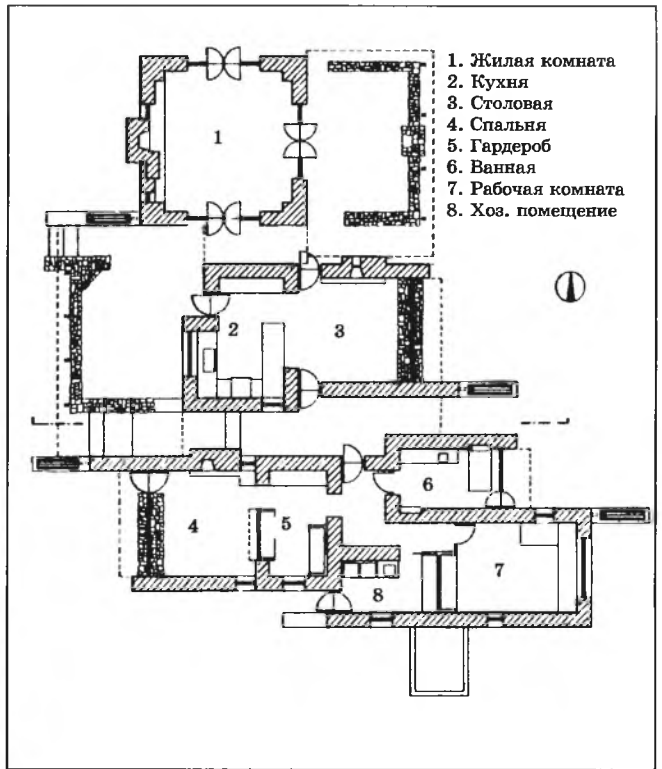
Здание состоит из трех кубических объемов, в котором монолитные цементогрунтовые стены толщиной 60 см являются несущими для скатной крыши. Свободное пространство в доме разделено стеной из грунтового кирпича, стабилизированного незначительным количеством цемента. Эта стена не обработана с обеих сторон.

При возведении наружных монолитных стен в опалубку уложена, а затем уплотнена грунтовая смесь. После демонтажа опалубки получена текстурированная поверхность.

Конструкция и строительство: Поль Вайнер.



15.8-2



15.8-1



15.8-3

15.9. Фермерский дом, Вазирпур, Индия

Одноэтажный дом общей площадью (включая веранду) 206 м² построен на насыпных грунтах и расположен к северу от озера. В зимнее время южная сторона дома не защищена от солнца, а летом от солнца прячутся под легко монтируемыми навесами. Комнаты расположены вокруг центрального внутреннего дворика с небольшим бассейном и кустарниками, поэтому они хорошо проветриваются и сохраняют прохладу. Дом в плане состоит из восьмиугольников и квадратов. Опорой для несущих балок крыши служат каменные столбы. Кровельное покрытие устроено из светлого песчаника. Внутренние перегородки выложены из саманного камня. Наружные стены по периметру обвалованы насыпным грунтом таким образом, что между стеной и наклонными каменными плитами, прислоненными к стене, образована воздушная полость.

В летние месяцы кондиционирование помещений осуществляют через коллектор длиной 60 м и глубиной заложения 3 м от поверхности. Генератором свежего воздуха служит вентилятор мощностью 2 кВт. Максимальная скорость движения воздуха равна 6 м/сек. Пассивная система кондиционирования изображена на рисунке 15.9-5.

Архитекторы: Гернот Минке, Кассель, Германия и ДААТ, Нью-Дели, Индия.

Общая площадь: 206 м².

Год завершения строительства: 1993-й.

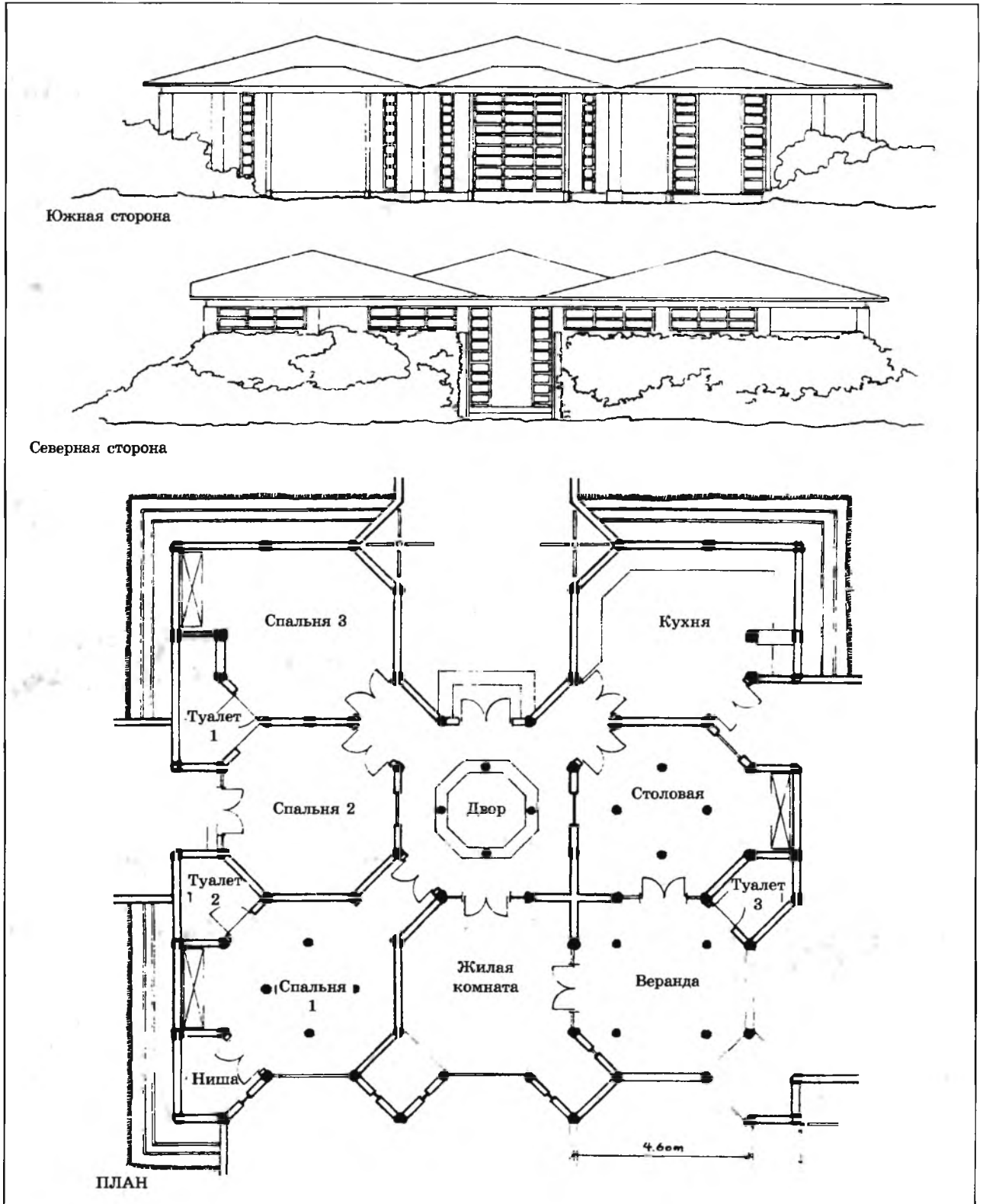
Технические характеристики

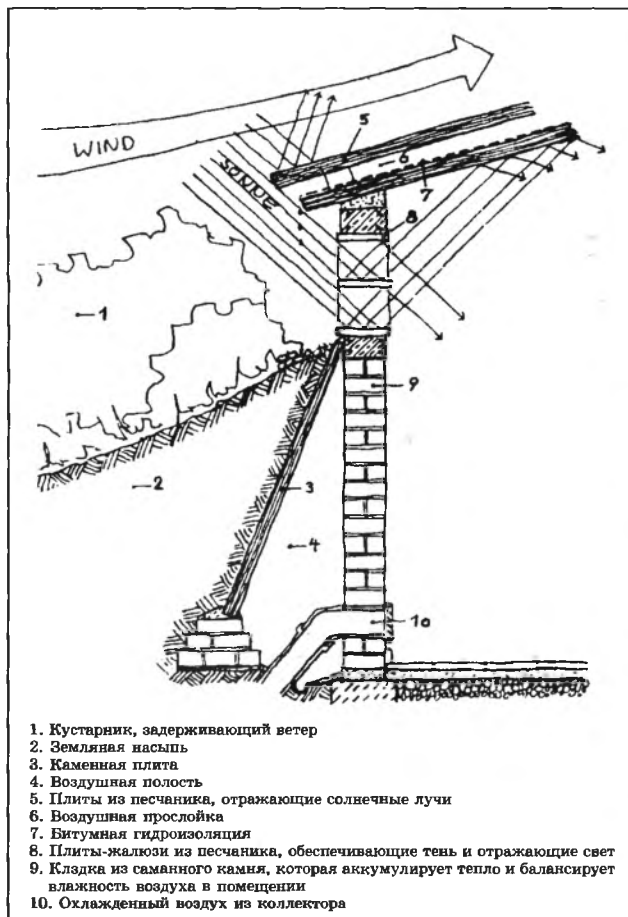
Стены: каменные столбы с кладкой между ними из саманного камня.

Кровельное покрытие: двойной слой плит из песчаника с воздушной прослойкой.



15.9-1





15.9-5



15.9-3



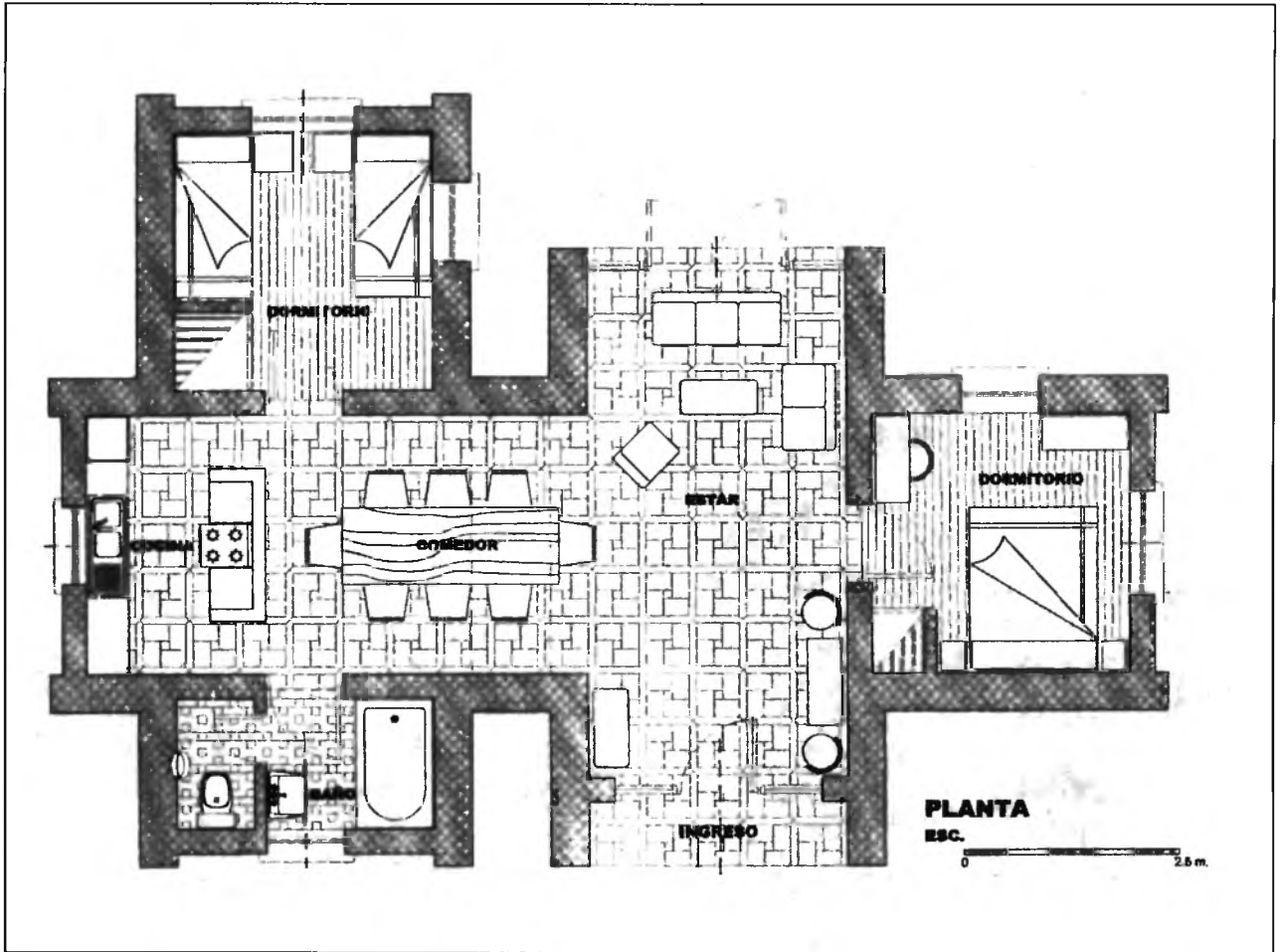
15.9-4

15.10. Жилой дом в Ла-Пасе, Боливия

Дом расположен в пригороде столицы Боливии, на высоте 3700 м над уровнем моря. Фундамент и цоколь выполнены из бутового камня. Стены и сводчатая крыша выложены из саманных камней следующих размеров: 28,5×28,5×8,5 см. Ограждающие конструкции задерживают проникновение теплого воздуха в помещение на 6—8 часов. Солнечная энергия наиболее активна в полдень, но попадает в помещения только вечером или ночью, когда температура наружного воздуха

опускается. На сводчатое покрытие нанесен слой глиняного раствора с водоотталкивающими добавками, который затем покрашен акриловой краской.

Проект: Раул Сандовал, Ла-Пас, Боливия.
Год завершения строительства: 1999-й.
Общая площадь: 84 м².



15.10-1



15.10-2



15.10-3

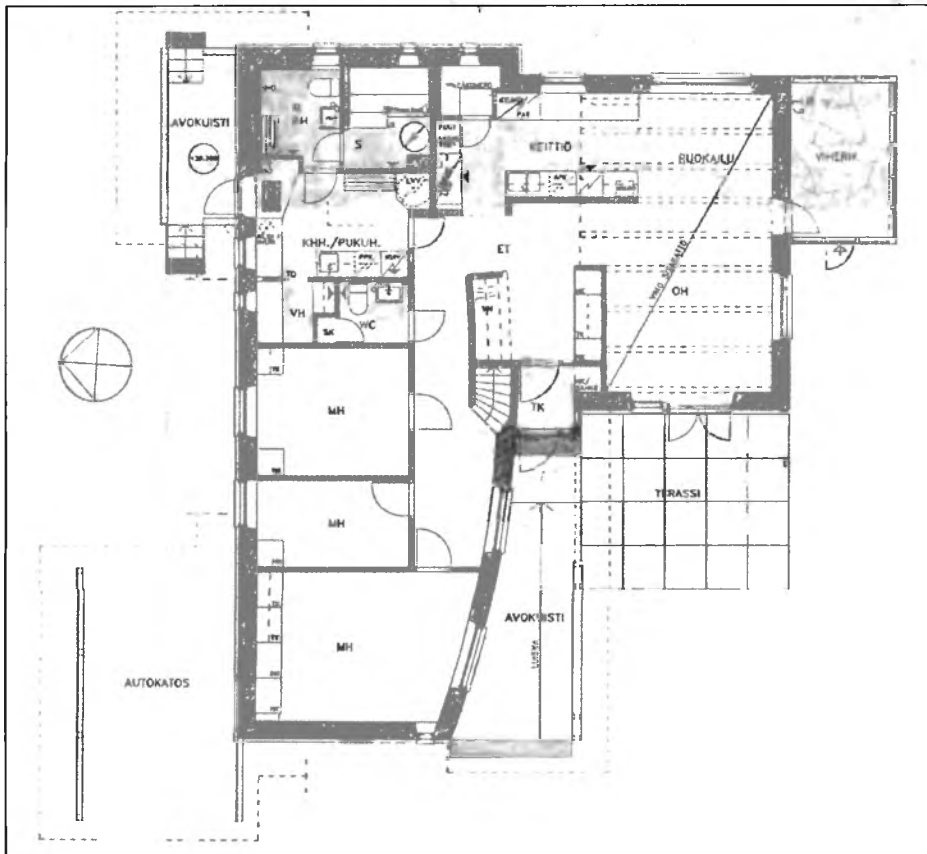
15.11. Жилой дом в Турку, Финляндия

Двухэтажный дом для семьи из пяти человек находится в жилом квартале на окраине города. Ограждающие стены деревянного каркасного здания выложе-

ны из эффективного грунтового кирпича толщиной 40 см. Для защиты от атмосферных воздействий применена деревянная вагонка и известковая штукатур-



15.11-1



15.11-2

ка. Грунтовый кирпич изготовлен на прессе в построчных условиях. Кирпич имел плотность 450 кг/м^3 , коэффициент теплопередачи наружной стены составил $0,28 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$.

*Архитектор: Тойво Ранки, Финляндия.
Год завершения строительства: 1999-й.
Общая площадь: 127 м^2 .*



15.11-3

15.12. Дом Берна Фельзенау, Швейцария

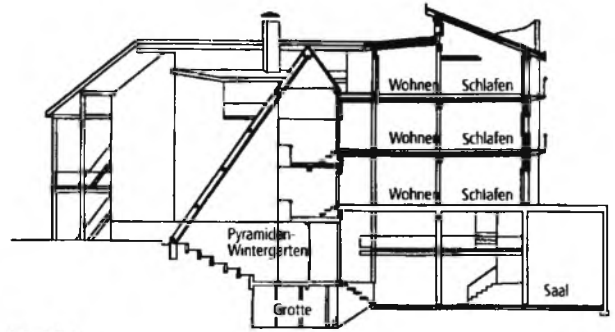
В трехэтажном доме, с зимним садом с южной стороны, расположено шесть квартир. В подвальном помещении имеется несколько общих комнат.

Конструктивно здание представляет собой деревянный каркас с ограждающими самонесущими стенами. Наружные стены толщиной 30 см с северной и восточной сторон возведены из легкого глинобетона и оштукатурены известковым раствором. Стены с южной и западной сторон возведены также из легкого глинобетона и защищены деревянной вагонкой.

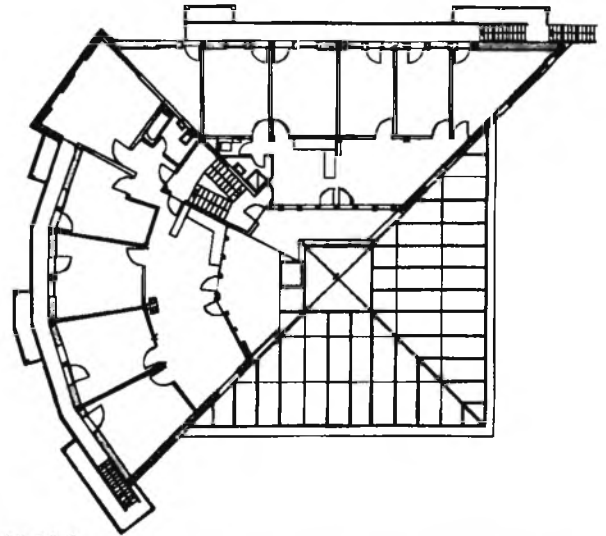
На грунтовое кровельное покрытие уложен декоративный растительный слой.

Архитектор: Рышард Горайек, Швейцария.

Год завершения строительства: 1993-й.



15.12-1



15.12-2

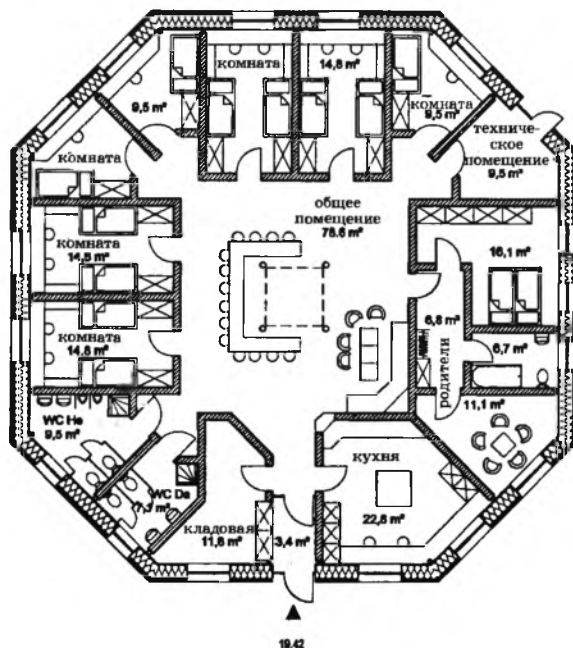


15.12-3

15.13. Детский дом в Калининграде, Россия

Строительство детского дома осуществлено в рамках социальной программы усыновления детей-сирот «Салемская детская деревня». Дом рассчитан на двенадцать приемных детей и двух родителей. Он является частью поселка, в котором располагаются несколько детских домов с садовыми участками. Там находятся хозяйственно-производственные объекты для самообеспечения экологически чистой сельхозпродукцией, а также объекты для профессионально-технического обучения. Проект «Салемская детская деревня» — это направленная в будущее модель сообщества с новыми принципами питания, воспитания и профессионально-технического обучения.

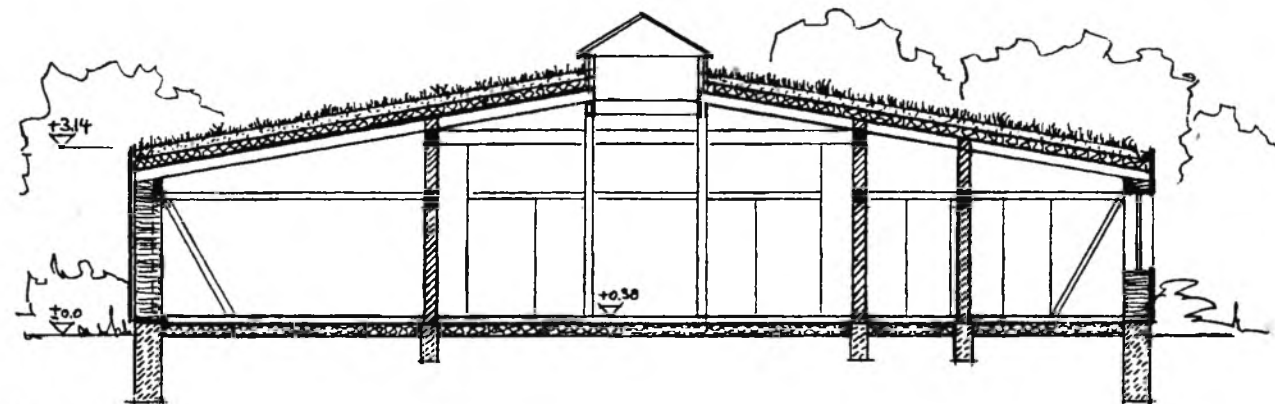
Здание построено из местных возобновляемых материалов (дерево, солома и глина) по энергосберегающим технологиям. Кровля с покрытием из дерна обеспечивает долговечность здания и улучшает его термическое сопротивление. Центральный многофункциональный зал освещается через окно площадью 4 м^2 и служит гостиной, столовой и учебным помещением. Несущий каркас деревянный. Внутренние стены толщиной 24 см выложены из сырцового кирпича. На-



15.13-1



15.13-2



15.13-3

ружные самонесущие стены возведены из соломенных блоков толщиной 50 см. С обеих сторон они оштукатурены глиняным раствором, который обеспечивает противопожарную защиту. Для защиты от атмосферных воздействий стены с наружной стороны защищены деревянной вагонкой из лиственницы. Крыша состоит из несущей деревянной конструкции, теплоизоляции 20 см, насыпного грунта толщиной 15 см с декоративным растительным слоем.

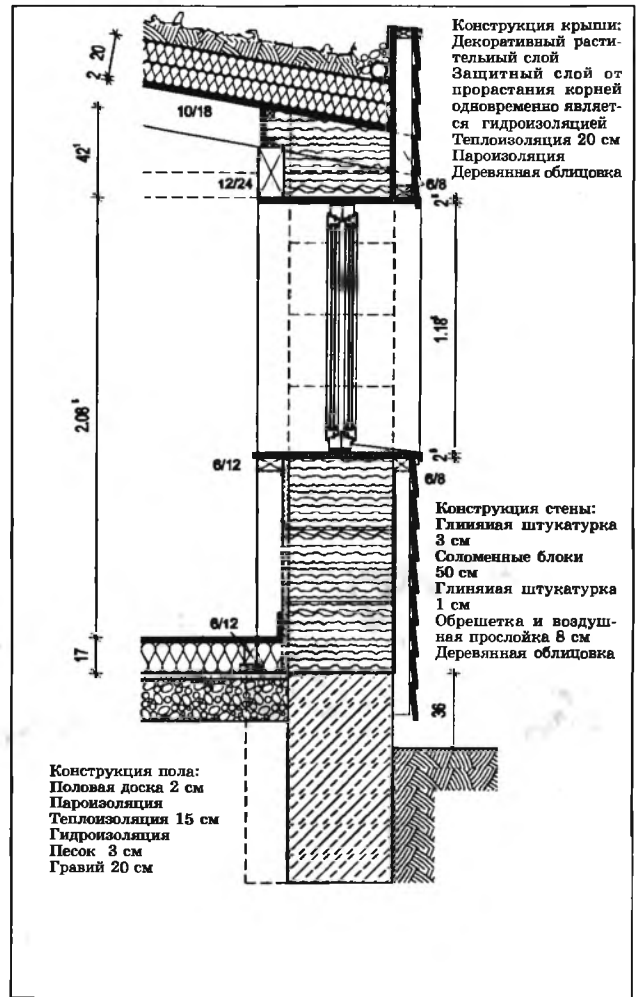
Возведение соломенных стен и штукатурку глиняным раствором выполняли учащиеся-старшеклассники и студенты из Германии и России.

Архитекторы: Гернот Минке, Фридеманн Малке, Кассель, Германия.

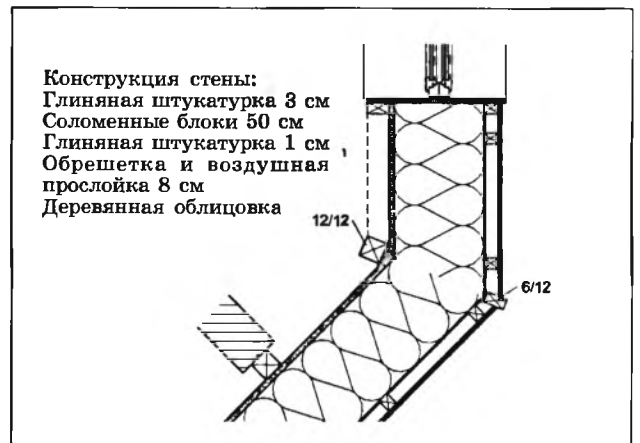
Ответственный исполнитель: Сергей Бочков.

Год завершения строительства: 2002-й

Общая площадь: 264 м².



15.13-4



15.13-5

15.14. Дом на три семьи, Штайн-на-Рейне, Швейцария

Дом представляет собой 3-этажное здание с деревянным каркасом и диагональными связями, обеспечивающими необходимую жесткость. Наружные стены с внешней стороны оштукатурены известковым раствором, который нанесен на легкие древесноволокнистые плиты. В качестве теплоизоляции применена целлюлоза. Внутренняя сторона наружной стены выложена из формованных глинодеревобетонных блоков толщиной 20 см, которые оштукатурены глиняным раствором. Фронтон с наветренной стороны имеет

деревянную облицовку (лиственница) с вентилируемой прослойкой. Внутренние фахверковые стены выложены из грунтового кирпича. Черепичная крыша и балконы на южной стороне спроектированы таким образом, чтобы помещения летом оказывались в тени, а зимой получали достаточно солнца.

Архитекторы: Михаэль Нотхельфер, Уберлинген, Германия.

Жилая площадь:

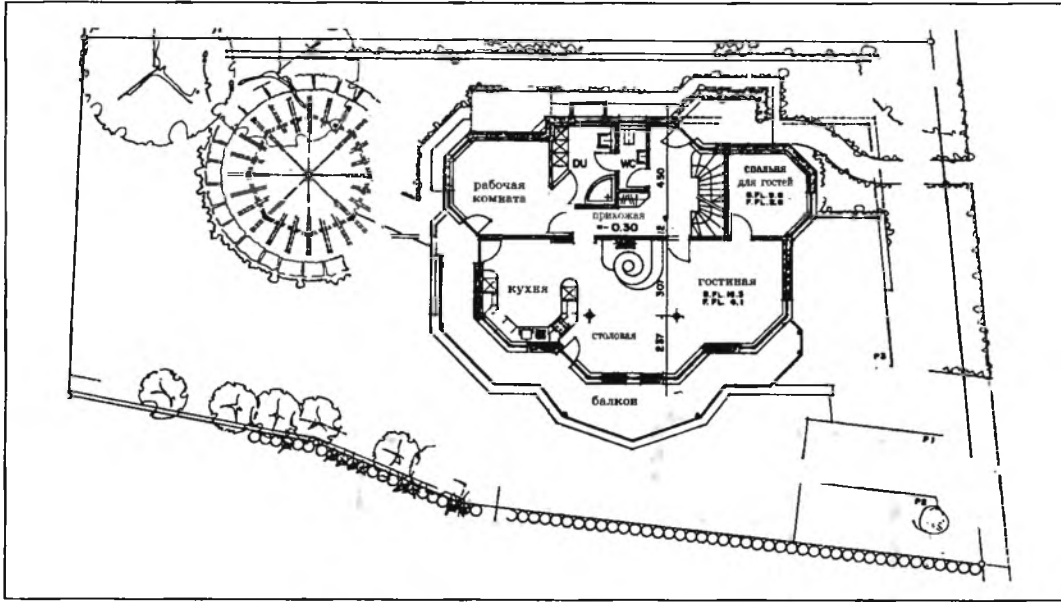
первый (цокольный) этаж 82 м²

второй этаж 118 м²

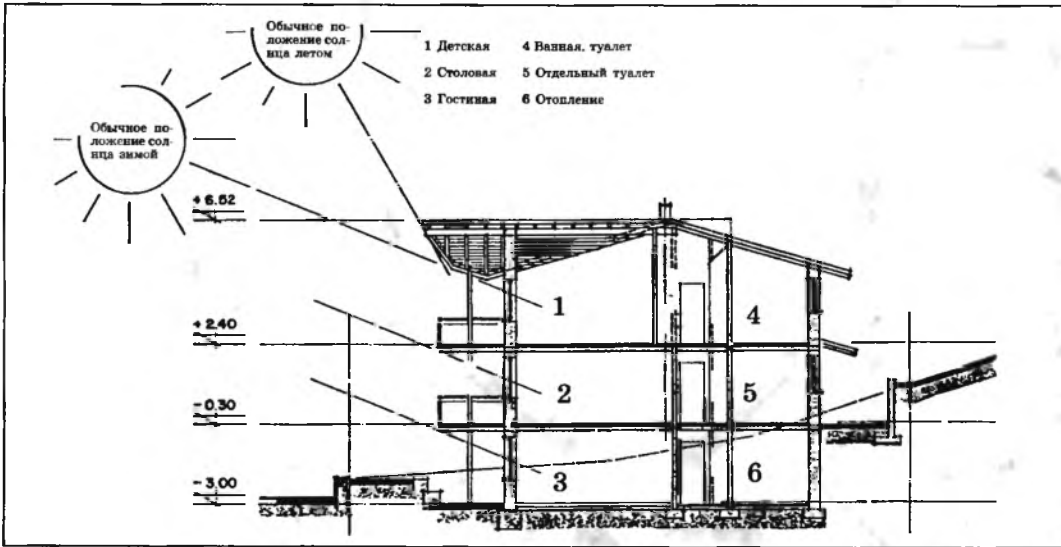
третий этаж 108 м².



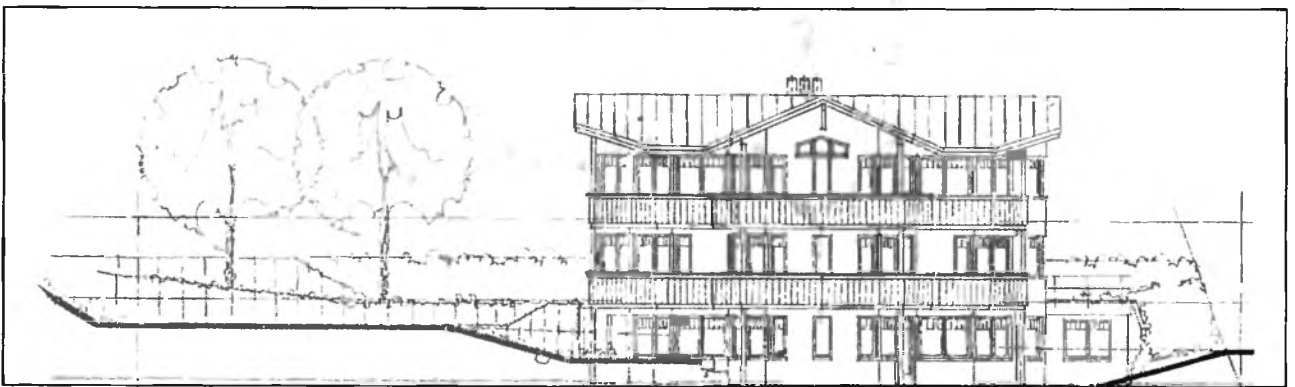
15.14-1



15.14-2



15.14-3



15.14-4

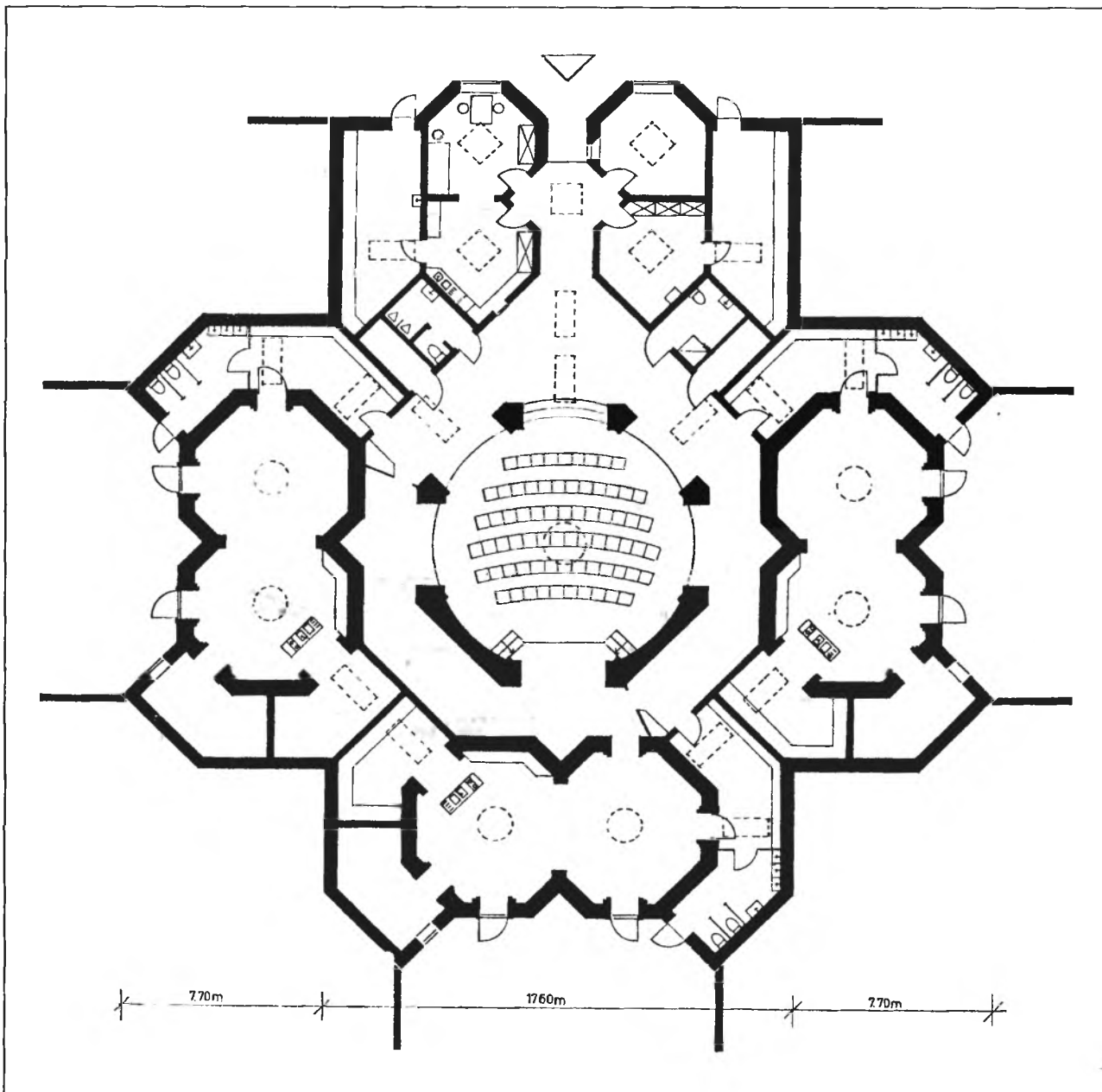
15.15. Детский сад, Сорсум, Германия

Холл здания покрыт куполом из сырцовых кирпичей, изготовленных на ленточном прессе. Кирпич имеет оригинальную форму, благодаря чему в помещении хорошая акустика. Кладка выполнена с выступом каждого кирпича, поэтому акустические волны не фокусируются.

Пролет купола 10 м, а его толщина составляет 30 см

(12 дюймов). Каждое из трех помещений покрыто двумя куполами, сходящимися в центральной арке. Несущие конструкции крыши боковых комнат и коридоров деревянные. Грунтовая кровля толщиной 15 см имеет защитный слой из декоративной травы и гармонирует с окружающей средой.

Архитекторы: Гернот Минке, Кристиан Балке, Касель, Германия.



15.15-1



15.20-2



15.15-3



15.15-4

Год завершения строительства: 1996-й.

Общая площадь: 595 м².

Наружные стены, цоколь: эффективный обожженный кирпич

Крыша куполообразная из сырцового кирпича; деревянная несущая конструкция, утепленная минераловатными плитами толщиной 15 см; гидроизоляционный слой, служащий одновременно защитой от прорастания корней, слой грунта 15 см, декоративная трава.



15.15-5



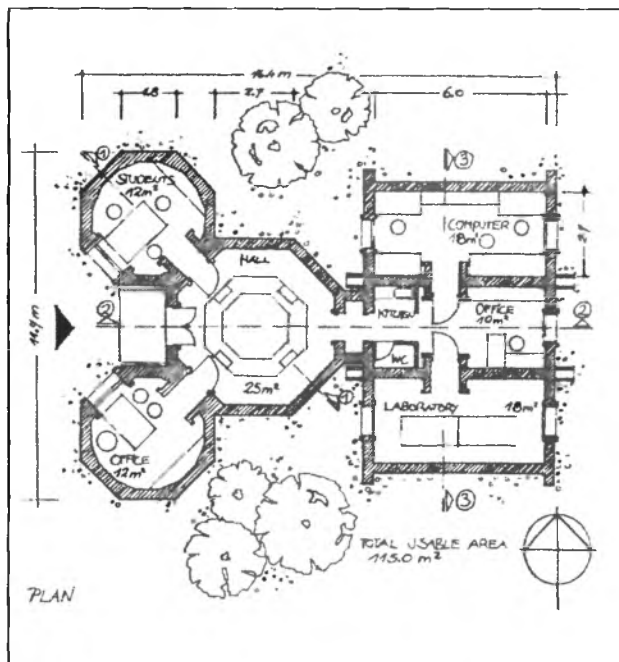
15.16. Офисное здание, Нью-Дели, Индия

Офисное здание, покрытое сводами и куполами из грунтовых кирпичей, внутри которого создается благоприятный микроклимат, служит наглядным примером дешевого строительства.

Здание было построено в рамках научно-исследовательского проекта, финансируемого немецкой организацией «Гате».

В здании с полезной площадью 115 м² расположены офисные помещения и исследовательская лаборатория. Центральный холл используется для проведения семинаров, встреч и выставок.

Три купола возведены из грунтовых стабилизированных кирпичей при помощи поворотного шаблона (рис. 15.16-2), разработанного в лаборатории ГЕВ (раздел 14.7.7). Грунтовые кирпичи изготовлены на прессе. Система обогрева и охлаждения здания работает через грунтовый коллектор. Обогрев здания требуется с декабря по февраль, а охлаждение — с апреля по сентябрь. Для этого на глубине 3,5 м проложен трубопровод длиной 100 м, через который два вентилятора нагнетают воздух. Температура подаваемого воздуха практически постоянна и равна 25 °С, что соответствует средней годовой температуре. Воздух охлаждает здание в теплое время года и нагревает в холодное.



15.16-1



15.16-2

Экономия электроэнергии составляет почти 38 000 кВт/ч в год, а это приблизительно 2/3 от общей потребности. Экономия расходов на строительство по сравнению с традиционным строительством с плоскими железобетонными перекрытиями составила 22%.

Проектирование и авторский надзор: Гернот Минке, Кассель, Германия.

Соавтор проекта: Р. Муту Кумар, Нью-Дели, Индия.

Концепция энергоснабжения: Н. К. Вансал, Нью-Дели, Индия.

Общая площадь: 115 м².

Год завершения строительства: 1991-й.

Фундамент и цоколь: обожженный кирпич.

Стены и купола: стабилизированный грунтовый кирпич, изготовленный на прессе.

Своды: стабилизированный грунтовый кирпич ручного изготовления.

Обработка поверхности: коровьим навозом с водосталкивающей добавкой (рис. 15.16-2).

Световой фонарь: акриловое стекло, с проемами для естественной вентиляции.



15.16-3



15.16-4

15.17. Здание антропософической школы, Йерна, Швеция

Двухэтажное здание входит в комплекс антропософической школы. В здании расположены два класса с небольшими вестибюлями.

Фундамент устроен из двух бетонных стенок шириной 15 см, расположенных на расстоянии 20 см друг от друга. Образовавшаяся полость заполнена перлитом, который служит теплоизоляцией. Несущие стены первого этажа толщиной 50 см выполнены из глиносырцовых изделий, на которые опирается мауэрлатный брус. Глиносырцовые изделия изготовлены вручную из местного глинистого грунта по методу, описанному в разделе 8.3.

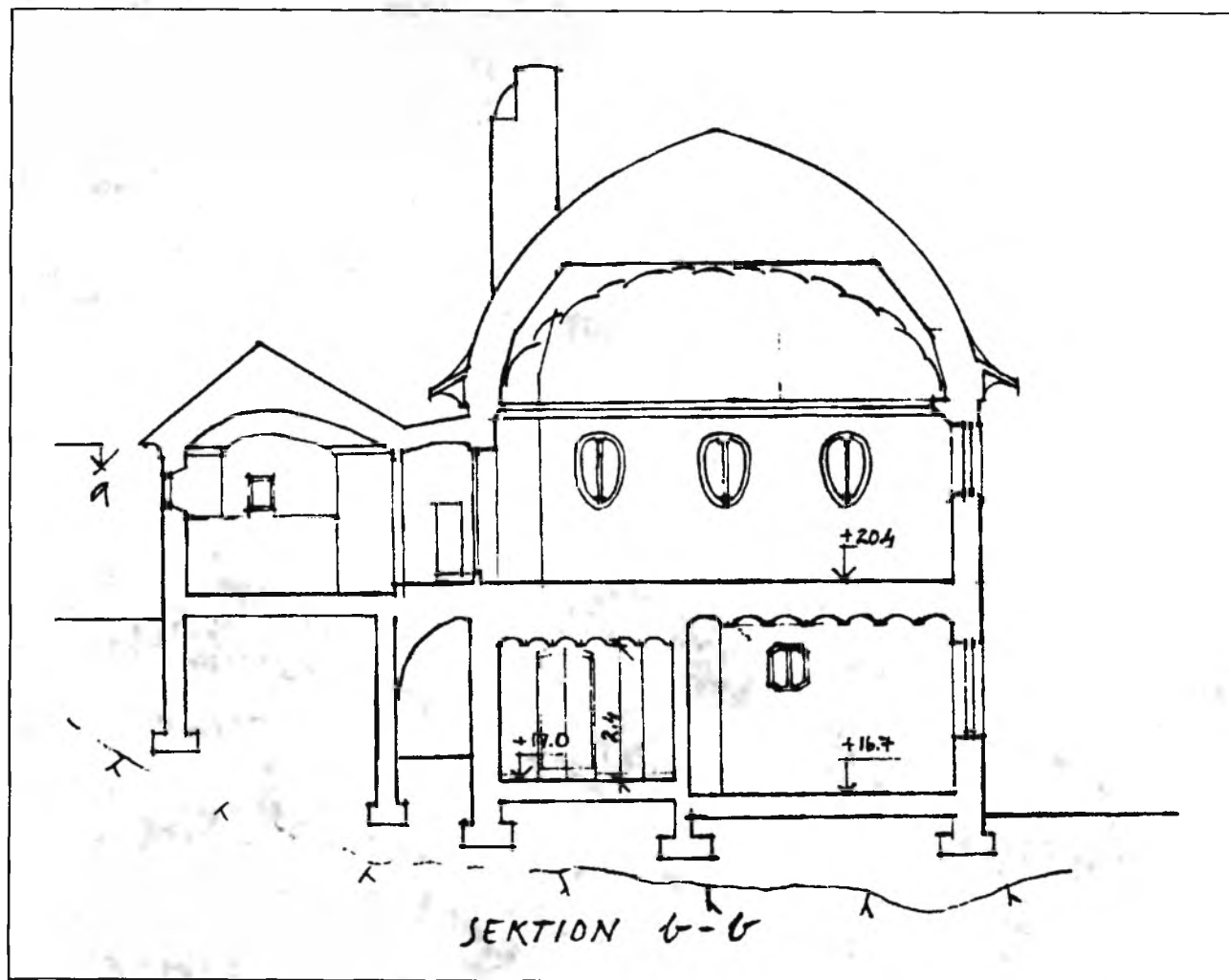
На несущие деревянные конструкции крыши уложена теплоизоляция из дерна. Кровля покрыта природным шифером.

Помещения обогреваются камином.

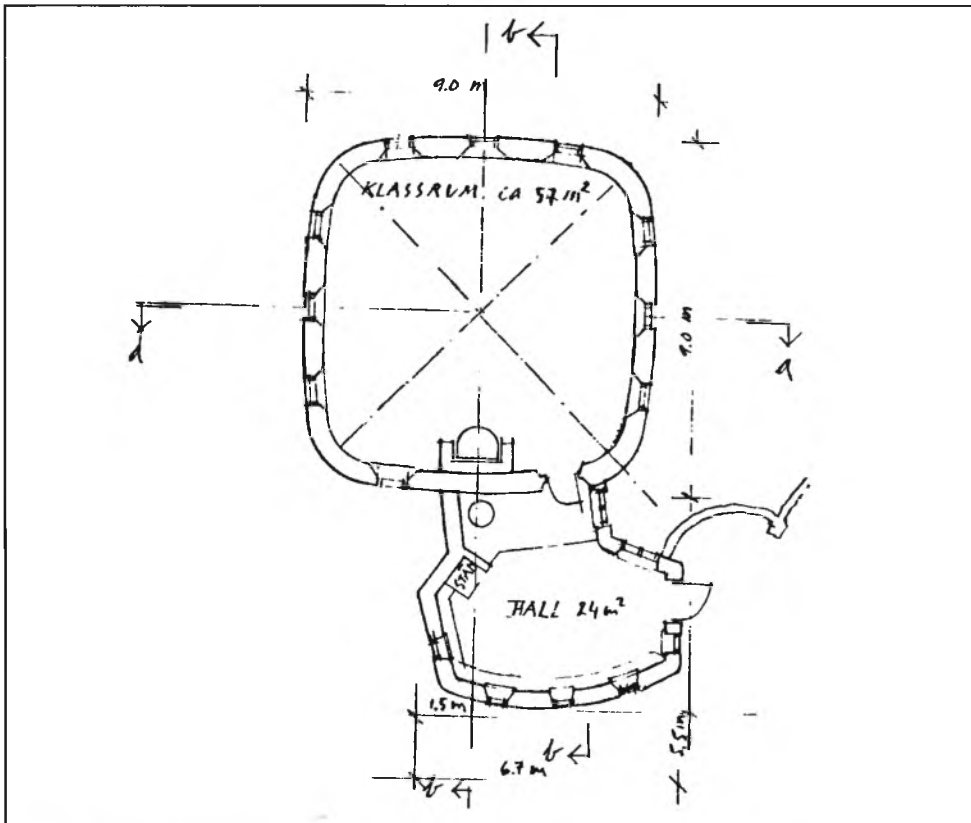
Архитектор: Матс Ведберг, Швеция.

Год завершения строительства: 1993-й.

Общая площадь: 140 м².



15.17-1



15.17-2



15.17-3

15.18. Панафриканский институт развития, Уагадугу, Буркина-Фасо (Верхняя Вольта)

Научно-исследовательский и учебный центр общей площадью 5000 м² включает в себя несколько зданий: учебный и административный корпус (рис. 15.14-4) с библиотекой и столовой, общежитие для студентов на 72 места, а также жилой корпус для 9 преподавателей (рис. 15.14-1, 15.14-2).

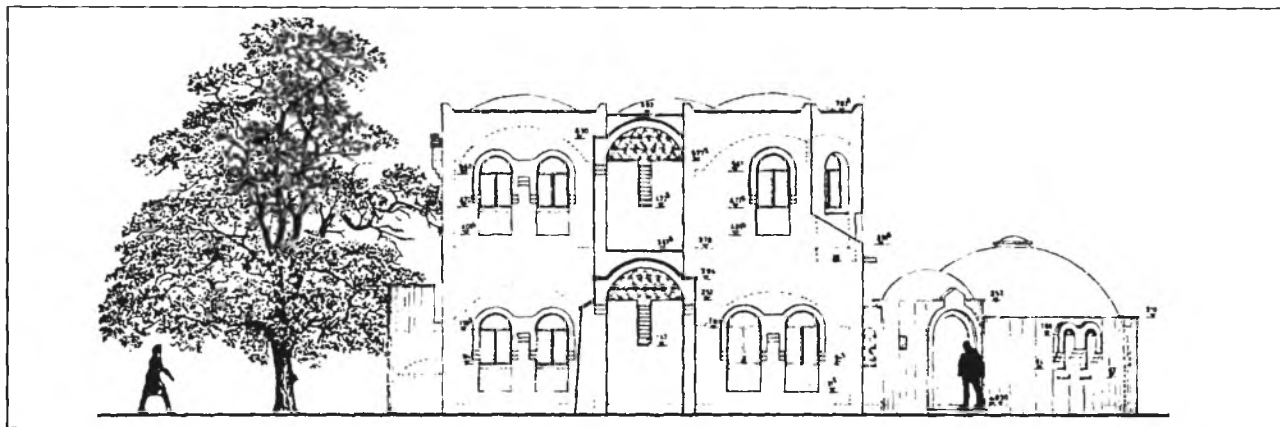
Все стены, своды и купола возведены из цементогрунтового кирпича, изготовленного из местного грунта в построечных условиях. Кладку сводов и куполов вели по нубийской технологии без использования опалубки. Наружная поверхность зданий оштукатурена раствором, состоящим из глинистого грунта, извести, цемента и воды.

Проект был начат в 1981 г. и завершен в 1984 г. В 1992 г. проект получил награду Ага Хан за архитектурное решение.

Архитектор: Филипп Глозер, A.D.A.U.A.

Инженер: Ладжи Камара.

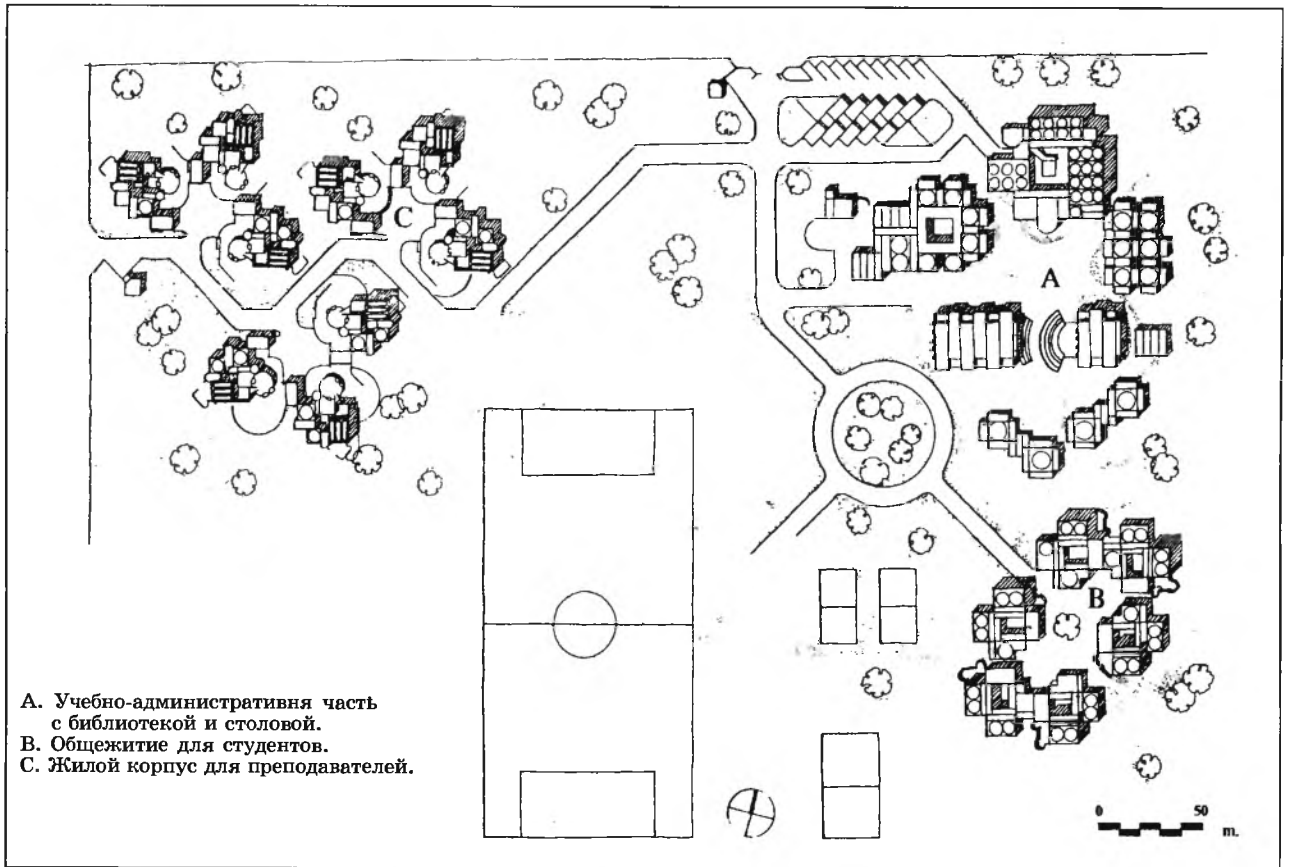
Финансирование: EZE (Evangelische Zentralstelle für Entwicklungshilfe Bonn Bad Godesberg), DDA (Direction de la coopération en développement et de l'Aide humanitaire, Bern), IPD (Institut Panafricain pour le Développement).



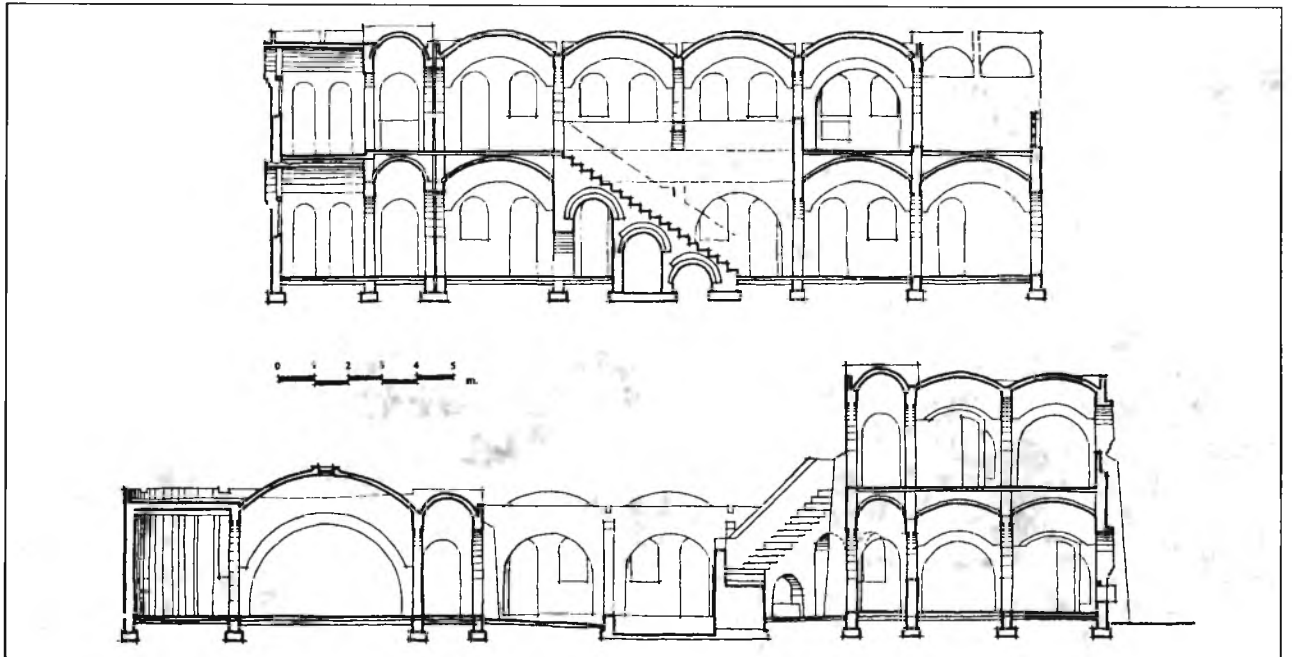
15.18-1



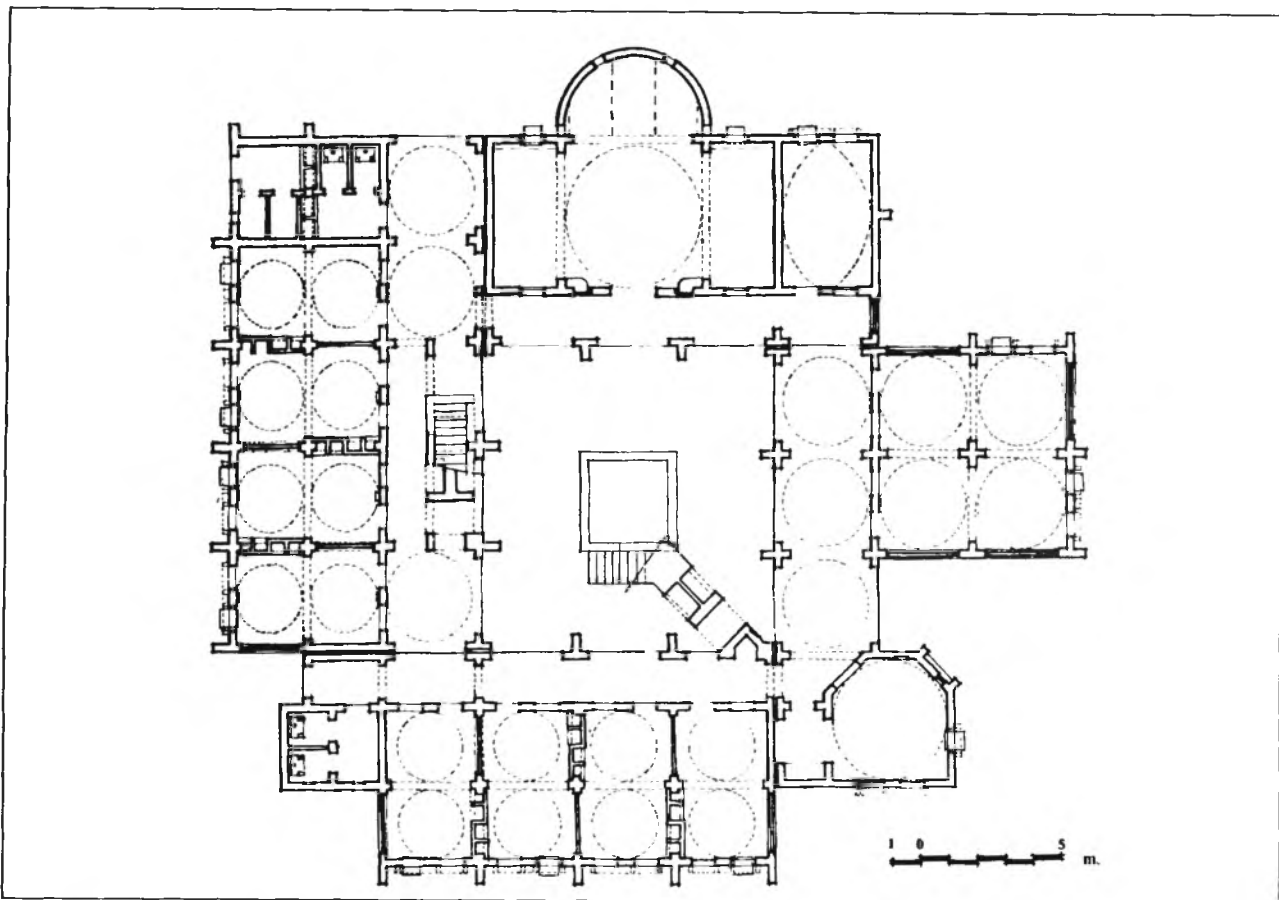
15.18-2



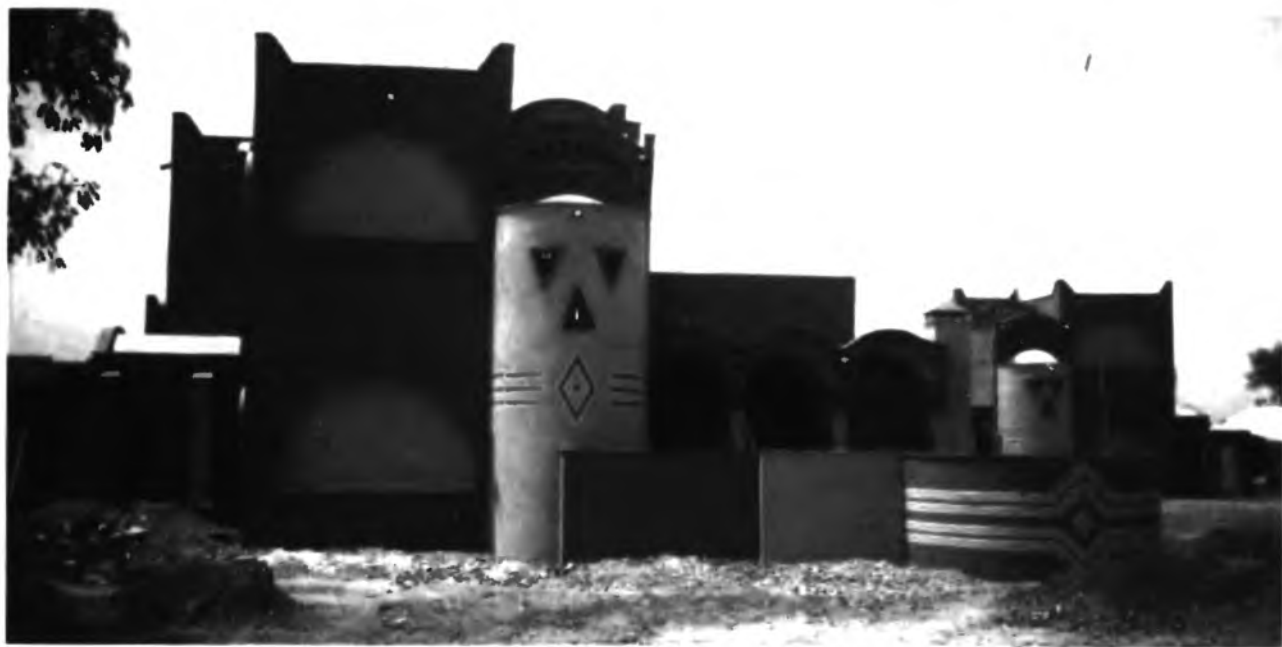
15.18-3



15.18-4



15.18-5



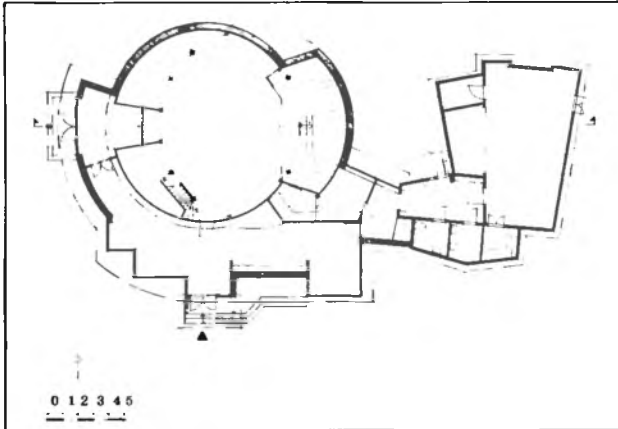
15.18-6

15.19. Церковь в Йерне, Швеция

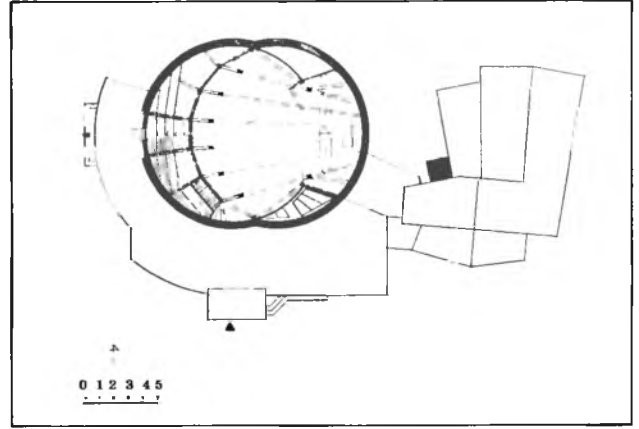
Церковь построена для христианской общины и рассчитана на 150 мест. Деревянный каркас стен обложен глинофибробетонным кирпичом размером $15 \times 25 \times 35$ см, которые изготовили прихожане в количестве 8000 штук. Внутренняя сторона наружной самонесущей стены толщиной 35 см оштукатурена глиняным раствором, наружная — известковым. Стены фойе возведены из монолитного глинофибробетона. Крыша церкви состоит из несущих деревянных конструкций, теплоизоляции из эффективного глинофибробетонного кирпича толщиной 35 см и кровельного

цинкового покрытия. Крыша над фойе отличается тем, что несущие деревянные конструкции выполнены в форме арок, а в качестве теплоизоляции, толщина которой составляет 10 см, применен глинофибробетон с добавками целлюлозных волокон. Кровельное покрытие состоит из грунта толщиной 5 см с декоративным растительным слоем.

Архитектор: Уолтер Драмл, Стокгольм, Швеция.
Год завершения строительства: 2000-й.
Общая площадь: 120 м² (церковь) и 60 м² (фойе).



15.19-1



15.19-2

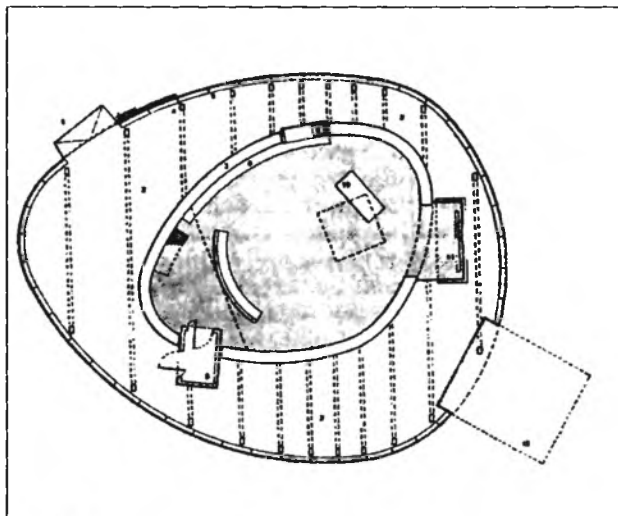


15.19-3

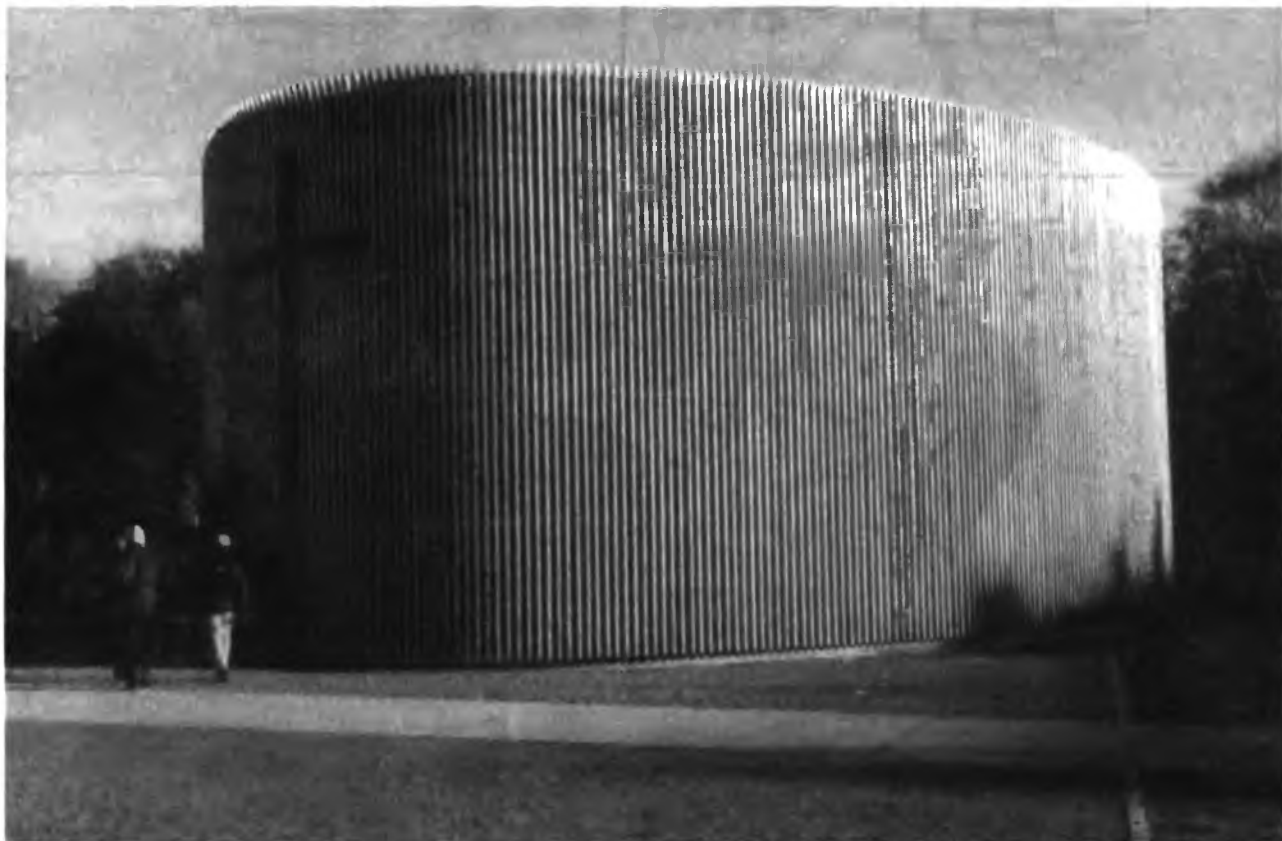
15.20. Часовня примирения, Берлин, Германия

Часовня построена на улице Бернауер Штрассе, по которой раньше проходила граница между Западным и Восточным Берлином, на месте неоготической церкви примирения, взорванной по распоряжению властей ГДР. Овальные стены из монолитного глинобетона имеют высоту 7,20 м и толщину 0,60 м. Крыша и наружная стена, обрамленные вертикальными деревянными профилями, образуют второй наружный овал, размещенный эксцентрично по отношению к первому.

Глинобетонная смесь содержит 55% крупнозернистого песка и гравия, оставшихся от разрушения кирпичной кладки прежней церкви. Влажность при укладке крупнозернистой глинобетонной смеси составила 8,1%, а содержание глинистых частиц — 4%, благодаря чему усадку удалось снизить до 0,15%.



15.20-2



15.20-1

При относительной влажности воздуха 50% и температуре 20° С равновесная влажность глинобетона составляет 0,7%. За счет добавок костры льна и сильного уплотнения глинобетонной смеси с помощью ручного катка (15.20-3) удалось получить прочность при сжатии 3,2 Н/мм² (измерено на кубах размером

20×20×20 см). На рисунке 15.20-4 показана специальная опалубка для возведения стен с постоянно меняющимся радиусом искривления.

Архитекторы: Райтерманн и Зассенрот, Берлин.
Год завершения строительства: 2000-й.



15.20-3



15.20-4

ской технологии. Кирпич заводского изготовления имеет коническую форму для экономии раствора.

Застекленный фасад с южной стороны здания позволяет в теплые дни нагревать стену из грунтового кирпича, окрашенную черной краской. При использовании данного способа пассивного притока солнечной энергии можно сэкономить значительную часть тепловой энергии.

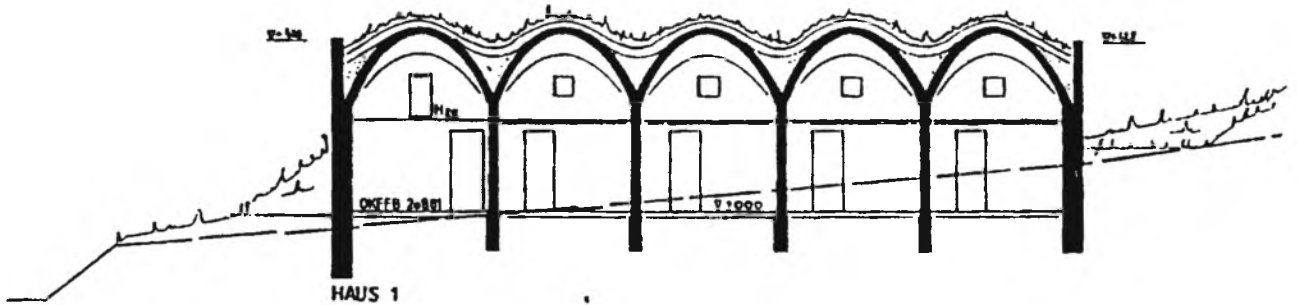
Крыша утеплена минераловатными плитами толщиной 20 см. В качестве гидроизоляции и защиты от

прорастания корней растений служит мембрана из стекловолна с полиолефиновой оболочкой толщиной 2 мм. Грунтовая кровля толщиной 15 см покрыта декоративным растительным слоем.

Архитекторы: Йорн Гутбир, Тобиас Вейе, Ральф Зумпфе.

Год завершения строительства: 1995-й.

Общая площадь: 95 м² + 25 м² (галерея).



15.21-3



15.21-4

15.22. Поселок Дружный, Беларусь

Строительство поселка Дружный на озере Нарочь в Беларуси продолжалось 8 лет. Проект финансировался за счет спонсоров из Германии. Поселок строили около 100 добровольных помощников. Благодаря этому проекту 31 семья переселенцев из районов с повышенным уровнем радиации после катастрофы в Чернобыле смогла получить новое жилье. Для обеспечения продуктами питания каждая семья в поселке имеет стойло для домашнего скота и земельный участок площадью 5000 м².

Кроме того, построены общественное здание, мастерская с фотогальванической установкой, медпункт и православная церковь.

Две ветросиловые установки общей мощностью 850 кВт производят в год до 1,3 кВт/час электроэнергии. В Беларуси это соответствует потребности в электроэнергии 70 семей. Избыточная электроэнергия подается в сеть общего пользования, благодаря чему поселок получает дополнительные финансовые средства.

Планирование: Тиль Реденц, Германия.

Инициатор проекта: Общество «Дом взамен Чернобыля», Германия.

Фундамент: ленточный фундамент из бетонных блоков.

Стены: деревянный каркас, заполненный легким монолитным глинофибробетоном. Наружная стена имеет дополнительную теплоизоляцию из камышитовых плит толщиной 10 см. Внутренняя сторона наружных стен оштукатурена глиняным раствором, внешняя сторона имеет деревянную облицовку с внутренней вентиляционной воздушной прослойкой.

Крыша: несущие деревянные конструкции, утепленные легким глинофибробетоном и камышитовыми плитами толщиной 10 см. Кровельное покрытие из оцинкованного железа.



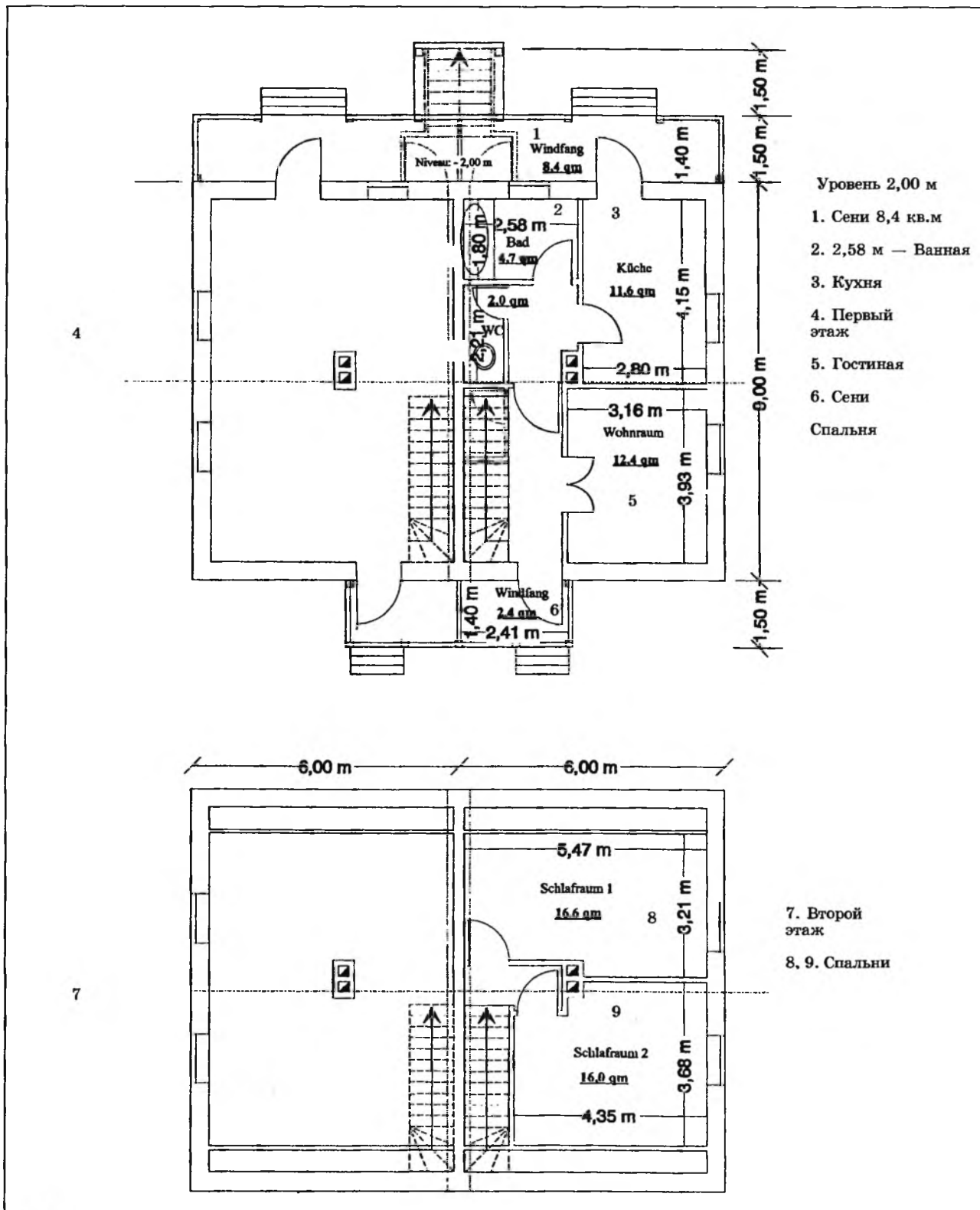
15.22-1



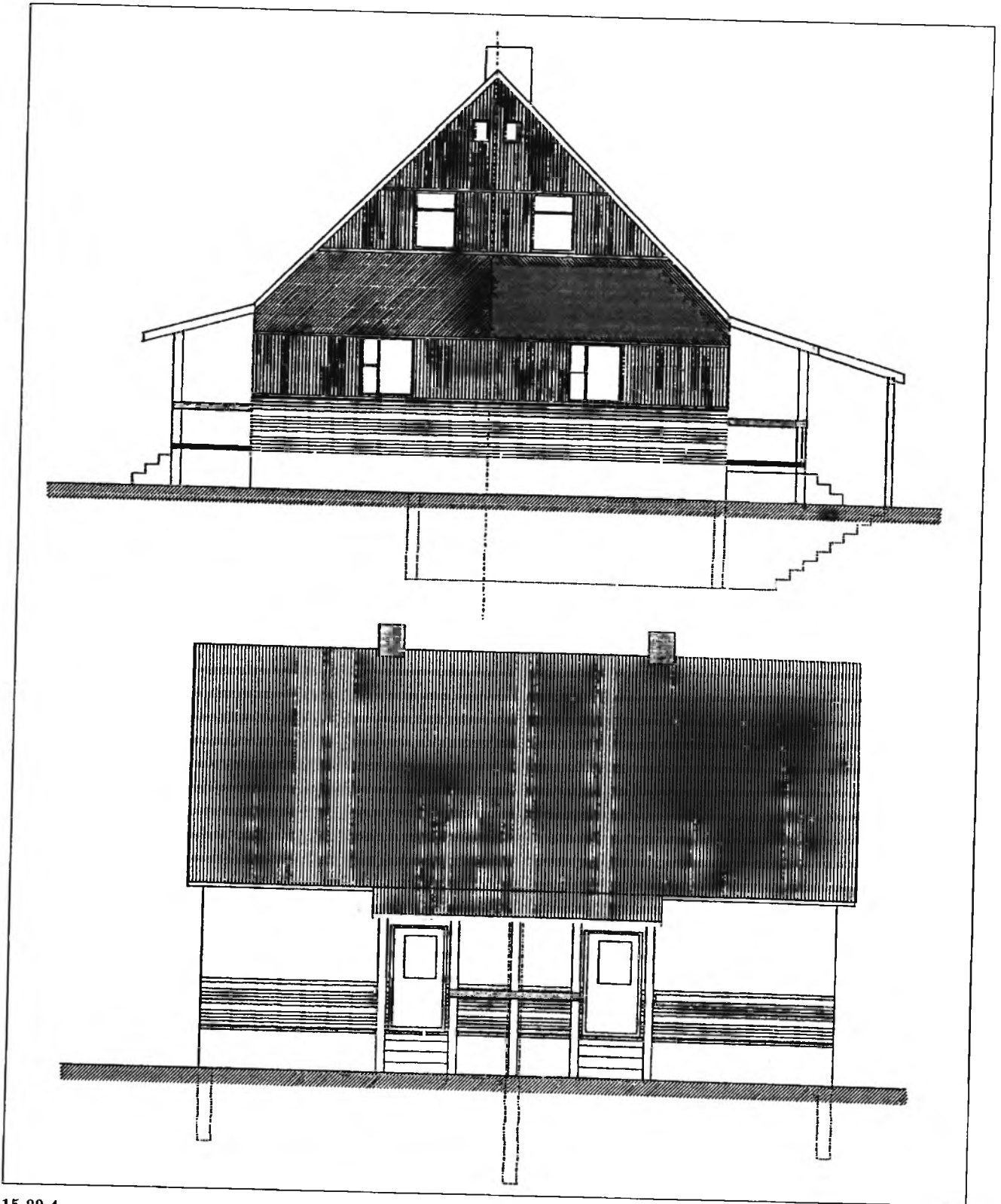
15.22-2



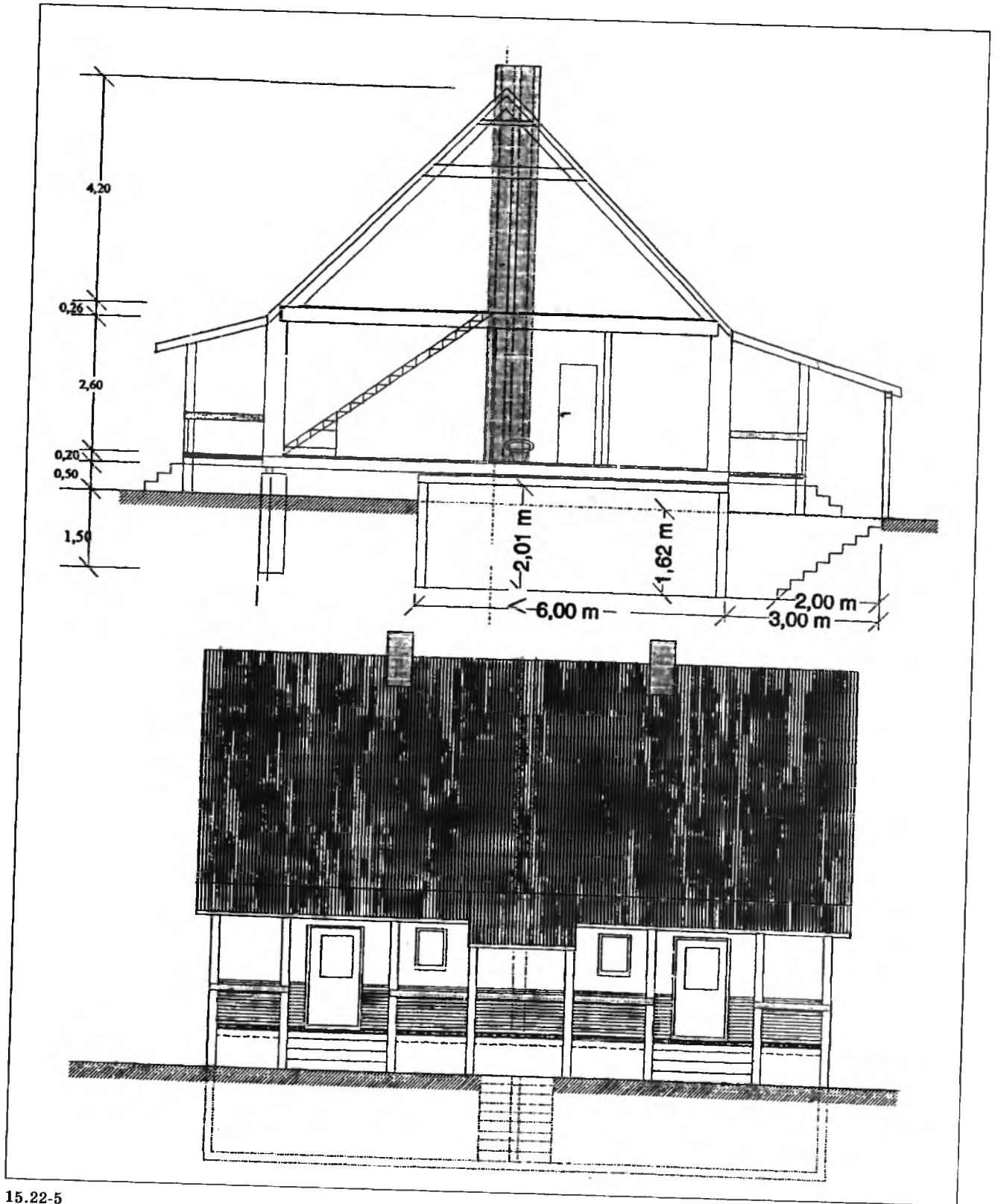
15.22-6



15.22-3



15.22-4



15.22-5

15.23 Оздоровительный центр, Вёль, Германия

Здание со сводчатым и куполообразным покрытием из грунтового кирпича, площадь которого составляет 5 500 м², станет одним из самых больших грунтовых зданий, построенных в наше время. Толщина стен, на которые опирается перекрывающий холл центральный купол с пролетом 13 м, равна всего 30 см. Это возможно благодаря проектированию оптимальной формы конструкции (раздел 14.7.7). Все помещения покрыты сводами и куполами. Здание будет иметь грунтовую кровлю с растительным защитным слоем. На рисунке 15.23-1 изображена модель оздоровительного центра, строительство которого запла-

нировано на 2000 год. На рисунке 15.23-2 представлена часть зоны отдыха площадью 600 м², где все здания для проведения семинаров, занятий йогой, музыкальных занятий и медитации покрыты куполами.

Архитектор: Гернот Минке, Кассель, Германия.

Этап строительства: проектирование.

Общая площадь: 4 560 м².

Наружные стены: эффективный кирпич, 36,5 см.

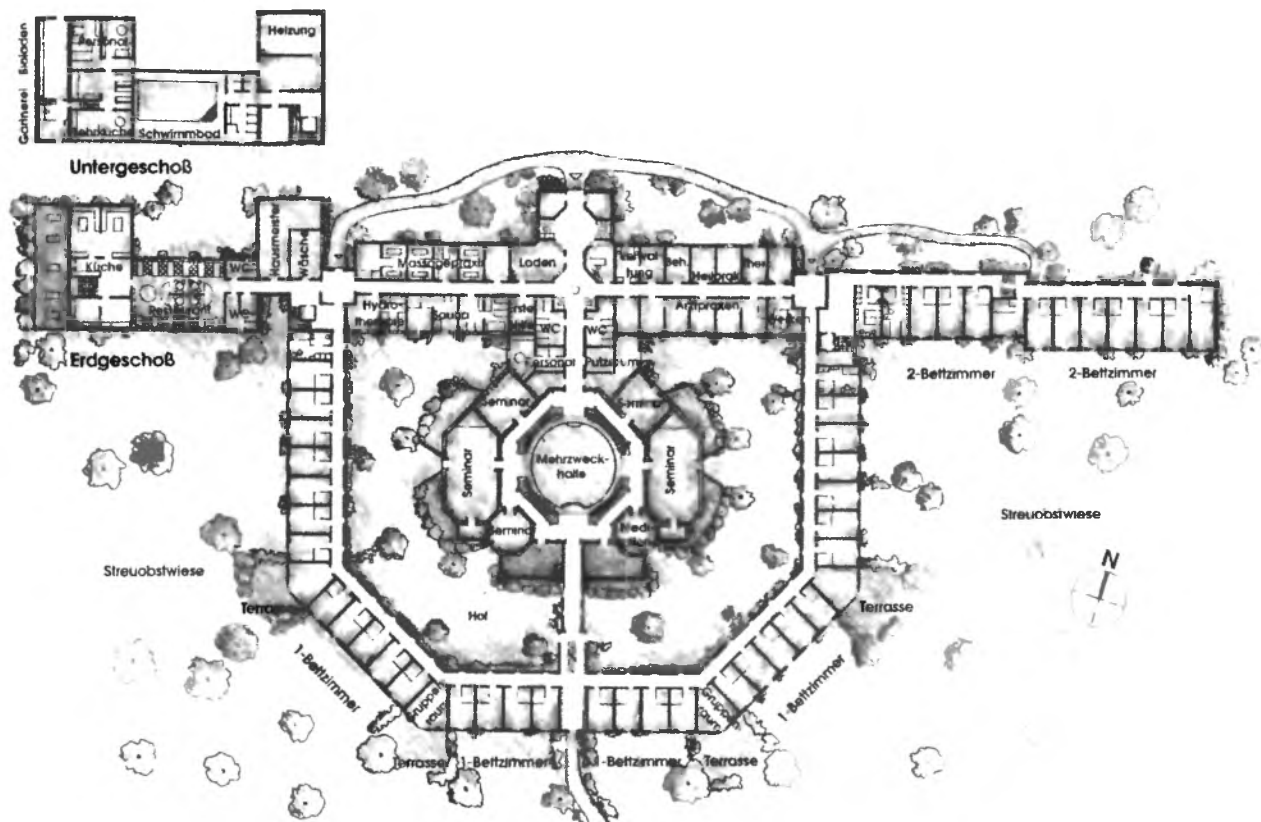
Внутренние стены: грунтовый кирпич.

Своды и купола: грунтовый кирпич.

Крыша: теплоизоляция толщиной 20 см, грунтовая кровля толщиной 15 см с защитным декоративным растительным слоем.



15.23-1



15.23-2

Personal
Gartnerai
Bioladen
Schwimmbad
Heizung
Untergeschoß
Küche
Restaurant
Erdgeschoß
Hausmeister
Wasche
Massagerpraxis
Laden

комната для персонала
садовое хозяйство
биосклад
плавательный бассейн
отопление
цокольный этаж
кухня
ресторан
первый этаж
комендант
бельевая
массажная
загрузочная

Verwaltung
Hydrotherapie
Sauna
Erste Hilfe
Arzpraxen
Bettzimmer
Seminar
Mehrzweckhalle
Hof

руководство
гидротерапия
сауна
первая помощь
кабинет врача
спальня
конференц-зал
миоцелевой холл
двор

Terrasse
Yruppenraum
Streuobstwiese
Meditation
WC
Lehrküche

терраса
помещение для групповых за-
нятий
мини-сад
комната для медитаций
туалет
кухня для обучения



15.23-3

16. Перспективы строительства из глинобетона

В развитом обществе центральной Европы строительство из глинобетона, возможно, так никогда и не будет играть ведущую роль, как уже случилось в некоторых регионах США и Австралии.

При возведении зданий с наружными глинобетонными стенами в центральной и северной Европе требуется дополнительная наружная теплоизоляция. Это связано как с климатическими условиями, так и с высокими требованиями, предъявляемыми к термическому сопротивлению ограждающих конструкций. В странах с жарким и умеренным климатом, в частности на юго-западе США и юге Австралии, наружные глинобетонные стены возводят без дополнительной теплоизоляции.

В помещениях со стенами из глинобетона создается лучший микроклимат, более того, грунтовое строительство обходится дешевле по сравнению со строительством из природного камня, обожженного кирпича или цементного бетона.

В европейских странах все же наблюдается тенденция строительства из глинобетона. Это объясняется возрастающей обеспокоенностью состоянием окружающей среды, а также осознанием того факта, что в промышленном производстве строительных материалов не только затрачивается неоправданно большое количество энергии и дефицитных ресурсов, но и загрязняется атмосфера. Волею того, все больше людей в наше время желают жить в сбалансированном, здоровом микроклимате.

В развивающихся странах, где даже сегодня большая часть населения живет в грунтовых домах, современные жилища строятся, как правило, не из глинобетона, а из строительных материалов, выпускаемых местной строительной индустрией, как, например, обожженный кирпич, товарный цементный бетон и сборный желе-

зобетон. Но здесь уже начинают понимать, что потребность в жилых помещениях такого масштаба невозможно удовлетворить за счет работающей строительной индустрии и существующих строительных технологий. На сегодняшний день мы не располагаем производственными мощностями и финансовыми ресурсами такого объема. Единственно верным решением этой задачи, на наш взгляд, является использование местных строительных материалов из глинистых грунтов и технологий, позволяющих возводить жилье своими силами.

В странах с жарким и умеренным климатом, как правило, стены возводят из кирпича-сырца или из глинофибробетона. В этих регионах широко применяется кладка сводов и куполов из грунтового кирпича в недорогих домах, в которых на устройство кровли приходится более трети от совокупных затрат на строительство. Это объясняется тем, что возведение сводов и куполов из глинобетона более рентабельно, чем устройство кровли из материалов, выпускаемых строительной индустрией. Кроме того, звукоизоляционные и паропроницаемые свойства глинобетона создают благоприятный микроклимат в таких помещениях. За последнее время были разработаны современные технологии возведения конструкций из глинобетона, которые успешно прошли испытания. Для того чтобы эти технологии строительства внедрить в странах, где о них еще мало известно, необходимо разработать рекомендации по проектированию и строительству из глинобетона, а также организовать специализированное обучение.

Необходимо показать на примере строительства недорогих жилых и общественных зданий, что глинобетон представляет собой легко доступный, прочный и экономичный строительный материал, пригодный даже для строительства престижных объектов.

17. Список использованной литературы

- Aslam, M.; Satiya, R. C.:** A Technique of Waterproofing Mud Wall. Building Note No. 14, Central Research Institute, Roorkee, Indien
- Balassa, J.; Ortutay, G.:** Ungarische Volkskunde, in: Ethnographia, Budapest 1977, p. 329-364
- Bardou, P.; Arzoumanian, V.:** Archi de terre, Paris 1978
- Beckert, J.:** Wirkung von Verunreinigungen der Raumluft auf den Menschen, in: Beckert et al. (ed.): Gesundes Wohnen, Dusseldorf 1986
- Berglund, M.:** Rammed Earth, in: Fine Homebuilding, No.11, 1982, p.21-25
- Boemans, U.:** Sanierung und Umnutzung einer Fachwerkscheune (Kassel FB 12) 1990
- Bourgeois, J.-L.:** Traditional adobe is illegal in New Mexico, in: Adobe Journal (Albuquerque, USA) No.5, 1991, p.47
- Cointeraux, F.:** Schule der Landbaukunst. Hildburghausen 1793
- CRATerre:** Construire en terre. Paris 1979
- Dehn, W.:** Lehmziegel der Hallstattzeit (6. Jh. v. Chr.), in: Der Museumsfreund (Schorndorf) 4/5, 1964, pp. 54-61
- Department of Housing and Konstruktion (ed.):** EBS Bulletin No.5: Earth-wall Construction. Canberra, Australia 1981
- Dalokay, Y.:** Lehmflachdachbauten in Anatolien. Dissertation TU Braunschweig 1969
- Donat, P.:** Haus, Hof und Dorf in Mitteleuropa vom 7.-12. Jahrhundert. Berlin 1980
- Elias, P.:** Le Bilan Energetique Parois de Batiment, in: Cahier du Centre Scientifique du Batiment No. 213, Oct. 1980
- Evans, J.:** Lorena Owner-built Stoves. Stanford, USA 1979
- Fathy, H.:** Natural Energy and Vernacular Architecture. Chicago/London 1986
- Fauth, W.:** Der Lehm als Baustoff, in Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit (ed.): Bauwirtschaftlicher Siedler-Lehrdienst (Berlin), No. 1 1933
- Fauth, W.:** Der praktische Lehmbau. Wiesbaden 1946
- Gilly, D.:** Praktische Abhandlung aus der Lehmbaukunst betreffend den Bau der sogenannten Lehm-oder Wellerwände wie man dieselben dauerhaft mit wenigen Kosten und einer wahren Holzersparung aufführen konnte. Berlin 1787
- Gilly, D.:** Beschreibung einer vorteilhaften Bauart mit getrockneten Lehmziegeln. Berlin 1790
- Gilly, D.:** Handbuch der Land-Bau-Kunst. Braunschweig and Halle 1800 and 1822
- Gotthard, H.:** Über phusikalische Eigenschaften des Baustoffes Lehm, in: Naturbauweisen 5/1949
- Grandjean, E.:** Wohnphysiologie. Zürich 1972
- Griselini, F.:** Versuch einer politischen und natürlichen Geschichte des Temeswarer Banats in Briefen an Standespersonen und Gelehrte. Wien 1780
- Guntzel, J. G.:** Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland (Dissertation, Gesamthochschule Kassel, FB 12). Staufen 1988
- Hofmann, U.; Schembra, F. W. et al.:** Die Trockenbiegefestigkeit von Kaolinen und Tonnen, in: Berichte der Deutschen keramischen Gesellschaft, Bd.44 (1967), H. 4, p.131-140
- Houben, H.; Guillaud, H.:** Earth Construction Primer. Brüssel 1984
- Ingles, O. G.; Metcalf, J. B.:** Soil stabilisation. Sydney 1972
- International Labour Office (ed.):** Small-scale manufacture of stabilised soil blocks. Genua 1987
- Jain, J. P.; Kulshtrestha, R. P.; Singh, I.:** A new Technique of Making Thatch Fire retardent. Technical Note. Central Building Institute Roorkee, Indien, Sert. 1978
- Karsten, R.:** Bauchemie für Studium und Praxis, 7.edition. Haslach 1983
- Keller, G.; Muth, H.:** Natürliche Radioaktivität, in: Beckert et al. (ed.): Gesundes Wohnen. Dusseldorf 1986
- Knöfel, D.:** Bautenschutz mineralischer Baustoffe. Wiesbaden, Berlin 1979
- Kremers, H.:** Außenputze für historische Gebäude, Aachen 1991 (ed.: Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung Aachen)
- Krünitz, J. G.:** Oeconomische Encyklopädie..... Vol. 70. Berlin 1799
- Künzel, H.:** Die hygrothermische Beanspruchung von Außenputzen, in: Bauphysik (Berlin) H. 4/1990, p. 104-109
- Letzner, T.; Stein, J.:** Lehm-Fachwerk. Köln 1987
- Manandhar, R.:** Mud brick dome and vault construction ..., in: Proceedings First International earth sheltered buildings conference. August 1-6, Sydney 1983, p. 371-375
- Marme, W.; Seeberger, J.:** Der Primärenergieinhalt von Baustoffen, in: Bauphysik (Berlin), No. 5, 1982, p. 155-160 and No. 6, p. 208-214
- McCann, J.:** Clau and cob buildings. Aylesbury, Großbritannien 1983

- McHenry, P. G.:** Adobe and rammed earth buildings. New York 1984
- Middleton, C. F.:** Build your house of earth. Victoria, Australia (revised edition) 1979
- Miller, T.; Grigusch, E.; Schulze, K. W.:** Lehmbaufibel. Weimar 1947
- Minke, G.:** Erdbebensichere Low-Cost-Bauten für Guatemala. Schriftenreihe der Arbeitsgruppe für Angepaßte Technologie, Gesamthochschule Kassel, Heft 3. Kassel 1980
- Minke, G.:** Earthquake resistant low-cost houses utilising indigenous building materials and intermediate technology, in: Proceedings, International Symposium on Earthquake Relief in Less Industrialized Areas. Zürich, 28.-30. March 1984 (a)
- Minke, G.:** Lehmbauforschung. Schriftenreihe Fachbereich Architektur. Gesamthochschule Kassel, Heft 8. Kassel 1984 (b)
- Minke, G.:** Zeitgemäße Lehmfußböden für den Selbstbau, in Minke, G. (ed.): Bauen mit Lehm No. 2, grebenstein 1985
- Minke, G.:** Design and Construction of Energy and Cost Saving Vault and Dome Structures, in: Proceedings of the International Symposium
- Hassan of Hassan Fathi for Architecture for the Poor,** 20.-22. April 1993. Cairo (a)
- Minke, G.:** Humidity Control/Balancing humidity fluctuations, in: Bansal, Hauser, Minke: Passive Building Design, A Handbook of Natural Climatic Control. Amsterdam 1994, p. 180-188
- Minke, G.; Mukerji, K.:** Structurally Optimized Domes - A. Manual of Design and Construction. Braunschweig 1995
- Möhler, K.:** Grundlagen der Holzhochbaukonstruktionen, in: Götz, K.-HJ.; Hoor, D. et al.: Holzbauatlas. München 1978
- Nemeyer, R.:** Der Lehm und seine praktische Anwendung. Hamburg 1946
- OECD, Nuclear Energy Agency:** Exposure to Radiation from Natural Radioactivity in Building Material. Report, Paris May 1979
- Oliver, D.:** Lehm in Australien, in: Minke, G. (ed.): Bauen mit Lehm, No. 5, Freiburg 1986, p. 55-57
- Oliver, M.; Mesbah, A.:** The earth as a material, in: Proceedings International Composium on Modern Earth Construction. Peking 1985
- Pollak, E.; Richter, E.:** Technik des Lehmbaus. Berlin 1952
- Poppowamy, G.:** Rural India. Village Houses in Rammed Earth. Stuttgart 1979
- Pumpelly, R. (ed.):** Explorations in Turkestan. Washington 1908
- Schreckenbach, H.:** Construction Technology for a tropical developing country, Eschborn
- Sibtain, S. N.:** To build a village - earthquake-resistant rural architecture, Parramatta, Australia 1982
- Smith, R. G.; Webb, D. T. J.:** Small Scale Manufacture of Stabilized Soil Bricks. Technical Memorandum No. 12, International Labour Office. Genf 1987
- Steen, A. S.; Steen, B., Brainbridge, D.:** The Straw Bale House, Chelsea Green Publ. Comp., White River Junction, Vermont, USA, 1994
- Stulz, R.; Mukerji, K.:** Appropriate Building Materials. St. Gallen 1988
- Turowski, R.:** Entlastung der Rohstoff- und Primärenergiebilanz ..., Dissertation Universität Essen, 1977
- United Nations Centre for Human Settlements (ed.):** Earth Construction Technology, Nairobi 1992
- Volhard, F.:** Leichtlehm. Karlsruhe 1983
- Vorhauer, K.:** Low Cost/Self Help Housing (Gate Modul 6/6), Eschborn 1979
- Voth, B.:** Boden, Baugrund und Baustoff. Wiesbaden/Berlin 1978
- Wehle, K.:** Werkstoffe und Techniken der Malerei. Ravensburg, 5. edition 1985
- Weiß, A.:** Angewandte Chemie 75 (1963), p. 755-762
- Weller, K.; Rehberg, S.:** Lösungsansätze für den energie- und rohstoffsparenden Wohnungsbau. DFG-Forschungsvorhaben, Fachgebiet Industrielles Bauen. TU Berlin 1979
- Yazdani, H.:** Erhöhung der Lebensdauer von Lehmbauten in erdbebengefährdeten Gebieten Afghanistans (Dissertation, Fachbereich Architektur, Gesamthochschule Kassel, 1985)
- Zurheide, E.:** Ein Backofen aus Lehmsteinen. Projektarbeit Fachhochschule Detmold, Febr. 1986 (not published)
- zur Nieden, G.:** Der Baustoff Lehm, in: Minke, G. (ed.): Bauen mit Lehm, No. 1. Grebenstein 1984, p. 21

18. Авторы фотографий

1.2-2	Gruner, D.	8.2-7, 8.2-8	Lukas, G.
1.2-3	Yazdoni, S.	14.2-2, 14.2-3	Reynolds, M.
1.2-4	Gerster-Rapho	14.6-1	Schijns, W.
1.2-5	Körner, D.	14.7-1	El Badwan, G.
5.3-5	Atlas-Copco	14.7-2	Breshna
5.3-6	Heuser	14.7-26—14.7-28	Yazdani, S.
5.6-6—5.6-9	Oliver, D.	14.7-45	Pilz, J.
5.6-10, 5.6-11	Wolf, S.	15.2	Bäumer, D.
5.6-12	CEPED	15.6	Remes, H.
6.2-2	Bochow, K-H.	15.10-1	Sandoval, R.
6.2-3	Lorenz-Ladener, C.	15.10-2, 15.10-3	Fischer, A.
6.3-10	Consolid	15.12	Kleespies, T.
6.3-11	Pacific Adobe	15.14	Nothelfer, M.
6.3-12, 6.3-13	Weller, K.	15.20-3	Ziegert, Chr.
7.2-5, 7.2-6	Dufter, S.	15.22	Redenz, B. und Redenz, T.
8.2-6	Dressler, F.	all others	Minke, G.

Гернот Минке
ГЛИНОБЕТОН И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Редактор И. В. Корнелюк
Художественный редактор А. В. Старцев
Технический редактор И. М. Дубровина
Корректор Е. А. Самойлова

Подписано в печать 18.07.2003 г. Формат 84x108/16. Гарнитура SchoolBook. Печать офсетная.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 24,4. Уч.-изд. л. 28,0. Тираж 2000 экз. Заказ 7008.

Отпечатано в типографии федерального государственного унитарного
издательско-полиграфического предприятия «Янтарный сказ».
236000, Калининград, ул. К. Маркса, 18.

Отдел продаж:

Калининград: тел./факс (0112) 27-91-57; тел.: 21-62-51, 21-25-56;
E-mail:skaz_info@ric.gazinter.net; Интернет-магазин:www.yantskaz.ru
Книга — почтой: (0112) 21-62-51
Санкт-Петербург (филиал): (812) 388-58-81; E-mail:yas.sp@rambler.ru
Москва (филиал): (095) 286-76-66; E-mail:mos-skaz@mtu-net.ru

ИННОВАЦИОННАЯ ГРУППА КОМПАНИЙ «СТАНКОМАШ» ПРЕДЛАГАЕТ:

Оборудование		Строительные материалы	Технологии
Оборудование для производства ПЕНОБЕТОНА, БЛОКОВ	КОМПРЕССОРЫ, масло, отбойные молотки, пики, лопатки, зубило, кабель, рукава	Новое поколение экологически чистых цветных декоративных накрывочных сухих смесей «ЛЕМ» для внутренних работ	<ul style="list-style-type: none"> — Исследование свойств сырья; — Подбор составов бетонных смесей; — Разработка технологий возведения конструкций из различных видов бетона (ячеистый бетон, грунтобетон, глинобетон, пескобетон и т. д.); — Испытание физико-механических свойств строительных материалов; — Разработка технических условий, технологических карт, технологических регламентов.
БЕТОНОСМЕСИТЕЛИ (25-1200 л), масло, зап. части	ТРАНСФОРМАТОРЫ понижающие, сварочные, для прогрева бетона (КПТО)		
ВИБРАТОРЫ (площадные, глубинные), г. валы, булавы	РАСТВОРОНАСОСЫ, штукатурно-смесительные агрегаты и станции, ящики для раствора, тачки		
ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОРЫ			
ВИБРОплиты, трамбовки, рейки, столы	СВАРОЧНАЯ техника, оборудование для кровли, пескоструйные аппараты, для подачи цемента		
МАШИНЫ паркетно-шлифовальные, мозаично-шлифовальные, строгальные, заглаживающие	Шпаклевочные, малярные, окрасочные АГРЕГАТЫ, мелотерки, краскотерки, КРАСКОпульты, распылители, мешалки		
тел. 786-55-31 тел./ф. 788-44-59 Интернет: http://www/stankkomash.narod.ru www.tex3aka3.ru		г. Москва, ул. Енисейская, д. 1 E-mail: stankkomash@lonet.ru	



Гернот Минке —
профессор Кассельского университета в
Германии, руководитель основанной им
в 1974 году научно-исследовательской
лаборатории экспериментального
строительства.

За время существования лаборатории
проведено 18 научно-исследовательских
работ в области развития технологий
строительства из глинобетона.

Частным проектным бюро Гернота Минке
разработаны проекты грунтовых домов,
которые были построены не только в
Германии, но и в Венгрии, России, Швейцарии,
Гватемале, Эквадоре, Боливии, Чили и Индии.
Гернот Минке — автор многочисленных
монографий и свыше 200 статей.

Он участвовал более чем
в 30 международных конференциях,
читал лекции в университетах Англии, США,
Мексики, Парагвая, Венесуэлы.

Книга Г. Минке “Глинобетон и его
применение” знакомит с теорией и практикой
грунтового строительства. В ней содержатся
все данные современных исследований в
области использования одного из самых
древних строительных материалов.
Монография уже выдержала несколько
изданий и выходила в ряде стран.

ISBN 5-7406-0756-6



9 785740 607566