

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Учебное пособие для бакалавров,
обучающихся по направлению «Строительство»*

*Издание третье,
переработанное и дополненное*

Тверь 2024

УДК 691 (035.5)
ББК 38.3

Рецензенты: декан инженерно-строительного факультета, заведующий кафедрой землеустройства и кадастра Тверского государственного технического университета, доктор экономических наук, профессор Артемьев А.А.; заведующий кафедрой строительства, строительных материалов и конструкций Тульского государственного университета, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор Трещев А.А.

Лабораторные определения свойств строительных материалов: учебное пособие / В.В. Белов [и др.]; под общ. ред. д.т.н. проф. В.В. Белова. Изд. 3-е, перераб. и доп. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2024. 236 с.

Описаны испытания и методы определения свойств основных строительных материалов и композиций для их изготовления в соответствии с современными стандартами и стандартизированными методиками. Учебное пособие снабжено необходимым объемом справочных данных. Приведены методические указания к лабораторным и практическим работам студентов, связанным с испытаниями важнейших видов строительных материалов и решением наиболее часто встречающихся задач, по разделам, относящимся к общим свойствам материалов, вяжущим веществам и тяжелому бетону, а также даны примеры расчетов состава тяжелого бетона и строительного кладочного раствора.

Предназначено для студентов строительных специальностей высших учебных заведений, преподавателей, инженеров-строителей и работников строительных лабораторий.

ISBN 978-5-7995-1349-8

© Тверской государственный
технический университет, 2024
© Белов В.В., Петропавловская В.Б.,
Смирнов М.А., Новиченкова Т.Б.,
Курятников Ю.Ю., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Производство эффективных строительных материалов и изделий, отвечающих современным требованиям, предъявляемым к экологичности, основным физико-механическим характеристикам, доступности и стоимости, – важная и еще не решенная в полном объеме задача строительства и промышленности строительных материалов. Ориентация политики государства на развитие строительного комплекса требует привлечения в строительную индустрию таких современных материалов и технологий их производства, которые позволили бы существенно сократить использование материальных и топливно-энергетических ресурсов при максимальном применении местного сырья и отходов.

Пособие составлено в соответствии с учебными программами материаловедческих и строительно-технологических дисциплин для подготовки бакалавров строительных направлений и профилей. Оно содержит методические разработки к лабораторным и практическим работам по основным разделам курса на основе актуальных стандартов и стандартизированных методик испытаний строительных материалов. В ходе лабораторных работ студенты работают с учебной и справочной литературой, определяют и анализируют важнейшие свойства строительных материалов и их соответствие нормативным требованиям.

Типовые примеры решения задач по общим свойствам строительных материалов, технологии минеральных вяжущих, бетона, а также методики расчетов состава сырьевых смесей для изготовления тяжелого бетона и строительного кладочного раствора в рамках лабораторных и практических работ призваны обеспечить подготовку студентов по этим трудным и важным на практике аспектам соответствующих курсов.

Все работы снабжены формами рабочих журналов или формами записей, а также необходимыми справочными данными. К лабораторным работам составлены контрольные вопросы, а к практическим работам – контрольные задания.

Учебное пособие подготовлено авторским коллективом кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета.

Авторы выражают признательность заведующему кафедрой строительства, строительных материалов и конструкций Тульского государственного университета, член-корреспонденту РААСН, доктору технических наук, профессору А.А. Трещеву; заведующему кафедрой землеустройства и кадастра Тверского государственного технического университета доктору экономических наук профессору А.А. Артемьеву за полезные замечания по содержанию учебника.

1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Строительные материалы и конструкции воспринимают те или иные нагрузки и подвергаются воздействию окружающей среды. К числу этих факторов относятся, например, атмосферные осадки, высота снежного покрова, глубина промерзания грунта, влажность наружного воздуха, водяной пар, содержащийся во внутреннем воздухе здания, влага почвы, ветер, солнечная радиация, количество солнечных и пасмурных дней в году, температура наружного воздуха и перепады температур, химически агрессивные вещества, содержащиеся в воздухе, и др.

Свойство – философская категория, выражающая такую сторону предмета, которая обуславливает его различие или общность с другими предметами и проявляется в его отношении к ним.

Для строительных материалов обнаружение того или иного свойства связано со способом передачи энергии эксплуатационной среды (внешнего воздействия) и реакцией структуры материала.

Различают физические и химические способы передачи энергии. Физическими способами являются силовой (технологические и механические свойства), тепловой (теплофизические свойства), радиационный (радиационные свойства). Очевидно, что эти способы имеют одинаковую природу – механическое движение, осуществляемое различными объектами: радиационный – элементарными частицами (нуклонами, электронами, фотонами); тепловой – структурными элементами вещества (молекулами, атомами, ионами); силовой – макротелами, имеющими размер больше структурного элемента вещества.

Силовые воздействия могут также возникать в результате фазовых переходов, адсорбционного взаимодействия и химических превращений (химический способ) агрессивной среды, проникшей в материал, или продуктов ее взаимодействия (химическая стойкость, морозостойкость, сорбционные свойства).

Химические способы, заключающиеся в превращении одних веществ в другие в результате перераспределения химических связей атомов и перестройки их электронных оболочек, могут осуществляться также химически активной средой, образующейся в результате жизнедеятельности живых организмов (биостойкость).

Атмосферные осадки. Наибольшее негативное воздействие оказывает на наружные стены зданий косой дождь с ветром. Дождевая вода может попасть внутрь стены через пористую структуру поверхности, отверстия, трещины, щели и неплотные швы. Сильнейшему воздействию дождя подвергаются верхние части стен и углы.

Неисправные водосточные желоба и трубы могут также стать причиной намокания стен. Вертикальные швы водосточных труб должны быть устроены в противоположной от стены стороне, чтобы предотвратить

попадание воды на стену. Расстояние между стеной и водосточными желобами должно быть не менее 30 мм.

Неправильно выполненные оконные откосы могут также привести к попаданию дождевой воды внутрь конструкции стены. Наружные края оконных откосов должны находиться на расстоянии 30 мм от стены и иметь достаточный наклон (не меньше 30°).

Неправильно выполненные вертикальные и горизонтальные стыки крупнопанельных зданий способствуют при обильных дождях попаданию влаги внутрь трехслойных панелей, значительно снижая их эксплуатационные свойства.

Пожарные лестницы, флагштоки, светильники, рекламные плакаты, перила балконов и другие элементы нужно монтировать таким образом, чтобы они не направляли дождевую воду по стене.

Поверхностные воды на земле, сугробы и брызги дождевой воды воздействуют на цоколь и нижнюю часть фасада. Для того чтобы нивелировать отрицательные воздействия от данного вида нагрузок, следует предусмотреть устройство уклона прилегающей к зданию земли.

Влажность наружного воздуха. Эта влажность оказывает огромное и зачастую негативное влияние на теплотехнические свойства ограждающих конструкций. Если поры строительных материалов заполняются влажным воздухом или в них проникает влага, то теплоизоляционные свойства этих материалов значительно ухудшаются. В воздухе всегда есть некоторое количество влаги в виде водяного пара. Ее количество, содержащееся в 1 м^3 воздуха, измеряется в граммах и называется абсолютной влажностью (г/м^3). Однако абсолютная влажность не характеризует степень насыщения воздуха влагой, так как при разных температурах максимальное содержание влаги в воздухе неодинаково. Чем выше температура, тем больше влаги может находиться в воздухе, поэтому вводится понятие относительной влажности (выражается в процентах (%)) как отношения действительной упругости водяного пара e в воздухе к максимальной его упругости E при этой температуре.

От относительной влажности воздуха зависит количество влаги, испаряющейся с поверхности ограждения. Чем больше указанная влажность, тем медленнее происходит испарение.

Чрезмерно быстрое высыхание наружных слоев ограждающих конструкций и изделий, например бетонных, в начальный период схватывания бетона может вызвать образование трещин и существенное понижение прочности изделий. Кроме того, появление трещин в стенах способствует снижению их теплофизических характеристик в процессе эксплуатации здания. При малой относительной влажности воздуха высыхание наружных слоев бетона происходит быстрее, чем протекает реакция гидратации цемента, что приводит к ухудшению структурно-механических свойств наружных слоев изделия или конструкции.

При повышении температуры воздуха данной влажности его относительная влажность понижается. Это объясняется тем, что упругость водяного пара e остается без изменений, а максимальная упругость E увеличивается. Совершенно противоположное наблюдается при охлаждении воздуха: возрастает его относительная влажность вследствие уменьшения максимальной упругости E . При некоторой температуре значение e достигнет величины E и воздух приобретет относительную влажность, равную 100 %, т. е. достигнет полного насыщения. Температура, при которой воздух с данной упругостью водяного пара достигнет полного насыщения, называется *точкой росы*. Если продолжать охлаждение воздуха ниже точки росы, то предельная упругость водяного пара будет понижаться, а излишнее количество водяного пара, фактически имеющегося в охлаждаемом воздухе, – конденсироваться, т. е. переходить в капельно-жидкое состояние.

В зимнее время могут возникнуть затяжные оттепели при вторжении массы теплого влажного воздуха. При смешивании его с холодным воздухом он постепенно охлаждается, конденсирует влагу, что приводит к образованию тумана.

Теплоизоляционные материалы, используемые в ограждающих конструкциях, обладают способностью поглощать влагу, находящуюся в парообразном состоянии, из окружающего воздуха. Это явление называется *сорбцией*. Несмотря на то что проникновение водяных паров вглубь материала происходит достаточно медленно и зависит от плотности материала и температуры воздуха, со временем могут снижаться не только теплозащитные свойства утеплителя, но и долговечность, а также ухудшаться внешний вид ограждающих конструкций (цвет, фактура, равномерность окраски и т.д.).

Водяной пар, содержащийся во внутреннем воздухе здания. Водяной пар постоянно образуется во внутренних помещениях здания в результате жизнедеятельности людей (приготовления пищи, стирки, купания, мытья полов и т.д.). Особенно высокая влажность наблюдается в недавно построенных или отремонтированных зданиях. Новые конструкции могут обладать исключительно высоким влагосодержанием из-за конструктивной влажности. Чем выше температура и эффективнее проветривание, тем быстрее происходит процесс высыхания конструкции.

Водяной пар, содержащийся в воздухе внутри здания, в процессе диффузии и конвективного переноса проникает в конструкцию стены и, охлаждаясь до температуры ниже точки росы, конденсируется. Количество образующейся влаги тем выше, чем больше разница температур снаружи и во внутренних помещениях, поэтому в зимнее время влага довольно интенсивно накапливается в стене. При этом необходимо понимать, что влага внутреннего воздуха может также переходить в стеновую конструк-

цию вместе с воздушными потоками сквозь различные щели, трещины, негерметичные стыки и швы.

Для того чтобы стена со временем не теряла свою теплоизолирующую способность и конструктивную прочность, вся влага, накапливающаяся в толще стены зимой и летом, должна выходить наружу.

Наиболее надежная защита от водяного пара особенно важна в зданиях с помещениями, имеющими высокую влажность: бассейнах, компьютерных залах и т.д. защите от пара необходимо уделить особое внимание и при строительстве в районах с экстремально холодным климатом (даже при нормальной влажности внутри помещений). Негативные последствия этого явления можно предотвратить, используя различные конструктивные приемы (в первую очередь устройство вентилируемых зазоров) либо включая в конструкцию стены пароизоляционные материалы (изнутри помещения).

Влага почвы. При отсутствии гидроизоляции грунтовые и осадочные воды в фундаменте здания могут под воздействием капиллярных сил подниматься в цоколь. В случае ненадлежащего устройства изоляции между цоколем и стеновой конструкцией влага может подняться в собственно стеновую конструкцию.

Ветер. Потоки ветра, встречая на пути препятствие в виде здания, обходят его, в результате вокруг постройки образуются области положительного и отрицательного давления. Ветровые нагрузки, увеличивающиеся по высоте здания, в обязательном порядке учитывают при расчетах ограждающих конструкций.

Влияние ветра на дома и жилые застройки сказывается довольно сильно. При приближении ветрового потока к зданию он начинает оказывать давление на обращенную к нему часть фасада. В результате с этой стороны здания образуется зона повышенного давления, или ветровой подпор, при котором холодный воздух начинает более интенсивно проникать через стены, окна, стыки, щели внутрь жилых помещений, сильно их охлаждая. Это явление называется *инфильтрацией*.

Обогнув здание, ветровой поток продолжает свое движение и образует с противоположной стороны здания зону пониженного давления, или ветровой отсос. Возникает значительный перепад давлений с двух противоположных сторон дома, что способствует проникновению холодного воздуха в помещение и более интенсивному движению воздуха внутри дома от наветренной стороны к противоположной. Все это ведет к образованию сквозняков, выводящих тепло из комнат и способствующих понижению температуры внутреннего воздуха и резкому увеличению тепловых потерь зимой.

Следует отметить, что сильный ветер, особенно ураганный, оказывает существенное влияние на состояние ограждающих конструкций

зданий и может приводить к значительному снижению их эксплуатационных свойств (вплоть до разрушения).

Солнечная радиация. Различные материалы обладают разной чувствительностью к солнечной радиации. Так, например, солнечное излучение практически не оказывает влияния на керамическую плитку, а также на материалы из металлов без нанесенных на них полимерных покрытий. В то же время лакокрасочные материалы покрытия подвержены весьма значительному разрушению, что проявляется в виде растрескивания краски на фасаде. Многие материалы не изменяют своих физических свойств, но теряют внешнюю привлекательность, например выцветают (краски и некоторые полимерные покрытия). Таким образом, выбирая облицовочный материал для применения в южных районах, следует удостовериться, что он обладает достаточной светостойкостью.

Температура наружного воздуха и перепады температур. Расчетная температура наружного воздуха в районе строительства в холодный период года существенным образом влияет на выбор конструктивного решения ограждающих конструкций и используемых материалов. Для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций применяют усредненные температуры наружного воздуха: среднюю температуру наиболее холодной пятидневки, среднюю температуру наиболее холодных суток, абсолютную минимальную температуру наружного воздуха. Средняя температура наиболее холодных суток всегда ниже, чем средняя температура наиболее холодной пятидневки. Наименьшая разница между этими температурами (около 4 °С) характерна для большей части Сибири, где зимы суровы и устойчивы, а перепады между этими температурами значительно меньше, чем в европейской части России. Здесь из-за довольно частых циклонов и антициклонов, сопровождающихся резким изменением температуры, эта разница составляет более 6 °С. Различия между расчетными температурами наружного воздуха нужно знать, чтобы правильно выбрать материалы для теплозащиты зданий. Потери тепла ограждающей конструкцией даже в течение суток происходят неравномерно. В ночное время, когда воздух наиболее холодный, температура наружной поверхности стены снижается максимально, и постепенно стена начинает охлаждаться по толщине.

Быстрота охлаждения конструкции зависит от ее тепловой инерции, т. е. от способности усваивать и отдавать теплоту. Для ограждающих конструкций с большой тепловой инерционностью расчетная температура наружного воздуха принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки. Период в 5 суток принят, поскольку его длительность достаточна для того, чтобы низкая температура наружного воздуха, установившаяся в течение этого периода, вызвала максимальное уменьшение температуры на внутренней поверхности стены. Для охлаждения ограждающей конструкции малой инерционности достаточно

одних суток, поэтому для ее теплотехнического расчета принимается средняя температура наиболее холодных суток.

В качестве ограждающих конструкций наружные стены функционируют в довольно жестком режиме, испытывая влияние перепада температур. Как правило, внутренняя поверхность стен имеет температуру, близкую к температуре помещения. В то же время температура наружной поверхности меняется в достаточно широких пределах – от весьма значительных отрицательных величин (в морозную зимнюю ночь) до близких к 100 °С (в летний солнечный день). При этом температура наружной поверхности стены может быть неоднородной из-за неодинаковой освещенности солнцем разных ее участков. Однако, как известно, все материалы в той или иной степени подвержены термическому растяжению и сжатию, поэтому во избежание деформаций и разрушения очень важно, чтобы материалы, «работающие» в единой конструкции, имели близкие коэффициенты температурного расширения или чтобы для обеспечения их совместной работы применялись бы соответствующие технические решения.

Для материалов стен серьезную опасность могут представлять частые (иногда ежесуточные) перепады температуры от плюса к минусу. Это обычно происходит в районах с мягкой и влажной зимой. В подобных климатических зонах необходимо обращать особое внимание на такую важную характеристику материалов, как водопоглощение. При высоком уровне водопоглощения при положительных температурах влага проникает и накапливается в порах материала, а при отрицательных к тому же замерзает и, расширяясь, деформирует саму структуру материала. В результате происходит прогрессирующее разрушение материала, приводящее к образованию трещин.

Химически агрессивные вещества, содержащиеся в воздухе. Как правило, в больших городах или вблизи крупных предприятий в атмосфере наблюдается достаточно высокая концентрация химически агрессивных веществ, например сероводорода и углекислого газа. В связи с этим для всех элементов ограждающих конструкций здания в таких районах необходимо применять материалы, стойкие к химическим веществам, присутствующим в воздухе.

Свойство материала – философская категория, выражающая такую сторону предмета, которая обуславливает его различие или общность с другими предметами и проявляется в его отношении к ним. Для строительных материалов обнаружение того или иного свойства связано со способом передачи энергии эксплуатационной среды (внешнего воздействия) и реакцией структуры материала.

Классификация основных свойств. В зависимости от характера работы материала в конструкциях и его взаимодействия с окружающей средой различают свойства: а) физические; б) механические;

в) химические; г) биологические; д) интегральные (долговечность и надежность).

Свойства материала всегда оценивают числовыми показателями. Они выражают свойства в цифровом значении в соответствии с выбранной единицей измерения. Определить численное значение показателя можно, если выполнить испытание образца материала.

Испытание образца выполняется по утвержденной методике, детальное описание которой приведено в соответствующем стандарте. Описание метода испытания дается в следующей последовательности:

- 1) подготовка образца;
- 2) подготовка прибора;
- 3) проведение испытания;
- 4) обработка результатов.

Испытанию предшествует процедура отбора проб и подготовки пробы к испытанию. Это очень важный этап, который регламентируется либо в отдельном стандарте, либо в соответствующем разделе в ГОСТе на методы испытаний.

Тщательный подход к нормированию процедуры отбора проб и последовательных действий при проведении испытаний гарантирует получение достоверных и воспроизводимых значений показателей качества материала. Только на основе достоверных данных о свойствах применяемых материалов возможно обеспечить их надежную работу на весь срок эксплуатации сооружения при оптимальных значениях экономической эффективности строительства.

Лабораторные работы, относящиеся к данному разделу, содержат методики определения основных физических и механических свойств материалов, причем в основном применительно к испытаниям каменных материалов, в первую очередь бетона.

1.1. Определение физических свойств строительных материалов (лабораторная работа № 1)

Физические свойства материала характеризуют его отношение к физическим воздействиям окружающей среды или являются удельными характеристиками твердого состояния. Физические свойства разделяются:

1) на удельные характеристики состояния и структурные (истинная плотность, средняя плотность, насыпная плотность; общая, открытая и закрытая пористость);

2) свойства материалов по отношению к действию воды, или гидрофизические свойства (влажность, водопоглощение, водостойкость и др.), а также к одновременному действию воды и мороза (морозостойкость);

3) свойства материалов по отношению к действию тепла или холода, т.е. теплофизические свойства (теплопроводность, теплоемкость, огнеупорность, огнестойкость и др.).

Средняя плотность ρ_o (кг/м³) – масса m единицы объема V_o твердого материала в естественном состоянии вместе с порами и пустотами:

$$\rho_o = \frac{m}{V_o}. \quad (1.1)$$

Средняя плотность измеряется в единицах измерения: кг/м³, кг/дм³, г/см³, т/м³. Значения средней плотности строительных материалов могут меняться в широких пределах (табл. 1.1). Средняя плотность находится в обратной зависимости от пористости материала.

Таблица 1.1

Примерные значения средней и истинной плотности некоторых строительных материалов

Материал	Средняя плотность материала ρ_o , кг/м ³	Истинная плотность материала ρ , г/см ³
Вода	1 000	1,0
Гранит	2 600–2 700	2,7–2,8
Известняк плотный	2100–2 400	2,4–2,6
Бетон тяжелый	1 800–2 500	2,7–2,8
Асфальтобетон	2 300–2 400	2,5–2,7
Кирпич	1 600–1 800	2,5–2,7
Древесина сосны	500–600	1,5–1,6
Сталь	7 800–7 850	7,80–7,85
Стекло	2 400–2 600	2,4–2,6
Минеральная вата	100–400	2,6–2,7
Пенопласт	20–60	1,3–1,4

Истинная плотность – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор и пустот. Истинная плотность ρ (г/см³, кг/м³) вычисляется по формуле

$$\rho = m/V_a,$$

где m – масса материала; V_a – объем материала в абсолютно плотном состоянии.

Насыпная плотность ρ_n (кг/м³) – отношение массы материала в насыпном состоянии к его объему. Насыпную плотность определяют для сыпучих материалов (песка, щебня, цемента и т.п.) по формуле, аналогичной (1.1). В ее значении отражается влияние не только пор в каждом зерне, но и межзерновых пустот в рыхлонасыпанном объеме материала.

Пористость – относительная величина (обычно в процентах), показывающая, какая часть объема материала занята порами или пустотами.

Различают общую, открытую и закрытую пористость. Пористость (*общая*) Π (%) – степень заполнения объема материала порами, которые как насыщаются водой (открытые), так и недоступны для воды при обычных условиях водонасыщения (закрытые), т.е.

$$\Pi = \frac{V_{\Pi}}{V_o} \cdot 100 = \frac{V_o - V_a}{V_o} \cdot 100,$$

где V_{Π} – объем всех пор в материале; V_o – объем материала в естественном состоянии; V_a – объем материала в абсолютно плотном состоянии.

Открытая пористость Π_o определяется как отношение суммарного объема пор, насыщающихся водой, $V_{\Pi}^{\text{БОД}}$ к объему материала V_o , т.е.

$$\Pi_o = V_{\Pi}^{\text{БОД}} / V_o.$$

Закрытая пористость Π_3 (%):

$$\Pi_3 = \Pi - \Pi_o. \quad (1.2)$$

Влажность материала характеризуется тем количеством воды, которое содержится в порах и адсорбировано на поверхности материала в естественном состоянии.

Влажность образца материала W (%) вычисляется по формуле

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_c},$$

где m_b – масса влажного образца, г; m_c – масса сухого образца, г.

Водопоглощение – это способность материала впитывать и удерживать в порах воду. Определяют водопоглощение по массе и объему.

Водопоглощение по массе B_M (%) вычисляют по формуле

$$B_M = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100, \quad (1.3)$$

где m_n – масса насыщенного водой образца, г; m_c – масса сухого образца, г.

Водопоглощение по объему B_o (%) – степень заполнения объема материала водой или суммарным объемом доступных для воды пор, что характеризует открытую пористость материала. Водопоглощение по объему определяют по формуле

$$B_o = \frac{m_n - m_c}{\rho_v \cdot V_o} \cdot 100,$$

где V_o – объем образца, см³; ρ_v – плотность воды (1 г/см³).

Иначе водопоглощение по объему можно рассчитать, зная водопоглощение по массе B_M и среднюю плотность ρ_0 материала в сухом состоянии, т.е.

$$B_0 = \frac{B_M \cdot \rho_0}{\rho_B} \cdot 100. \quad (1.4)$$

Водостойкость характеризуется коэффициентом размягчения K_p , который вычисляется по формуле

$$K_p = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}},$$

где $R_{\text{нас}}$ – предел прочности на сжатие в насыщенном водой состоянии, МПа; $R_{\text{сух}}$ – предел прочности на сжатие в сухом состоянии, МПа.

Морозостойкость – способность материала выдерживать многократное замораживание и оттаивание в насыщенном водой состоянии. Замерзание воды, заполняющей открытые поры материала, сопровождается увеличением ее объема примерно на 10 %, в результате чего возникает давление на стенки пор, приводящее к разрушению материала. Морозостойкость количественно оценивают маркой по морозостойкости, определяемой наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания при испытании образцов материала в водонасыщенном, а иногда (при ускоренных методах) в насыщенном раствором соли состоянии, если в результате испытания прочностные характеристики и масса образцов остаются в нормированных пределах, а также отсутствуют видимые признаки разрушения (трещины, сколы, шелушение и т.п.).

Так как объем воды при замерзании увеличивается приблизительно на 10 %, морозостойкими можно считать лишь те материалы, в которых вода может заполнить не более 90 % от объема всех пор. Если же принять во внимание неравномерность структуры материалов, то безопасным следует считать заполнение водой не более 80 % объема всех пор. Отсюда вытекает, что морозостойкими могут быть материалы, у которых открытая пористость (водопоглощение по объему) составляет не более 80 % общей пористости материала. Кроме того, морозостойкими являются те материалы, водопоглощение которых близко к нулю (не более 0,5 %).

Морозостойкость материала характеризуется также коэффициентом его размягчения, который должен быть не ниже 0,8. Низкий коэффициент размягчения обычно указывает на присутствие в материале глинистых или других размокающих примесей, отрицательно сказывающихся на морозостойкости. В тех случаях, когда требуются более надежные данные о морозостойкости материалов (например, при облицовке зданий, строительстве мостов, гидротехнических сооружений и т.п.), их испытывают в лабораториях.

Теплопроводность – способность материала передавать тепло от тела с большей температурой к менее теплому. Характеризуется коэффициентом теплопроводности в Вт/(м · °С):

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A \cdot (t_1 - t_2) \cdot T},$$

где Q – количество тепла, Дж; δ – толщина материала, м; A – площадь сечения, м²; $(t_1 - t_2)$ – разность температур, °С; T – продолжительность прохождения тепла, с.

Теплопроводность зависит от структуры материала, его влажности и температуры. Существует эмпирическая формула В.П. Некрасова для определения теплопроводности материала по его средней плотности:

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot d^2} - 0,16,$$

где d – относительная плотность материала (плотность материала по отношению к плотности воды), безразмерная величина.

Теплопроводность зависит от влажности материала, так как вода обладает большей теплопроводностью (в 25 раз) по сравнению с теплопроводностью воздуха.

Теплоемкость определяется количеством теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг данного материала, чтобы повысить его температуру на 1 °С. С увеличением влажности материалов их теплоемкость возрастает, так как вода имеет теплоемкость 4,19 кДж/(кг · °С).

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительное влияние высоких температур под нагрузкой.

Огнестойкость – способность материала выдерживать кратковременное воздействие открытого огня. Различают материалы *несгораемые*, т.е. которые не горят и не поддерживают горение (бетон, металл, керамика); *трудногораемые*, т.е. которые при воздействии огня горят (тлеют), а при удалении огня прекращают горение (асфальтобетон, пропитанная антипиренами древесина); *сгораемые* (древесина, полимерные материалы).

1.1.1. Определение средней плотности

Среднюю плотность материалов определяют на изделиях или образцах правильной и неправильной формы в состоянии естественной влажности, в воздушно-сухом и (или) сухом состояниях.

1.1.1.1. Определение средней плотности образцов правильной геометрической формы

Образцы правильной геометрической формы в виде куба, параллелепипеда или цилиндра должны иметь размер по наименьшему измерению не менее 50 мм.

Образцы измеряют с необходимой точностью штангенциркулем или металлической линейкой (в зависимости от размера образцов), вычисляют их объем, после чего взвешивают на технических весах. Каждую грань образца формы куба или параллелепипеда измеряют в трех местах, как показано на рис. 1.1а. За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани.

На каждой из параллельных плоскостей образца цилиндрической формы проводят два взаимно перпендикулярных диаметра (d_1, d_2, d_3, d_4) и измеряют их длину; кроме того, измеряют диаметры средней части цилиндра (d_5, d_6) в середине его высоты (рис. 1.1б). За окончательный результат принимают среднее арифметическое шести измерений диаметра. Высоту цилиндра определяют в четырех местах (h_1, h_2, h_3, h_4) и за окончательный результат принимают среднее арифметическое четырех измерений.

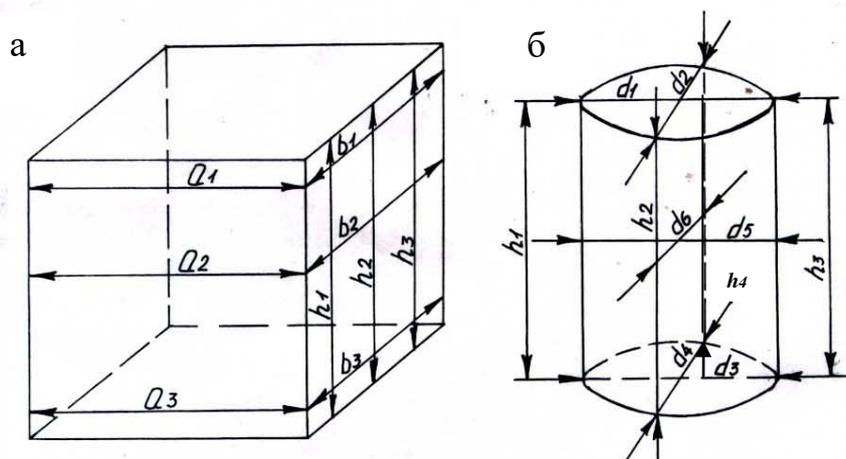


Рис. 1.1. Схемы измерения объема образцов правильной геометрической формы:

а – образец в виде куба; б – образец в виде цилиндра

Образцы любой формы со стороной размером до 100 мм измеряют с погрешностью до 0,1 мм, размером 100 мм и более – с погрешностью до 1 мм.

Образцы массой менее 500 г взвешивают с погрешностью до 0,1 г, а массой 500 г и более – с погрешностью до 1 г.

Объем образца (см^3), имеющего вид куба или параллелепипеда:

$$V_o = a_{\text{ср}} \cdot b_{\text{ср}} \cdot h_{\text{ср}},$$

где $a_{\text{ср}}, b_{\text{ср}}, h_{\text{ср}}$ – средние значения размеров граней образца, см.

Объем образца (см³) цилиндрической формы

$$V_o = \pi \cdot d_{cp}^2 \cdot h_{cp} / 4,$$

где $\pi = 3,14$; d_{cp} – средний диаметр цилиндра, см; h_{cp} – средняя высота цилиндра, см.

Зная объем и массу образца, по формуле (1.1) вычисляют его среднюю плотность. Среднюю плотность материала определяют как среднее арифметическое трех ее значений для различных образцов.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты определения средней плотности образцов
правильной геометрической формы

Наименование материала	Масса образца m , г	Размеры образца, см			Объем V_o , см ³	Средняя плотность ρ_o		Справочные значения (диапазон), кг/м ³
		a	b	h		г/см ³	кг/м ³	

1.1.1.2. Определение средней плотности образцов неправильной геометрической формы

Объем образцов бетона неправильной формы определяют в объемном измере или гидростатическим взвешиванием.

Имеющие мелкопористую структуру образцы бетона или других каменных материалов, на поверхности которых отсутствуют каверны, раковины, трещины, перед испытанием парафинируют или насыщают водой не менее суток.

Парафинирование проводят следующим образом. Образец, высушенный до постоянной массы, нагревают до 60 °С, взвешивают и несколько раз погружают в расплавленный парафин с таким расчетом, чтобы на его поверхности образовалась пленка парафина толщиной около 1 мм. После этого образец снова взвешивают.

Образцы материала, имеющие крупнопористую структуру (поры размером более 2 мм) или имеющие на поверхности каверны и раковины (диаметром и глубиной более 2 мм), а также трещины (шириной более 0,5 мм), перед испытанием парафинируют дважды следующим образом. Образец, высушенный до постоянной массы, нагревают в сушильном шкафу до температуры 60 °С. С помощью кисточки заполняют парафином, нагретым до 100 °С, все открытые каверны, раковины и поры заподлицо с поверхностью образца. После этого образец взвешивают.

Второе парафинирование проводят двухкратным погружением в расплавленный парафин с таким расчетом, чтобы на образце образовалась пленка парафина толщиной около 1 мм. Затем образец вновь взвешивают.

Определение средней плотности с помощью объемомера.

Объемомер (рис. 1.2) представляет собой сосуд произвольной формы, размеры которого позволяют испытать образцы с размерами, предусмотренными соответствующими стандартами на методы испытаний материалов. В сосуд впаяна трубка внутренним диаметром 10 мм с загнутым концом.

Объемомер наполняют водой температурой 20 ± 2 °С до тех пор, пока она не потечет из трубки. Когда из трубки прекращается падение капель, под нее ставят предварительно взвешенную емкость.

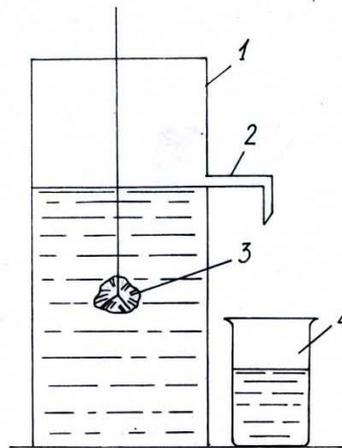


Рис. 1.2. Объемомер:
1 – цилиндр; 2 – латунная трубка;
3 – образец; 4 – стакан

Образец, подготовленный к испытаниям, осторожно погружают на тонкой проволоке или нити в объемомер. При этом вода, вытесненная образцом, через трубку вытекает в емкость для сбора воды. После прекращения падения капель емкость с водой взвешивают и определяют объем вытесненной воды, равный объему образца V_1 , см³, покрытого парафином, по формуле

$$V_1 = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{\text{в}}},$$

где m_1 – масса пустой емкости для сбора воды, г; m_2 – масса емкости с водой, вытесненной образцом, г; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, принимаемая равной 1,0 г/см³.

Определяют объем парафина (см³), затраченного на покрытие образца:

$$V_{\text{п}} = (m_1 - m) / \rho_{\text{п}},$$

где m – масса сухого образца, г; m_1 – масса образца, покрытого парафином, г; $\rho_{\text{п}}$ – плотность парафина, равная 0,93 г/см³.

После этого вычисляют плотность образца (г/см³):

$$\rho_0 = m / (V_1 - V_{\text{п}}),$$

где m – масса сухого образца, г; V_1 – объем образца с парафином, численно равный массе воды, вытесненной образцом, см³; $V_{\text{п}}$ – объем парафина, см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты определения средней плотности образцов
неправильной геометрической формы
с помощью объемомера

Наименование материала	Масса образца m , г	Масса образца, покрытого парафином m_1 , г	Объем образца с парафином V_1 , см ³	Объем парафина $V_{\text{п}}$, см ³	Средняя плотность образца ρ_0		Справочные значения (диапазон), кг/м ³
					г/см ³	кг/м ³	

Определение средней плотности методом гидростатического взвешивания. Согласно закону Архимеда на тело, находящееся в жидкости, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости. Так как в качестве жидкости используется вода, плотность которой равна 1 г/см³, то объем образца будет численно равен выталкивающей силе, рассчитанной как разность веса образца на воздухе и в воде.

Сухой образец неправильной формы взвешивают на технических весах, затем парафинируют и снова взвешивают. После этого его подвешивают на тонкой нити к крючку приспособления, закрепленного на левом конце коромысла гидростатических весов (рис. 1.3).

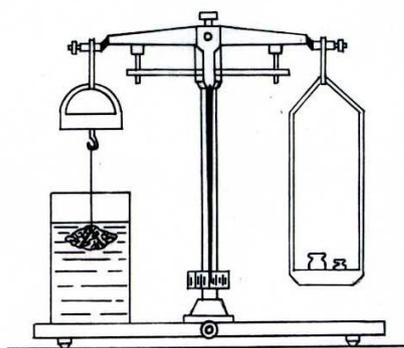


Рис. 1.3. Взвешивание образца на гидростатических весах

Массу образца уравнивают гирями, устанавливая их на правую чашку. Образец погружают в стакан с водой так, чтобы он не касался сте-

нок и дна (при этом равновесие весов нарушается), весы снова уравнивают, сняв с правой чашки часть гирь, и определяют вес образца в воде. При этом средняя плотность образца (г/см^3) рассчитывается так:

$$\rho_0 = m / (m_1 - m_2 - (m_1 - m) / \rho_{\text{п}}), \quad (1.5)$$

где m – масса сухого образца, г; m_1 – масса образца, покрытого парафином, на воздухе, г; m_2 – вес образца в воде, г; $\rho_{\text{п}}$ – плотность парафина, равная $0,93 \text{ г/см}^3$.

Среднюю плотность материала вычисляют как среднее арифметическое определений для трех-пяти образцов, г/см^3 .

Результаты испытаний заносят в табл. 1.4.

Таблица 1.4

**Результаты определения средней плотности образцов
неправильной геометрической формы
методом гидростатического взвешивания**

Наименование материала	Масса образца m , г	Масса образца, покрытого парафином, на воздухе m_1 , г	Вес образца с парафином в воде m_2 , г	Средняя плотность образца ρ_0		Справочные значения (диапазон), кг/м^3
				г/см^3	кг/м^3	

1.1.2. Определение насыпной плотности

Сущность испытания заключается в заполнении мерного сосуда рыхло-зернистым материалом.

В зависимости от крупности частиц материала используют сосуды различной вместимости (табл. 1.5).

Таблица 1.5

**Объем мерного сосуда для определения насыпной плотности
в зависимости от размера частиц материала**

Наибольшая крупность частиц, мм	5	10	20	40	Более 40
Объем сосуда, дм^3	1	5	10	20	50

Насыпную плотность сыпучих материалов с размерами зерен до 5 мм (песка, цемента и др.) определяют с помощью воронки в виде конуса с заслонкой в нижней части (рис. 1.4).

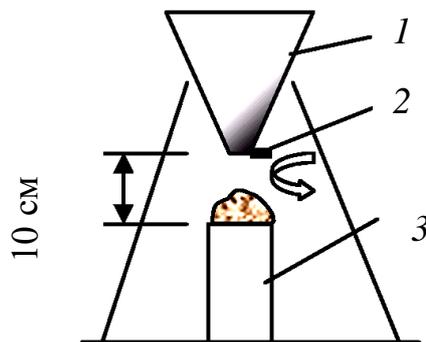


Рис. 1.4. Определение насыпной плотности:
 1 – воронка-конус; 2 – заслонка; 3 – мерный сосуд

Насыпную плотность материала вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V},$$

где m_1 – масса сосуда, г; m_2 – масса сосуда с материалом, г; V – объем сосуда, дм^3 .

Результаты испытаний заносят в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Результаты определения насыпной плотности образцов

Наименование материала	Масса сосуда m_1 , г	Масса сосуда с материалом m_2 , г	Объем сосуда V , дм^3	Насыпная плотность материала ρ_n , кг/м^3	Справочные значения (диапазон), кг/м^3

1.1.3. Определение истинной плотности

Чтобы определить истинную плотность материала, следует его образец измельчить до полного разрушения пористой макроструктуры, т.е. до состояния тонкого порошка.

Истинную плотность материала определяют либо с помощью специальной стеклянной колбы – объеммера Ле-Шателье вместимостью 120–150 см^3 , либо с помощью пикнометра – колбы точного объема с вместимостью обычно 100 см^3 .

Для определения истинной плотности каменного материала или песка с помощью установки с использованием *объеммера Ле-Шателье* (рис. 1.5) из отобранной предварительно измельченной до крупности менее 5 мм и тщательно перемешанной пробы отвешивают около 200 г. Полученную пробу измельчают в ступке до порошкообразного состояния (менее 0,125 мм), высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 ± 5 °С до постоянной массы, а затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе, в котором порошок хранят до проведения испытания.

При испытании кварцевого песка допускается вместо измельчения в ступке ограничиться его просеиванием через сито 5 мм.

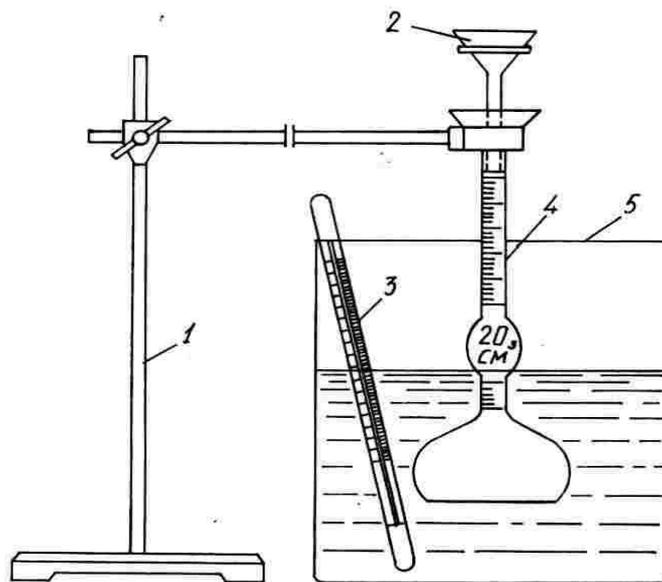


Рис. 1.5. Установка для определения истинной плотности
1 – штатив; 2 – воронка; 3 – термометр;
4 – объеммер Ле-Шателье; 5 – стеклянный сосуд с водой

От подготовленной пробы, находящейся в эксикаторе, отвешивают с погрешностью до 0,01 г на технических весах две навески порошка (в зависимости от испытуемого материала: по 50 г – для каменного материала, 65 г – цемента, 75 г – песка).

Объеммер наполняют до нижней нулевой черты жидкостью, инертной по отношению к порошку материала (водой, безводным керосином или спиртом – для цемента). После этого свободную от жидкости часть (выше черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Затем объеммер помещают в стеклянный сосуд с водой и термометром. Вода должна иметь температуру 20 °С (это температура, при которой градуировали шкалу объеммера). В воде объеммер остается все время, пока идет испытание. В этом положении он может всплыть, поэтому его закрепляют на штативе так, чтобы вся градуированная часть шейки находилась в воде.

Навеску порошка высыпают ложечкой через воронку в прибор небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в нем не поднимется до черты с делением 20 см³ или до черты в пределах верхней градуированной части прибора. Разность между конечными и начальными уровнями жидкости в объеммере показывает значение объема порошка, всыпанного в прибор. Остаток порошка взвешивают. Масса порошка, всыпанного в объеммер, будет равна разности между результатами первого и второго взвешиваний.

Истинная плотность материала (г/см³):

$$\rho = (m_1 - m_2) / V_a,$$

где m_1 – навеска материала до опыта, г; m_2 – остаток от навески, г; V_a – объем жидкости, вытесненной навеской материала (объем порошка в объемомере), см³.

Истинную плотность материала вычисляют с округлением до 0,01 г/см³ как среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см³.

Результаты испытаний записывают в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Результаты определения истинной плотности
с помощью объемомера Ле-Шателье

Наименование материала	Первоначальная масса пробы m_1 , г	Масса остатка m_2 , г	Объем вытесненной жидкости V_a , см ³	Истинная плотность ρ , г/см ³	
				полученное значение	по справочным данным

Для определения с помощью *пикнометра* (рис. 1.6) истинной плотности каменного материала или песка используют предварительно высушенную и измельченную пробу около 30 г. Ее разделяют на две части. Каждую засыпают отдельно в заранее высушенный и взвешенный пикнометр. Затем определяют массу пикнометра с материалом.

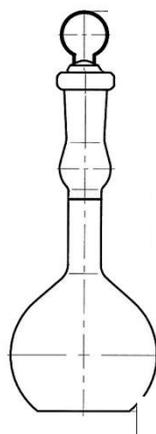


Рис. 1.6. Пикнометр

В пикнометр заливают дистиллированную воду (примерно на 1,5–2 см выше уровня материала), ставят его на водяную или песчаную баню в наклонном положении и кипятят в течение 15–20 мин для удаления пузырьков воздуха. После этого пикнометр охлаждают до комнатной температуры, доливают водой до метки (по нижнему мениску), вытирают и

взвешивают с погрешностью до 0,01 г. Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, заполняют дистиллированной водой до риски и снова взвешивают.

Истинную плотность материала вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m_1 - m_2) \cdot \rho_{\text{в}}}{m_1 - m_2 + m_3 - m_4},$$

где m_1 – масса пикнометра с порошком, г; m_2 – масса пустого пикнометра, г; m_3 – масса пикнометра с дистиллированной водой, г; m_4 – масса пикнометра с порошком и дистиллированной водой, г; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды (принимается равной 1 г/см³).

Истинную плотность вычисляют как среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Результаты определения истинной плотности
с помощью пикнометра

Наименование материала	Масса пикнометра с порошком m_1 , г	Масса пустого пикнометра m_2 , г	Масса пикнометра с дистиллированной водой m_3 , г	Масса пикнометра с порошком и дистиллированной водой m_4 , г	Истинная плотность материала ρ , г/см ³	
					полученное значение	по справочным данным

1.1.4. Определение водопоглощения, пористости и качественная оценка морозостойкости

Испытание каменных материалов (бетона) на водопоглощение производят на образцах в виде кубов с ребром 100 или 150 мм или в виде цилиндров, имеющих такие же диаметр и высоту. Допускается определение водопоглощения материала на образцах, имеющих неправильную геометрическую форму и массу не менее 200 г. Образцы высушивают до постоянной массы, а затем помещают в емкость, наполненную водой, с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенных образцов примерно на 50 мм. При этом образцы укладывают на прокладки так, чтобы высота образца была минимальной. Температура воды в емкости должна быть 20 ± 2 °С.

Образцы взвешивают через каждые 24 ч насыщения водой с погрешностью не более 0,1 г. При каждом взвешивании образцы, вынутые из воды, предварительно вытирают отжатой влажной тканью. Массу воды, вытекшую из пор образца на чашку весов, следует включать в массу насыщенного образца. Насыщение водой производят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут различаться не более чем на 0,1 %.

Водопоглощение материала определяют также *методом кипячения* образцов. При этом образцы кипятят в сосуде с водой. Объем воды должен не менее чем в два раза превышать объем установленных в нем образцов. После каждых 4 ч кипячения образцы охлаждают в воде до комнатной температуры, обтирают влажной отжатой тканью и взвешивают. Испытание производят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут различаться также не более чем на 0,1 %.

Водопоглощение по массе V_M (%) вычисляют по формуле (1.3), а водопоглощение по объему V_o , зная заранее определенное в п. 1.1 значение средней плотности материала ρ_o в сухом состоянии, – по формуле (1.4).

Результаты испытаний заносят в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Результаты определения водопоглощения образца материала

Наименование материала	Масса сухого образца m_c , г	Масса образца, насыщенного водой m_n , г	Водопоглощение образца, %	
			по массе V_M	по объему V_o

На основе найденных ранее опытным путем значений истинной плотности материала ρ и его средней плотности ρ_o в сухом состоянии вычисляют общую пористость Π (%) материала по формуле

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \cdot 100.$$

Открытую пористость Π_o (%) определяют ее приравнением к водопоглощению материала по объему V_o , т.е.

$$\Pi_o = V_o.$$

Закрытую пористость Π_z материала вычисляют по формуле (1.2).

Результаты вычислений общей, открытой и закрытой пористости материала заносят в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Результаты вычислений пористости материала

Наименование материала	Общая пористость П, %	Открытая пористость П _о , %	Закрытая пористость П _з , %	Отношение открытой пористости к общей, %

По структурным характеристикам материала производят качественную оценку его морозостойкости. Морозостойкими могут быть материалы, у которых открытая пористость (водопоглощение по объему) составляет не более 80 % общей пористости. Кроме того, морозостойкими являются те материалы, водопоглощение по массе или объему которых близко к нулю (не более 0,5 %).

Контрольные вопросы

1. Что такое истинная плотность материала, от чего она зависит, как определяется?
2. Почему для определения истинной плотности каменный материал измельчают?
3. Что общего и что разного между истинной и средней плотностью материала?
4. Что такое средняя плотность материала, от чего она зависит, как определяется?
5. Что такое насыпная плотность материала, от чего она зависит, как определяется?
6. Что такое и как определяется общая, открытая и закрытая пористость материала?
7. Что такое и как определяется влажность материала?
8. Какие свойства строительного материала зависят от его влажности?
9. Что такое водопоглощение материала, от чего оно зависит, как определяется?
10. Какая существует зависимость между открытой пористостью (водопоглощением по объему) и морозостойкостью материала?

1.2. Определение механических свойств строительных материалов (лабораторная работа № 2)

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям под влиянием силовых, тепловых, усадочных или других воздействий. Механические свойства разделяются на деформативные (упругость, пластичность) и

прочностные (пределы прочности при сжатии, растяжении, изгибе, скалывании; сопротивление удару или ударная прочность; сопротивление истиранию).

Упругость – свойство материала принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Модуль упругости (модуль Юнга) характеризует меру жесткости материала, т.е. его способность сопротивляться упругому изменению формы и размеров при приложении к нему внешних сил. Модуль упругости (МПа) вычисляется из закона Гука:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon},$$

где σ – напряжение, МПа; ε – относительная деформация.

Пластичность – свойство материала при нагружении в значительных пределах изменять размеры и форму без образования трещин и разрывов и сохранять эту форму после снятия нагрузки. Пластическая деформация, медленно нарастающая без увеличения напряжения, характеризует пластичность материала. Чаще всего с повышением скорости нагружения и понижением температуры материала деформации по своему характеру приближаются к упругопластическим.

Пластическая деформация, медленно нарастающая длительное время (месяцы и годы), при нагрузках, меньших тех, что способны вызвать остаточную деформацию за обычные периоды наблюдений, называется деформацией *ползучести*, а процесс такого деформирования – *ползучестью*.

Релаксация – свойство материала самопроизвольно снижать напряжения при условии, что начальная величина деформации зафиксирована и остается неизменной. Время, в течение которого первоначальная величина напряжения снижается в e раз (где e – основание натуральных логарифмов), называется периодом релаксации.

Хрупкость – свойство материала под действием нагрузки разрушаться без заметной пластической деформации.

Прочность – это свойство материалов сопротивляться разрушению под воздействием внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок и других факторов (температур, влажностных деформаций, перекристаллизации). При действии различных нагрузок на здания и сооружения в материалах возникают внутренние напряжения сжатия, растяжения, изгиба, среза, кручения и др. Таким образом, прочность является одним из важнейших свойств большинства строительных материалов, особенно конструкционных.

Прочность материала оценивают пределами прочности (временными сопротивлениями), установленными при данном виде напряженного состояния (сжатии, растяжении, растяжении при изгибе и т.д.). Для хрупких материалов (природных каменных материалов, бетонов, строительных рас-

творов, кирпича и др.) основной прочностной характеристикой является предел прочности на сжатие.

Для определения предела прочности на сжатие образцы материала подвергают действию сжимающих усилий и доводят до разрушения. Испытуемые образцы должны иметь правильную геометрическую форму (куб, параллелепипед, цилиндр) (рис. 1.7). Образцы из бетона в форме кубов могут быть следующих размеров: $70 \times 70 \times 70$, $100 \times 100 \times 100$, $150 \times 150 \times 150$, $200 \times 200 \times 200$, $300 \times 300 \times 300$ мм.

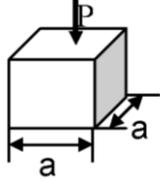
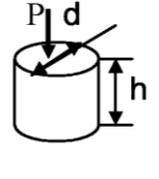
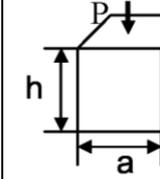
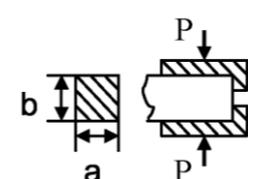
№	Показатели	Основные характеристики образцов			
1	Форма образцов	Куб	Цилиндр	Призма квадратного сечения	Балочка (половинка)
2	Схема испытания				
3	Геометрические размеры образцов	$a = 7, 10, 15, 20, 30$ см	$a = 7, 10, 15, 20, 30$ см $h = d$ или $2d$	$a = 7, 10, 15, 20$ см $h = 4a$	$a = 4$ см, $b = 6,25$ см $F = a \cdot b = 25$ см ²

Рис. 1.7. Схемы испытания и исходные данные для определения предела прочности на сжатие

Предел прочности на осевое сжатие $R_{сж}$ (МПа) равен частному от деления разрушающей силы $P_{разр}$ (Н) на первоначальную площадь поперечного сечения F (мм²) образца (куба, цилиндра, призмы):

$$R_{сж} = P_{разр} / F. \quad (1.6)$$

Показатели предела прочности на сжатие (как и при других видах напряженного состояния) зависят от формы и размеров образца. Например, с увеличением его размеров показатели прочности для одного и того же материала уменьшаются. Изменения условий испытаний (снижение скорости нагружения, увлажнение или нагрев) также могут приводить к изменению показателей прочности.

Предел прочности на растяжение при изгибе определяют на образцах-балочках. Для каждого вида материала размеры образцов устанавливаются соответствующими стандартами. Для определения прочности на растяжение при изгибе цементных растворов образцы-балочки имеют размер $4 \times 4 \times 16$ см; бетонов – $10 \times 10 \times 40$ см, $15 \times 15 \times 60$ см, $20 \times 20 \times 80$ см; древесины – $2 \times 2 \times 30$ см (рис. 1.8).

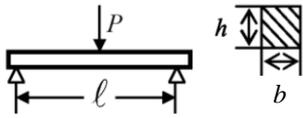
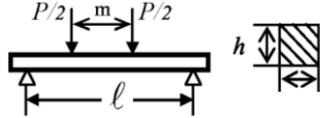
№	Наименование показателей	Характеристики показателей	
1	Форма образцов	Прямоугольная призма квадратного сечения	
2	Размеры образцов	$a (b, h) = 4, 5, 7, 10, 15, 20 \text{ см}; l = 4 a$	
3	Вид нагрузки	Одноточечная	Двухточечная
4	Схема испытания		
5	Расчетная формула	$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot P_{\text{разр}} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$	$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot P_{\text{разр}} \cdot (l - a)}{2 \cdot b \cdot h^2}$
6	Составляющие формул	P – разрушающая сила, Н (кгс); l – расстояние между опорами, м (см); b – ширина образца, м (см); h – высота образца, м (см); m – расстояние между грузами, м (см);	

Рис. 1.8. Схемы испытания и исходные данные для определения предела прочности при изгибе

Образец доводят до разрушения, определяют разрушающую нагрузку и вычисляют предел прочности на растяжение при изгибе $R_{\text{изг}}$ (МПа) по следующим формулам:

при одной сосредоточенной нагрузке, расположенной посередине образца-балочки прямоугольного сечения (рис. 1.9а):

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot P_{\text{разр}} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}; \quad (1.7)$$

двух одинаковых нагрузках, равно отстоящих от опор и одна от другой (рис. 1.9б):

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot P_{\text{разр}} \cdot (l - a)}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1.8)$$

где $P_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка, Н; l – расстояние между опорами балочки, мм; b и h – ширина и высота балочки в поперечном сечении, мм; a – расстояние между двумя грузами, мм.

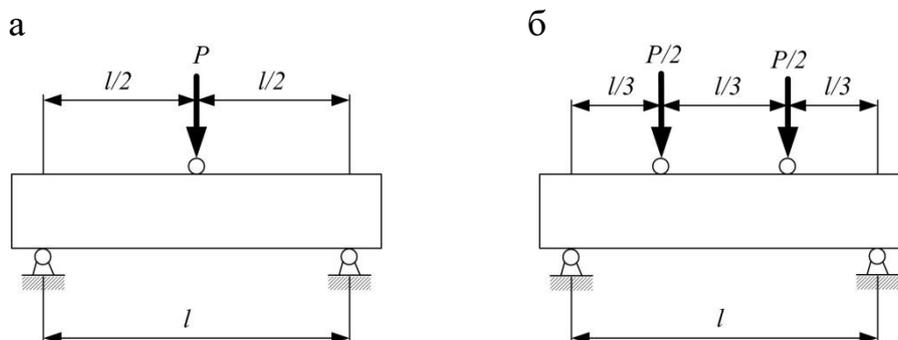


Рис. 1.9. Схемы испытаний на изгиб:

а – при одной сосредоточенной нагрузке; б – двух одинаковых нагрузках

При $a = \frac{1}{3} \cdot l$ формула (1.8) упрощается:

$$R_{\text{изг}} = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2}. \quad (1.9)$$

Твердость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого (более твердого) материала. Твердость каменных материалов, стекла оценивают с помощью шкалы твердости Мооса, состоящей из 10 минералов, расположенных по степени возрастания их твердости (1 – тальк, 10 – алмаз).

Сопротивление удару (ударная или динамическая прочность) – свойство материала сопротивляться ударным нагрузкам. Оно характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение стандартного образца на специальных приборах, называемых копрами, и отнесенной к единице объема (Дж/см³).

Сопротивление истиранию – свойство материала сопротивляться истирающим воздействиям. Оно характеризуется истираемостью – потерей массы при истирании образца на кругах истирания, отнесенной к его площади (г/см²).

Одновременное воздействие истирания и удара характеризует *износостойкость* материала. Это свойство определяют при испытании образцов в полочных барабанах.

1.2.1. Определение предела прочности на сжатие

Для испытания образцов материала на сжатие применяют гидравлические прессы и универсальные испытательные машины различных систем и мощностей. Выбор прессы зависит от размеров образца и его прогнозируемой прочности. Одна из плит прессы (обычно верхняя) должна иметь шаровую опору.

Перед испытанием образец взвешивают и обмеряют. Затем его устанавливают на нижнюю опорную плиту прессы точно по ее центру. Убедившись в правильности установки образца, включают насос прессы и прикладывают к образцу нагрузку, регулируя скорость нарастания давления (обычно $0,6 \pm 0,2$ МПа/с). В момент разрушения образца нагрузка достигает наибольшего значения, которое фиксируется силоизмерителем прессы.

Предел прочности на сжатие образца вычисляют по формуле (1.6).

Иногда для испытания образцов на сжатие используют прессы, снабженные манометром, который показывает давление масла в гидроцилиндре. Тогда, зная площадь поршня и давление масла на его поверхности в момент разрушения образца и умножив величину давления на площадь поршня, можно определить усилие $P_{\text{разр}}$, действующее на образец и разрушающее его. Предварительно измерив площадь F образца, на которую

действует разрушающая нагрузка, по формуле (1.6) можно вычислить предел прочности на сжатие.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Результаты определения предела прочности на сжатие образца материала

Наименование материала	Размеры поперечного сечения образца, мм	Площадь поперечного сечения образца F , мм ²	Разрушающая нагрузка $P_{\text{разр}}$, Н	Предел прочности на сжатие $R_{\text{сж}}$, МПа

1.2.2. Определение предела прочности на растяжение при изгибе

Предел прочности на растяжение при изгибе определяют на гидравлическом прессе при помощи специального приспособления для испытания образцов-балочек на изгиб или на соответствующем приборе (МИИ-100 и др.). При испытании образец устанавливают на опорные валики приспособления для испытания на изгиб или опоры прибора так, чтобы его грани, расположенные при изготовлении горизонтально, находились в вертикальном положении. Образцы нагружают в зависимости от вида материала одной по середине образца или двумя сосредоточенными нагрузками, равно отстоящими от опор и одна от другой, с определенной скоростью. В зависимости от схемы нагружения предел прочности на растяжение при изгибе для данного материала вычисляют по формуле (1.7) или (1.8).

Результаты испытаний заносят в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Результаты определения предела прочности на растяжение при изгибе образца материала

Наименование материала	Схема приложения нагрузки	Размеры образца, мм			Разрушающая нагрузка $P_{\text{разр}}$, Н	Предел прочности на растяжение при изгибе образца $R_{\text{изг}}$, МПа
		b	h	l		

1.2.3. Определение показателя сопротивления удару (ударной прочности)

Испытание на удар природных каменных материалов осуществляют на копре Педжа (рис. 1.10), который состоит из массивной металлической опоры, переходящей внизу в стальную наковальню массой около 50 кг.

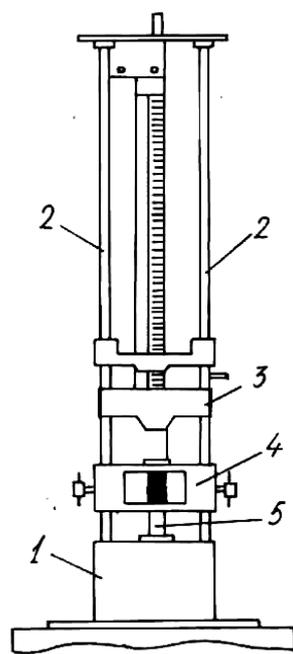


Рис. 1.10. Копер Педжа для испытания цилиндрических образцов на удар:
 1 – наковальня; 2 – направляющие стержни;
 3 – гиря; 4 – подбабок; 5 – образец

На опоре вертикально закреплены две направляющие штанги, по которым, свободно перемещаясь, движется стальная баба массой 2 кг. Удар бабы по образцу, установленному на наковальне, производится через подбабок, имеющий внизу сферическую поверхность диаметром 1 см; этой сферической поверхностью надбабок соприкасается с образцом в центре его верхней плоскости.

Для испытания изготавливают из горной породы цилиндрические образцы диаметром и высотой 25 мм. Образец устанавливают на наковальню копра и прижимают подбабком точно по центру. Удары должны приходиться точно в центр верхней плоскости образца. Первый удар наносят с высоты 1 см, второй – с 2 см, третий – с 3 см и так далее до разрушения образца, т.е. до появления первой трещины.

Показателем сопротивления образца удару служит порядковый номер удара, предшествующий разрушению, т.е. появлению первой трещины. Так, если первая трещина появилась после 24-го удара с высоты 24 см, то считают, что показатель сопротивления удару равен 23.

Каменный материал признается хорошо сопротивляющимся удару при показателе, равном 16 и выше, и плохо сопротивляющимся удару при показателе, равном 8 и ниже.

Для сопоставления полученной величины с результатами испытания на копрах других систем вычисляют ударную прочность $R_{уд}$ (Дж/см³) как

работу A (Дж), затраченную на разрушение образца и отнесенную к его объему V (см³). Подсчет ведут по формуле

$$R_{уд} = \frac{A}{V} = \frac{mg(1 + 2 + 3 + \dots + n)}{100V},$$

где m – масса гири, кг; g – ускорение свободного падения, 9,8 м/с²; n – порядковый номер удара, предшествующий разрушению образца и численно равный соответствующей высоте сброса груза в сантиметрах; V – объем образца, см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Результаты определения ударной прочности образца материала

Наименование материала	Размеры образца, см	Объем образца V , см ³	Масса гири m , кг	Показатель сопротивления удару образца n	Ударная прочность A , Дж/см ³

1.2.4. Определение показателя истираемости

Сопротивление истиранию – это способность материала сопротивляться изменению объема или массы под действием истирающих усилий.

Показатель истираемости показывает стойкость материала к абразивному износу. Он оценивается потерей массы материала, отнесенной к единице его площади, или уменьшением толщины материала. Чем выше показатель истираемости, тем менее износостоек материал. Наибольшее значение показатель истираемости имеет для строительных материалов, подвергающихся соответствующим воздействиям (например, для дорожных и напольных покрытий и т.п.).

Показатель истираемости строительных материалов определяют специальными приборами, конструкция которых зависит от вида материала. Каменные материалы (бетоны, растворы, природный камень, керамическую плитку) испытывают на кругах истирания с использованием шлифовальных порошков (корунда или наждака).

Показатель истираемости материала I (г/см²) устанавливают по формуле

$$I = \frac{m - m_1}{F}, \quad (1.10)$$

где m – масса образца до истирания, г; m_1 – масса образца после истирания, г; F – площадь истирания, см².

Круг истирания (рис. 1.11) состоит из чугунного диска, который вращается на вертикальной оси со скоростью 30 об/мин. Число оборотов фиксируется имеющимся счетчиком. Над диском имеются два зажимных приспособления для закрепления в них испытываемых образцов. Оси зажи-

мов находятся на расстоянии 22 см от центра диска. С помощью специального приспособления образец прижимают к поверхности круга с силой 6 Н на 1 см^2 площади образца. Над диском на станине укреплены два бачка для автоматической подачи истирающего порошка и два бачка для воды, которая необходима в случаях испытания влажных образцов. У зажимов установлены щетки для сметания в железный кожух истираемого материала. В качестве истирающего порошка применяют наждак или корунд крупностью около 0,5 мм. Расход истирающего порошка должен быть 20 г/мин.

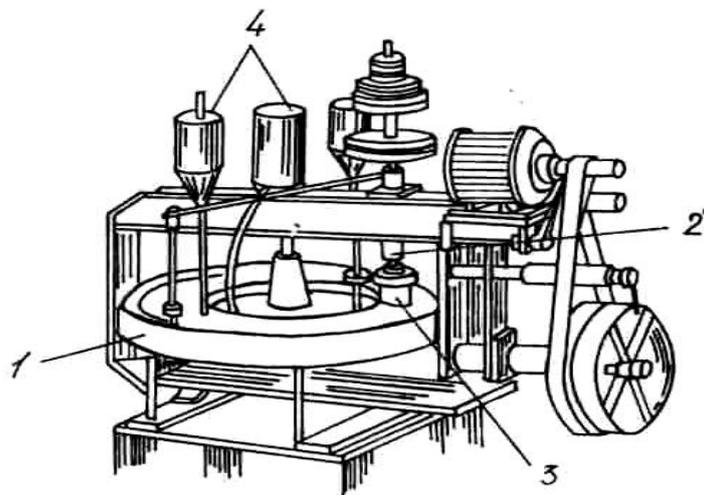


Рис. 1.11. Машина для определения истираемости образцов:
 1 – чугунный диск; 2 – зажимные приспособления;
 3 – испытуемый образец; 4 – бачки для подачи истирающего порошка

Образцы должны быть правильной геометрической формы, высотой не менее 5–7 см, площадью не менее $40\text{--}50 \text{ см}^2$. В случае меньшей высоты образец наклеивают на деревянную пластинку для получения требуемой общей высоты в 5–7 см.

Перед испытанием образец взвешивают с погрешностью до 0,1 г. Затем его устанавливают на круг истирания так, чтобы истиралась нижняя грань. При отсутствии у круга истирания бачков для автоматической подачи истирающего порошка на диск прибора равномерным слоем насыпают первую порцию 20 ± 1 г шлифзерна (на первые 30 м пути).

Через каждые 30 м пути (28 оборотов диска на приборе ЛКИ-2 или ЛКИ-3) истирающий диск останавливают. С него удаляют остатки абразивного материала, насыпают новую порцию абразива и снова включают прибор. Указанную операцию повторяют 5 раз, что составляет 1 цикл испытаний (150 м пути).

После каждого цикла испытаний образец вынимают из гнезда, поворачивают на 90° в горизонтальной плоскости и проводят следующие циклы испытаний. Всего проводят четыре цикла для каждого образца (общий путь истирания равен 600 м).

После испытания образец взвешивают, а его показатель истираемости вычисляют по формуле (1.10).

Результаты испытаний заносят в табл. 1.14.

Таблица 1.14

Результаты определения показателя истираемости образца материала

Наименование материала	Размеры образца, см	Площадь истирания F , см ²	Масса образца до истирания m , г	Масса образца после истирания m_1 , г	Показатель истираемости образца I , г/см ²

Контрольные вопросы

1. Что такое прочность материала и какими показателями она характеризуется?
2. Как определяется предел прочности на сжатие материала?
3. Как определяются разрушающая сила и предел прочности на сжатие при испытании образца на прессе, снабженном манометром для измерения давления в гидросистеме прессы?
4. Какие экспериментальные данные необходимы для определения прочности при изгибе?
5. В чем заключается методика определения прочности при изгибе?
6. Что такое сопротивление удару?
7. Как определяют сопротивление удару?
8. При каком показателе каменный материал признается хорошо сопротивляющимся удару?
9. Что такое истираемость?
10. Как определяют истираемость?

1.3. Решение задач по общим свойствам материалов (практическая работа № 1)

Знание основных свойств строительных материалов дает возможность рационально использовать их, а также производить инженерно-технические расчеты в строительстве. Так, например, по известным значениям истинной и средней плотности материала можно рассчитать его пористость, что позволяет составить достаточно полное представление о прочности, водопоглощении, теплопроводности и других свойствах материалов и на этом основании решать вопрос об их применении в тех или иных конструкциях и сооружениях. Величины средней и насыпной плотности строительных материалов необходимы для расчета нагрузок, определения массы конструкций и сооружений, транспортных расчетов, выбора емкости складских помещений и т.п.

Расчеты прочности и устойчивости конструкций и сооружений невозможны без данных о прочности применяемых материалов. Невозможен и прогноз их долговечности без знания таких свойств материалов, как отношение к влаге, смене температур, воздействию окружающей среды и т.д.

Ниже даются варианты задач по общим свойствам материалов и примеры решения.

Варианты задач

1. Масса образца камня в сухом состоянии равна 50 г. Определить массу образца после насыщения его водой, а также его истинную плотность, если известно, что водопоглощение образца по объему равно 18 %, пористость – 25 %, а средняя плотность – 1800 кг/м^3 .

2. Определить пористость образца камня, если известно, что его водопоглощение по объему в 1,7 раза больше водопоглощения по массе, а истинная плотность равна $2,6 \text{ г/см}^3$.

3. Камневидный материал в виде образца-куба, ребро которого равно 6,5 см, в сухом состоянии имеет массу 495 г. Определить коэффициент теплопроводности (ориентировочный) и возможное назначение материала.

4. Масса образца камня в сухом состоянии – 76 г. После насыщения образца водой его масса увеличилась до 79 г. Определить плотность и пористость камня, если его водопоглощение по объему составляет 8,2 %, а истинная плотность – $2,68 \text{ г/см}^3$.

5. Сухой образец камня при испытании на сжатие разрушился при показании манометра 100 МПа. Установить предел прочности при сжатии образца в насыщенном водой состоянии, если известно, что коэффициент размягчения равен 0,6, а площадь образца в 2 раза больше площади поршня гидравлического пресса.

6. Определить плотность каменного образца неправильной формы, если на воздухе его масса равна 80 г. Масса образца, покрытого парафином, составляет 80,75 г. При взвешивании парафинированного образца в воде получили 39 г.

7. Определить коэффициент размягчения камня, если при испытании образца в сухом состоянии на сжатие максимальное показание манометра пресса было равно 38,8 МПа, тогда как такой же образец в водонасыщенном состоянии показал предел прочности при сжатии 20,1 МПа. Образец имел форму куба с ребром 7 см. Площадь поршня пресса равна 50 см^2 .

8. Во сколько раз пористость камня А отличается от пористости камня Б, если известно, что истинная плотность обоих камней практически одинакова и составляет $2,72 \text{ г/см}^3$, но средняя плотность

камня А на 20 % больше, чем камня Б, у которого водопоглощение по объему в 1,8 раза больше водопоглощения по массе?

9. Какую минимальную полезную площадь должен иметь цементный склад для размещения 1 250 т цемента в россыпи со средней насыпной плотностью $1\,250\text{ кг/м}^3$, если высота слоя цемента на складе во избежание слеживаяния не должна превышать 1,5 м?

10. Пикнометр с навеской вяжущего вещества весил 34,30 г, а пустой – 24,10 г. Когда в пикнометр с навеской влили керосин до метки, то вес его стал равен 74,17 г, а вес пикнометра с керосином без навески был 66,60 г. Рассчитать истинную плотность вяжущего вещества, если вес пикнометра с водой (без навески) равен 74,20 г.

11. Дозировочный бункер для песка имеет форму цилиндра с диаметром 100 см и высотой 120 см и весит с песком 1 585 кг, а пустой – 84 кг. Определить общую пористость песка в бункере, принимая истинную плотность песка равной $2,64\text{ г/см}^3$.

12. Масса образца камня в сухом состоянии равна 60 г. При насыщении водой масса стала 70 г. Определить среднюю плотность, водопоглощение по массе и пористость камня, если водопоглощение по объему составляет 21 %, а истинная плотность – $2,4\text{ г/см}^3$.

13. Наружная стеновая панель из газобетона имеет размеры $3,1 \times 2,9 \times 0,30\text{ м}$ и массу 2,16 т. Определить пористость газобетона, принимая его истинную плотность равной $2,81\text{ г/см}^3$.

14. Водопоглощение по массе и объему бетона соответственно равно 3,9 и 8,6 %. Рассчитать общую пористость бетона при его истинной плотности $2,31\text{ г/см}^3$.

15. Керамзитобетонная наружная стеновая панель размерами $3,1 \times 2,8 \times 0,25\text{ м}$ весит 2,25 т при влажности 13,2 %. Рассчитать среднюю плотность керамзитобетона во влажном и абсолютно сухом состояниях.

16. Образец каменного материала в виде кубика с размером ребра 20 см разрушился на гидравлическом прессе при показании манометра 12,5 МПа. Определить прочность образца при сжатии, если диаметр поршня прессы равен 24 см.

17. Предел прочности при сжатии бетона, имеющего среднюю плотность $2\,300\text{ кг/м}^3$, равен 19,5 МПа. Какую прочность будет иметь бетон из тех же материалов, имеющий плотность $1\,800\text{ кг/м}^3$, если установлено, что при повышении пористости бетона на каждые 10 % прочность его снижается в среднем на 2,6 МПа? Истинную плотность бетона принять равной $2,7\text{ г/см}^3$.

18. Сосновый брус сечением $10 \times 20\text{ см}$ (толщина \times высота) лежит на двух опорах, отстоящих друг от друга на 4 м. Посередине бруса к нему была приложена максимальная нагрузка 2,1 т, которая вызвала излом. Рассчитать предел прочности бруса при изгибе.

19. Кубик из газобетона с размером ребра 20 см погружен в воду. В первый момент, когда поглощением воды можно пренебречь, кубик плавает в воде, а высота его над уровнем воды составляет 6,5 см. Определить пористость газобетона, принимая его истинную плотность равной $2,79 \text{ г/см}^3$.

20. Определить пористость образца камня, если известно, что его водопоглощение по объему в 1,6 раза больше водопоглощения по массе, а истинная плотность равна $2,8 \text{ г/см}^3$.

21. Во сколько раз пористость камня А отличается от пористости камня Б, если известно, что истинная плотность обеих камней практически одинакова и составляет $2,80 \text{ г/см}^3$, но средняя плотность камня А на 15 % меньше, чем камня Б, у которого водопоглощение по объему в 1,6 раза больше водопоглощения по массе?

22. Масса образца камня в сухом состоянии равна 85 г. При насыщении водой масса стала 90 г. Определить среднюю плотность, водопоглощение по массе и пористость камня, если водопоглощение по объему составляет 12 %, а истинная плотность – $2,6 \text{ г/см}^3$.

23. Образец каменного материала в виде кубика с размером ребра 15 см разрушился на гидравлическом прессе при показании манометра 20,5 МПа. Определить прочность образца при сжатии, если диаметр поршня прессы равен 15 см.

24. Водопоглощение по массе и объему бетона соответственно равно 4,5 и 9,1 %. Рассчитать общую пористость бетона при его истинной плотности $2,25 \text{ г/см}^3$.

25. Определить коэффициент размягчения бетона, если при испытании образца в сухом состоянии на сжатие максимальное показание манометра прессы было равно 29,5 МПа, тогда как такой же образец в водонасыщенном состоянии показал предел прочности при сжатии 14,8 МПа. Образец имел форму куба с ребром 10 см. Площадь поршня прессы равна 55 см^2 .

Примеры решения задач

Пример 1. Горная порода имеет истинную плотность $2,5 \text{ г/см}^3$. Определить пористость образца породы, если известно, что его водопоглощение по объему в 1,7 раза больше водопоглощения по массе.

Решение. Отношение водопоглощения по объему к водопоглощению по массе материала равно его средней плотности ρ_o , т.е.

$$\frac{V_o \cdot \rho_v}{V_m} = \rho_o,$$

где ρ_v – плотность воды, 1 г/см^3 .

Следовательно, средняя плотность образца горной породы $\rho_o = 1,7 \text{ г/см}^3$.

Пористость образца Π (%) породы находится по формуле

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \cdot 100,$$

где ρ – истинная плотность материала.

Отсюда

$$\Pi = \left(1 - \frac{1,7}{2,5}\right) \cdot 100 = 32 \text{ \%}.$$

Ответ: пористость образца горной породы составляет 32 %.

Пример 2. Масса образца легкого бетона в сухом состоянии равна 118 г, а после парафинирования – 120 г. Образец, покрытый парафином, вытесняет из объемомера 98 г воды. Рассчитать коэффициент теплопроводности бетона.

Решение. Сначала определяем объем парафина V_{Π} (см^3), затраченного на покрытие образца, по формуле

$$V_{\Pi} = (m_1 - m) / \rho_{\Pi},$$

где m_1 – масса образца, покрытого парафином, г; m – масса сухого образца, г; ρ_{Π} – плотность парафина, равная $0,930 \text{ г/см}^3$.

$$V_{\Pi} = (120 - 118) / 0,930 = 2,15 \text{ см}^3.$$

Вычисляем среднюю плотность образца ρ_o по формуле

$$\rho_o = m / (V_1 - V_{\Pi}),$$

где V_1 – объем образца с парафином, численно равный массе воды, вытесненной образцом, см^3 , т.е.

$$\rho_o = 118 / (98 - 2,15) = 1,23 \text{ г/см}^3.$$

Коэффициент теплопроводности бетона λ [$\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$] рассчитываем по формуле В.П. Некрасова

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot d^2} - 0,16,$$

где d – относительная плотность материала, т.е. $d = \rho_o / \rho_{\text{в}} = 1,23 / 1 = 1,23$ ($\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, 1 г/см^3).

Таким образом,

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,23^2} - 0,16 = 0,53 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Ответ: коэффициент теплопроводности бетона равен $0,53 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Пример 3. Образец каменного материала в виде кубика с размером ребра 15 см разрушился при испытании на гидравлическом прессе при показании манометра 9,5 МПа.

Определить предел прочности образца материала при сжатии, если площадь поршня пресса равна 570 см².

Решение. Предел прочности при осевом сжатии $R_{сж}$ (МПа) вычисляется по формуле

$$R_{сж} = \frac{P_{разр}}{A},$$

где $P_{разр}$ – разрушающая сила, Н; A – площадь сечения до испытания, мм².

Для определения разрушающей силы $P_{разр}$ в Н необходимо показания манометра в момент разрушения образца (выраженные в мегапаскалях) умножить на площадь поршня (выраженную в квадратных миллиметрах), т.е.

$$P_{разр} = 9,5 \cdot 57\,000 = 541\,500 \text{ Н.}$$

Предел прочности образца при сжатии

$$R_{сж} = \frac{541\,500}{22\,500} = 24,1 \text{ МПа.}$$

Ответ: предел прочности образца при сжатии равен 24,1 МПа.

2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И МИНЕРАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Минералами называют природные или искусственно полученные соединения химических элементов, однородные по химическому составу, строению и физическим свойствам. Природные минералы образуются в результате сложных физико-химических процессов, происходящих на поверхности или в глубине земли. В качестве обособленных индивидов (кристаллов) минералы встречаются не так часто. Более типичная форма нахождения их в природе – минеральный агрегат, естественное скопление минеральных зерен.

Горные породы – естественные минеральные агрегаты (или устойчивые минеральные ассоциации), образовавшиеся в результате различных геологических процессов в земных недрах или на поверхности Земли. Горные породы залегают в земной коре в виде самостоятельных геологических тел. Каждая горная порода имеет более или менее определенный химический и вещественный (минеральный) состав и обладает специфическим внутренним строением (структурой, текстурой). Горные породы представляют собой сочетание разных минералов и могут быть моно- или полиминеральными. Минералы, являющиеся составными частями горных пород, называют породообразующими.

В основу **классификации минералов** положены кристалло-химические принципы, учитывающие химический состав и кристаллическую структуру минералов и позволяющие выделить восемь основных классов минералов.

Самородные элементы – химические элементы в свободном минеральном состоянии. На сегодняшний день таких элементов известно около 30, приблизительно они составляют 0,1 % общей массы земной коры. К ним относятся металлы (золото, серебро, платина, медь); полуметаллы (мышьяк, сурьма); неметаллы (графит, сера). Породообразующими минералами они не являются и широкого практического применения в строительстве не имеют.

Сульфиды – сернистые соединения металлов (соли сернистой кислоты). Содержание их в земной коре – около 0,15 %. Этот класс включает в себя главные рудообразующие минералы руд цветных металлов – сырья для металлургической промышленности. Сюда относятся минералы пирит (FeS_2), халькопирит (CuFeS_2), галенит (PbS), сфалерит (ZnS) и др. По происхождению они преимущественно эндогенные.

Галогениды – соли соляной (хлориды) и плавиковой (фториды) кислот. В качестве породообразующих эти минералы имеют небольшое значение, но их крупные скопления (месторождения) представляют интерес для химической и пищевой промышленности, сельского хозяйства. К этому классу относятся минералы галит (NaCl), сильвин (KCl), флюорит (CaF_2).

Оксиды и гидроксиды – соединения металлов и полуметаллов с кислородом и водой. Минералы этого класса широко распространены и по массе составляют около 17 % земной коры. Практическое значение минералов данного класса велико, так как они образуют руды черных, цветных и редких металлов, слагают многие неметаллические полезные ископаемые. В класс входит один из самых распространенных породообразующих минералов – кварц (SiO_2), а также важнейшие рудные минералы – магнетит (Fe_3O_4), гематит (Fe_2O_3), хромит (FeCr_2O_4), лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и др.

Карбонаты – соли угольной кислоты. Это важнейшие породообразующие минералы осадочных горных пород, составляющие до 1,5 % массы земной коры. В составе соответствующих горных пород широко применяются в строительстве (производстве строительного камня, извести, цемента, огнеупорных материалов и др.). К классу карбонатов относятся минералы кальцит (CaCO_3), доломит (CaMgCO_3), магнезит (MgCO_3), сидерит (FeCO_3) и др.

Сульфаты – соли серной кислоты. Содержание их в земной коре – около 0,1 %. В составе соответствующих горных пород широко применяются в строительстве как вяжущий материал. К классу сульфатов относятся минералы гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ангидрит (CaSO_4) и ряд других.

Фосфаты – соли ортофосфорной кислоты. Распространенность в земной коре невелика, менее 0,1 %. Наиболее характерным минералом этого класса является апатит – $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$.

Силикаты и алюмосиликаты – самый многочисленный класс как по массе, так и по числу минеральных видов. Данный класс содержит главные породообразующие минералы, которые слагают около 90 % земной коры.

Основа кристаллической решетки силикатов – кремнекислородная группа $[\text{SiO}_4]^{-4}$. Кремнекислородные группы в структурах силикатов могут быть обособленными друг от друга, а могут соединяться между собой за счет общего иона кислорода. В результате этих соединений образуется кремнекислородный структурный скелет со свободными валентными связями, за счет которых происходит присоединение к нему ионов других химических элементов (преимущественно металлов).

По типу строения кремнекислородного скелета выделяют 5 подклассов: островные, цепочечные, ленточные, листовые (или слоевые) и каркасные силикаты.

Островные силикаты – подкласс, основу кристаллической структуры которого составляют изолированные кремнекислородные группы с присоединенными к ним ионами других элементов.

К данному подклассу относится один из главных породообразующих минералов – оливин $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 [\text{SiO}_4]$, а также обширная группа гранатов, отличающаяся разнообразием минеральных видов (силикаты Fe, Al, Ca, Mg, Mn, Cr).

Цепочечные силикаты – подкласс, в котором соединенные между собой кремнекислородные группы $[\text{SiO}_4]^{-4}$ образуют одинарные цепочки, составляющие структурный каркас минералов.

К данному подклассу относятся главные породообразующие минералы группы пироксенов, представителями которых являются авгит $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}) [\text{Si}_2\text{O}_6]$, диопсид, гиперстен и др. Доля пироксенов в составе земной коры достигает 6–8 %.

Ленточные силикаты. Структурный каркас минералов этого подкласса образуют сдвоенные кремнекислородные цепочки – ленты. Представлены ленточные силикаты минералами группы амфиболов, обладающими сложным и переменчивым химическим составом. Амфиболы являются главными породообразующими минералами, их доля в составе земной коры достигает 8 %. Самый распространенный минерал группы – роговая обманка.

Слоевые (листовые) силикаты и алюмосиликаты представлены минералами, в которых кристаллическая структура обусловлена сцеплением кремнекислородных цепочек в единый непрерывный слой или пакет из двух, трех и более слоев. К многочисленным представителям этого подкласса относятся главные породообразующие минералы группы

слюд (биотит, мусковит), группы хлоритов, минералы тальк, серпентин, обширная группа глинистых минералов (каолинит и др.).

Каркасные алюмосиликаты представлены важнейшими породообразующими минералами, составляющими около 60 % массы земной коры. Их внутренняя кристаллическая структура представлена непрерывными трехмерными каркасами кремнекислородных групп $[\text{SiO}_4]^{-4}$, в которых часть ионов Si^{+4} замещена на ионы Al^{+3} . По составу они разделяются на три группы: полевые шпаты, фельдшпатоиды и цеолиты.

Наибольшим распространением пользуется группа полевых шпатов (плагиоклазов и щелочных полевых шпатов), на долю которых приходится более 50 % массы земной коры. Они являются обязательной составной частью большинства магматических и метаморфических горных пород.

К подклассу каркасных силикатов по строению кристаллической решетки относится также кварц (SiO_2), хотя по химическому составу этот минерал является оксидом.

В табл. 2.1 представлены характерные свойства и отличительные признаки (цвет, химический состав, истинная плотность, твердость) породообразующих минералов основных горных пород как сырьевых материалов, используемых в промышленности строительных материалов.

Таблица 2.1

Породообразующие минералы и их отличительные показатели

№ пп	Наименование		Химический состав	Плот- ность, кг/см ³	Твердость по шкале Мооса	Цвет
	группы минералов	минерала				
1	Кремнезе- мистые	Кварц	SiO_2	2 650	7	Молочный, дымчатый
		Опал	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2 600	5,5	Белый, жел- тый, серый, бурый, синий
		Халцедон	SiO_2	2 550–2 600	6,5	Светло- серый, голубоватый
2	Полевые шпаты (алюмо- силикаты)	Орто- клазы	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times$ $\times 6\text{SiO}_2$	2 570	6–6,5	Белый, кремовый, розовый
		Плагио- клазы	Альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times$ $\times 6\text{SiO}_2$	2 600	6	Белый, буровато- желтый
			Анортит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times$ $\times 2\text{SiO}_2$	2 760	6–6,5	Серый, белый, желтоватый, черный

Продолжение табл. 2.1

№ шп	Наименование		Химический состав	Плот- ность, кг/см ³	Твердость по шкале Мооса	Цвет
	группы минералов	минерала				
3	Слюды (алюмо- силикаты)	Биотит	$K(Mg, Fe)_3 \times$ $\times [Al_2Si_3O_{10}] \times$ $\times (OH, F)_2$	2 800–3 200	2–3	Темно- зеленый
		Муско- вит (бе- лая слю- да)	$KAl_2 \times$ $\times [Al_2Si_3O_{10}] \times$ $\times [OH]_2$	2 760–3 100	2–3	Бесцветный с желтова- тым оттен- ком
4	Железисто- магнези- альные силикаты	Оливин	$(Mg, Fe)_2 \times$ $\times (SiO_4)$	3 300–3 400	6,5–7	Оливково- зеленый, буроватый
		Пироксе- ны (авгит)	$(Mg, Fe, Al)_3 \times$ $\times [(SiAl_2)O_6]$	3 300–3 600	6,5	Зеленый, бурый, черный
		Амфибо- лы (рого- вая об- манка)	$Ca_2Na(Mg,$ $Fe^{2+})_4 (Al,$ $Fe^{3+})[(Si,$ $Al)_4O_{11}]_2$ $[OH]_2$	3 100–3 500	5,5–6	Черный, серо- зеленый, темно- зеленый

Окончание табл. 2.1

№ пп	Наименование		Химический состав	Плот- ность, кг/см ³	Твердость по шкале Мооса	Цвет
	группы минералов	минерала				
5	Карбонаты	Кальцит	CaCO_3	2 700	3	Белый, серый, желтый, голубой
		Магнезит	MgCO_3	3 000–3 100	3,5–4,5	Белый, серый, желтый
		Доломит	$\text{MgCO}_3 \times$ $\times \text{CaCO}_3$	2 800–2 900	3,5–4	Белый, серый, желтый
6	Сульфаты	Гипс	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	2 300	2	Серый, черный, красно- ватый
		Ангидрит	CaSO_4	2 800–3 000	3–3,5	Белый, сероватый, голубой, красноватый
7	Глинистые	Каолинит	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5) \times$ $\times (\text{OH})_4$	2 600	2,5	Белый, сероватый, желтоватый

По условиям образования (происхождению) горные породы разделяют на три основные группы (рисунок).



Классификация горных пород по происхождению

1. *Магматические* (или изверженные, первичные) – породы, образовавшиеся в результате медленного затвердевания огненно-жидкого силикатного расплава – магмы – в толще земной коры или на ее поверхности. Магматические горные породы могут быть глубинными (интрузивными) и излившимися (эффузивными). *Глубинные* – это породы, образовавшиеся при застывании магмы на разной глубине в земной коре. *Излившиеся* – породы, образовавшиеся при вулканической деятельности, излиянии магмы и ее затвердении на поверхности.

К магматическим породам относятся гранит, диорит, сиенит, габбро, базальт, порфиры, трахиты, пемза, вулканические пеплы и др.

2. *Осадочные* (вторичные) – породы, образовавшиеся на поверхности земли, на дне морей, озер и рек из продуктов разрушения ранее существовавших горных пород и остатков организмов.

В зависимости от условий образования осадочные породы делят на три подгруппы: а) обломочные породы, или механические осадки, – рыхлые (гравий, глины, пески), оставшиеся на месте разрушения пород или перенесенные водой, льдом (ледниковые отложения) или ветром (эоловые отложения); сцементированные (песчаники, конгломераты, брекчии), зерна которых сцементированы различными природными «цементами»; б) химические осадки (гипс, известняк и др.), образовавшиеся из продуктов разрушения пород, перенесенных водой в растворенном виде; в) органогенные породы, образовавшиеся из остатков некоторых водорослей и животных (скелетов губок, кораллов, раковин и панцирей ракообразных и др.); к органогенным породам относятся мел, известняк-ракушечник, диатомиты.

Большинство осадочных пород имеет более пористое строение, чем плотные магматические породы, а следовательно, и меньшую прочность. Некоторые из них сравнительно легко растворяются (например, гипс) или распадаются в воде на мельчайшие частицы (например, глины).

3. *Метаморфические* (видоизмененные) – породы, образовавшиеся путем перекристаллизации изверженных или осадочных горных пород под действием высокой температуры и давления в земной коре. При формировании структурно-текстурных особенностей метаморфических пород велика роль направленного давления. При одностороннем давлении кристаллы деформируются в направлении, перпендикулярном направлению наибольшего давления, и видоизмененные породы приобретают сланцевое строение (гнейс, глинистые сланцы и т.п.).

Рациональное использование природных каменных материалов обусловлено их минералогическим составом, декоративными характеристиками (цветом, текстурой, насыщенностью) и основными физико-техническими свойствами: плотностью, пористостью, водопоглощением, морозостойкостью, теплопроводностью, прочностью, твердостью, истираемостью и другими, которые во многом определяются свойствами исходных горных пород.

Ознакомление с показателями внешнего вида, свойствами и областью применения основных минералов и горных пород (лабораторная работа № 3)

С помощью коллекций породообразующих минералов и горных пород студенты учатся распознавать их по внешним признакам. На основе учебника и учебных пособий, конспекта лекций устанавливаются физические или эксплуатационно-технические свойства породообразующих минералов и горных пород, характерные особенности и области использования в строительной практике.

В наборе образцов представлены минералы горных пород:

а) изверженных (кварц, полевой шпат, слюды, мусковит и биотит, роговая обманка);

б) осадочных (кварц, кальцит, каолинит, гипс, магнезит).

Студенты выбирают любые три минерала и описывают их, исходя из наличия основных признаков. Основными диагностическими признаками породообразующих минералов являются структура (строение), химический состав, цвет, блеск и др.

Результаты работы с указанием внешних признаков, физических свойств породообразующих минералов и их характерных особенностей записывают в форме табл. 2.2.

Таблица 2.2

Основные признаки и свойства породообразующих минералов

Наименование минерала	Химический состав	Внешний вид (цвет, блеск)	Строение	Прочность, твердость	Стойкость против выветривания	В каких горных породах встречается	Характерные особенности минерала

В графе «Химический состав» приводятся химические формулы для всех минералов.

Графы «Внешний вид (цвет, блеск)», «Строение» студенты заполняют на основании внешнего осмотра образцов. Цвет минералов характеризуется словами «светлый» и «темный»; блеск – словами «яркий», «жирный», «тусклый», «без блеска»; строение – словами «кристаллическое» и «аморфное».

Графа «Прочность, твердость» заполняется по данным лекции или учебника, причем прочность может быть охарактеризована словами «очень высокая», «высокая», «средняя», «низкая». Это происходит после того, как студент, проконсультировавшись с преподавателем, определит твердость минерала, пользуясь набором эталонов «шкалы твердости»: 1 – тальк;

2 – гипс; 3 – кальцит; 4 – плавиковый шпат; 5 – апатит; 6 – полевой шпат (ортоклаз); 7 – кварц; 8 – топаз; 9 – корунд; 10 – алмаз.

Графа «Стойкость против выветривания» заполняется на основе информации, взятой из лекций или учебника. Используются определения «очень стойкий», «стойкий», «средней стойкости», «нестойкий».

В графе «В каких горных породах встречается» должны быть указаны 2–3 горные породы для каждого минерала, причем для минералов изверженных пород – только изверженные горные породы, для минералов осадочных пород – только осадочные.

В графе «Характерные особенности минерала» записываются внешние признаки, отличающие данный минерал от других.

В наборе образцов горных пород представлены горные породы:

- а) изверженные (гранит, диабаз, вулканический туф);
- б) осадочные (песчаник кремнистый, глина, известняк плотный, известняк-ракушечник, доломит, гипс);
- в) метаморфические (мрамор, кварцит, глинистый сланец).

Студенты выбирают по три горные породы из каждой группы и в табличной форме (табл. 2.3) описывают их происхождение и особенности структуры, а также области применения в строительной практике, пользуясь данными рисунка, лекциями и учебником.

Таблица 2.3

Происхождение, особенности структуры
и области использования горных пород

Название горной породы	Происхождение	Особенности структуры	Области применения

Графа «Происхождение» заполняется следующими данными: «глубинные», «излившиеся», «вулканические», «обломочные цементированные» и т.п.

Особенности строения породы характеризуются словами «пористые», «плотные», «рыхлые» и «сцементированные».

В последней графе приводятся названия строительных материалов, которые изготавливаются из данной породы. Это, например, щебень для бетона, бутовый камень, камни для стен, плиты для полов, облицовочные плиты и т.д.

Контрольные вопросы

1. Что такое минерал, горная порода?
2. Как классифицируются горные породы по происхождению?
3. Каковы основные свойства породообразующих минералов?

4. Перечислите основные породообразующие минералы изверженных горных пород.

5. Перечислите основные породообразующие минералы осадочных горных пород.

6. Назовите главные эксплуатационно-технические свойства природного камня.

7. Что такое выветривание горных пород? Какие существуют меры для защиты от выветривания каменных материалов?

8. Какие горные породы используются для производства строительных материалов: вяжущих веществ, бетонов, растворов?

9. Какие виды строительных материалов и изделий изготавливают из горных пород?

3. ДРЕВЕСИНА И ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Древесиной называют освобожденную от коры часть ствола дерева, имеющую слоисто-волокнистое строение. Древесина обладает рядом ценнейших свойств: небольшой плотностью, высокой прочностью, малой теплопроводностью, гибкостью и упругостью, высоким коэффициентом конструктивного качества. Однако при использовании древесины в строительстве необходимо учитывать такие недостатки этого материала, зависящие от его строения и состава, как неоднородность свойств по объему и направлению (анизотропию), гигроскопичность (приводит к изменению размеров, короблению и растрескиванию), загнивание во влажных условиях и сгораемость.

Древесину применяют для изготовления несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, столярных изделий, опалубки, шпал, фанеры, древесно-волокнистых и древесно-стружечных плит (ДСП), устройства подмостей и др.

Все древесные породы классифицируются на хвойные и лиственные. Наибольшее распространение в строительстве имеют хвойные породы. К ним относят сосну, ель, пихту, лиственницу и кедр. При изготовлении мебели (в случае применения современных технологий обработки древесины) и производстве ответственных строительных конструкций все чаще применяют более доступные лиственные породы, такие как береза, осина, липа, граб, ольха, вяз и др.

К основным **физическим свойствам** древесины относят влажность, усушку, набухание, истинную плотность древесного вещества и плотность самой древесины, пористость, теплопроводность и др.

Древесина, имея волокнистое строение и высокую пористость (55–65 %), обладает большой внутренней поверхностью, которая легко адсорбирует влагу из воздуха. При изменении температурно-влажностных

условий эксплуатации древесина легко впитывает и отдает влагу. Влажность, соответствующая предельному содержанию связанной молекулярными силами влаги при ее отсутствии в свободном состоянии, называется *пределом гигроскопичности древесины (или точкой насыщения волокон)*. Предел гигроскопичности древесины в среднем равен 30 %. Влажность влияет на все физические и механические свойства древесины (увеличение влажности приводит, например, к повышению электропроводности, увеличению размеров, снижению прочности), а также на ее стойкость к загниванию.

Усушка и набухание древесины происходят при изменении ее влажности. Различают линейную и объемную усушку. Линейную усушку поперек волокон определяют в двух направлениях – тангенциальном и радиальном. Усушка в радиальном направлении составляет 3–6 %, в тангенциальном – в 1,5–2 раза больше. Усушку вдоль волокон не определяют ввиду ее незначительной величины. Объемная усушка (объемное разбухание) составляет в среднем 12–15 %. Усушка и набухание происходят в пределах гигроскопичности (0–30 %), при этом изменяются (ухудшаются) и физико-механические свойства древесины. Увеличение влажности сверх 30 % на свойствах древесины почти не отражается; не увеличивается и ее объем за счет набухания.

Истинная плотность древесного вещества всех пород примерно одинакова и составляет 1,54 г/см³.

Плотность древесины в зависимости от породы изменяется от 380 (сибирская пихта) до 1 110 кг/м³ (ядро фисташки). Как правило, определение плотности древесины производится при нормализованной влажности.

Теплопроводность древесины вследствие ее высокой пористости в целом невелика, при этом теплопроводность вдоль волокон значительно больше, чем поперек. Например, теплопроводность сосны вдоль волокон равна 0,35 Вт/(м · °С), а поперек – 0,17 Вт/(м · °С).

Механические свойства древесины характеризуются пределами прочности при сжатии (вдоль и поперек волокон), растяжении, статическом изгибе и скалывании, модулями упругости.

Древесина относится к материалам средней прочности, однако ее удельная прочность (коэффициент конструктивного качества) с учетом малой плотности позволяет сравнивать древесину со сталью.

Древесина является анизотропным материалом, поэтому ее прочность зависит от направления действия усилий по отношению к волокнам. При действии усилий вдоль волокон оболочки клеток работают в самых благоприятных условиях, а древесина показывает наибольшую прочность.

Средние значения пределов прочности древесины сосны без пороков вдоль волокон составляют:

при растяжении – 100 МПа;
изгибе – 80 МПа;
сжатии вдоль волокон – 44 МПа.

При растяжении, сжатии и скалывании поперек волокон пределы прочности не превосходят 6,5 МПа. Наличие пороков значительно (примерно на 30 %) снижает прочность древесины при сжатии и изгибе, а особенно (примерно на 70 %) при растяжении. Длительность действия нагрузки существенно влияет на прочность древесины.

Твердость – способность древесины сопротивляться проникновению твердых тел. По степени твердости все древесные породы можно разделить на три группы:

- 1) мягкие – торцовая твердость 40,0 МПа и менее (сосна, ель, кедр, пихта, можжевельник, тополь, липа, осина, ольха, каштан);
- 2) твердые – торцовая твердость 40,1–80,0 МПа (лиственница, сибирская береза, бук, дуб, вяз, ильм, карагач, платан, рябина, клен, лещина, орех грецкий, хурма, яблоня, ясень);
- 3) очень твердые – торцовая твердость более 80,0 МПа (акация белая, береза железная, граб, кизил, самшит, фисташка, тис).

Твердость имеет существенное значение при обработке древесины режущими инструментами: фрезеровании, пилении, лущении, а также в тех случаях, когда она подвергается истиранию при устройстве полов, лестниц, перил.

Предел прочности древесины при скалывании вдоль волокон невелик и составляет примерно 12–25 % от предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Модули упругости при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе примерно одинаковы; у воздушно-сухих сосны и ели они находятся в пределах 10 000–15 000 МПа. Их значение возрастает с увеличением плотности, а увлажнение снижает величину модулей упругости.

3.1. Определение физико-механических свойств древесины (лабораторная работа № 4)

3.1.1. Определение влажности

Влажность (абсолютная) древесины, длительно находящейся при постоянном температурно-влажностном режиме, называют *равновесной*. При испытании образцы древесины, как правило, должны иметь *нормализованную влажность* – равновесную влажность в среде с температурой 20 ± 2 °С и относительной влажностью воздуха 65 ± 2 %. Для этого перед испытанием образцы *кондиционируют* при указанных параметрах среды до приобретения древесиной нормализованной влажности. В то же время допускается в ряде случаев проводить испытания на образцах, не подвергав-

шихся кондиционированию, с влажностью, отличающейся от нормализованной.

Для получения сравнимых данных о физико-механических показателях древесины, зависящих от влажности, используется понятие «стандартная влажность древесины». Ее значение установлено равным 12 %, и эти показатели древесины, определенные при нормализованной влажности, пересчитывают на стандартную влажность по формулам.

Различают два метода определения абсолютной влажности древесины: а) с погрешностью не более 1 % для обычных целей; б) с погрешностью не более 0,1 % для приведения показателей физико-механических испытаний образцов к показателям при стандартной влажности древесины.

При определении влажности древесины обычным методом образцы изготавливают в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Образцы взвешивают с погрешностью не более 0,01 г и помещают в сушильный шкаф с температурой 103 ± 2 °С. Высушивание проверяют повторными взвешиваниями двух-трех проб. Первое взвешивание при высушивании мягких пород выполняют не ранее чем через 6 ч после начала высушивания, а при высушивании твердых пород – не ранее чем через 10 ч. Повторные взвешивания выполняют через 2 ч и считают законченными, когда для каждого контрольного образца разность между результатами двух последних взвешиваний будет не более 0,01 г.

Образцы из смолистой древесины хвойных пород не следует сушить в шкафу более 20 ч.

Образцы, высушенные и охлажденные до комнатной температуры в эксикаторах с гигроскопическим веществом, взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Влажность образцов W (%) вычисляют с округлением не более 1 % по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100,$$

где m_1 – масса образца до высушивания, г; m_2 – масса образца после высушивания, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты определения влажности древесины

Порода древесины	Масса образца, г		Влажность образца W , %
	до высушивания m_1	после высушивания m_2	

Если древесина длительное время находилась при постоянных значениях температуры и относительной влажности воздуха и не увлажнялась атмосферными осадками, она приобретает равновесную влажность. Ее можно определить по диаграмме Н.Н. Чулицкого (рис. 3.1) с помощью психрометра (рис. 3.2).

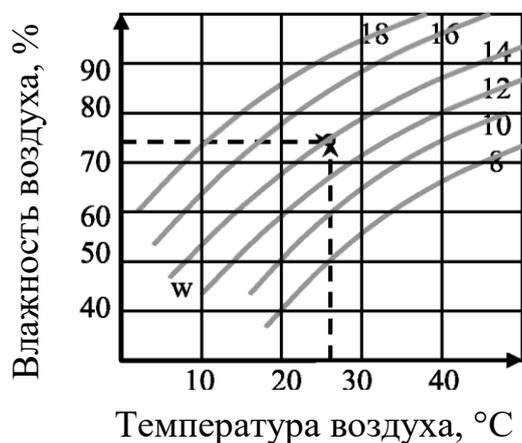


Рис. 3.1. Диаграмма Н.Н. Чулицкого для определения равновесной влажности древесины

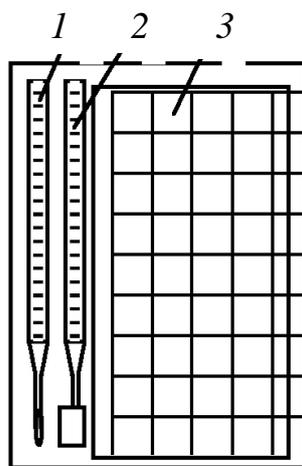


Рис. 3.2. Психрометр: 1 – показание сухого термометра;
2 – показание влажного термометра;
3 – значение относительной влажности воздуха по психрометрической таблице

Сначала по психрометру определяют температуру сухого термометра ($t_{\text{сух}}$), влажного термометра ($t_{\text{вл}}$) и рассчитывают психрометрическую разницу ($\Delta t = t_{\text{сух}} - t_{\text{вл}}$). Затем по Δt и $t_{\text{сух}}$ с помощью психрометрической таблицы находят относительную влажность воздуха (ϕ , %). Наконец, по ϕ и $t_{\text{сух}}$, пользуясь диаграммой Н.Н. Чулицкого, находят равновесную влажность древесины W в процентах.

К примеру, если с помощью психрометра удалось установить, что равновесная влажность воздуха составила 75 %, а его температура – 26 °С, то по диаграмме Чулицкого (см. рис. 3.1) влажность древесины оказалась равной 14 %.

3.1.2. Определение плотности древесины при влажности в момент испытания

Сущность метода заключается в определении при соответствующей влажности древесины массы и объема образца, а также вычислении показателей плотности как массы единицы объема.

Определение плотности древесины производится на образцах в виде прямоугольной призмы сечением 20 × 20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Если годовые слои имеют ширину более 4 мм, размеры поперечного сечения должны быть увеличены так, чтобы образец включал не менее 5 слоев.

Предельные отклонения от номинальных размеров рабочей части образцов не должны превышать ± 0,5 мм. Любой размер в этих пределах должен быть выдержан по всему образцу с отклонением не более ± 0,1 мм. Параметр шероховатости рабочих поверхностей образцов должен быть не более 100 мкм.

Образцы кондиционируют при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 65 ± 5 % до приобретения древесиной нормализованной влажности. Допускается проводить испытания на образцах, не подвергавшихся кондиционированию и имеющих влажность меньше предела насыщения клеточных стенок, отличающуюся от нормализованной.

Определяют массу образцов с погрешностью не более 0,01 г. Для пересчета плотности при влажности в момент испытания к плотности при влажности 12 % массу образцов определяют в бюксах с погрешностью не более 0,001 г.

Размеры поперечного сечения и длину измеряют с погрешностью не более 0,1 мм по осям симметрии образцов. Допускается определять объем образцов другим способом с погрешностью не более 0,01 см³.

Определяют влажность образцов по методике, изложенной в п. 3.1.1. Пробой на влажность является весь образец.

Плотность каждого образца ρ_w при влажности W в момент испытания вычисляют в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический сантиметр по формуле

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_w}{V_w},$$

где m_w – масса образца при влажности W , кг (г); a_w, b_w, l_w – размеры образца, м (см); V_w – объем образца при влажности W , м³ (см³).

Результат вычисляют и округляют до 5 кг/м^3 ($0,005 \text{ г/см}^3$).

При необходимости плотность древесины с нормализованной влажностью ρ_w пересчитывают на плотность при стандартной влажности ρ_{12} по формуле

$$\rho_{12} = \rho_w \left[1 - \frac{(1 - K)(W - 12)}{100} \right],$$

где ρ_{12} – средняя плотность древесины при стандартной влажности 12 %, г/см^3 ; ρ_w – средняя плотность древесины при нормализованной влажности W , г/см^3 ; K – коэффициент объемного разбухания; W – нормализованная влажность образца, %.

Для ориентировочных расчетов коэффициент k_0 может быть принят равным $0,85 \cdot 10^{-3} \rho^W$ при измерении плотности в килограммах на кубический метр и $0,85 \rho^W$ при измерении в граммах на кубический сантиметр.

Плотность древесины с влажностью, отличающейся от нормализованной, пересчитывают на стандартную влажность 12 % по формуле

$$\rho_{12} = \frac{\rho_w}{K_{12}^w},$$

где K_{12}^w – коэффициент пересчета при влажности образцов W , равной пределу насыщения клеточных стенок либо меньше его, на стандартную влажность 12 %. Он определяется по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значения коэффициента пересчета K_{12}^w

в зависимости от влажности и породы древесины

W, %	Коэффициент K_{12}^w для пород		W, %	Коэффициент K_{12}^w для пород	
	белой акации, березы, бука, граба и лиственницы	остальных		белой акации, березы, бука, граба и лиственницы	остальных
5	0,980	0,972	18	1,013	1,020
6	0,983	0,977	19	1,014	1,023
7	0,986	0,981	20	1,016	1,026
8	0,989	0,985	21	1,018	1,029
9	0,992	0,989	22	1,019	1,031
10	0,995	0,993	23	1,020	1,034
11	0,997	0,996	24	1,021	1,036
12	1,000	1,000	25	1,022	1,039
13	1,002	1,004	26	1,023	1,041
14	1,005	1,007	27	1,024	1,043
15	1,007	1,010	28	1,025	1,046
16	1,009	1,014	29	1,025	1,048
17	1,011	1,017	30	1,026	1,050

Результаты определения плотности древесины при влажности в момент испытания, а также при пересчете на стандартную влажность заносят в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты определения плотности древесины

Порода древесины	Масса образца m_w , г	Размеры образца, см			Объем образца V_w , см ³	Плотность древесины, г/см ³	
		a_w	b_w	l_w		при данной влажности ρ_w	при стандартной влажности ρ_{12}

3.1.3. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон

Определение выполняют на кондиционированных или некондиционированных образцах в виде прямоугольных призм сечением 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм (рис. 3.3). Образцы должны находиться до испытания в условиях, исключающих изменение их начальной влажности.

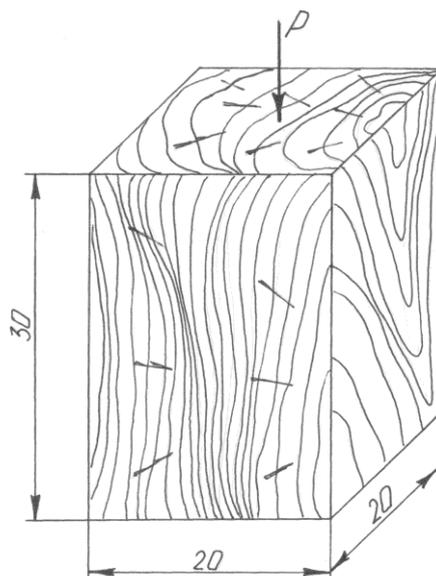


Рис. 3.3. Образец для испытания на сжатие вдоль волокон

Перед испытанием измеряют сечение образца (в середине его длины) штангенциркулем с погрешностью 0,1 мм. Образец устанавливают в приспособление для испытания на сжатие. Приспособление с образцом помещают между плитами испытательной машины. Образец нагружают равномерно с такой постоянной скоростью, чтобы образец разрушился через $1,0 \pm 0,5$ мин после начала нагружения. Во время использования машины с электромеханическим приводом допускается проводить нагружение образца равномерно со скоростью $25\,000 \pm 5\,000$ Н/мин или

испытание при скорости перемещения нагружающей головки испытательной машины 4 мм/мин при условии достижения предела прочности при сжатии в указанный интервал времени.

После испытаний определяют влажность образцов. Пробой для определения влажности является весь образец.

Предел прочности на сжатие древесины вдоль волокон при данной влажности древесины вычисляют с округлением до 0,5 МПа по формуле

$$R_{сж}^W = \frac{P_{max}}{a \cdot b},$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, Н; a и b – размеры поперечного сечения образца, мм.

Предел прочности на сжатие вдоль волокон при кондиционировании образцов пересчитывают на стандартную влажность 12 % с погрешностью до 0,5 МПа по формуле

$$R_{сж}^{12} = R_{сж}^W \cdot [1 + a \cdot (W - 12)],$$

где $R_{сж}^{12}$ – предел прочности при сжатии образца при стандартной влажности, МПа; $R_{сж}^W$ – предел прочности при сжатии образца с влажностью W в момент испытания, МПа; a – поправочный коэффициент, равный 0,04; W – влажность образца в момент испытания, %;

Предел прочности (в мегапаскалях) некондиционированных образцов пересчитывают на стандартную влажность 12 % по формуле

$$R_{сж}^{12} = \frac{R_{сж}^W}{K_{12}^W},$$

где K_{12}^W – коэффициент пересчета, определяемый по табл. 3.4 при известной плотности древесины.

Таблица 3.4

Значения коэффициента пересчета K_{12}^W

в зависимости от влажности при известной плотности древесины

Влажность $W, \%$	Коэффициент пересчета K_{12}^W при плотности $\rho_{12}, \text{кг/м}^3$				
	400	450	500	550	600
5	1,485	1,480	1,475	1,463	1,450
10	1,108	0,850	1,103	1,102	1,100
15	0,849	1,105	0,852	0,855	0,860
20	0,655	0,660	0,670	0,680	0,685
25	0,525	0,533	0,540	0,550	0,560
≥ 30	0,428	0,432	0,446	0,460	0,476

Если средняя плотность древесины не определялась, допускается принимать коэффициент пересчета равным средней величине для исследуемой породы согласно табл. 3.5.

Таблица 3.5

Значения коэффициента пересчета K_{12}^W
в зависимости от влажности и породы древесины

Порода	W, %	K_{12}^W	Порода	W, %	K_{12}^W
Бук, сосна кедровая и обыкновенная	5	1,480	Ель, граб, ива, осина, пихта, тополь	5	1,335
	10	1,125		10	1,085
	15	0,855		15	0,880
	20	0,650		20	0,705
	25	0,515		25	0,560
	≥30	0,450		≥30	0,445

Допускается определять предел прочности без измерения влажности древесины при условии увлажнения образцов до влажности более 30 % в воде при температуре 15–25 °С в течение:

не менее 4 ч – образцы из древесины ели, сосны кедровой, заболони сосны обыкновенной, березы и других рассеянно-сосудистых пород;

не менее 20 ч – образцы из древесины лиственницы, ядра сосны, дуба и других кольцесосудистых пород.

Влажность увлажненных образцов и из свежесрубленной древесины не определяют.

Результаты испытаний образцов древесины на прочность при сжатии вдоль волокон заносят в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Результаты определения предела прочности древесины
при сжатии вдоль волокон

Порода древесины	Размеры поперечного сечения, мм		Разрушающая нагрузка P_{max} , Н	Влажность W, %	Предел прочности, МПа	
	a	b			$R_{сж}^W$	$R_{сж}^{12}$

3.1.4. Определение предела прочности при статическом изгибе

Для определения предела прочности при изгибе изготавливают образцы в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20 × 20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Отклонения от указанных размеров образца для поперечного сечения не должны превышать 0,5 мм, а

по длине – 1 мм. Годовые слои на торцах должны быть параллельны одной паре противоположных граней.

При испытании на прочность образцы, как правило, должны иметь нормализованную влажность (равновесную влажность в среде с температурой 20 ± 2 °С и относительной влажностью воздуха 65 ± 2 %). Для этого перед испытанием образцы кондиционируют при указанных значениях температуры и относительной влажности воздуха до приобретения древесиной нормализованной влажности. В то же время допускается проводить испытания на образцах, не подвергавшихся кондиционированию и с влажностью, отличающейся от нормализованной.

Образец помещают в испытательное устройство так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям (изгиб тангентальный), и нагружают по схеме, показанной на рис. 3.4.

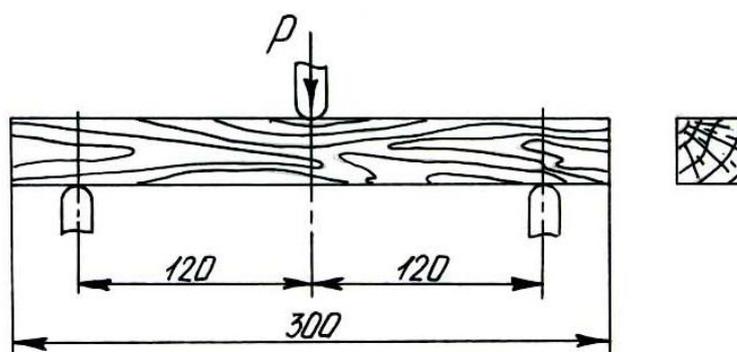


Рис. 3.4. Схема испытания образца древесины на статический изгиб

Образец нагружают равномерно с такой постоянной скоростью, чтобы он разрушился через $1,5 \pm 0,5$ мин после начала нагружения. При использовании машины с электромеханическим приводом допускается проводить испытания со скоростью нагружения $1\,350 \pm 150$ Н/мин. Испытание продолжают до разрушения образца, т.е. до момента остановки и движения стрелки силоизмерителя в обратную сторону. Максимальную нагрузку определяют с погрешностью не более 1 %.

После испытания устанавливают влажность образцов, для чего образец длиной 25 ± 5 мм вырезают вблизи излома.

Предел прочности при статическом изгибе $R_{и}^W$ вычисляют с округлением до 1 МПа по формуле

$$R_{и}^W = 3 \cdot P_{\max} \cdot l / (2 \cdot b \cdot h^2),$$

где P_{\max} – максимальная разрушающая нагрузка, Н; l – расстояние между опорами, мм; b и h – ширина и высота образца, мм.

Предел прочности кондиционированных образцов с нормализованной влажностью W при необходимости пересчитывают на стандартную влажность 12 % по формуле

$$R_{и}^{12} = R_{и}^W \cdot [1 + \alpha \cdot (W - 12)],$$

где α – поправочный коэффициент на влажность, равный 0,04 для всех пород; W – влажность образца в момент испытания, %.

Предел прочности (в мегапаскалях) некондиционированных образцов с влажностью, отличающейся от нормализованной, пересчитывают на влажность 12 % по формуле

$$R_{и}^{12} = \frac{R_{и}^W}{K_{12}^W},$$

где K_{12}^W – коэффициент пересчета, определяемый по табл. 3.7 при известной плотности древесины.

Таблица 3.7

Значения коэффициента пересчета K_{12}^W

в зависимости от влажности при известной плотности древесины

Влажность W , %	Коэффициент пересчета K_{12}^W при плотности ρ_{12} , кг/м ³				
	400	450	500	550	600
5	1,405	1,396	1,390	1,375	1,365
6	1,335	1,330	1,320	1,310	1,300
7	1,267	1,262	1,255	1,248	1,240
8	1,210	1,205	1,200	1,193	1,190
10	1,098	1,098	1,092	1,090	1,087
12	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
15	0,875	0,878	0,880	0,882	0,887
20	0,715	0,722	0,722	0,735	0,740
25	0,605	0,614	0,619	0,624	0,636
≥30	0,530	0,538	0,540	0,554	0,565

Если средняя плотность древесины не определялась, допускается принимать коэффициент пересчета равным средней величине для исследуемой породы согласно табл. 3.8.

Таблица 3.8

Значения коэффициента пересчета K_{12}^W
в зависимости от влажности и породы древесины

Порода	W, %	K_{12}^W	Порода	W, %	K_{12}^W
Сосна, бук, кедр, тополь	5	1,36	Ель, граб, лиственница	5	1,36
	10	1,09		10	1,10
	12	1,00		12	1,00
	15	0,88		15	0,885
	20	0,72		20	0,720
	25	0,625		25	0,610
	≥30	0,580		≥30	0,550

Результаты испытаний образцов древесины на прочность при статическом изгибе заносят в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Результаты определения предела прочности древесины
при статическом изгибе

Порода древесины	Размеры поперечного сечения, мм		Разрушающая нагрузка P_{\max} , Н	Влажность W, %	Предел прочности при статическом изгибе, МПа	
	b	h			$R_{и}^W$	$R_{и}^{12}$

Контрольные вопросы

1. Назовите положительные и отрицательные свойства древесины.
2. В каком виде древесина используется в строительстве?
3. Как определить влажность древесины?
4. Как определить нормализованную влажность древесины?
5. Что такое стандартная влажность?
6. Как определить среднюю плотность древесины?
7. Как влияет влажность древесины на ее плотность?
8. Как определяют предел прочности при сжатии вдоль волокон?
9. Как определяют предел прочности при статическом изгибе?
10. Как влияет влажность древесины на ее прочность?
11. Как пересчитать величины прочности древесины с влажности в момент испытания на стандартную влажность?

4. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Минеральные вяжущие вещества, важнейшие из которых – портландцемент и его разновидности, известь, гипс и прочие, представляют собой порошковидные материалы, которые после смешения с водой (а в отдельных случаях и с растворами некоторых солей) образуют пластичное тесто, постепенно затвердевающее и переходящее в камневидное состояние.

Почти все минеральные вяжущие вещества получают путем грубого и тонкого измельчения исходных материалов и полупродуктов с последующей термической обработкой при разных температурах. В этих условиях протекают разнообразные физико-химические процессы, обеспечивающие получение продукта с требуемыми свойствами. Обожженный материал подвергают тонкому измельчению.

Большинство минеральных вяжущих твердеет в результате возникновения гидратных новообразований при взаимодействии вяжущего вещества с водой. Лишь в некоторых случаях твердение происходит в итоге взаимодействия вяжущего с другими реагентами (например, гашеной воздушной извести с углекислотой воздуха) и одновременной перекристаллизации гидроксида кальция.

Вяжущие используют в подавляющем большинстве случаев в смеси с так называемыми заполнителями – минеральными (а иногда и органическими) материалами, состоящими из отдельных зерен, кусков, волокон разных размеров, а также с тонкодисперсными наполнителями. Вяжущие в смеси с мелким заполнителем (песком) дают растворы, в смеси с мелкими и крупными заполнителями (гравием, щебнем и т.п.) – бетоны. Использование вяжущих в смеси с заполнителями обусловлено двумя основными причинами. Первая причина носит экономический характер. Она заключается в том, что цена вяжущих относительно высока, поэтому для снижения стоимости изделия или конструкции их необходимо изготавливать с минимальным расходом вяжущего. Для каждого вида изделий и конструкций расход вяжущего определяется рядом требований, предусматривающих необходимую строительную прочность, надежность и долговечность того или иного сооружения.

Вторая причина имеет технический характер. Дело в том, что вяжущие вещества в виде теста без заполнителей имеют повышенную склонность к усадке и набуханию как при твердении, так и при влиянии тепловлажностных факторов. Это зачастую приводит к образованию трещин и ускоренному разрушению конструкций и сооружений. Кроме того, прерывный (дискретный) компонент – заполнитель и наполнитель соответственно на уровне макро- или микроструктуры – является упрочняющим (армирующим) или выполняющим другую функцию (изоляционную, защитную и т.д.).

Минеральные вяжущие вещества в зависимости от их способности твердеть и сохранять свою прочность в определенной среде делят на воздушные, гидравлические и кислотостойкие.

Воздушные вяжущие, или вяжущие *воздушного твердения* (гипсовые и ангидритовые вяжущие, известь строительная, магнезиальные вяжущие, растворимое стекло), твердеют и длительно сохраняют прочность лишь в воздушной среде.

Вяжущие вещества, способные твердеть и длительно сохранять или повышать прочность не только на воздухе, но и в воде, называют вяжущими *водного твердения*, или *гидравлическими* (гидравлическая известь, портландцемент и другие цементы, шлаковые вяжущие вещества).

В отдельную группу *кислотостойких* вяжущих входит кислотоупорный кварцевый цемент.

В самостоятельную группу часто выделяют вяжущие вещества *автоклавного* твердения (известково-кремнеземистые, известково-нефелиновые, известково-шлаковые), хотя, по существу, они относятся к гидравлическим вяжущим.

4.1. Определение свойств гипсовых вяжущих (лабораторная работа № 5)

Гипсовые вяжущие – это порошкообразные материалы, состоящие из полуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) и получаемые путем тепловой обработки (при температуре в пределах 105–180 °С) природного двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) или гипсосодержащих техногенных отходов (вторичных ресурсов).

В ходе термообработки двуводного гипса в паровой среде под давлением в автоклавах или в водных растворах некоторых солей при атмосферном давлении образуется α -полуводный сульфат кальция (*гипсовое вяжущее α -модификации*). При обжиге сырья при 130–180 °С получают β -полуводный сульфат кальция (*гипсовое вяжущее β -модификации*). Модификации полуводного гипса отличаются размерами и формой кристаллов: α -модификация имеет более крупные кристаллы без пустот и пор; β -модификация – бесформенные кристаллы, в которых много пор. Вследствие этого гипсовое вяжущее α -модификации имеет меньшую водопотребность, а затвердевший гипс из α -полугидрата приобретает повышенную плотность и прочность по сравнению с β -полугидратом.

Гипсовые вяжущие традиционно (с некоторой условностью, отвечающей практическим целям) разделяют на строительный гипс, состоящий из β -полугидрата; формовочный гипс того же состава с повышенными техническими свойствами; высокопрочный гипс, состоящий из α -полугидрата.

Гипсовые вяжущие различают по *тонкости помола*. Существуют следующие индексы помола: I – грубый; II – средний; III – тонкий.

С увеличением тонкости помола качественные показатели гипсовых вяжущих улучшаются.

Водопотребность – это количество воды затворения, которое необходимо для получения теста нормальной густоты. Водопотребность определяется по радиусу расплыва лепешки. Для реакции гидратации требуется лишь 18,6 % воды. Остальная вода, испаряясь, оставляет поры, поэтому снижается прочность затвердевшего материала. Гипсовые вяжущие, состоящие из β -модификации полуводного гипса, имеют высокую водопотребность (обычно 50–70 %). Водопотребность гипсовых вяжущих, состоящих из α -модификации полуводного гипса, значительно меньше – 35–45 %. Поскольку α -модификация (высокопрочный гипс) требует меньше воды для затворения, чем β -модификация (строительный гипс), то в первом случае пористость затвердевшего материала меньше, а прочность больше, чем во втором. В остальных случаях свойства этих вяжущих практически одинаковы.

Различают три вида гипсовых вяжущих по *срокам схватывания*: А – быстротвердеющий – не ранее 2 и не позднее 15 мин; Б – нормальнотвердеющий – не ранее 6 и не позднее 30 мин; В – медленнотвердеющий – не ранее 20 мин, конец схватывания не нормируется. Быстрое схватывание гипсовых вяжущих является во многих случаях положительным их свойством, позволяющим быстро извлекать изделия из форм. Однако нередко быстрое схватывание нежелательно. Для регулирования сроков схватывания (ускорения и замедления) в гипсовые вяжущие при затворении вводят различные добавки. В частности, замедлителями схватывания являются добавки ПАВ (поверхностно-активных веществ).

Прочность гипсовых вяжущих определяется испытанием изготовленных из гипсового теста нормальной густоты образцов-балочек размером $4 \times 4 \times 16$ см в возрасте двух часов на изгиб, а их половинок – на сжатие. В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе образцов гипсовые вяжущие разделяются на марки (табл. 4.1).

Пример условного обозначения гипсового вяжущего прочностью 5,2 МПа со сроками схватывания: начало – 5 мин, конец – 9 мин, а также остатком 9 % на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм, т. е. гипсового вяжущего марки Г-5, быстротвердеющего, среднего помола:

Г-5 А II ГОСТ 125-2018.

Наряду с положительными свойствами гипсовым изделиям присуща низкая водостойкость. В первую очередь она проявляется в значительном падении прочности при увлажнении. Коэффициент размягчения гипса в затвердевшем состоянии, характеризующий его водостойкость и равный отношению прочности водонасыщенных образцов к прочности сухих, колеблется в пределах 0,35–0,45. При высыхании гипсовые изделия становятся прочнее примерно в 2 раза.

Таблица 4.1

Прочностные показатели гипсовых вяжущих веществ

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40 × 40 × 160 мм в возрасте 2 ч, МПа, не менее	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2	1,2
Г-3	3	1,8
Г-4	4	2,0
Г-5	5	2,5
Г-6	6	3,0
Г-7	7	3,5
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5,5
Г-16	16	6,0
Г-19	19	6,5
Г-22	22	7,0
Г-25	25	8,0

Гипсовые изделия применяются, как правило, во внутренних помещениях зданий с относительной влажностью воздуха не более 60–70 %. Из гипсовых вяжущих получают гипсокартонные и гипсоволокнистые листы, а также облицовочные изделия, вентиляционные короба, плиты для перегородок, используемые в конструкциях зданий и сооружений при относительной влажности воздуха не более 60 %; при условии повышения водостойкости гипсовых вяжущих они могут использоваться для изготовления элементов наружных стен малоэтажных зданий.

Водостойкость гипсовых изделий может быть повышена: 1) применением интенсивных способов уплотнения жестких гипсобетонных смесей при формовании; 2) нанесением покровных пленок или пропитыванием изделий уплотняющими или гидрофобными веществами; 3) использованием композиционных гипсовых вяжущих.

4.1.1. Определение тонкости (степени) помола

Сущность метода заключается в определении массы гипсового вяжущего, оставшегося при просеивании на сите с ячейками размером в свету 0,2 мм.

Пробу гипсового вяжущего массой 50 г, взвешенную с погрешностью не более 0,1 г и предварительно высушенную в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре 50 ± 5 °С, высыпают на сито и проводят просеивание вручную, на механической установке или с помощью прибора-анализатора. Просеивание считают законченным, если сквозь сито в течение 1 мин при ручном просеивании проходит не более 0,05 г гипсового вяжущего.

Тонкость помола отдельной пробы определяют в процентах с погрешностью не более 0,1 % как отношение массы, оставшейся на сите, к массе первоначальной пробы. За значение тонкости помола принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний.

Результаты определения тонкости (степени) помола гипсовых вяжущих заносят в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты просеивания навески гипсового вяжущего

Навеска гипсового вяжущего, г	Остаток на сите № 02, г	Остаток на сите № 02, %

4.1.2. Определение сроков схватывания гипсового теста стандартной консистенции (нормальной густоты)

Стандартная консистенция (нормальная густота) характеризуется диаметром расплыва 180 ± 5 мм гипсового теста, вытекающего из металлического цилиндра при его поднятии. При этом определяется количество воды, необходимой для получения гипсового теста стандартной консистенции, в процентах как отношение массы воды к массе гипсового вяжущего в граммах. Данное количество воды является основным критерием при дальнейших определениях свойств гипсового вяжущего: сроков схватывания и пределов прочности на сжатие и растяжение при изгибе.

Для определения стандартной консистенции применяют стекло диаметром более 240 мм, на которое наносят ряд концентрических окружностей диаметром 150–220 мм через каждые 10 мм, а окружности диаметром от 170 до 190 мм – через 5 мм; окружности можно нанести на лист белой бумаги и поместить его между двумя листами стекла (рис. 4.1).

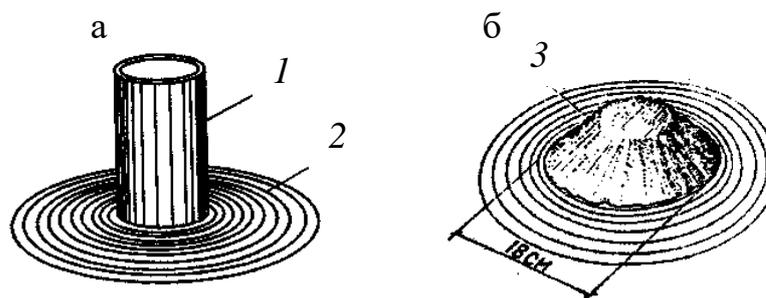


Рис. 4.1. Определение нормальной густоты:

а – подготовка к испытанию; б – расплыв лепешки из гипсового теста;

1 – металлический цилиндр с гипсовым тестом;

2 – стеклянная пластинка с концентрическими окружностями;

3 – лепешка из гипсового теста нормальной густоты

В чистую чашку, предварительно протертую тканью, вливают воду, масса которой зависит от свойств гипсового вяжущего. Затем в воду в течение 2–5 с всыпают от 300 до 350 г гипсового вяжущего. Массу перемешивают специальной ручной мешалкой в течение 30 с, начиная отсчет времени от начала всыпания гипсового вяжущего в воду. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Цилиндр и стекло предварительно протирают тканью. Через 45 с, считая от начала засыпания гипсового вяжущего в воду, или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр очень быстро поднимают вертикально на высоту 15–20 см и отводят в сторону. Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение, которое должно составлять 180 ± 5 мм. Если диаметр расплыва теста не соответствует 180 ± 5 мм, испытание повторяют с измененной массой воды.

Для определения сроков схватывания используют гипсовое тесто стандартной консистенции. Сущность метода состоит в определении времени от начала контакта гипсового вяжущего с водой до начала и конца схватывания теста.

Сроки схватывания гипсового теста определяют на приборе Вика с иглой и массой подвижной части 300 ± 2 г (рис. 4.2). Игла должна быть изготовлена из твердой нержавеющей стальной проволоки с полированной поверхностью и не иметь искривлений. Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое положение подвижной части.

Кольцо, предварительно протертое, смазанное минеральным маслом и установленное на полированную пластинку, заполняют тестом нормальной густоты. Для удаления попавшего в тесто воздуха кольцо с пластинкой четыре-пять раз встряхивают путем поднятия и опускания одной из сторон пластинки примерно на 10 мм. После этого излишки теста срезают линейкой и заполненную форму на пластинке устанавливают на основании прибора Вика.

Подвижную часть прибора с иглой устанавливают в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опускают в кольцо с тестом. Погружение проводят один раз каждые 30 с, начиная с целого числа минут. После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы каждое последующее погружение иглы находилось на расстоянии не менее 10 мм от мест предыдущих погружений и края кольца.

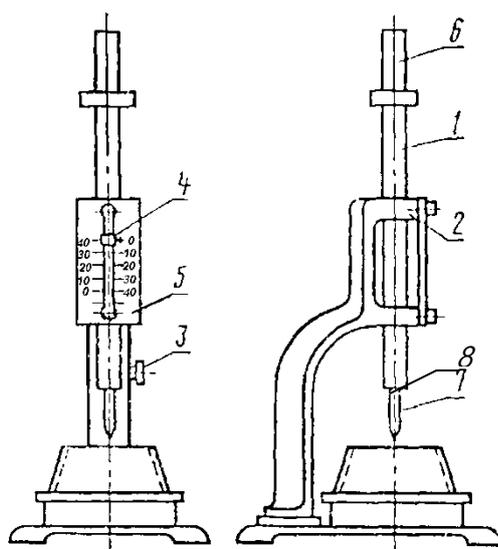


Рис. 4.2. Прибор Вика:

- 1 – цилиндрический металлический стержень; 2 – обойма станины;
 3 – стопорное устройство; 4 – указатель; 5 – шкала; 6 – пестик;
 7 – игла; 8 – кольцо с гипсовым тестом

Начало схватывания определяют временем, выраженным в минутах, истекших от момента добавления гипсового вяжущего к воде до момента, когда свободно опущенная игла после погружения в тесто первый раз не доходит до поверхности пластинки, а конец схватывания – когда свободно опущенная игла погружается на глубину не более 1 мм. Время начала и конца схватывания выражают в минутах.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Результаты определения стандартной консистенции
и сроков схватывания гипсового теста

Навеска гипса, г	Количество воды для получения гипсового теста нормальной плотности, мл	Водопотребность гипсового вяжущего, %	Время от начала затворения водой, мин	Отсчет по шкале прибора, мм	Начало схватывания гипса, мин	Конец схватывания гипса, мин

4.1.3. Определение прочности на сжатие и растяжение при изгибе

Прочность на сжатие и растяжение при изгибе определяют на образцах-призмах размером $160 \times 40 \times 40$ мм, изготовленных из гипсового теста стандартной консистенции.

В предварительно протертую влажной тканью чашку смесителя наливают воду, взятую в количестве, необходимом для получения гипсового теста стандартной консистенции. Затем в эту воду засыпают пробу гипсового вяжущего массой от 1,0 до 1,6 кг в течение 5–20 с. Гипсовое тесто перемешивают в смесителе в течение 60 с до получения однородного теста. При работе смесителя вращение лопастей вокруг собственной оси и ее планетарное перемещение относительно оси чаши должны осуществляться в противоположных направлениях со скоростью вращения вокруг собственной оси $140 \pm 5 \text{ мин}^{-1}$; при планетарном перемещении относительно оси чаши – $62 \pm 5 \text{ мин}^{-1}$.

Допускается замешивание гипсового теста вручную. После засыпания гипсового вяжущего смесь интенсивно перемешивают ручной мешалкой в течение 60 с до получения однородного теста, которым заливают форму. Внутреннюю поверхность стенок формы и поддон предварительно смазывают тонким слоем машинного масла.

Приготовленное тесто укладывают в форму. Уложенное тесто уплотняют и выравнивают пятью ударами формы о поверхность стола, поднимая ее за торцевую сторону на высоту 10 мм. После наступления начала схватывания излишки гипсового теста снимают линейкой, передвигая ее по верхним граням формы перпендикулярно к поверхности образцов. Через $15 \pm 5 \text{ мин}$ после конца схватывания образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в помещении для испытаний при температуре $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50 \pm 5 \%$. Определение прочности образцов, изготовленных из гипсового теста стандартной консистенции, проводят через 2 ч после контакта гипсового вяжущего с водой.

Для определения предела прочности на растяжение при изгибе образец устанавливают на опоры соответствующего прибора так, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении. Расстояние между опорами должно быть $100 \pm 0,152 \text{ мм}$. Скорость нарастания нагрузки – $50 \pm 10 \text{ Н/с}$. Испытание проводят в соответствии с инструкцией, прилагаемой к прибору.

Предел прочности на растяжение при изгибе одного образца $R_{\text{изг}}$, МПа, вычисляют по формуле

$$R_{\text{изг}} = 0,00234F,$$

где F – разрушающая нагрузка, Н.

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех испытаний, вычисленное с точностью $\pm 0,1 \text{ МПа}$.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Результаты определения предела прочности на растяжение образцов гипса при изгибе

Значения предела прочности на растяжение для отдельных образцов $R_{изг}$, МПа			Среднее арифметическое результатов трех испытаний, МПа
1	2	3	

Предел прочности при сжатии определяют испытанием шести половинок образцов-призм, полученных при их испытании на изгиб.

Половинку образца-призмы помещают между двумя пластинками для передачи нагрузки на образец так, чтобы боковые грани, которые при формировании образцов находились в вертикальном положении, находились в плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой грани образца (рис. 4.3).

Скорость нарастания нагрузки при испытании – 50 ± 10 Н/с.

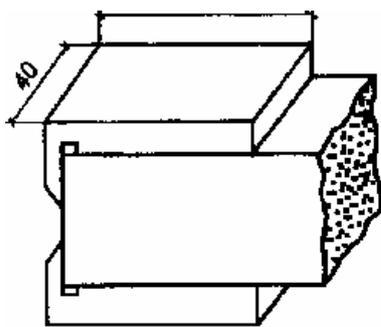


Рис. 4.3. Расположение металлических пластинок при испытании половинок образцов-балочек на сжатие

Предел прочности при сжатии одного образца $R_{сж}$, МПа, вычисляют по формуле

$$R_{сж} = P_{разр} / S,$$

где S – площадь рабочей поверхности пластинок, равная $2\,500\text{ мм}^2$.

Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов шести испытаний без наибольшего и наименьшего результатов, вычисленное с точностью $\pm 0,1$ МПа.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Результаты определения предела прочности образцов гипса при сжатии

Наименование определяемых показателей	Значения для отдельных образцов						Среднее арифметическое результатов шести испытаний без наибольшего и наименьшего результатов, МПа
	1	2	3	4	5	6	
Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие, Н							
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа							

Контрольные вопросы

1. Что называют гипсовыми вяжущими веществами?
2. По каким основным показателям оценивают качество гипсовых вяжущих?
3. Как определяют тонкость помола гипсового вяжущего?
4. Как определяются сроки схватывания гипсового теста?
5. Что такое нормальная густота гипсового теста и как она определяется?
6. Каким образом производят испытания образцов из гипса и как рассчитывают пределы прочности на сжатие и растяжение при изгибе?

4.2. Определение свойств негашеной кальциевой извести (лабораторная работа № 6)

Известь, представляющая собой оксиды и/или гидроксиды кальция и магния, образуемая при термическом разложении (декарбонизации) природного карбоната кальция (известняка, мела, ракушечника) или природного карбоната кальция-магния (доломита, доломитизированного известняка) и предназначенная для изготовления строительных материалов и изделий, называется строительной.

В зависимости от условий твердения строительную известь разделяют на воздушную, обеспечивающую твердение строительных растворов и бетонов и сохранение ими прочности в воздушно-сухих условиях, и гидравлическую, обеспечивающую твердение строительных растворов и бетонов и сохранение ими прочности как на воздухе, так и в воде. Основное применение в строительстве нашла строительная воздушная известь.

В зависимости от содержания оксидов воздушная известь кальция и магния разделяется на следующие виды:

кальциевая – воздушная известь, состоящая преимущественно из оксида или гидроксида кальция (содержание активного MgO – не более 5 %);

магнезиальная – воздушная известь, состоящая в основном из оксида или гидроксида кальция, а также оксида или гидроксида магния (содержание активного MgO – 5–20 %);

доломитовая – известь, состоящая преимущественно из оксида кальция и оксида магния или гидроксида кальция и гидроксида магния (содержание активного MgO – 20–40 %).

Различают *негашеную* известь (состоящую главным образом из оксидов кальция и магния) – *комовую* и *молотую*, а также *гашеную*, или *гидратную*, известь (состоящую из гидроксидов кальция и магния и полученную в результате реакции гидратации соответствующих оксидов). В зависимости от количества воды, взятой при гашении, получают сухую *гидратную известь* – *пушонку*, а также *известковое тесто* или *известковое молоко*.

По скорости гашения воздушная известь бывает *быстрогосящаяся* (время гашения – менее 8 мин), *среднегоящаяся* (от 8 до 25 мин), а также *медленногоящаяся* (более 25 мин).

В порошкообразную известь, получаемую помолом или гашением (гидратацией) комовой извести, допускается вводить тонкомолотые минеральные добавки (карбонатные породы, гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки, пуццолановые добавки, кварцевые пески).

Воздушную негашеную известь без добавок разделяют на три сорта: 1-й, 2-й и 3-й; негашеную порошкообразную с добавками – на два сорта: 1-й и 2-й; гидратную (гашеную) без добавок и с добавками – на два сорта: 1-й и 2-й.

Технические требования к негашеной кальциевой извести без добавок приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Технические требования к негашеной кальциевой извести

Сорт	Содержание, % по массе			
	активных СаО, не менее	активных MgO, не более	СО ₂ , не более	непогасившихся зерен (НЗ), не более
1	90	5	3	7
2	80	5	5	11
3	70	5	7	14

4.2.1. Определение суммарного содержания активных оксидов кальция и магния

Из пробы комовой извести, измельченной до размеров кусков не более 10 мм, квартованием отбирают 1 кг для определения содержания НЗ и пробу массой около 500 г. Эту пробу измельчают до полного прохождения через сито с номером сетки 09, тщательно перемешивают, затем квартованием отбирают около 150 г, растирают до полного прохождения через сито с номером сетки 009, помещают в герметически закрытый сосуд и используют для проведения испытаний

Чтобы провести химический анализ пробы порошкообразной (молотой) извести, последовательным квартованием отбирают пробу массой 40 г, растирают в ступке до полного прохождения через сито с номером сетки 009, помещают в герметически закрытый сосуд и используют для проведения испытаний.

Навеску массой 1 г из подготовленной для испытаний пробы растертой извести помещают в коническую колбу вместимостью 250 мл, наливают 150 мл дистиллированной воды, добавляют три-пять стеклянных бус или оплавленных стеклянных палочек длиной от 5 до 7 мм, закрывают стеклянной воронкой или часовым стеклом и нагревают от 5 до 7 мин до

температуры кипения. Раствор охлаждают до температуры от 20 °С до 30 °С, промывают стенки колбы и стеклянную воронку (или часовое стекло) кипяченой дистиллированной водой, добавляют две-три капли 1%-го спиртового раствора фенолфталеина и титруют при постоянном взбалтывании 1н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания раствора. Титрование считают законченным, если в течение 8 мин при периодическом взбалтывании раствор останется бесцветным.

Титрование следует проводить медленно, добавляя кислоту по каплям.

Содержание активных окисей кальция и магния A , %, для негашеной извести вычисляют по формуле

$$A = \frac{V \cdot T_{\text{CaO}} \cdot 100}{Q},$$

где V – объем раствора 1н соляной кислоты, пошедший на титрование, мл; T_{CaO} – титр 1н раствора соляной кислоты, выраженный в граммах СаО; Q – масса навески извести, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Результаты определения содержания активных оксидов кальция и магния в негашеной кальциевой извести

Навеска извести, г	Расход 1н раствора соляной кислоты V , мл	Титр 1н раствора соляной кислоты, выраженный в граммах СаО	Содержание активных СаО и MgO, %

4.2.2. Определение содержания в извести непогасившихся зерен

В металлический сосуд цилиндрической формы вместимостью 8–10 л наливают 3,5–4 л нагретой до температуры от 85 до 90 °С воды и всыпают 1 кг извести, непрерывно перемешивая содержимое до окончания интенсивного выделения пара (кипения). Полученное тесто закрывают крышкой и выдерживают в течение 2 ч, затем разбавляют холодной водой до консистенции известкового молока и промывают на сите с номером сетки 063 слабой непрерывной струей, слегка растирая мягкие кусочки стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Остаток на сите высушивают при температуре от 140 до 150 °С до постоянной массы. Содержание НЗ, %, вычисляют по формуле

$$\text{НЗ} = \frac{m \cdot 100}{1000},$$

где m – остаток на сите после высушивания, г.

При проведении лабораторных занятий для студентов навеска может быть взята в количестве 100 г, а емкость сосуда для гашения – от 0,5 до 1 л. В этом случае содержание в извести НЗ в процентах будет равно массе сухого остатка.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Результаты определения содержания в извести НЗ

Навеска извести, г	Остаток на сите после высушивания m , г	Содержание НЗ, %

4.2.3. Определение температуры и времени гашения извести

Для определения температуры и времени гашения извести используют бытовой термос вместимостью 500 мл.

Массу навески извести m , г, вычисляют по формуле

$$m = \frac{1000}{A},$$

где A – содержание активных оксидов кальция и магния в извести, %.

Навеску массой m помещают в термосную колбу, вливают 25 мл воды, имеющей температуру 20 °С, и быстро перемешивают все деревянной отполированной палочкой. Колбу закрывают пробкой с плотно вставленным термометром на температуру 100 °С и оставляют в покое. Ртутный шарик термометра или электронный термометр должны быть полностью погружены в реагирующую смесь. Отсчет температуры реагирующей смеси ведут через каждую минуту начиная с момента добавления воды. Определение считают законченным, если в течение 4 мин температура не повышается более чем на 1 °С.

За время гашения принимают время с момента добавления воды до начала периода, когда рост температуры не превышает 0,25 °С в минуту.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Результаты определения температуры и времени гашения извести

Содержание активных оксидов кальция и магния в извести A , %	Навеска извести m , г	Время от момента добавления воды, мин	Температура, °С	Время гашения, мин

Контрольные вопросы

1. Что называют воздушной строительной известью, какие виды извести различают?
2. По каким показателям определяют сорт строительной извести?
3. Как определяют содержание в извести активных оксидов кальция и магния?
4. По каким экспериментальным данным рассчитывают содержание в извести НЗ?
5. Как влияет на качество извести содержание в ней активных оксидов кальция и магния и НЗ?
6. От чего зависят и как определяются температура, время гашения извести?

4.3. Определение свойств цемента (лабораторная работа № 7)

Цементы – это порошкообразные минеральные гидравлические вяжущие вещества, способные при смешении с водой (затворении) за счет химических взаимодействий (реакций гидратации) твердеть и длительное время сохранять прочность как в воде, так и на воздухе. По назначению цементы разделяют на *общестроительные*, используемые при массовом строительстве, и *специальные*, которые имеют более узкие и специфические задачи и соответствующую область применения.

К общестроительным цементам относятся в первую очередь портландцемент и его разновидности. *Портландцемент* – это гидравлическое вяжущее вещество, состоящее на 70–80 % из высокоосновных силикатов кальция (алита и белита) и получаемое тонким помолом портландцементного клинкера совместно с добавкой гипса и другими минеральными добавками. Помимо портландцемента и его разновидностей, в группу общестроительных цементов входят и другие цементы с использованием портландцементного клинкера, но в них при помолке вводятся в значительно больших количествах различные минеральные добавки с целью экономии портландцементного клинкера как самого энергоемкого и дорогостоящего компонента в составе цементов, а также придания им определенных строительно-технических свойств. Цементы являются главными материальными ресурсами современного строительства, назначение которых заключается в обеспечении прочности и долговечности строительных изделий и конструкций.

В соответствии с классификацией общестроительных цементов по *вещественному составу* эти цементы разделяются на шесть типов:

ЦЕМ 0 – бездобавочный портландцемент;

ЦЕМ I – портландцемент с добавкой минимального количества вспомогательных компонентов (до 5 %);

ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками;
 ЦЕМ III – шлакопортландцемент;
 ЦЕМ IV – пуццолановый цемент;
 ЦЕМ V – композиционный цемент.

В зависимости от содержания портландцементного клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II, ЦЕМ IV, ЦЕМ V разделяют на подтипы А и В (за исключением цемента ЦЕМ II с добавкой микрокремнезема), а шлакопортландцемент ЦЕМ III – на А, В и С.

Вещественный состав общестроительных цементов в соответствии с ГОСТ 31108 приведен в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Вещественный состав общестроительных цементов
 в соответствии с ГОСТ 31108

Тип цемента	Наименование цемента	Сокращенное обозначение цемента	Вещественный состав цемента, % от массы*								Вспомогательные компоненты
			Основные компоненты							Известняк или обожженный сланец	
			Портландцементный клинкер	Доменный или электротермофосфорный гранулированные шлаки	Микрокремнезем	Пуццолан	Глиеж	Золауноса			
Кл	Ш	Мк	П	Г	З	И(Сл)					
ЦЕМ 0	Бездобавочный портландцемент	ЦЕМ 0	100	–	–	–	–	–	–	–	–
ЦЕМ I	Портландцемент	ЦЕМ I	95–100	–	–	–	–	–	–	–	0–5
ЦЕМ II	Портландцемент с минеральными добавками**:										
	шлаком	ЦЕМ II/А-Ш	80–94	6–20	–	–	–	–	–	–	0–5
		ЦЕМ II/В-Ш	65–79	21–35	–	–	–	–	–	–	0–5

Окончание табл. 4.10

Тип цемента	Наименование цемента	Сокращенное обозначение цемента	Вещественный состав цемента, % от массы*							Вспомогательные компоненты
			Основные компоненты							
			Портландцементный клинкер	Доменный или электро-термо-фосфорный гранулированные шлаки	Микрокремнезем	Пуццолан	Глиеж	Золауноса	Известняк или обожженный сланец	
Кл	Ш	Мк	П	Г	З	И(Сл)				
ЦЕМ II	микрокремнеземом	ЦЕМ II/A-Мк	90–94	–	6–10	–	–	–	–	0–5
	пуццоланом	ЦЕМ II/A-П	80–94	–	–	6–20	–	–	–	0–5
		ЦЕМ II/B-П	65–79	–	–	21–35	–	–	–	0–5
	глиежем	ЦЕМ II/A-Г	80–94	–	–	–	6–20	–	–	0–5
		ЦЕМ II/B-Г	65–79	–	–	–	21–35	–	–	0–5
	золыуноса	ЦЕМ II/A-З	80–94	–	–	–	–	6–20	–	0–5
		ЦЕМ II/B-З	65–79	–	–	–	–	21–35	–	0–5
	обожженным сланцем	ЦЕМ II/A-Сл	80–94	–	–	–	–	–	6–20	0–5
		ЦЕМ II/B-Сл	65–79	–	–	–	–	–	21–35	0–5
	известняком	ЦЕМ II/A-И	80–94	–	–	–	–	–	6–20	0–5
		ЦЕМ II/B-И	65–79	–	–	–	–	–	21–35	0–5
	Композиционный портландцемент***	ЦЕМ II/A-К	80–88	12–20						0–5
		ЦЕМ II/B-К	65–79	21–35						0–5
	ЦЕМ III	Шлакопортландцемент	ЦЕМ III/A	35–64	36–65	–	–	–	–	–
ЦЕМ III/B			20–34	66–80	–	–	–	–	–	0–5
ЦЕМ III/C			5–19	81–95	–	–	–	–	–	0–5
ЦЕМ IV	Пуццолановый цемент***	ЦЕМ IV/A	65–89	–	11–35				–	0–5
		ЦЕМ IV/B	45–64	–	36–55				–	0–5
ЦЕМ V	Композиционный цемент***	ЦЕМ V/A	40–64	18–30	–	18–30			–	0–5
		ЦЕМ V/B	20–38	31–49	–	31–49			–	0–5

Примечания:

* Значения относятся к сумме основных и вспомогательных компонентов цемента (кроме гипса), принятой за 100 %.

** В наименовании цементов типа ЦЕМ II (кроме композиционного портландцемента) вместо слов «с минеральными добавками» указывают наименование минеральных добавок – основных компонентов.

*** Обозначение вида минеральных добавок – основных компонентов – должно быть указано в наименовании цемента.

По прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы разделяют на классы 32,5; 42,5; 52,5. По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут цементы разделяют на подклассы Н (нормальнотвердеющие), Б (быстротвердеющие) и М (медленнотвердеющие).

Требования к физико-механическим показателям цементов приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Физико-механические показатели цементов

Класс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 сут не менее	7 сут не менее	28 сут			
			не менее	не более		
32,5М	–	12	32,5	52,5	75	10
32,5Н	–	16				
32,5Б	10	–				
42,5М	–	16	42,5	62,5	60	
42,5Н	10	–				
42,5Б	20	–				
52,5М	10	–	52,5	–	45	
52,5Н	20	–				
52,5Б	30	–				

Условное обозначение цементов должно состоять из наименования цемента; сокращенного обозначения цемента, включающего обозначение типа и подтипа цемента, и вида добавки; класса прочности; обозначения подкласса; обозначения действующего стандарта.

Примеры условных обозначений:

Портландцемент без вспомогательных компонентов и минеральных добавок типа ЦЕМ 0, класса прочности 52,5, нормальнотвердеющий:

Бездобавочный портландцемент ЦЕМ 0 52,5Н ГОСТ 31108-2020.

Портландцемент типа ЦЕМ I, класса прочности 42,5, быстротвердеющий:

Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108-2020.

Портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В с добавкой шлака (Ш) от 21 до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108-2020.

Портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа А с добавкой известняка (И) от 6 до 20 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Портландцемент с известняком ЦЕМ II/А–И 32,5Н ГОСТ 31108-2020.

Композиционный портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В с суммарным содержанием доменного гранулированного шлака (Ш), золы-уноса (З) и известняка (И) от 21 до 35 %, класса прочности 32,5, быстротвердеющий:

*Композиционный портландцемент ЦЕМ II/В-К(Ш-З-И) 32,5Б
ГОСТ 31108-2020.*

Шлакопортландцемент типа ЦЕМ III, подтипа А с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 до 65 %, класса прочности 42,5, нормальнотвердеющий:

Шлакопортландцемент ЦЕМ III/А 42,5Н ГОСТ 31108-2020.

Шлакопортландцемент типа ЦЕМ III, подтипа С с содержанием доменного гранулированного шлака от 81 до 95 %, класса прочности 32,5, медленнотвердеющий:

Шлакопортландцемент ЦЕМ III/С 32,5М ГОСТ 31108-2020.

Пуццолановый цемент типа ЦЕМ IV, подтипа А с суммарным содержанием пуццоланы (П), золы-уноса (З) и микрокремнезема (Мк) от 11 до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Пуццолановый цемент ЦЕМ IV/А (П-З-Мк) 32,5Н ГОСТ 31108-2020.

Композиционный цемент типа ЦЕМ V, подтипа А с содержанием доменного гранулированного шлака (Ш) от 18 до 30 % и золы-уноса (З) от 18 до 30 %, класса прочности 32,5, медленнотвердеющий:

Композиционный цемент ЦЕМ V/А (Ш-З) 32,5М ГОСТ 31108-2020.

4.3.1. Определение тонкости помола по остатку на сите

От пробы цемента отбирают навеску массой 10 г, помещают в стеклянную колбу, закрывают пробкой и встряхивают вручную в течение 2 мин для дезагрегирования, после чего оставляют в покое на 2 мин, а затем перемешивают чистым сухим стержнем для равномерного распределения мелких частиц.

Перед проведением испытания сито с контрольной сеткой № 009 (допускается применение сита с сеткой № 008) осматривают в лупу и при обнаружении каких-либо дефектов (дырок, отходов сетки от обоймы и др.) его заменяют. Сито должно быть сухим и чистым.

При ручном просеивании навеску цемента массой 10 г, подготовленную так, как указано выше, высыпают на сито, установленное на подситной тарелке. Сито закрывают крышкой и встряхивают вручную.

Операцию просеивания считают законченной, если при контрольном просеивании сквозь сито проходит не более 0,01 г цемента. Контрольное просеивание выполняют вручную при снятой подситной тарелке на бумагу в течение 1 мин.

Остаток на сите взвешивают и выражают в процентах к первоначальной массе цемента.

При использовании приборов для механического или пневматического просеивания испытания выполняют в соответствии с инструкцией, прилагаемой к приборам.

За тонкость помола по остатку на сите принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно быть более 1 % среднеарифметического значения. Если расхождение превышает 1 %, проводят третье определение и за тонкость помола принимают среднеарифметическое значение результатов трех определений. Результат вычисления округляют до 0,1 %.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Результаты определения тонкости помола цемента

Навеска цемента, г	Остаток на контрольном сите, г	Тонкость помола, %

4.3.2. Определение нормальной густоты (стандартной консистенции) цементного теста (водопотребности цемента)

Перед началом испытания в нижний конец стержня прибора Вика вставляют пестик, проверяют свободное перемещение стержня и нулевое показание прибора, соприкасая пестик с пластинкой, на которой установлено кольцо. При отклонении от нуля указатель шкалы прибора устанавливают в нулевое положение. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты, выливают в чашу смесителя, предварительно протертую влажной тканью, а затем осторожно (в течение 5–10 с) высыпают 500 г цемента и включают смеситель на малую скорость. Время окончания высыпания цемента в воду считают началом затворения. Через 90 с смеситель останавливают на 15 с, в течение которых скребком снимают тесто, налипшее на стенках чаши, сдвигая его в середину чаши. Затем вновь включают смеситель на малую скорость и продолжают пере-

мешивание еще в течение 90 с. Суммарное время перемешивания цементного теста должно составлять 3 мин, не считая времени остановки.

Приготовленное цементное тесто быстро (за один прием) переносят в кольцо, установленное на пластинке, заполняя его с избытком, но без уплотнения или вибрации. Избыток цементного теста срезают ножом, протертым влажной тканью, вровень с краями кольца до получения ровной поверхности. Кольцо с пластинкой устанавливают на основание станины прибора Вика, опускают пестик до соприкосновения с поверхностью цементного теста в центре кольца и в этом положении закрепляют стержень стопорным устройством. Через 1–2 с освобождают стержень, давая пестик свободно погружаться в цементное тесто. Время от начала затворения до начала погружения пестика в цементное тесто должно составлять 4 мин. Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения пестика в цементное тесто. В течение всего времени испытания кольцо с цементным тестом не должно подвергаться толчкам или сотрясениям.

Нормальной густотой цементного теста считают такую консистенцию, при которой пестик прибора, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на 6 ± 1 мм до пластинки, на которой кольцо установлено. Если глубина погружения пестика окажется меньше или больше указанной, испытания повторяют, соответственно увеличивая или уменьшая количество воды затворения до погружения пестика на требуемую глубину.

За нормальную густоту цементного теста принимают количество воды затворения в процентах массы цемента, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста. Результат вычисления округляют до 0,25 %.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Результаты определения нормальной густоты цементного теста

Навеска цемента, г	Количество воды, мл	Количество воды затворения в процентах массы цемента	Отсчет по шкале прибора, мм	Нормальная густота (водопотребность цемента), %

4.3.3. Определение сроков схватывания

Определение начала схватывания. В нижний конец стержня прибора Вика вставляют длинную иглу и проверяют готовность прибора к проведению испытания, чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Затем готовят цементное тесто нормальной густоты, которое переносят в кольцо прибора Вика. Иглу прибора опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста и в этом положении закрепляют стержень стопорным устройством. Через 1–2 с освобождают стержень, давая игле сво-

бодно погружаться в цементное тесто. В начале испытания, пока цементное тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается ее слегка задерживать при погружении в тесто для исключения повреждения. Как только цементное тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, последней дают свободно опускаться. Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения иглы в цементное тесто. Затем иглу погружают в цементное тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения таким образом, чтобы каждое последующее погружение иглы находилось на расстоянии не менее 10 мм от мест предыдущих погружений и от края кольца. После каждого погружения иглу протирают.

В промежутках между погружениями иглы кольцо с цементным тестом на пластинке помещают в камеру (шкаф) влажного хранения. Допускается кольцо с цементным тестом накрывать влажной тканью и оставлять в помещении с относительной влажностью не менее 65 %, при этом ткань не должна соприкасаться с цементным тестом.

Началом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла при проникновении в цементное тесто не доходит до пластинки на 4 ± 1 мм. Результат определения записывают с округлением до 5 мин.

Определение конца схватывания. Длинную иглу в приборе Вика заменяют на короткую с кольцеобразной насадкой. Проверяют чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Кольцо с цементным тестом, использованное для определения начала схватывания, переворачивают таким образом, чтобы определение конца схватывания проводить на поверхности, контактировавшей с пластинкой. Иглу осторожно опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста, погружение иглы выполняют с интервалом 30 мин. При приближении конца схватывания интервалы времени между погружениями могут быть сокращены.

Концом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла проникает в цементное тесто не более чем на 0,5 мм, что соответствует положению иглы, при котором кольцеобразная насадка впервые не оставляет отпечатка на поверхности цементного теста. Результат определения записывают с округлением до 15 мин.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.14.

Таблица 4.14

Результаты определения сроков схватывания цементного теста

Навеска цемента, г	Количество воды, мл	Время от начала затворения водой, мин	Отсчет по шкале прибора, мм	Начало схватывания цемента, мин	Конец схватывания цемента, мин

4.3.4. Определение равномерности изменения объема

Равномерность изменения объема цемента характеризуют величиной расширения образца из цементного теста нормальной плотности в кольце Ле Шателье при кипячении.

Кольцо Ле Шателье представляет собой разрезанный по образующей полый цилиндр с двумя индикаторными иглами, припаянными по обе стороны на одинаковом расстоянии от прорези (рис. 4.4). Кольцо должно быть снабжено двумя стеклянными пластинками, размеры которых превышают диаметр кольца. На одну из пластинок устанавливают кольцо, вторую накладывают сверху. Масса верхней пластинки с дополнительным пригрузом должна быть не менее 75 г.

Кольца и пластинки перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Готовят цементное тесто нормальной плотности. Кольца устанавливают на пластинки и наполняют в один прием цементным тестом с избытком, но без уплотнения или вибрации. При заполнении колец исключают случайное раскрытие прорези осторожным сдавливанием кольца пальцами или резиновой лентой. Избыток цементного теста срезают ножом, протертым влажной тканью, вровень с краями кольца. Для одного испытания заполняют два кольца из одного замеса цементного теста.

Кольца, заполненные цементным тестом, накрывают сверху пластинками, на которые устанавливают пригруз, и помещают в камеру влажного хранения, где выдерживают в течение $24 \pm 0,5$ ч. Допускается выдерживать кольца в воде в течение $24 \pm 0,5$ ч при температуре 20 ± 1 °С при условии получения одинаковых результатов.

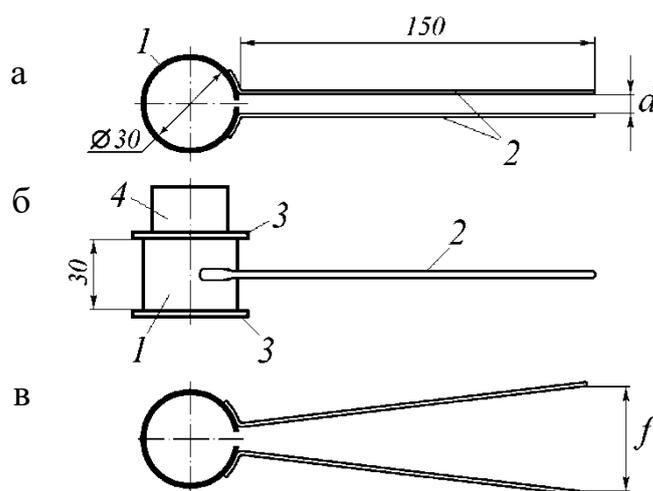


Рис. 4.4. Кольцо Ле Шателье:

а – вид сверху; б – кольцо Ле Шателье с пластинками и пригрузом (вид сбоку); в – схема проверки упругости кольца Ле Шателье;
1 – кольцо с прорезью; 2 – индикаторная игла; 3 – пластинка; 4 – пригруз

После предварительного твердения кольца извлекают из камеры, измеряют штангенциркулем расстояние между концами индикаторных игл с точностью до 0,5 мм (начальное измерение), освобождают от пластинок и пригруза и помещают в бачок для кипячения индикаторными иглами вверх. Воду в бачке доводят до кипения за 30 ± 5 мин и выдерживают кольца в кипящей воде в течение 180 ± 5 мин. Уровень воды в бачке должен быть выше размещенных на подставке колец на 4–6 см в течение всего времени кипячения.

После окончания кипячения кольца извлекают из воды, дают им остыть до температуры помещения, после чего измеряют расстояние между концами индикаторных игл (конечное измерение).

Для определения равномерности изменения объема вычисляют разность между значениями конечного и начального измерений для каждого кольца. За расширение образцов в кольце Ле Шателье принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений. Результат вычисления округляют до 0,5 мм и сравнивают с требованиями по данному показателю для цемента (табл. 4.10).

Для *ориентировочного определения равномерности изменения объема (постоянства объема)* цемента изготавливают тесто нормальной густоты, отвешивают четыре навески цементного теста по 75 г и каждую навеску в виде шарика помещают на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Затем пластинки встряхивают, ударяя их об стол, до превращения шариков в лепешки диаметром 7–8 см и толщиной в середине около 1 см. Для получения острых краев и гладкой закругленной поверхности лепешек их приглаживают от наружных краев к центру смоченным водой ножом. Приготовленные лепешки предварительно твердеют в ванне с гидравлическим затвором из оцинкованного железа в течение 24 ± 2 ч с момента изготовления. В ванне образцы размещают на решетке, под которой всегда должна быть вода. По периметру ванны имеются канавки, которые должны быть заполнены водой для обеспечения гидравлического затвора. После этого лепешки испытывают на равномерность изменения объема при кипячении.

Для испытания кипячением рекомендуется применять специальный бачок, который нагревают на электрической плитке или другом нагревательном приборе. Внутри бачка помещают съемную решетчатую полку, расположенную на расстоянии не менее 2 см от дна бачка. Уровень воды в бачке должен перекрывать лепешки на 4–6 см. При испытании кипячением лепешки снимают с пластинок через сутки после изготовления и помещают в бачок с водой на решетку, находящуюся в воде. Затем воду в бачке нагревают до кипения и поддерживают его в течение 4 ч, после чего лепешки оставляют остывать в бачке до температуры помещения. Сразу же после остывания лепешки осматривают.

Цемент признается удовлетворяющим требованию равномерности изменения объема в случае, если на лицевой стороне лепешек, подвергнутых испытаниям, не обнаружится радиальных, доходящих до краев трещин или сетки мелких трещин, видимых в лупу или невооруженным глазом, а также каких-либо искривлений. Наличие искривлений устанавливают три помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки.

4.3.5. Определение прочности цемента

Приготовление стандартного цементного раствора. Образцы изготавливают из обычного цементного раствора, состоящего из цемента и стандартного полифракционного песка в соотношении 1 : 3 по массе при водоцементном отношении, равном 0,50. Вместо стандартного полифракционного могут применяться другие пески, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 6139 о соответствии эталонному песку, при этом содержание SiO₂ в песке должно быть не ниже 96 %.

Чтобы приготовить один замес цементного раствора, который необходим для получения трех образцов-балочек, взвешивают 450 г цемента, используют одну упаковку стандартного полифракционного песка массой 1 350 г и отмеривают или взвешивают 225 г воды.

Песок высыпают в дозирующее устройство смесителя. В предварительно протертую влажной тканью чашу выливают воду и добавляют цемент, после чего смеситель включают на малую скорость и перемешивают цемент с водой 30 с. Затем в течение 30 с в смеситель дозируют заданную порцию песка и после этого на большой скорости перемешивают смесь 30 с. Останавливают смеситель и производят выдержку раствора в течение 90 с, при этом в первые 15 с осуществляют сбор цементного раствора со стенок чаши смесителя в середину. Затем на протяжении 60 с окончательно перемешивают раствор на большой скорости смесителя. Таким образом, полное время приготовления одного замеса цементного раствора составляет 240 с.

Изготовление образцов. Перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок формы и опорной плиты смазывают тонким слоем машинного масла. Стыки наружных стенок формы друг с другом и опорной плитой промазывают слоем солидола или другой густой смазкой.

На подготовленную форму крепят насадку, форму устанавливают на платформу встряхивающего стола и закрепляют зажимами. Приспособления для укладки цементного раствора в форму перед применением должны быть протерты влажной тканью.

От приготовленного цементного раствора непосредственно из чаши смесителя лопаткой отбирают поочередно три порции цементного раствора массой около 300 г каждая и заполняют первым слоем отсеки формы. Цементный раствор выравнивают лопаткой для первого слоя, которую в

вертикальном положении помещают плечиками на стенки насадки и перемещают по одному разу туда и обратно вдоль каждого отсека формы. Затем включают встряхивающий стол и уплотняют первый слой цементного раствора за рабочий цикл из 60 ударов.

После уплотнения первого слоя отсеки формы равномерно заполняют оставшимся в чаше цементным раствором и выравнивают его лопаткой для второго слоя, перемещая ее аналогично выравниванию первого слоя. Снова включают встряхивающий стол и уплотняют второй слой цементного раствора за рабочий цикл из 60 ударов.

По окончании уплотнения с формы снимают насадку и ребром металлической линейки, расположенной перпендикулярно к поверхности образцов, удаляют излишек цементного раствора пилообразными движениями вдоль формы по одному разу туда и обратно. Затем выравнивают поверхность образцов той же линейкой, наклоненной почти до горизонтального положения, и производят их маркировку (ставят номер образца).

Для каждого установленного срока испытания изготавливают по три образца-балочки.

Форму с образцами накрывают пластинкой и помещают на полку в камеру (шкаф) влажного хранения. Не допускается устанавливать формы с образцами одна на другую.

Через 24 ± 1 ч с момента изготовления формы с образцами вынимают из шкафа, образцы осторожно расформовывают. Для проверки качества выполнения операций перемешивания и уплотнения, а также контроля содержания воздуха в цементном растворе рекомендуется взвешивать расформованные образцы.

Образцы, подлежащие испытанию в суточном возрасте, расформовывают не ранее чем за 20 мин до испытания. Образцы, имеющие через 24 ± 1 ч прочность, недостаточную для их расформовки без повреждения, допускается расформовывать через 48 ± 2 ч с указанием этого срока в рабочем журнале.

После расформовки образцы укладывают на решетки в ванну с водой в горизонтальном положении заглаженной поверхностью вверх так, чтобы они не соприкасались друг с другом и уровень воды был выше образцов не менее чем на 2 см. Температура воды при хранении образцов должна быть 20 ± 1 °С.

Через каждые 14 сут половину объема воды в ванне меняют на свежую воду. Не допускается полная смена воды в ванне во время хранения образцов. В одной ванне следует хранить образцы из аналогичных по составу цементов.

По истечении срока хранения образцы испытывают. Непосредственно перед испытанием с поверхности образцов должны быть удалены капли воды.

Испытание образцов. Для определения прочности цемента при изгибе образец устанавливают на опорные элементы прибора таким образом, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю. Образцы испытывают в соответствии с инструкцией к прибору.

Средняя скорость нарастания нагрузки на образец должна быть 50 ± 10 Н/с.

Прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа, отдельного образца-балочки вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{1,5Fl}{b^3},$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; b – размер стороны квадратного сечения образца-балочки, мм; l – расстояние между осями опор, мм.

За прочность при изгибе принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний трех образцов. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.

Определение прочности на сжатие. Полученные после испытаний на изгиб половинки образцов-балочек сразу же испытывают на сжатие. Половинку образца-балочки помещают между нажимными пластинками таким образом, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю. В продольном направлении расположение половинки образца-балочки должно быть таким, чтобы ее торец выступал из нажимных пластинок размером 40×40 мм примерно на 10 мм. Образцы испытывают в соответствии с инструкцией к испытательной машине. Средняя скорость нарастания нагрузки на образец должна быть $2\,400 \pm 200$ Н/с.

Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа, отдельной половинки образца-балочки находят по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{S},$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; S – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, мм².

За прочность на сжатие принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний шести половинок образцов-балочек. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.

Если один из шести результатов отличается более чем на 10 % от среднеарифметического значения, следует этот результат исключить и рассчитывать среднеарифметическое значение для оставшихся пяти результатов.

Если еще один результат отличается более чем на 10 % от среднеарифметического значения оставшихся пяти результатов, испытания счи-

тают выполненными неудовлетворительно и все результаты признают недействительными.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Результаты определения предела прочности цемента при изгибе и сжатии

Наименование определяемых показателей	Значения для отдельных образцов						Среднее значение определяемого показателя
Предел прочности при изгибе, МПа							
Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие, Н							
Предел прочности при сжатии, МПа							

Контрольные вопросы

1. Что называют портландцементом и какие компоненты входят в его состав?
2. По каким основным показателям оценивают качество портландцемента?
3. С какой целью и как определяется нормальная густота цементного теста?
4. Как определяются сроки схватывания цементного теста?
5. По каким критериям устанавливают равномерность изменения объема цемента при твердении?
6. Как определяют тонкость помола цемента?
7. Как изготавливают образцы для определения предела прочности цемента при изгибе и сжатии?
8. Каким образом производят испытания образцов и как рассчитывают пределы прочности при изгибе и сжатии?

4.4. Решение задач по свойствам минеральных вяжущих веществ (практическая работа № 2)

Современное строительное производство располагает большой номенклатурой вяжущих веществ с широким диапазоном их свойств. При применении таких распространенных вяжущих, как портландцемент и его разновидности, необходимо уметь правильно определить важнейшие строительные свойства вяжущего по его минеральному составу, количеству воды затворения, экзотермии и другим исходным данным.

Кроме того, при изготовлении некоторых воздушных вяжущих веществ, являющихся местными вяжущими, которые вырабатываются в рай-

онах их потребления, часто возникает необходимость в выполнении технологических расчетов по их производству (расчет необходимого количества сырья, количества воды для гашения извести и др.). Подобные технологические расчеты необходимы также при изготовлении таких распространенных материалов, как изделия строительной керамики.

Ниже даются варианты контрольной работы и примеры таких расчетов по указанным разделам.

Варианты задач

1. Рассчитать выход негашеной комовой извести из 8 т сухого известняка, содержащего 5 % примесей. Сколько при этом будет получено извести-пушонки, если активность негашеной извести составила 85 %, а влажность пушонки – 4 %?

2. Сколько каустического магнезита можно получить при обжиге 15 т природного магнезита, содержащего 8 % неразлагающихся примесей?

3. Сколько активной MgO будет содержаться в продукте обжига 10 т чистого доломита (диссоциацией CaCO_3 при заданном режиме обжига пренебречь)?

4. Определить объем цементного теста нормальной плотности, полученный из 1 кг пуццоланового портландцемента. Истинная плотность цемента – $2,85 \text{ г/см}^3$, водопотребность – 30 %.

5. Цемент при полной гидратации химически связывает 32 % воды от массы цемента. Определить пористость цементного камня из теста с водоцементным отношением $\text{В/Ц} = 0,35$, если степень гидратации цемента составила 40 %. Истинная плотность цемента – $3,1 \text{ г/см}^3$.

6. Определить пористость цементного камня из пуццоланового портландцемента, если цементное тесто содержало 40 % воды ($\text{В/Ц} = 0,40$). Количество химически связанной воды после затвердевания составило 12 % от массы цемента. Истинная плотность цемента – $2,85 \text{ г/см}^3$.

7. Рассчитать, сколько свободной извести Ca(OH)_2 выделится при гидратации 10 кг портландцемента (без активных минеральных добавок), содержащего 54 % C_3S и 22 % C_2S , если гидратация алита прошла на 65 %, а гидратация белита – на 10 %.

8. Сколько получится гипсового вяжущего из 1 т гипсового камня, содержащего 8 % примесей?

9. Сколько тепла выделяется при гашении 5 кг извести-кипелки, содержащей 90 % активной CaO, если каждый килограмм CaO выделяет при гашении 1 160 кДж тепла?

10. Сколько известкового теста (по массе и объему), содержащего 40 % воды, можно получить из 27 т извести-кипелки, имеющей активность 88 % (по содержанию CaO)? Плотность теста – $1 400 \text{ кг/м}^3$.

11. Сколько можно получить извести-кипелки из 5 т известняка, содержащего в виде примеси 2 % песка и 3 % глинистых примесей?

12. Цемент при полной гидратации химически связывает 36 % воды по отношению к массе цемента. Определить пористость цементного камня из теста с В/Ц = 0,4, если степень гидратации составит 30 %. Истинная плотность цемента – 3,1 г/см³.

13. Определить объем цементного теста нормальной густоты, полученный из 1 кг портландцемента. Истинная плотность цемента – 3,13 г/см³; водопотребность – 24 %.

14. При затворении гипсового вяжущего 50 % воды начало схватывания теста составило 2 мин, конец схватывания – 10 мин, а при затворении этого же гипсового вяжущего 65 % воды – 6 и 18 мин соответственно. Показать (графически) зависимость сроков схватывания гипсового вяжущего от водогипсового отношения и, считая ее прямой, определить сроки схватывания этого вяжущего при водогипсовом отношении 58 %.

15. Сколько квадратных метров сухой штукатурки толщиной 10,5 мм (без картона) можно получить из 10 т гипсового вяжущего при затворении его 60 % воды, если плотность сырого затвердевшего гипса равна 2,1 кг/дм³?

16. Для затворения 5 кг гипсового вяжущего взято 65 % воды. Определить пористость полученной абсолютно сухой гипсовой отливки при условии, что все гипсовое вяжущее состояло из полугидрата, а плотность сырой отливки равна 2,1 кг/дм³.

17. Сколько будет получено гидратной извести (пушонки) из 5 т извести-кипелки с активностью 88 %, если влажность гидратной извести равна 3,5 %?

18. Определить пористость цементного камня при водоцементном отношении 0,6, если химически связанная вода составляет 16 % от массы цемента, истинная плотность которого равна 3,1 г/см³.

19. Определить количество по массе и объему известкового теста, содержащего 50 % воды и полученного из 2 т извести-кипелки, имеющей активность 85 % (по содержанию СаО). Плотность известкового теста – 1 420 кг/м³.

20. Определить объем цементного теста нормальной густоты, полученный из 1 кг портландцемента. Истинная плотность цемента – 2,98 г/см³, водопотребность – 25 %.

21. Сколько получится гипсового вяжущего из 1 т гипсового камня, содержащего 8 % примесей?

22. Сколько известкового теста (по массе и объему), содержащего 50 % воды, можно получить из 12 т извести-кипелки, имеющей активность 75 % (по содержанию СаО)? Плотность теста – 1 250 кг/м³.

23. Цемент при полной гидратации химически связывает 45 % воды по отношению к массе цемента. Определить пористость цементного камня из теста с В/Ц = 0,3, если степень гидратации составит 40%. Истинная плотность цемента – 3,15 г/см³.

24. Для затворения 2 кг гипсового вяжущего взято 58 % воды. Определить пористость полученной абсолютно сухой гипсовой отливки при условии, что все гипсовое вяжущее состояло из полугидрата, а плотность сырой отливки равна 1,9 кг/дм³.

25. Сколько можно получить извести-кипелки из 3 т известняка, содержащего в виде примеси 3 % песка и 1 % глинистых примесей?

Примеры решения задач

Пример 1. Для производства извести употребляется известняк, содержащий 5 % глинистых и кварцевых примесей и 3 % влаги. Определить, к какому сорту (по активности) будет относиться полученная известь.

Решение. Общее содержание примесей и влаги в известняке составляет 5 + 3 = 8 %; следовательно, карбоната кальция CaCO₃ в известняке содержится 920 кг.

Получение извести происходит по реакции CaCO₃ → CaO + CO₂. Молекулярные массы CaCO₃ и CaO соответственно равны 100 и 56 г. Таким образом, выход извести из 920 кг CaCO₃ составит 920 · 56 / 100 = 515 кг.

Состав полученного продукта: CaO – 515 кг; примеси – 50 кг; итого – 565 кг.

Содержание CaO в смеси: $\frac{515}{565} = 91 \%$.

Следовательно, известь по активности относится к 1-му сорту (более 90 %).

Ответ: известь по активности относится к 1-му сорту.

Пример 2. Определить пористость цементного камня из пуццоланового портландцемента, если цементное тесто содержало 37 % воды (В/Ц = 0,37). Количество химически связанной воды после затвердевания составило 7 % от всей воды затворения. Истинная плотность цемента – 3,05 г/см³.

Решение. Расчет ведем на 1 кг цемента. Объем цементного теста равен сумме абсолютных объемов цемента и воды затворения:

$$V_{\text{тт}} = \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{0,37 \cdot \text{Ц}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{1000}{3,05} + \frac{0,37 \cdot 1000}{1} = 327 + 370 = 697 \text{ см}^3.$$

Пористость в цементном камне (капиллярная пористость) получается за счет испарения воды, не вступившей с ним в химическое взаимодействие. Объем пор будет равен объему этой воды.

$$V_{\text{пор}} = \frac{370}{1} - \frac{0,07 \cdot 370}{1} = 344 \text{ см}^3.$$

Определяем пористость цементного камня:

$$П = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{ц.к}}} = \frac{344}{697} \cdot 100 = 49,3 \text{ \%}.$$

Ответ: пористость цементного камня составляет 49,3 %.

Пример 3. Какой пористостью будет обладать цементный камень, если при затворении цементного теста В/Ц составляло 0,45, а за время твердения химически связалось 18 % всей воды. Остальная вода испарилась. Истинная плотность цемента равна 3,1 г/см³.

Решение. Расчет ведем на 1 кг цемента. Его абсолютный объем находится как

$$\frac{1000}{3,1} = 322 \text{ см}^3.$$

Воды при затворении взято: $1000 \cdot 0,45 = 450$ г, или 450 см³.

Количество химически связанной воды: $450 \cdot 0,18 = 81$ см³.

Испарилось несвязанной воды $450 - 81 = 369$ см³, т.е. в цементном камне объем пор, образовавшихся в результате испарения воды, равен 369 см³.

Пористость цементного камня $П = \frac{369}{772} \cdot 100 = 47,8 \text{ \%}$.

Ответ: пористость цементного камня равна 47,8 %.

5. ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

В тяжелом бетоне применяют плотные мелкий и крупный заполнители. *Мелким заполнителем* (обычно с крупностью зерен до 5 мм) выступают природный песок, песок из отсевов дробления горных пород, их смеси, песок из доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии, а также мелкозернистые золошлаковые смеси.

В качестве *крупного заполнителя* (более 5 мм) для тяжелых бетонов используют щебень, образуемый в результате дробления плотных горных пород (в том числе крупного гравия) и вторичных сырьевых каменных материалов, а также гравий, получаемый просеиванием природных песчано-гравийных смесей. Зерна щебня имеют угловатую форму. Желательно, чтобы по форме они приближались к кубу. Более шероховатая, чем у гравия, поверхность зерен щебня способствует лучшему их сцеплению с це-

ментным камнем, поэтому для бетона высокой прочности обычно применяют щебень, а не гравий.

В качестве заполнителей целесообразно применять местные и вторичные сырьевые ресурсы: для мелкого заполнителя – песок из отсевов дробления горных пород, песок из доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии, а также мелкозернистые золошлаковые смеси; для крупного заполнителя – щебень из дробленых доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии, щебень из дробленого бетона и железобетона, щебень из шлаков ТЭЦ. Применение этих заполнителей снижает стоимость бетона, так как на их долю обычно приходится до 80 % объема бетона.

Заполнители бетонов часто называют инертными материалами. Однако они существенно влияют на структуру и свойства бетона. Заполнители создают жесткий каркас и поэтому значительно уменьшают деформации бетона при твердении и под нагрузкой. При оптимальном зерновом составе мелкие зерна заполнителя занимают пустоты между крупными зернами. Таким образом, смесь крупного и мелкого заполнителей будет иметь высокую плотность с минимальным объемом межзерновых пустот, которые заполняются после твердения цементным камнем, склеивающим отдельные зерна заполнителей в монолитный конгломерат.

Заполнители для бетона выбирают по зерновому составу, прочности, морозостойкости, плотности, содержанию пылевидных и глинистых частиц, наличию и содержанию вредных и посторонних загрязняющих примесей, радиационно-гигиенической характеристике и другим показателям качества. Наиболее значимое влияние на свойства бетона оказывают зерновой состав, прочность и чистота заполнителей.

5.1. Определение строительно-технических свойств песка (лабораторная работа № 8)

Основным видом мелкого заполнителя тяжелых бетонов является *природный песок* – неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке валунно-гравийно-песчаных, гравийно-песчаных и песчаных месторождений. Истинная плотность мелкого заполнителя должна быть в пределах от 2 000 до 2 800 кг/м³.

Зерновой состав песка определяют просеиванием его через стандартный набор сит с отверстиями в свету: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм. Процентное отношение массы остатка на сите к массе взятой пробы называется частным остатком (%) и вычисляется по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} 100, \quad (5.1)$$

где m_i – остаток на i -м сите, г; m – масса пробы песка, г.

Полный остаток на любом сите (%) равен сумме частных остатков на ситах с большими размерами, включая и данное сито:

$$A_i = \alpha_{2,5} + \dots + \alpha_j. \quad (5.2)$$

Модуль крупности песка находят по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16(0,14)}}{100}, \quad (5.3)$$

где $A_{2,5}, A_{1,25}, A_{0,63}, A_{0,315}, A_{0,16(0,14)}$ – полные остатки на соответствующих ситах, %.

В зависимости от зернового состава и содержания пылевидных и глинистых частиц песок разделяют на два класса: I и II. При этом в зависимости от крупности зерен (модуля крупности) песок классов I и II подразделяют на группы: для песка класса I – повышенной крупности, крупный, средний и мелкий; песка класса II – повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Каждую группу песка характеризуют значением модуля крупности M_k , указанным в табл. 5.1. При этом для пяти групп песка нормируется полный остаток на сите № 063, % по массе (табл. 5.1).

К зерновому составу мелкого заполнителя для бетона покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов предъявляются более жесткие требования (табл. 5.2). При этом учитывают только зерна, проходящие через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.

Таблица 5.1

Характеристика песка по крупности

Группа песка по крупности	Модуль крупности M_k	Полный остаток на сите № 063, % по массе
Повышенной крупности	Св. 3,0 до 3,5	Св. 65 до 75
Крупный	Св. 2,5 до 3,0	Св. 45 до 65
Средний	Св. 2,0 до 5,5	Св. 30 до 45
Мелкий	Св. 1,5 до 2,0	Св. 10 до 30
Очень мелкий	Св. 1,0 до 1,5	До 10
Тонкий	Св. 0,7 до 1,0	Не нормируется
Очень тонкий	До 0,7	Не нормируется

Таблица 5.2

Требования к зерновому составу мелкого заполнителя
для бетона покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов

Модуль крупности	Полный остаток, %, на ситах размером отверстий, мм				
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
От 1,5 до 2,0	До 10	От 5 до 10	От 20 до 30	От 35 до 65	От 80 до 85
Свыше 2,0 до 2,5	До 10	От 10 до 25	От 30 до 55	От 65 до 80	От 85 до 90
Свыше 2,5 до 3,0	От 10 до 20	От 25 до 45	От 55 до 70	От 80 до 90	От 90 до 95

Содержание в песке для строительных работ зерен крупностью свыше 10 мм, свыше 5 мм и менее 0,16 мм, пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать значений, указанных в табл. 5.3. Органические примеси (например, гумусовые) допускаются только в очень незначительном количестве, так как они сильно снижают прочность и даже разрушают бетон.

Таблица 5.3

Максимальные значения содержания зерен, пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках в песке для строительных работ разных классов и групп

Класс и группа песка	Содержание зерен крупностью, %, не более			Содержание пылевидных и глинистых частиц, %, не более	Содержание глины в комках, %, не более
	Свыше 10 мм	Свыше 5 мм	Менее 0,16 мм		
I класс					
Повышенной крупности, крупный и средний	0,5	5	5	3	0,25
Мелкий	0,5	5	10	5	0,35
II класс					
Повышенной крупности	5	20	10	3	0,5
Крупный и средний	5	15	15	3	0,5
Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20	5	0,5
Тонкий и очень тонкий	Не допускается	Не допускается	Не нормируется	10	1,0

На содержание пылевидных и глинистых частиц в песке, применяемом в качестве мелкого заполнителя тяжелого бетона, накладывается дополнительное ограничение: не должно быть более 3 % по массе. Содержание пылевидных и глинистых частиц в мелком заполнителе бетона класса В60 и выше не должно быть более 2 % по массе.

5.1.1. Определение насыпной плотности и пустотности

Насыпную плотность определяют в стандартном неуплотненном состоянии. Для этого песок, высушенный до постоянной массы и просеянный сквозь сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм, насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр вместимостью 1 дм³ до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивают.

Насыпную плотность песка ρ_n с округлением до 10 кг/м³ вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m - m_1}{V}, \quad (5.4)$$

где ρ_n – насыпная плотность песка, кг/м³; m – масса мерного сосуда, кг; m_1 – масса мерного сосуда с песком, кг; V – вместимость мерного сосуда, м³.

Насыпную плотность песка определяют два раза, используя каждый раз новую пробу, и по этим результатам вычисляют среднеарифметическое значение.

Пустотность (объем межзерновых пустот) песка в стандартном неуплотненном состоянии определяют на основании значений истинной плотности и насыпной плотности песка. Пустотность песка $V_{м.п}$ в процентах по объему вычисляют по формуле

$$V_{м.п} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho} \right) 100,$$

где $V_{м.п}$ – пустотность (объем межзерновых пустот) песка, %; ρ_n – насыпная плотность песка, кг/м³; ρ – истинная плотность песка, кг/м³.

Результаты определения насыпной плотности и пустотности песка заносят в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Результаты определения насыпной плотности и пустотности песка

Номер опыта	Масса мерного цилиндра m , кг	Масса мерного цилиндра с песком m_1 , кг	Насыпная плотность песка ρ_n , кг/м ³		Истинная плотность песка ρ , кг/м ³	Пустотность песка $V_{м.п}$, %
			в отдельном опыте	среднее значение		

5.1.2. Определение зернового состава и модуля крупности

Пробу песка 2 кг высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы и просеивают через сита с размерами ячеек 5 и 10 мм. Остатки на ситах взвешивают, вычисляют содержание в песке частиц гравия размером от 5 до 10 мм и свыше 10 мм с округлением до 0,1 % по массе:

$$\Gamma_{p_{10}} = \frac{M_{10}}{M} 100;$$

$$\Gamma_{p_5} = \frac{M_5}{M} 100,$$

где $\Gamma_{p_{10}}$ – содержание частиц размером свыше 10 мм, %; Γ_{p_5} – содержание частиц размером от 5 до 10 мм, %; M_{10} – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, г; M_5 – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 5 мм, г; M – масса пробы песка, г.

Затем из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску массой не менее 1 000 г и просеивают ее через стандартный набор сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и с сетками с размером ячейки 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Просеивание можно выполнять вручную или механизированным способом. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падения зерен песка.

Далее взвешивают остатки на каждом сите (m_i) и определяют частные остатки на каждом сите (a_i), полные остатки на каждом сите (A_i) и модуль крупности песка (M_k) без зерен размером крупнее 5 мм по формулам (5.1)–(5.3).

Результаты определения зернового состава песка сводят в табл. 5.5, где также указывают класс и группу песка по крупности с соответствием в табл. 5.1, 5.3. Кроме того, зерновой состав песка часто изображают графически в виде кривой просеивания (рис. 5.1).

Таблица 5.5

Результаты определения зернового состава песка

Наименование остатка	Остатки на ситах, мм					Проход через сито 0,16 мм
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частный, г	$m_{2,5}$	$m_{1,25}$	$m_{0,63}$	$m_{0,315}$	$m_{0,16}$	$m_{\text{дно}}$
Частный, %	$a_{2,5}$	$a_{1,25}$	$a_{0,63}$	$a_{0,315}$	$a_{0,16}$	$a_{\text{дно}}$
Полный, %	$A_{2,5}$	$A_{1,25}$	$A_{0,63}$	$A_{0,315}$	$A_{0,16}$	–
Модуль крупности: $M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} =$						
Класс песка: _____				Группа песка по крупности: _____		

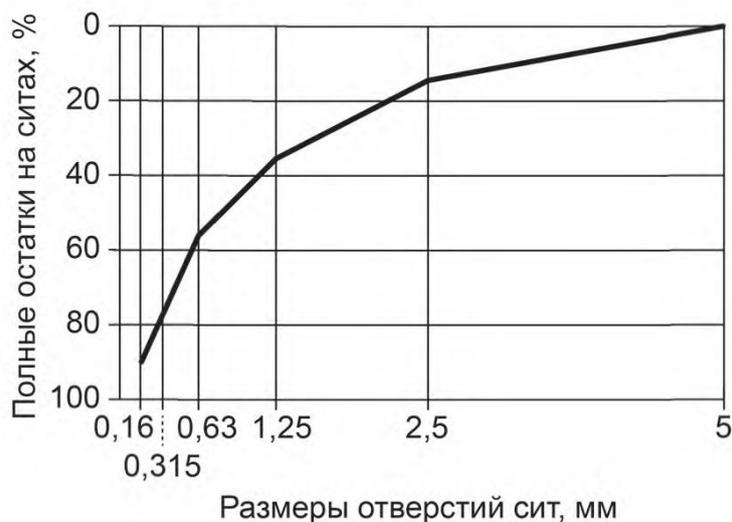


Рис. 5.1. Кривая просеивания песка

5.1.3. Определение влажности

Влажность определяют путем сравнения массы песка в состоянии естественной влажности и после высушивания.

Навеску массой 1 000 г песка насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают в этом же противне до постоянной массы.

Влажность песка W (%) вычисляют по формуле

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} 100,$$

где m – масса навески в состоянии естественной влажности, г; m_1 – масса навески в сухом состоянии, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Результаты определения влажности песка

Масса навески в состоянии естественной влажности m , г	Масса навески в сухом состоянии m_1 , г	Влажность песка W , %

5.1.4. Определение содержания глины в комках

Содержание глины в комках устанавливают путем отбора частиц, отличающихся от зерен песка вязкостью.

Аналитическую пробу песка просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм, берут из нее не менее 100 г песка, высушивают до посто-

янной массы и рассеивают на ситах с отверстиями диаметром 2,5 мм и с сеткой № 1,25. Из полученных фракций песка отбирают навески массой:

5,0 г – фракции от 2,5 до 5 мм;

1,0 г – фракции от 1,25 до 2,5 мм.

Каждую навеску песка высыпают тонким слоем на стекло или металлический лист и увлажняют при помощи пипетки. Из навески стальной иглой выделяют комки глины, отличающиеся вязкостью от зерен песка, применяя в необходимых случаях лупу. Оставшиеся после выделения комков зерна песка высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Содержание комков глины в каждой навеске песка ($\Gamma_{2,5}$, $\Gamma_{1,25}$) (%) определяют по формулам:

$$\Gamma_{2,5} = \frac{m - m_1}{m} 100;$$

$$\Gamma_{1,25} = \frac{m_2 - m_3}{m_2} 100,$$

где m , m_2 – массы навески песка фракции соответственно от 2,5 до 5 мм и от 1,25 до 2,5 мм до выделения глины, г; m_1 , m_3 – массы зерен песка фракции соответственно от 2,5 до 5 мм и от 1,25 до 2,5 мм после выделения глины, г.

Содержание комков глины в пробе песка ($\Gamma_{л}$) (%) вычисляют по формуле

$$\Gamma_{л} = \frac{\Gamma_{2,5} \cdot a_{2,5} + \Gamma_{1,25} \cdot a_{1,25}}{100},$$

где $\Gamma_{2,5}$, $\Gamma_{1,25}$ – содержание комков глины в каждой навеске песка, %; $a_{2,5}$, $a_{1,25}$ – частные остатки в процентах по массе на ситах с отверстиями размером 2,5 и 1,25 мм, вычисленные в п. 5.1.2.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Результаты определения содержания комков глины в пробе

Масса навески фракции от 2,5 до 5 мм, г		Масса навески фракции от 1,25 до 2,5 мм		Содержание комков глины в пробе песка $\Gamma_{л}$, %
до выделения глины m	после выделения глины m_1	до выделения глины m_2	после выделения глины m_3	

5.1.5. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц методом мокрого просеивания

Содержание пылевидных и глинистых частиц крупностью до 0,05 мм определяют путем мокрого просеивания навески песка через набор сит с сетками № 0,315 и № 0,05 (процеживанием суспензии, полученной при промывке песка, через указанные сита) и определения разницы в массе высушенной навески до и после испытания.

Аналитическую пробу песка просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм. Песок, прошедший через сито, высушивают до постоянной массы, берут из него навеску массой 1 000 г, помещают в сосуд для получения суспензии или цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм с сифоном и заливают водой так, чтобы она покрывала пробу. Содержимое сосуда интенсивно перемешивают, чтобы пылевидные и глинистые частицы образовали суспензию. Полученную суспензию осторожно сливают с помощью сифона на набор сит.

Песок, оставшийся в сосуде, вновь промывают водой, а образовавшуюся суспензию также сливают на набор сит. Процесс повторяют до тех пор, пока вода не станет прозрачной. После этого песок, находящийся в сосуде для промывки, соединяют с частицами, оставшимися на обоих ситах, и высушивают на противне в сушильном шкафу до постоянной массы.

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц Π , % по массе, определяют с точностью до 0,1 % по формуле

$$\Pi = \frac{m - m_1}{m} 100,$$

где m – масса высушенной навески до промывки, г; m_1 – масса высушенной навески после промывки, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц

Масса высушенной навески до промывки m , г	Масса высушенной навески после промывки m_1 , г	Содержание пылевидных и глинистых частиц Π , %

Контрольные вопросы

1. По каким показателям оценивают качество песка как мелкого заполнителя для бетона?
2. Как определяют насыпную плотность и пустотность песка?
3. Какие экспериментальные данные необходимы для оценки зернового состава песка как мелкого заполнителя бетона?

4. По каким показателям определяют класс и группу песка по крупности?
5. Как рассчитывают модуль крупности песка?
6. Как определяется влажность песка?
7. Каким образом определяют содержание глины в комках?
8. Опишите порядок определения содержания в песке пылевидных и глинистых частиц.

5.2. Определение строительно-технических свойств щебня (лабораторная работа № 9)

Основным видом крупного заполнителя тяжелых бетонов является *щебень* – неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм. Его получают дроблением горных пород, гравия и валунов, попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород или некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд (черных, цветных и редких металлов металлургической промышленности) и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности, а также последующим рассевом продуктов дробления.

Щебень из гравия получают дроблением валунов и крупного гравия. Такой щебень характеризуется содержанием дробленых зерен (кусков), которых должно быть не менее 80 % по массе (в отдельных случаях допускается содержание дробленых зерен от 60 до 80 %). Дроблеными называются зерна гравия, поверхность которых околота более чем наполовину.

Средняя плотность крупного заполнителя должна быть в пределах от 2 000 до 3 000 кг/м³ включительно.

Щебень и гравий выпускают в виде следующих основных фракций: от 5 (3) до 10 мм; свыше 10 до 15 мм; свыше 10 до 20 мм; свыше 15 до 20 мм; свыше 20 до 40 мм; свыше 40 до 80 (70) мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм. По согласованию изготовителя с потребителем для отдельных видов бетона выпускают щебень и гравий в виде других смесей, составленных из отдельных фракций, а также фракций от 80 (70) до 120 мм, свыше 120 до 150 мм.

Зерновой состав крупного заполнителя характеризуют полными остатками на контрольных ситах при расеве щебня или гравия. Для фракций от 5 (3) до 10 мм; свыше 10 до 15 мм; свыше 10 до 20 мм; свыше 15 до 20 мм; свыше 20 до 40 мм; свыше 40 до 80 (70) мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм полные остатки на контрольных ситах с размерами (диаметром) отверстий, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции (смеси фракций) (наименьшему размеру d , наибольшему размеру D , их полусумме $0,5 (D + d)$, величине $1,25 D$, а также на дополнительных ситах 2,5 и 1,25 мм), должны отвечать требованиям табл. 5.9 (с примечаниями).

Таблица 5.9

Требования к щебню (гравия) по зерновому составу

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d	$0,5(d + D)$	D	$1,25D$
Полные остатки на ситах, % по массе	От 90 до 100	От 30 до 60	До 10	До 0,5

Примечания:

1. Для щебня и гравия фракций от 5 (3) до 10 мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм применяют дополнительно нижние сита – 2,5 мм (1,25 мм), полный остаток на которых должен быть от 95 до 100 %.

2. По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать щебень и гравий с полным остатком на сите $0,5(d + D)$ от 30 до 80 % по массе.

Прочность щебня и гравия характеризуют *маркой* по дробимости (степени разрушения зерен материала) при сжатии (раздавливании) в стальном цилиндре, которую определяют в зависимости от показателя дробимости D_p (потери массы при испытании щебня), вычисляемого по формуле

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} 100, \quad (5.5)$$

где m – масса испытываемой пробы щебня (гравия), г; m_1 – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня (гравия), г.

Марки по дробимости щебня и гравия из осадочных и метаморфических пород соответствуют показателям дробимости, как указано в табл. 5.10, а марки по дробимости щебня из изверженных пород – показателям дробимости, как указано в табл. 5.11. Марку по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород допускается определять как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии, для других пород – в сухом состоянии.

Таблица 5.10

Марки по дробимости щебня и гравия из осадочных и метаморфических пород

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород	Потеря массы при испытании щебня, %	
	В сухом состоянии	В насыщенном водой состоянии
1 200	До 11 включ.	До 11 включ.
1 000	Св. 11 до 13	Св. 11 до 13
800	Св. 13 до 15	Св. 13 до 15
600	Св. 15 до 19	Св. 15 до 20
400	Св. 19 до 24	Св. 20 до 28
300	Св. 24 до 28	Св. 28 до 38
200	Св. 28 до 35	Св. 38 до 54

Таблица 5.11

Марки по дробимости щебня из изверженных пород

Марка по дробимости щебня из изверженных пород	Потеря массы при испытании щебня, %	
	Из интрузивных пород	Из эффузивных пород
1 400	До 12 включ.	До 9 включ.
1 200	Св. 12 до 16	Св. 9 до 11
1 000	Св. 16 до 20	Св. 11 до 13
800	Св. 20 до 25	Св. 13 до 15
600	Св. 25 до 34	Св. 15 до 20

Марки по дробимости гравия и щебня из гравия соответствуют показателям дробимости, как указано в табл. 5.12.

В качестве крупного заполнителя бетона классов по прочности на сжатие В60 и выше следует применять щебень из плотных горных пород марки по дробимости не ниже 1 200. Содержание зерен слабых пород в щебне для бетона классов В60 и выше не должно превышать 5 % массы.

Таблица 5.12

Марки по дробимости гравия и щебня из гравия

Марка по дробимости гравия и щебня из гравия	Потеря массы при испытании щебня, %	
	щебня из гравия	гравия
1 000	До 10 включ.	До 8 включ.
800	Св. 10 до 14	Св. 8 до 12
600	Св. 14 до 18	Св. 12 до 16
400	Св. 18 до 26	Св. 16 до 24

Щебень и гравий, предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуют также *маркой по истираемости*, определяемой по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане с шарами. Марки по истираемости щебня и гравия должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 5.13.

Таблица 5.13

Марки по истираемости щебня и гравия,
предназначенных для строительства автомобильных дорог

Марки по истираемости щебня и гравия	Потеря массы при испытании, %	
	щебня	гравия
И1	До 25 включ.	До 20 включ.
И2	25–35	20–30
И3	35–45	30–40
И4	45–60	40–50

Морозостойкость щебня и гравия характеризуют числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потери в процентах по массе

щебня и гравия не превышают установленных значений. Допускается оценивать морозостойкость щебня и гравия по числу циклов насыщения в растворе сернокислого натрия и высушивания. При несовпадении марок морозостойкость оценивают по результатам испытания замораживанием и оттаиванием.

Щебень и гравий по морозостойкости разделяют на следующие марки: F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300, F400.

Содержание пылевидных и глинистых частиц (размером менее 0,05 мм) в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости должно соответствовать значениям, указанным в табл. 5.14.

Таблица 5.14

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости

Вид породы и марка по дробимости щебня и гравия	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе, не более
Щебень из изверженных и метаморфических пород марок: свыше 800	1
от 600 до 800 включительно	1
Щебень из осадочных пород марок: от 600 до 1 200 включительно	2
200, 400	2
Щебень из гравия и гравий марок: 1 000	1
800	1
600	2
400	3
Щебень из валунов марок: 1 200	1
1 000	1
800	1
600	2
400	3

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из изверженных и метаморфических пород, щебне из гравия и в гравии для бетонов классов по прочности на сжатие В25 и выше не должно превышать 1,0 % массы. Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из осадочных пород для бетонов класса В25 и выше не должно превышать 2,0 % массы.

Содержание глины в комках не должно быть более указанного в табл. 5.15.

Таблица 5.15

Содержание глины в комках в щебне и гравии
в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости

Вид породы и марка по дробимости щебня и гравия	Содержание глины в комках, % по массе, не более
Щебень из изверженных, осадочных и метаморфических пород марок: 400 и выше 300, 200	0,25 0,5
Щебень из гравия и гравий марок: 1 000, 800, 600, 400	0,25
Щебень из валунов марок: 1 200, 1 000, 800, 600	0,25

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в крупном заполнителе не должно превышать 35 % массы. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне для бетонов классов по прочности на сжатие В60 и выше не должно превышать 15 % массы.

При проектных требованиях к бетону по морозостойкости для марок F₁₂₀₀, F₁₀₀₀ и выше должен применяться крупный заполнитель из изверженных и метаморфических пород с водопоглощением не более 1,0 %, из осадочных пород – с водопоглощением не более 2,5 %.

С целью радиационно-гигиенической оценки заполнителей бетона контролируют их удельную эффективную активность естественных радионуклидов.

5.2.1. Определение средней плотности и пористости зерен щебня (гравия)

Среднюю плотность зерен щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы зерен щебня (гравия) с использованием весов для гидростатического взвешивания (рис. 5.2). Пористость зерен щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений истинной и средней плотности.

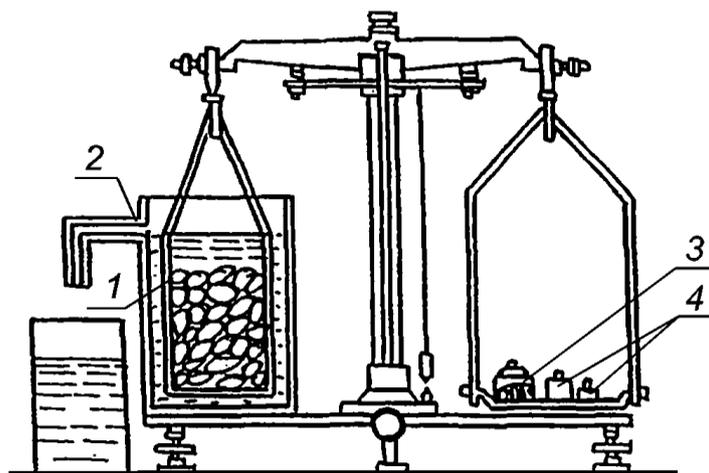


Рис. 5.2. Весы для гидростатического взвешивания:

- 1 – сетчатый (перфорированный) стакан; 2 – сосуд со сливом для воды;
 3 – стаканчик с дробью для уравнивания
 массы сетчатого стакана в воде; 4 – разновесы

Для определения средней плотности зерен щебня (гравия) фракции с наибольшим номинальным размером до 40 мм берут аналитическую пробу массой не менее 2,5 кг. При испытании щебня (гравия) фракции с наибольшим номинальным размером свыше 40 мм берут аналитическую пробу массой около 5 кг, зерна крупнее 40 мм дробят до получения частиц размером не более 40 мм и пробу сокращают вдвое.

Пробу высушивают до постоянной массы, просеивают через сито с размером отверстий, соответствующим наименьшему номинальному размеру зерен данной фракции щебня (гравия), и из остатка на сите отвешивают две пробы по 1 000 г каждая.

Навеску щебня (гравия) насыщают водой. Для этого ее погружают в воду комнатной температуры на 2 ч так, чтобы уровень этой воды в сосуде был выше поверхности образцов или щебня (гравия) не менее чем на 20 мм. Насыщенную пробу щебня (гравия) вынимают из воды, удаляют влагу с поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на настольных гирных или циферблатных, а затем на гидростатических весах, помещая пробу в сетчатый (перфорированный) стакан, погруженный в воду.

Среднюю плотность зерен щебня (гравия) ρ_k , г/см³, определяют по формуле

$$\rho_k = \frac{m}{m_1 - m_2} \cdot \rho_v,$$

где m – масса пробы в сухом состоянии, г; m_1 – масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г; m_2 – масса пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г; ρ_v – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Проводят два параллельных испытания на разных пробах щебня (гравия), принимая за результат испытаний среднеарифметическое значение двух определений средней плотности. При этом расхождение между результатами двух определений средней плотности не должно превышать $0,02 \text{ г/см}^3$. При больших расхождениях проводят третье определение и вычисляют среднеарифметическое двух ближайших значений.

Пористость зерен щебня (гравия) $V_{\text{пор}}$, % по объему, определяют по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{к}}}{\rho} \right) \cdot 100,$$

где $\rho_{\text{к}}$ – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см^3 ; ρ – истинная плотность зерен щебня (гравия), г/см^3 .

Результаты определения средней плотности и пористости зерен щебня (гравия) заносят в табл. 5.16.

Таблица 5.16

Результаты определения насыпной плотности
и пустотности щебня (гравия)

Масса пробы в сухом состоянии m , г	Масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе m_1 , г	Масса пробы в насыщенном водой состоянии в воде m_2 , г	Средняя плотность зерен щебня (гравия) $\rho_{\text{к}}$, г/см^3	Истинная плотность зерен щебня (гравия) ρ_0 , г/см^3	Пористость зерен щебня (гравия) $V_{\text{пор}}$, %

5.2.2. Определение насыпной плотности и пустотности

Пробу заполнителя высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу и укладывают в мерный цилиндр с высоты 10 см до образования конуса на поверхности сосуда. Затем срезают излишек заполнителя без уплотнения и взвешивают.

Вместимость мерного цилиндра в зависимости от крупности щебня (гравия) должна быть при наибольшей крупности зерен щебня (гравия) до 10 мм – 5 дм^3 , до 20 мм – 10 дм^3 , до 40 мм – 20 дм^3 , свыше 40 мм – 50 дм^3 .

Расчет насыпной плотности щебня (гравия) $\rho_{\text{н}}$ с округлением до 10 кг/м^3 ведется аналогично приведенному для песка (см. формулу (5.4)), а окончательное значение насыпной плотности определяется как среднее арифметическое из результатов двух параллельных испытаний.

Отношение объема межзерновых пустот щебня (гравия) к его полному объему, выраженное в процентах, означает *пустотность* заполнителя и вычисляется с округлением до 0,1 % на основании предварительно найденных значений средней плотности зерен щебня (гравия) и его насыпной плотности по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{к}} \cdot 1000} \right) \cdot 100,$$

где $V_{\text{п}}$ – пустотность щебня (гравия), %; $\rho_{\text{н}}$ – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м³; $\rho_{\text{к}}$ – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³ (из п. 5.2.1).

Результаты определения насыпной плотности и пустотности щебня (гравия) заносят в табл. 5.17.

Таблица 5.17

Результаты определения насыпной плотности
и пустотности щебня (гравия)

Масса мерного цилиндра m , кг	Масса мерного цилиндра со щебнем (гравием) m_1 , кг	Насыпная плотность $\rho_{\text{н}}$, кг/м ³	Средняя плотность зерен щебня (гравия) $\rho_{\text{к}}$, г/см ³	Пустотность щебня (гравия) $V_{\text{п}}$, %

5.2.3. Определение зернового состава

Зерновой состав щебня (гравия) определяют путем отсева пробы на стандартном наборе сит. Из испытываемой фракции (смеси фракций) щебня (гравия) берут высушенную до постоянной массы пробу массой 5, 10, 20, 40 кг в зависимости от наибольшего номинального размера зерен заполнителя (соответственно 10, 20, 40, свыше 40 мм).

Пробу просеивают ручным или механическим способом через сита и проволочные круглые калибры с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции (смеси фракций): $1,25D$, D , $0,5(d + D)$, d , а также 2,5 и 1,25 мм. Сита предварительно собирают последовательно в колонку, начиная снизу с сита с отверстиями наименьшего размера. При этом толщина слоя щебня (гравия) на каждом из сит не должна превышать наибольшего размера зерен щебня (гравия).

Для отсева фракций от 5 (3) до 20 мм применяют сито с размером отверстий 10 мм.

Рассев несортированного щебня (гравия) производят с применением полного набора сит, который должен включать сито с квадратными отверстиями размером 1,25 мм и сита с круглыми отверстиями диаметрами 2,5; 5 (3); 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 40; 50; 60; 70 (80) мм. Для определения размера зерен крупнее 70 (80) мм следует применять проволочные кольца-калибры различного диаметра в зависимости от ожидаемой крупности щебня (гравия): 90, 100, 110, 120 мм и более.

При испытании гравия, загрязненного глиной, рассев производят после предварительной промывки с определением содержания пылевидных и

глинистых частиц. Содержание пылевидных и глинистых частиц включают при расчете результатов рассева в массу частиц, проходящих через сито с размером отверстий 1,25 мм.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания следующим способом: каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом не наблюдается падения зерен щебня (гравия).

По результатам просеивания определяют частный остаток на каждом сите a_i в процентах по формуле (5.1). Определяют также полные остатки на каждом сите в процентах как суммы частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстий (по аналогии с определением полных остатков для зернового состава песка).

Результаты испытаний заносят в табл. 5.18.

Таблица 5.18

Результаты определения зернового состава щебня (гравия)

Масса пробы m , г	Размеры отверстий сит, мм	Остаток на данном сите m_i , г	Частный остаток на данном сите a_i , %	Полный остаток на данном сите A_i , %

Результаты определения зернового состава сопоставляют с требованиями стандартов (см. табл. 5.9), устанавливая вид фракции (смеси фракций) щебня (гравия).

5.2.4. Определение дробимости

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень (гравий) фракций 5–10, 10–20 и 20–40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей (D) и наименьшей (d) крупности испытываемой фракции. От остатков на сите с отверстиями размером, равным d , отбирают две аналитические пробы массой не менее 0,5 кг каждая при испытании в цилиндре диаметром 75 мм и не менее 4 кг при испытании в цилиндре диаметром 150 мм. Щебень (гравий) крупнее 40 мм предварительно дробят и испытывают фракцию 10–20 мм или 20–40 мм.

Щебень (гравий) допускается испытывать как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии. Аналитические пробы для испытания в сухом состоянии высушивают до постоянной массы, а для испытания в насыщенном водой состоянии погружают в воду на 2 ч. После насыщения водой с поверхности зерен щебня (гравия) удаляют влагу мягкой влажной тканью.

При определении марки щебня (гравия) применяют цилиндр диаметром 150 мм. Для приемочного контроля качества щебня (гравия) фракции 5–10 мм и 10–20 мм допускается применять цилиндр диаметром 75 мм.

Пробу щебня (гравия) насыпают в цилиндр (рис. 5.3) с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты на плунжере не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия). После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту пресса. Увеличивая силу нажатия пресса на 1–2 кН в секунду, доводят ее при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН, при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – до 200 кН.

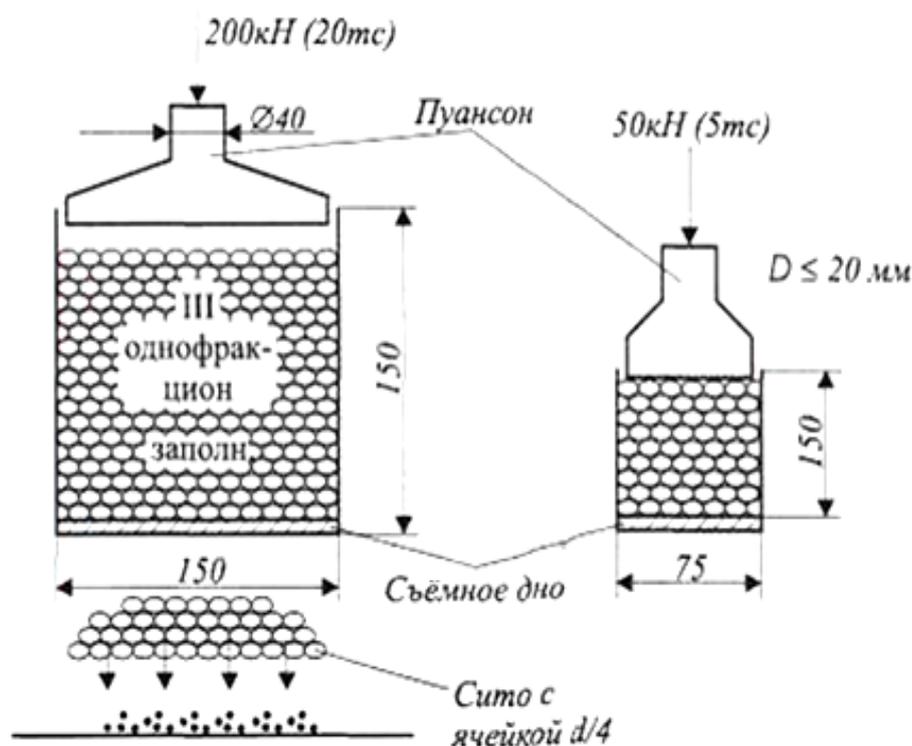


Рис. 5.3. Схема определения дробимости щебня (гравия)

После сжатия испытываемую пробу высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем ее просеивают в зависимости от размера испытываемой фракции через сито с отверстиями размером:

- 1,25 мм – для щебня (гравия) фракции 5–10 мм;
- 2,5 мм – для щебня (гравия) фракции 10–20 мм;
- 5,0 мм – для щебня (гравия) фракции 20–40 мм.

Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают. При испытании щебня (гравия) в насыщенном водой состоянии навеску на сите

тщательно промывают водой и удаляют поверхностную влагу с зерен щебня (гравия) мягкой влажной тканью.

Дробимость D_r , %, определяют с точностью до 1 % по формуле (5.5). За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, дробимость $D_{рсм}$ вычисляют как средневзвешенное значение результатов испытания отдельных составляющих фракций по формуле

$$D_{рсм} = \frac{D_{р1} \cdot a_1 + D_{р2} \cdot a_2 + \dots + D_{рi} \cdot a_i}{100},$$

где $D_{р1}, D_{р2}, \dots, D_{рi}$ – дробимость данной фракции, %; a_1, a_2, \dots, a_i – содержание данной фракции в смеси, %.

Результаты определения дробимости щебня (гравия) заносят в табл. 5.19, а марку щебня (гравия) по дробимости определяют в соответствии с табл. 5.10–5.12.

Таблица 5.19

Результаты определения дробимости щебня (гравия)

Размер фракции, мм	Контрольное сито, мм	Масса пробы, m , г	Масса остатка на контрольном сите m_1 , г	Дробимость D_r , %	Марка по дробимости

5.2.5. Определение влажности

Влажность щебня (гравия) определяют путем сравнения массы пробы во влажном состоянии с ее массой после высушивания.

Из щебня (гравия) от каждой испытываемой фракции берут две аналитические пробы. Масса каждой пробы должна быть не менее:

1,0 кг – для щебня (гравия) размером фракции от 5 до 10 мм;

1,5 кг – то же, от 10 до 20 мм;

2,5 кг – то же, от 20 до 40 мм;

5,0 кг – то же, от 40 до 70 (80) мм.

Пробу щебня (гравия) насыпают в сосуд и взвешивают, высушивают до постоянной массы и вновь взвешивают.

Влажность щебня (гравия) W , % по массе, определяют по формуле

$$W = \frac{m_{\text{в}} - m}{m} 100,$$

где $m_{\text{в}}$ – масса пробы во влажном состоянии, г; m – масса пробы в сухом состоянии, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.20.

Таблица 5.20

Результаты определения влажности щебня (гравия)

Масса пробы во влажном состоянии $m_{\text{в}}$, г	Масса пробы в сухом состоянии m , г	Влажность щебня (гравия) W , %

5.2.6. Определение содержания глины в комках

Содержание глины в комках в щебне (гравии) определяют путем отбора из проб каждой фракции частиц, различающихся между собой пластичностью.

Аналитические пробы щебня (гравия) готовят путем отсева лабораторной пробы на ситах стандартного набора или берут из остатков на ситах, полученных рассевом пробы при определении зернового состава.

От каждой фракции испытываемого щебня берут аналитические пробы массой не менее: 0,25 кг – для щебня размером фракции от 5 (3) до 10 мм; 1,0 кг – то же, от 10 до 20 мм; 5,0 кг – то же, от 20 до 40 мм; 10,0 кг – то же, свыше 40 мм.

Каждую аналитическую пробу щебня (гравия), высушенную до постоянной массы, насыпают тонким слоем на металлический лист и увлажняют с помощью пипетки. Из пробы выделяют комки глины, отличающиеся пластичностью от зерен щебня (гравия), применяя в необходимых случаях лупу. Выделенные комки глины высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Содержание комков глины в каждой пробе щебня (гравия) $\Pi_{\text{гл}}$, %, определяют по формуле

$$\Pi_{\text{гл}} = \frac{m_1}{m} 100,$$

где m – масса аналитической пробы щебня (гравия), кг; m_1 – масса глины в комках, высушенной до постоянной массы, кг.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.21.

Таблица 5.21

Результаты определения содержания комков глины в пробе

Масса аналитической пробы щебня (гравия) m , кг	Масса глины в комках, высушенной до постоянной массы m_1 , кг	Содержание комков глины в пробе щебня (гравия) $\Pi_{\text{гл}}$, %

Содержание комков глины в смеси фракций $\Pi_{\text{гл}}^{\text{см}}$, %, вычисляют в соответствии с формулой

$$\Pi_{\text{гл}}^{\text{см}} = \frac{\Pi_{\text{гл}}^1 \cdot a_1 + \Pi_{\text{гл}}^2 \cdot a_2 + \dots + \Pi_{\text{гл}}^i \cdot a_i}{100},$$

где $\Pi_{\text{гл}}^1, \Pi_{\text{гл}}^2, \dots, \Pi_{\text{гл}}^i$ – содержание комков глины в каждой фракции щебня (гравия), %; a_1, a_2, \dots, a_i – содержание данной фракции в смеси, %.

5.2.7. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц*А. Метод отмучивания*

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне (гравии) определяют по изменению массы пробы после отмучивания пылевидных и глинистых частиц (размером частиц – менее 0,05 мм).

Берут аналитическую пробу щебня (гравия) массой не менее 5 кг, высушенную до постоянной массы. При этом для испытания щебня (гравия) фракции от 5 (3) до 10 мм используют целиком пробу, применяемую при определении зернового состава.

Пробу щебня (гравия) помещают в сосуд для отмучивания или ведро высотой не менее 300 мм с сифоном, заливают водой несколько выше уровня щебня и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки (определяется визуально) на зернах щебня (гравия) или комков глины, если они имеются в пробе.

Далее в сосуд или ведро со щебнем (гравием) доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя воды над щебнем была 200 мм; содержимое сосуда перемешивают деревянной мешалкой и оставляют в покое на 2 мин, после чего сливают полученную суспензию. При сливе суспензии необходимо оставлять ее слой над щебнем (гравием) высотой не менее 30 мм. Затем щебень (гравий) вновь заливают водой до указанного выше уровня. Промывку щебня (гравия) в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки не будет оставаться прозрачной.

Воду в сосуд для отмучивания щебня (гравия) наливают до верхнего сливного отверстия. Суспензию сливают через два нижних отверстия. Из ведра суспензию сливают с помощью сифона, конец которого должен быть на расстоянии не менее 30 мм от поверхности щебня (гравия). После

окончания отмучивания промытую пробу высушивают до постоянной массы.

Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц Π , % по массе, определяют с точностью до 0,1 % по формуле

$$\Pi = \frac{m - m_1}{m} 100,$$

где m – первоначальная масса пробы, г; m_1 – масса пробы после отмучивания, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.22.

Таблица 5.22

Содержание в щебне пылевидных и глинистых частиц

Первоначальная масса пробы m , г	Масса пробы после отмучивания m_1 , г	Содержание пылевидных и глинистых частиц Π , %

Б. Метод мокрого просеивания

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне (гравии) определяют методом мокрого просеивания аналогично испытанию песка данным методом (п. 5.1.5), только берут пробу щебня (гравия) массой не менее 5 кг (при испытании щебня (гравия) фракции от 5 (3) до 10 мм используют целиком пробу, применяемую при определении зернового состава), а процеживание суспензии, полученной при промывке пробы щебня (гравия), осуществляют через набор сит с сетками № 1,25 и № 0,05.

Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц Π , % по массе, определяют с точностью до 0,1 % по формуле

$$\Pi = \frac{m - m_1}{m} 100,$$

где m – масса высушенной пробы до промывки, г; m_1 – масса высушенной пробы после промывки, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.23.

Таблица 5.23

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц

Масса высушенной пробы до промывки m , г	Масса высушенной пробы после промывки m_1 , г	Содержание пылевидных и глинистых частиц Π , %

Контрольные вопросы

1. По каким показателям оценивают качество щебня (гравия) как крупного заполнителя тяжелого бетона?
2. Как определяют среднюю плотность и пористость зерен щебня (гравия)?
3. Как определяют насыпную плотность и пустотность щебня (гравия)?
4. Каким образом характеризуется зерновой состав щебня (гравия)?
5. Как определяют дробимость щебня (гравия)?
6. Как определяется влажность щебня (гравия)?
7. Каким образом определяют содержание глины в комках?
8. Опишите порядок определения содержания в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц.

6. ТЯЖЕЛЫЕ БЕТОНЫ

Бетонами называют искусственные каменные материалы, получаемые в результате твердения рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, заполнителей, добавок и воды, взятых в определенных пропорциях.

В строительстве наиболее широко используют конструкционные **тяжелые бетоны** плотностью 2 000–2 500 кг/м³ на цементном вяжущем и плотных крупном и мелком заполнителях. Разновидностью тяжелого бетона является мелкозернистый бетон – бетон плотной структуры плотностью от 2 000 до 2 500 кг/м³ на цементном вяжущем и плотном мелком заполнителе.

Цемент и вода являются активными составляющими бетона; в результате реакции между ними образуется цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей в единый монолит. Между цементным камнем и заполнителем обычно не происходит химического взаимодействия, поэтому заполнители часто называют инертными составляющими. Однако они существенно влияют на структуру и свойства бетона, изменяя его пористость, сроки затвердевания, поведение при воздействии нагрузки и внешней среды. Заполнители значительно уменьшают деформации бетона при твердении и изменениях влажности окружающей среды и тем самым обеспечивают получение больших размеров изделий и конструкций. Кроме того, применение рационально составленной смеси заполнителей позволяет значительно снизить расход наиболее дорогого компонента – цемента в бетоне (до 10–15 % от массы бетона), что уменьшает стоимость последнего.

В зависимости от показателей качества бетоны разделяют:

по **классам прочности:**

на сжатие: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В70; В80; В90; В100; В110; В120;

осевое растяжение: В_t0,8; В_t1,2; В_t1,6; В_t2,0; В_t2,4; В_t2,8; В_t3,2; В_t3,6; В_t4,0; В_t4,4; В_t4,8;

растяжение при изгибе: В_{tb}1,2; В_{tb}1,6; В_{tb}2,0; В_{tb}2,4; В_{tb}2,8; В_{tb}3,2; В_{tb}3,6; В_{tb}4,0; В_{tb}4,4; В_{tb}4,8; В_{tb}5,2; В_{tb}5,6; В_{tb}6,0; В_{tb}6,4; В_{tb}6,8; В_{tb}7,2; В_{tb}7,6; В_{tb}8,0; В_{tb}8,4; В_{tb}8,8; В_{tb}9,2; В_{tb}9,6; В_{tb}10,0;

маркам по морозостойкости:

по первому базовому методу (испытание образцов бетона путем попеременного замораживания и оттаивания в водонасыщенном состоянии): F₁50, F₁75, F₁100, F₁150, F₁200, F₁300, F₁400, F₁500, F₁600, F₁800, F₁1 000;

второму базовому методу (испытание путем попеременного замораживания и оттаивания образцов бетона, насыщенных 5%-м водным раствором хлорида натрия): F₂100, F₂150, F₂200, F₂300, F₂400, F₂500;

маркам по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20;

маркам по истираемости при испытании на круге истирания: G1, G2, G3.

В зависимости от условий работы бетона в различных средах эксплуатации, а также при его специальном назначении для различных областей строительства (для гидротехнического строительства, дорожных и аэродромных покрытий и оснований, транспортного строительства и др.) к бетонам и материалам в отношении их приготовления предъявляют дополнительные требования.

Возраст бетона, в котором обеспечиваются заданные технические требования, должен быть указан в проекте. Проектный возраст бетона назначают в соответствии с нормами проектирования и с учетом условий твердения бетона, способов возведения и сроков фактического нагружения конструкций. Если проектный возраст не указан, технические требования к бетону должны быть обеспечены в возрасте 28 сут.

Основной показатель *прочности бетона* – класс прочности на сжатие, обозначаемый латинской буквой В и цифрой рядом, которая показывает значение прочности в мегапаскалях. Класс прочности на сжатие определяется величиной гарантированного значения предела прочности на сжатие с обеспеченностью 95 % образцов бетона базового размера (кубов с ребром 150 × 150 × 150 мм) в возрасте 28 сут твердения в нормальных условиях (температура – 15–20 °С, относительная влажность среды – 90–100 %).

При подборе состава бетона, а также при контроле его прочности используют показатель *нормативной прочности класса бетона*, под которым понимают среднюю кубиковую прочность бетона R_m в образцах базового

размера, соответствующую его классу с обеспеченностью 0,95 при коэффициенте вариации прочности бетона 13,5 %. Для перехода от класса прочности бетона к нормативной прочности при коэффициенте вариации прочности 13,5 % используют формулу

$$R_m = B / 0,8. \quad (6.1)$$

Например, для класса прочности на сжатие В20 получим нормативную прочность 25 МПа. При этом в ряде случаев значение нормативной прочности класса бетона (средней прочности) округляют и называют *маркой* бетона (выраженной в десятых долях мегапаскаля). В примере получим М250.

Для ориентировочного определения прочности бетона в разном возрасте при его твердении в нормальных условиях без применения химических добавок (регуляторов скорости схватывания и твердения) используют формулу

$$R_n = R_m \frac{\lg n}{\lg 28},$$

где R_n – предел прочности бетона на сжатие в возрасте n суток.

Указанная формула дает удовлетворительные результаты при $n > 3$ сут для бетонов, приготовленных на рядовых среднеалюминатных цементах и твердеющих при температуре 15–20 °С во влажной среде без использования химических добавок (регуляторов скорости схватывания и твердения).

Среди *деформативных свойств* бетона выделяют усадку, деформации при кратковременном и длительном (ползучесть) нагружениях, температурные деформации. *Усадка* бетона – это уменьшение его объема за счет действия капиллярных и молекулярных сил, проявляющееся со временем при недостаточной влажности среды, способствующей высыханию бетона. При твердении в воде или во влажных условиях усадка резко уменьшается. Быстрое высыхание бетона, особенно в раннем возрасте, приводит к значительной и неравномерной усадке, что вызывает появление усадочных трещин и ухудшение всех качественных показателей материала.

6.1. Подбор номинального состава тяжелого бетона и определение свойств бетонной смеси (лабораторная работа № 10)

От правильности *проектирования состава тяжелого бетона (бетонной смеси)* зависят его плотность и прочность, которые, в свою очередь, во многом определяют такие важные свойства, как морозостойкость, водонепроницаемость и др. Рациональным считается тот состав тяжелого бетона, в котором расход вяжущего минимален при условии получения заданных значений прочности и других эксплуатационных свойств бетона, а

также необходимой удобоукладываемости и других технологических характеристик бетонной смеси.

Различают *номинальный состав* бетона, устанавливающий расходы исходных материалов (вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей) фиксированного качества, необходимые для изготовления 1 м³ бетона (точнее – уплотненной бетонной смеси), который после твердения в определенных условиях обеспечивает в проектном возрасте (и других нормируемых возрастах) получение бетона, соответствующего всем нормируемым показателям качества.

На основе номинального состава определяют *рабочий состав* бетона, полученный из номинального путем его корректирования, при котором учитываются отличия фактических показателей качества материалов, применяемых для изготовления бетонной смеси, в том числе влажности заполнителей, от показателей качества материалов, использованных при подборе номинального состава бетона.

Подбор состава бетона включает в себя:

назначение номинального состава на основе расчета, экспериментальной проверки и корректирования начальных составов;

назначение рабочего состава бетона;

корректирование рабочего состава бетона при поступлении партий материалов тех же видов, марок и классов, которые принимались при подборе номинального состава, но с учетом их фактического качества;

проверку в лабораторных и производственных условиях рабочих составов после их корректирования.

Дозировку составляющих материалов рассчитывают по рабочему составу с учетом фактической плотности бетонной смеси и объема готового замеса.

Подбор *номинального состава* бетона проводят по следующим этапам:

1) выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;

2) расчет начального основного состава;

3) расчет начальных дополнительных составов бетона;

4) изготовление опытных замесов из начального и дополнительных составов;

5) отбор проб для испытания бетонной смеси и изготовления контрольных образцов;

6) испытания бетона для определения нормируемых показателей качества;

7) обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава бетона на нормируемые показатели качества;

8) назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества.

При подборе номинального состава бетона в качестве критериев оптимизации (показателей качества, экстремальные значения которых являются целью подбора состава) могут быть выбраны:

технологические характеристики бетонных смесей,
физико-механические характеристики бетона,
техничко-экономические показатели производства.

Полученный расчетом состав проверяют в лаборатории путем изготовления и испытания контрольных образцов и при необходимости вносят в него соответствующие поправки.

При назначении *рабочего состава* бетона следует учитывать фактические характеристики конкретных материалов, которые будут использованы при производстве бетона, в том числе влажность заполнителей. Расход заполнителей в рабочем составе увеличивают с массой содержащейся в них воды. Расход воды уменьшают на соответствующую величину. Расход цемента не изменяют.

Многокомпонентность современных высококачественных бетонов повышает требования к определению рецептуры сырьевых смесей, так как требуется вводить модификатор (часто не один, а несколько) в очень небольших количествах, а также соблюдать условия тщательного подбора гранулометрического (зернового) состава заполнителей, использования цементов нормированного зернового состава, включающих преимущественно фракцию 5–30 мкм. Метод подбора состава высококачественного бетона может быть разработан только на основе математизации знаний о сырьевых материалах; закономерностей упаковки частиц сырьевых смесей, в том числе с учетом межчастичных взаимодействий; установления количественных взаимосвязей между основными характеристиками сырьевых материалов, составом смеси, макроструктурой полученного материала и показателями его физико-механических свойств.

Бетонные смеси для изготовления тяжелого (БСТ) и мелкозернистого (БСМ) бетонов – это готовые к применению перемешанные однородные смеси вяжущего, плотных заполнителей и воды с добавлением или без добавления химических и минеральных добавок, которые после уплотнения, схватывания и твердения превращаются в бетон. Бетонная смесь представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из частичек вяжущего, новообразований, возникающих при взаимодействии вяжущего с водой, зерен заполнителя, воды, вводимых в ряде случаев специальных добавок, вовлеченного воздуха. Из-за проявления сил взаимодействия между перечисленными компонентами эта система приобретает связность и может рассматриваться как единое физическое тело с определенными физическими свойствами.

Бетонные смеси характеризуют технологическими показателями качества. Среди них:

удобоукладываемость,
 средняя плотность,
 расслаиваемость,
 пористость,
 температура,
 сохраняемость свойств во времени,
 объем вовлеченного воздуха.

Для производства работ и обеспечения высокого качества бетона в конструкциях и изделиях необходимо, чтобы бетонная смесь имела консистенцию, соответствующую условиям ее укладки и уплотнения, т.е. определенную удобоукладываемость.

В зависимости от показателя удобоукладываемости бетонные смеси разделяют на группы: жесткие (Ж), подвижные (П) и растекающиеся (Р). Группы подразделяют на марки по удобоукладываемости (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости

Группы смесей	Марка по удобоукладываемости	Жесткость, с	Осадка конуса (ОК), см	Распływ конуса, см
Жесткая (Ж)	Ж5	Более 50	–	–
	Ж4	31–50	–	–
	Ж3	21–30	–	–
	Ж2	11–20	–	–
	Ж1	5–10	–	–
Подвижная (П)	П1	–	1–4	–
	П2	–	5–9	–
	П3	–	10–15	–
	П4	–	16–20	–
	П5	–	Более 20	–
Растекающаяся (Р)	Р1	–	–	Менее 35
	Р2	–	–	35–41
	Р3	–	–	42–48
	Р4	–	–	49–55
	Р5	–	–	56–62
	Р6	–	–	Более 62

Бетонные смеси должны обеспечивать получение бетонов с заданными показателями качества (бетонные смеси заданного качества) либо иметь заданный состав (бетонные смеси заданного состава) в соответствии с договором на поставку.

Условное обозначение бетонной смеси заданного качества при заказе должно состоять из сокращенного обозначения бетонной смеси, класса бетона по прочности, марки бетонной смеси по удобоукладываемости и,

при необходимости, других нормируемых показателей качества (например, марки по морозостойкости, марки по водонепроницаемости, средней плотности бетона и др.), обозначения настоящего стандарта.

Примеры условных обозначений:

бетонной смеси тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В25, марки по удобоукладываемости П1, марок бетона по морозостойкости F₁₂₀₀ и водонепроницаемости W4:

БСТ В25 П1 F₁₂₀₀ W4 ГОСТ 7473-2010;

то же, бетонной смеси мелкозернистого бетона:

БСМ В25 П1 F₁₂₀₀ W4 ГОСТ 7473-2010.

Примечание: при заказе товарной бетонной смеси заданного качества потребитель должен указывать требования к прочности бетона по проектному классу (В, В_т, В_{тб}), при необходимости – по минимальной средней прочности бетона в каждой поставляемой партии (R_m), а требования по удобоукладываемости – по маркам и, если требуется, по конкретным значениям этого показателя, например:

бетонной смеси тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В25 с минимальной требуемой прочностью бетона 33 МПа, марки по удобоукладываемости П1, с ОК 3 см, марок бетона по морозостойкости F₁₂₀₀ и водонепроницаемости W4:

БСТ В25 ($R_m^T \geq 33$ МПа) П1 (ОК 3 см) F₁₂₀₀ W4 ГОСТ 7473-2010.

При заказе бетонной смеси заданного состава ее условное обозначение не приводят, а указывают состав смеси и качество используемых при ее приготовлении составляющих (вяжущего, заполнителей, воды, химических и минеральных добавок).

6.1.1. Расчет начального основного состава

Определяют нормативную прочность класса бетона R_m по формуле (6.1).

Водоцементное отношение для бетона, твердеющего в нормальных условиях, определяют по формулам:

для обычного бетона (при В/Ц $\geq 0,4$):

$$В/Ц = A \cdot R_{ц} / (R_m + 0,5A \cdot R_{ц}); \quad (6.2)$$

высокопрочного бетона (при В/Ц $< 0,4$):

$$В/Ц = A_1 \cdot R_{ц} / (R_m - 0,5A_1 \cdot R_{ц}), \quad (6.3)$$

где R_m – нормативная прочность класса бетона, МПа; A и A_1 – коэффициенты, зависящие от качества заполнителей; $R_{ц}$ – активность цемента, МПа.

Формулу (6.2) следует применять, если $R_0 \leq 2A \cdot R_{ц}$, в других случаях надо пользоваться формулой (6.3).

Значения коэффициентов A и A_1 берут из табл. 6.2.

Таблица 6.2

Значения коэффициентов A и A_1

Материалы для бетона	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Водопотребность бетонной смеси (расход воды в литрах на 1 м³ бетона) назначают в зависимости от ее удобоукладываемости (подвижности или жесткости), наличия и вида пластифицирующих других добавок, вида и крупности заполнителя. Удобоукладываемость смеси, если она не задана, выбирается в зависимости от вида конструкции и способа формирования.

Ориентировочный расход воды $В$, л, для расчета начального состава на 1 м³ бетона принимают по табл. 6.3.

Таблица 6.3

Водопотребность бетонной смеси $В$, л

Марка по удобоукладываемости	Без добавок	С водоредуцирующей добавкой	С суперводоредуцирующей добавкой
Ж4	135	–	–
Ж3	145	–	–
Ж2	155	145	130
Ж1	170	160	145
П1	185	165	150
П2	205	185	165
П3	215	200	170
П4	230	210	185
П5	240	215	190

Примечания:

1. Значения в табл. 6.4 получены при применении фракции щебня 5(3)–20 мм. При применении щебня фракции 5(3)–10 мм расход воды увеличивается на 10–15 дм³/м³ бетона; при применении щебня фракции 5–40 мм расход воды уменьшается на 10–15 дм³/м³ бетона.

2. Водопотребность бетонной смеси с водоредуцирующими/пластифицирующими добавками определена при применении песка с модулем крупности 2,0.

3. Примерный объем вовлеченного воздуха без воздухововлекающих добавок в зависимости от максимальной крупности заполнителей от 1 % (фракции 5–40 мм) до 3 % (фракции 5(3)–10 мм).

4. Изготовление бетонных смесей марок по подвижности П3, П4 и П5 без водоредуцирующих/пластифицирующих добавок не рекомендуется.

Расход цемента \mathcal{C} (кг/м³) бетонной смеси рассчитывают по формуле

$$\mathcal{C} = \mathcal{B}/(\mathcal{B}/\mathcal{C}),$$

где \mathcal{B}/\mathcal{C} – водоцементное отношение, определенное по формуле (6.2) или формуле (6.3); \mathcal{B} – расход воды, л, принятый по табл. 6.3.

Может оказаться, что полученный расход цемента на 1 м³ бетона меньше допустимого нормами минимума (табл. 6.4). Тогда расход цемента увеличивают до требуемого нормами значения с соответствующим увеличением расхода воды, чтобы расчетное \mathcal{B}/\mathcal{C} оставалось неизменным.

Абсолютный объем заполнителей V_3 , дм³, рассчитывается по формуле

$$V_3 = 1\,000 - \mathcal{B}/\rho_{\mathcal{B}} - \mathcal{C}/\rho_{\mathcal{C}},$$

где $\rho_{\mathcal{C}}$ – истинная плотность цемента, кг/дм³; $\rho_{\mathcal{B}}$ – плотность воды, принимаемая равной 1 кг/дм³.

Таблица 6.4

Минимальный расход цемента для тяжелых бетонов

Вид конструкции	Расход цемента вида (типа), кг/м ³		
	ЦЕМ I, ЦЕМ I СС	ЦЕМ II, ЦЕМ II СС	ЦЕМ III, ЦЕМ IV, ЦЕМ V
Неармированные, условия эксплуатации которых исключают замораживание и оттаивание	Не нормируется		
Армированные с ненапрягаемой арматурой	150	170	180
Армированные с предварительно напряженной арматурой	220	240	270

Расход мелкого заполнителя (песка) (кг) рассчитывается так:

$$П = V_3 \cdot r \cdot \rho_{\mathcal{P}},$$

где V_3 – абсолютный объем заполнителей, дм³; r – доля песка в смеси заполнителей; $\rho_{\mathcal{P}}$ – истинная плотность зерен песка, кг/дм³.

Долю песка в начальном составе в зависимости от расхода цемента и наибольшей крупности заполнителя принимают по табл. 6.5.

Таблица 6.5

Доля песка в смеси заполнителей

Расход цемента, кг/м ³	Наибольшая крупность щебня, мм		
	10	20	40
200	0,54	0,51	0,48
300	0,51	0,48	0,45
400	0,48	0,45	0,42
500	0,45	0,42	0,39

Примечание. При использовании гравия доля песка r уменьшается на 0,03.

Расход крупного заполнителя (щебня или гравия) Π (кг) рассчитывают по формуле

$$\Pi = V_3 \cdot (1 - r) \cdot \rho_{\Pi},$$

где ρ_{Π} – средняя плотность зерен щебня, кг/дм³.

Расход водоредуцирующих/пластифицирующих добавок (при наличии) D (кг) рассчитывают по формуле

$$D = \Pi \cdot P_d / 100,$$

где P_d – средний расход добавки по справочным данным, % от массы цемента.

В результате расчета получают начальный состав бетонной смеси в виде расхода исходных материалов (кг/м³) бетона с обязательным указанием В/Ц (табл. 6.6).

Таблица 6.6

Начальный состав бетона

Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, л	Добавка, кг	В/Ц

Расчетная плотность бетонной смеси (кг/м³)

$$\rho_{см} = \Pi + В + П + \Pi.$$

Начальный номинальный состав бетонной смеси проверяют и корректируют в случае необходимости на опытных замесах на основе определения фактических значений удобоукладываемости и средней плотности бетонной смеси.

Определение расхода материалов на опытный замес.

Расход цемента Π_3 в килограммах на опытный замес:

$$\Pi_3 = \frac{\Pi \cdot V_3}{1000},$$

где Π – расход цемента (кг/м³) (1 000 дм³) бетонной смеси.

Расход щебня (гравия) Π_3 в килограммах на опытный замес:

$$\Pi_3 = \frac{\Pi \cdot V_3}{1000},$$

где Π – расход крупного заполнителя (кг/м³) (1 000 дм³) бетонной смеси.

Расход песка Π_3 (кг) на опытный замес:

$$\Pi_3 = \frac{\Pi \cdot V_3}{1000},$$

где Π – расход песка (кг/м³) (1 000 дм³) бетонной смеси.

Расход воды V_3 (л) на опытный замес:

$$V_3 = \frac{B \cdot V_3}{1000},$$

где B – расход воды (л/м³) (1 000 дм³) бетонной смеси; V_3 – объем опытного замеса, дм³.

Расход водоредуцирующих/пластифицирующих добавок (при наличии) D_3 (кг) на опытный замес:

$$D_3 = \frac{D \cdot V_3}{1000},$$

где D – расход добавок (кг/м³) (1 000 дм³) бетонной смеси.

6.1.2. Определение удобоукладываемости бетонной смеси и корректирование начального состава бетона

Удобоукладываемость бетонной смеси проверяют на опытных замесах, которые готовят после выполнения расчета состава бетона и расхода составляющих на опытный замес.

Если удобоукладываемость опытного замеса не соответствует заданной, производят корректировку начального состава бетона. При этом повышение ОК или снижение жесткости бетонной смеси достигается за счет добавления в пробный замес воды и цемента, сохраняется водоцементное отношение, а снижение ОК или повышение жесткости осуществляется за счет добавления в пробный замес заполнителей (в установленном ранее соотношении). Рекомендуемое количество добавленных компонентов бетонной смеси составляет: вода – 5–10 л/м³; заполнители – 2–4 % расходов в начальном составе. Наиболее эффективным способом повышения подвижности бетонной смеси является применение пластифицирующих добавок.

6.1.2.1. Определение подвижности

Подвижность бетонной смеси оценивают по ОК, отформованного из бетонной смеси (рис. 6.1).

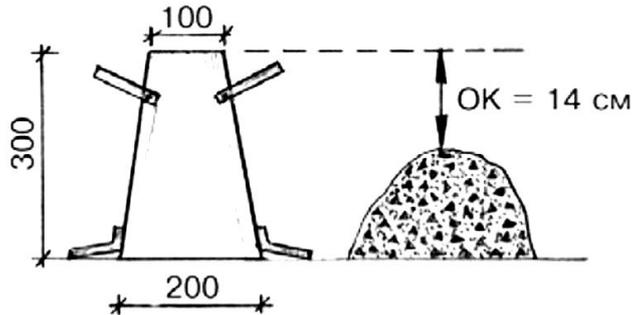


Рис. 6.1. Определение подвижности бетонной смеси

Для определения подвижности бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупностью до 40 мм включительно применяют нормальный конус, с зернами наибольшей крупностью более 40 мм – увеличенный. При подготовке конуса и приспособлений к испытаниям все соприкасающиеся с бетонной смесью поверхности следует очистить и увлажнить.

Конус устанавливают на гладкий лист и заполняют бетонной смесью марок П1, П2 или П3 через воронку в три слоя одинаковой высоты. Каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем в нормальном конусе 25 раз, в увеличенном – 56 раз. Бетонной смесью марок П4 и П5 конус заполняют в один прием и штыкуют в нормальном конусе 10 раз, в увеличенном – 20 раз. Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу.

После уплотнения бетонной смеси снимают загрузочную воронку, избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса и заглаживают поверхность бетонной смеси. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин.

Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5–7 с. Если после снятия конуса бетонная смесь разваливается, измерение не выполняют и испытание повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верх конуса и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до поверхности бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см. Осадку конуса бетонной смеси, определенную в увеличенном конусе, приводят к осадке, определенной в нормальном конусе, умножением осадки увеличенного конуса на коэффициент 0,67.

Осадку конуса бетонной смеси определяют два раза. Общее время испытания с начала заполнения конуса бетонной смесью при первом определении и до момента измерения ОК при втором определении не должно превышать 10 мин. Осадку конуса бетонной смеси одной пробы вычисляют с округлением до 1,0 см как среднеарифметическое значение результатов двух определений, различающихся между собой не более чем:

на 1 см при ОК до 9 см включительно;

2 см при ОК от 10 до 15 см;

3 см при ОК от 16 см и выше.

При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой порции бетонной смеси той же пробы.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Результаты определения подвижности бетонной смеси

Класс бетона, марка по ОК, см	Наименование составов	Расходы составляющих смеси на опытный замес					ОК, см
		Ц _з	Щ _з	П _з	В _з	Д _з	
	Начальный						
	Скорректированный						

6.1.2.2. Определение жесткости

Жесткость бетонной смеси характеризуют временем вибрации в секундах, необходимым для выравнивания бетонной смеси и появления цементного теста в отверстиях прибора по методам Вебе и Красного или по выравниванию поверхности бетонной смеси по методу Скрамтаева.

А. Определение жесткости бетонной смеси на стандартном приборе Вебе.

Прибор (рис. 6.2) собирают и закрепляют на виброплощадке. Заполнение конуса прибора бетонной смесью, уплотнение смеси и снятие с отформованной смеси конуса проводят в соответствии с п. 6.1.2.1 как для смесей марок П1–П3.

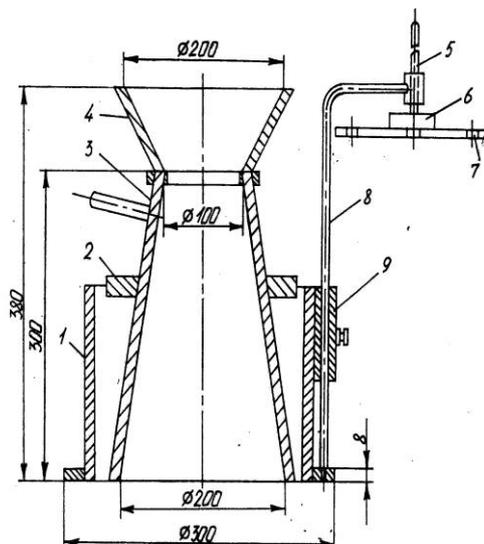


Рис. 6.2. Стандартный прибор для определения жесткости бетонной смеси:

- 1 – цилиндрический сосуд; 2 – кольцо-держатель; 3 – форма-конус;
- 4 – насадка; 5 – штанга; 6 – металлический диск; 7 – отверстия;
- 8 – штатив; 9 – устройство для измерения осадки бетонной смеси

Поворотом штатива диск устанавливают над отформованным конусом бетонной смеси и плавно опускают его до соприкосновения с поверхностью смеси. Включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за выравниванием бетонной смеси (рис. 6.3). Смесь вибрируют до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска. В этот момент выключают секундомер и вибратор. Время, измеренное в секундах, характеризует жесткость бетонной смеси.

Б. Определение жесткости бетонной смеси по методу Скрамтаева.

Жесткость бетонной смеси по методу Скрамтаева определяют в формах ФК-200 (с гнездами размером $200 \times 200 \times 200$ мм) совместно с конусом Скрамтаева (стандартным металлическим конусом). Предварительно с этого конуса снимают упоры и немного уменьшают нижний диаметр, чтобы конус вошел внутрь формы.

В закрепленную на виброплощадке форму помещают стандартный конус и заполняют его бетонной смесью, как указано в п. 6.1.2.1 для смесей марок П1–П3. Затем конус плавно снимают и одновременно включают виброплощадку и секундомер. Смесь вибрируют до тех пор, пока поверхность бетонной смеси не станет горизонтальной. Время в секундах, необходимое для выравнивания поверхности бетонной смеси в форме, характеризует жесткость смеси.

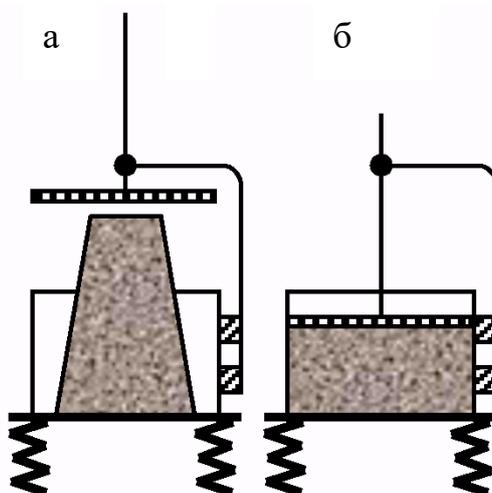


Рис. 6.3. Определение жесткости бетонной смеси:

а – положение диска и конуса из бетонной смеси до вибрирования;

б – положение диска и конуса из бетонной смеси после вибрирования до заданного критерия

Переходный коэффициент от метода Скрамтаева к методу Вебе устанавливают экспериментально. Допускается принимать переходный коэффициент равным 0,7.

Жесткость бетонной смеси одной пробы определяют два раза. Общее время испытания с начала заполнения формы при первом определении и до окончания вибрирования при втором определении не должно превышать 10 мин.

Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с как среднеарифметическое значение результатов двух определений, различающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Результаты определения жесткости бетонной смеси

Класс бетона, марка по жесткости, с	Наименование составов	Расходы составляющих смеси на опытный замес					Жесткость бетонной смеси, с
		Ц _з	Щ _з	П _з	В _з	Д _з	
	Начальный						
	Скорректированный						

После достижения заданного показателя по удобоукладываемости на основе данных о фактическом количестве израсходованных на замес компонентов бетонной смеси и данных о фактической величине средней плотности смеси производят расчет номинального состава бетона.

6.1.3. Определение средней плотности бетонной смеси и номинального состава бетона

Среднюю плотность бетонной смеси характеризуют отношением массы уплотненной бетонной смеси к ее объему.

Для определения средней плотности бетонной смеси применяют мерные металлические цилиндрические сосуды вместимостью не менее: при наибольшей крупности зерен заполнителя 20 мм – 1 дм³; 40 мм – 5 дм³; 80 (70) мм – 10 дм³ (в качестве сосудов можно использовать соответствующие по объему стандартные формы для изготовления образцов-кубов). Перед испытанием мерный сосуд взвешивают.

Бетонную смесь марок по удобоукладываемости П1, П2, П3, Ж1 помещают в сосуд, ставят на лабораторную виброплощадку и вибрируют до выравнивания поверхности и появления тонкого слоя цементного теста.

Уплотнение бетонной смеси марок по удобоукладываемости П4 и П5 делают вручную с применением штыковки. Штыкование проводят равномерно по спирали от краев формы к ее середине. После уплотнения избыток бетонной смеси срезают металлической линейкой и тщательно выравнивают поверхность на уровне краев мерного сосуда. Сосуд с бетонной смесью взвешивают с погрешностью не более 5 г.

Среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{см}$ (кг/м³) рассчитывают по формуле

$$\rho_{см} = \frac{m - m_1}{V} 1000,$$

где m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, г; m_1 – масса мерного сосуда без смеси, г; V – вместимость мерного сосуда, см³.

Среднюю плотность каждой пробы бетонной смеси определяют два раза как среднеарифметическое значение результатов двух определений средней плотности, которые должны различаться между собой не более чем на 2 % от среднего значения.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.9.

Таблица 6.9

Результаты определения средней плотности бетонной смеси

Масса мерного цилиндра (формы) m_1 , г	Масса мерного цилиндра (формы) со смесью m , г	Результаты частных определений средней плотности, кг/м ³	Средняя плотность смеси, кг/м ³

Фактическая величина средней плотности бетонной смеси не должна отличаться от расчетной плотности смеси более чем на 2 %.

Фактический объем пробного замеса V_3^{ϕ} (дм³) определяют по формуле

$$V_3^{\phi} = \frac{Ц_3^{\phi} + В_3^{\phi} + П_3^{\phi} + Щ_3^{\phi}}{\rho_{см}},$$

где $Ц_3^{\phi}$, $В_3^{\phi}$, $П_3^{\phi}$ и $Щ_3^{\phi}$ – фактические расходы сырьевых материалов на пробный замес, кг; $\rho_{см}$ – фактическая величина средней плотности бетонной смеси, кг/дм³.

Фактические расходы сырьевых материалов на 1 м³ бетона, т.е. номинальный состав бетона, определяют по формулам:

$$Ц^{\phi} = \frac{Ц_3^{\phi} \cdot 1000}{V_3^{\phi}};$$

$$В^{\phi} = \frac{В_3^{\phi} \cdot 1000}{V_3^{\phi}};$$

$$П^{\phi} = \frac{П_3^{\phi} \cdot 1000}{V_3^{\phi}};$$

$$\text{Щ}^\phi = \frac{\text{Щ}_3^\phi \cdot 1000}{V_3^\phi};$$

$$\text{Д}^\phi = \frac{\text{Д}_3^\phi \cdot 1000}{V_3^\phi},$$

где Ц^ϕ , В^ϕ , П^ϕ , Щ^ϕ и Д^ϕ – фактические расходы исходных материалов на 1 м^3 бетона, кг.

Результаты определения номинального состава бетона сводят в табл. 6.10.

Таблица 6.10

Номинальный состав бетонной смеси

Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, л	Добавка, кг	В/Ц

Из номинального состава с заданной удобоукладываемостью бетонной смеси изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона в проектном и промежуточном возрастах. Если фактическая прочность бетона отличается от заданной более чем на 15 % в ту и другую сторону, то следует внести коррективы в состав бетона. Для повышения прочности увеличивают расход цемента, т.е. Ц/В (что равносильно уменьшению В/Ц); в противном случае – уменьшают расход цемента и соответственно Ц/В (что равносильно увеличению В/Ц).

Контрольные вопросы

1. Из каких этапов состоит проектирование состава бетона?
2. Чем бетонная смесь отличается от бетона?
3. Какой состав бетона считается номинальным?
4. Чем различаются номинальный и рабочий составы бетона?
5. Какими показателями характеризуют удобоукладываемость бетонной смеси?
6. На какие группы и марки разделяют бетонные смеси по удобоукладываемости?
7. Как определяют подвижность бетонной смеси?
8. Для каких бетонных смесей и как определяют жесткость?
9. Как определяют жесткость бетонной смеси по методу Вебе?
10. Как определяют жесткость бетонной смеси по методу Скрамтаева и как в этом случае соотносится показатель жесткости с показателем, определенным на стандартном приборе?
11. Как и с какой целью определяют среднюю плотность бетонной смеси?

6.2. Определение свойств тяжелого бетона (лабораторная работа № 11)

6.2.1. Определение средней плотности бетона

Среднюю плотность бетона определяют как отношение массы бетона (образца) к его общему объему в одном из следующих влажностных состояний:

сухом состоянии, когда образцы высушивают до постоянной массы;
воздушно-сухом состоянии, когда образцы перед испытанием выдерживают не менее 28 сут в помещении при температуре 25 ± 10 °С и относительной влажности воздуха 50 ± 10 %;

состоянии естественной влажности, когда образцы испытывают сразу же после их отбора или хранят после отбора в паронепроницаемой упаковке или в герметичной таре, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в два раза;

состоянии нормальной влажности, когда образцы хранят 28 сут в камере нормального твердения, эксикаторе или другой герметичной емкости при относительной влажности воздуха не менее 95 % и температуре 20 ± 2 °С;

состоянии нормируемой влажности, когда испытывают образцы бетона, имеющие нормируемую влажность или произвольную влажность, с последующим пересчетом полученных результатов на нормируемую влажность;

водонасыщенном состоянии.

Объем образцов правильной формы вычисляют по их геометрическим размерам на основе методики, приведенной в п. 1.1.1.1. Размеры образцов определяют линейкой или штангенциркулем с погрешностью не более 1 %.

Объем образцов неправильной формы определяют с помощью объемомера или гидростатическим взвешиванием по методике, приведенной в п. 1.1.1.2.

Массу образцов определяют взвешиванием с погрешностью не более 0,1 %.

Среднюю плотность ρ_w (кг/м³) бетона каждого образца в серии вычисляют с погрешностью до 1 кг/м³ по формуле

$$\rho_w = \frac{m}{V} 1000,$$

где m – масса образца, г; V – объем образца, см³.

Среднюю плотность бетона вычисляют как среднееарифметическое значение результатов испытаний всех образцов серии. Если определение средней плотности и прочности бетона производят при испытании одних и

тех же образцов, то образцы, отбракованные при определении прочности бетона, не учитывают при определении его средней плотности.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.11.

Таблица 6.11

Результаты определения средней плотности бетона

Влажностное состояние образца в момент испытания	Масса образца m , г	Объем образца V , см^3	Средняя плотность бетона образца ρ_w , $\text{кг}/\text{м}^3$

6.2.2. Определение влажности бетона

Наибольшая крупность раздробленных кусков бетона при определении влажности должна быть для тяжелых бетонов и бетонов на пористых заполнителях – не более максимального размера зерен заполнителей; мелкозернистых бетонов (включая ячеистые и силикатные) – не более 5 мм.

Дробят и взвешивают образцы или пробы непосредственно после отбора. Хранят в паронепроницаемой упаковке или герметичной таре, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в два раза.

Из раздробленного материала путем квартования отбирают усредненную пробу массой не менее 1 000 г для тяжелых бетонов и бетонов на пористых заполнителях; 100 г – для ячеистых, силикатных и мелкозернистых бетонов. При производственном контроле влажности бетона в бетонных и железобетонных изделиях допускается проводить испытания проб бетона меньшей массы в соответствии с требованиями стандартов на эти изделия.

Подготовленные пробы взвешивают, ставят в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С. Постоянной считают массу пробы (образца), при которой результаты двух последовательных взвешиваний отличаются не более чем на 0,1 %. При этом время между взвешиваниями должно быть не менее 4 ч. Перед повторным взвешиванием пробы (образцы) охлаждают в эксикаторе с безводным хлористым кальцием, или вместе с сушильным шкафом до комнатной температуры, или в герметичной упаковке. Взвешивание проводят с погрешностью до 0,01 г.

Влажность пробы бетона W_m (% по массе) определяют по формуле

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c} 100,$$

где m_b – масса пробы бетона до сушки, г; m_c – масса пробы бетона после сушки, г.

Влажность бетона по результатам испытаний серии проб устанавливают как среднее арифметическое результатов определения влажности отдельных проб бетона.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.12.

Таблица 6.12

Результаты определения влажности бетона

Масса пробы во влажном состоянии $m_{в}$, г	Масса пробы в сухом состоянии $m_{с}$, г	Влажность пробы бетона $W_{м}$, %

6.2.3. Определение водопоглощения

Водопоглощение определяют путем проведения испытания образцов в состоянии естественной влажности или высушенных до постоянной массы.

Образцы помещают в емкость, наполненную водой, с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенных образцов примерно на 50 мм. Образцы укладывают на прокладки таким образом, чтобы высота образца была минимальной (призмы и цилиндры укладывают на бок). Температура воды в емкости должна быть 20 ± 2 °С.

Образцы взвешивают через каждые 24 ч водопоглощения на обычных или гидростатических весах с погрешностью не более 0,1 %.

При взвешивании на обычных весах образцы, вынутые из воды, предварительно вытирают отжатой влажной тканью. Массу воды, вытекшую из пор образца на чашку весов, следует включать в массу насыщенного образца. Испытание проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут различаться не более чем на 0,1 %.

Водонасыщение образцов бетона можно осуществлять также методом их кипячения (см. п. 1.1.4).

Водопоглощение бетона каждого образца $W_{м}$ (% масс.) вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$W_{м} = \frac{m_{н} - m_{с}}{m_{с}} 100,$$

где $m_{н}$ – масса водонасыщенного образца бетона, г; $m_{с}$ – масса сухого образца, г.

Водопоглощение образца бетона по объему $W_{о}$ (%) вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$V_o = \frac{V_M \cdot \rho_o}{\rho_B} 100,$$

где ρ_o – средняя плотность сухого образца, г/см³; ρ_B – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Водопоглощение бетона по результатам испытаний серии образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.13.

Таблица 6.13

Результаты определения водопоглощения бетона

Масса водонасыщенного образца бетона m_n , г	Масса сухого образца m_c , г	Водопоглощение образца бетона, %	
		по массе V_M	по объему V_o

6.2.4. Определение пористости

Полную (общую) пористость бетона Π_n (%) рассчитывают по формуле

$$\Pi_n = \frac{\rho - \rho_o}{\rho} 100,$$

где ρ – истинная плотность бетона, г/см³; ρ_o – средняя плотность сухого бетона, г/см³.

Открытую капиллярную пористость бетона (образца) Π_o (%) принимают равной водопоглощению по объему V_o , т.е.

$$\Pi_o = V_o.$$

Условно-закрытую пористость бетона Π_z (%) рассчитывают по формуле

$$\Pi_z = \Pi_n - \Pi_o.$$

Результаты вычислений заносят в табл. 6.14.

Таблица 6.14

Результаты определения пористости бетона

Полная (общая) пористость бетона Π_n , %	Открытая капиллярная пористость бетона Π_o , %	Условно-закрытая пористость бетона Π_z , %

6.2.5. Определение прочности бетона по контрольным образцам

Определение прочности бетона заключается в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

Требования к контрольным образцам для испытаний. Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от метода определения прочности бетона должны соответствовать указанным в табл. 6.15.

Таблица 6.15

Форма и номинальные размеры образцов

Метод	Форма образца	Номинальные размеры образца, мм
Определение прочности на сжатие	Куб	Длина ребра: 100, 150, 200, 250, 300
	Цилиндр	Диаметр d : 100, 150, 200, 250, 300. Высота $h \geq d$
Определение прочности на растяжение при изгибе	Призма квадратного сечения	100 × 100 × 400; 150 × 150 × 600; 200 × 200 × 800; 250 × 250 × 1 000; 300 × 300 × 1 200

Допускается применять:
кубы с ребром длиной 70 мм;
призмы размером 70 × 70 × 280 мм;
цилиндры диаметром 70 мм;
половинки образцов-призм, полученных после испытания на растяжение при изгибе образцов-призм, для определения прочности бетона на сжатие;

образцы-кубы, изготовленные в неразъемных формах с технологическим уклоном.

За базовый образец при всех видах испытаний следует принимать образец-куб или образец-призму с размером рабочего сечения 150 × 150 мм.

Наименьшие размеры образцов в зависимости от наибольшего номинального размера зерен заполнителя в пробе бетонной смеси должны соответствовать указанным в табл. 6.16.

Наименьшие размеры образцов в зависимости
от размера зерен заполнителя

Наибольший номинальный размер зерна заполнителя	Наименьший размер образца (ребра образца-куба, стороны поперечного сечения образца-призмы, диаметра и высоты образца-цилиндра)
20 и менее	100
40	150
70	200
100	300

Примечания:

1. При изготовлении образцов из бетонной смеси должны быть удалены отдельные зерна крупного заполнителя, размер которых превышает более чем в 1,5 раза наибольший номинальный размер заполнителя, указанный в табл. 6.12, а также все зерна заполнителя размером более 100 мм.

2. При изготовлении образцов с минимальным размером 70 мм максимальная крупность заполнителя не должна превышать 20 мм.

Образцы изготавливают и испытывают сериями. Число образцов в серии принимают в зависимости от среднего внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона:

2 образца при коэффициенте вариации 5 % и менее;

3 или 4 образца при коэффициенте вариации от 6 до 8 %;

6 образцов при коэффициенте вариации более 8 %.

Отклонения от плоскостности опорных поверхностей образцов-кубов и образцов-цилиндров, прилегающих к плитам пресса, не должны превышать 0,001 наименьшего размера образца. Отклонения от перпендикулярности смежных граней образцов-кубов и образцов-призм, а также опорных поверхностей и образующих образцов-цилиндров, предназначенных для испытания на сжатие, не должны превышать 1 мм.

Отбор проб бетонной смеси и изготовление контрольных образцов. Пробы бетонной смеси для изготовления контрольных образцов при производственном контроле прочности бетона отбирают из рабочего состава бетонной смеси.

Пробы бетонной смеси для изготовления контрольных образцов, предназначенных для лабораторных исследований, при подборе состава бетона, изучении влияния различных технологических факторов на свойства бетонов и для других целей следует отбирать из специально приготовленных лабораторных замесов бетонной смеси.

Объем пробы бетонной смеси должен превышать требуемый для изготовления всех серий контрольных образцов не менее чем в 1,2 раза.

Отобранная проба бетонной смеси должна быть дополнительно вручную перемешана перед формованием образцов. Бетонные смеси, со-

держающие воздухововлекающие и газообразующие добавки, перед формированием образцов не следует дополнительно перемешивать.

Перед использованием форм их внутренние поверхности должны быть покрыты тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя бетона.

Укладку бетонной смеси в форму и ее уплотнение следует проводить не позднее чем через 20 мин после отбора пробы. При изготовлении нескольких серий образцов, предназначенных для определения различных характеристик бетона, все образцы следует изготавливать из одной пробы бетонной смеси и уплотнять их в одинаковых условиях. Отклонения между средними значениями средней плотности бетона образцов отдельных серий и средней плотности отдельных образцов в каждой серии к моменту их испытания не должны превышать 50 кг/м^3 . При несоблюдении указанного требования результаты испытаний не учитывают.

При производственном контроле прочности бетона формирование контрольных образцов следует проводить по той же технологии и с теми же параметрами уплотнения, что и формирование изделий и конструкций.

При лабораторных исследованиях, а также при производственном контроле в случаях, когда предыдущее условие не может быть выполнено, уплотнение бетонной смеси в формах проводят одним из следующих способов.

Уплотнение бетонной смеси марок по удобоукладываемости П4 и П5 делают вручную с применением штыковки. Формы заполняют бетонной смесью слоями высотой не более 100 мм. Каждый слой уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. Число нажимов стержня рассчитывают из условия, чтобы один нажим приходился на 10 см^2 верхней открытой поверхности образца. Штыкование проводят равномерно по спирали от краев формы к ее середине.

Уплотнение бетонной смеси механическими методами проводят с использованием виброплощадки или глубинного вибратора.

При уплотнении бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1, П2, П3, Ж1 с использованием виброплощадки форму с уложенной и уплотненной штыкованием бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и вибрируют до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста.

При уплотнении бетонной смеси марок по удобоукладываемости Ж2, Ж3, Ж4, Ж5 с использованием виброплощадки на форме закрепляют насадку, устанавливают на поверхность бетонной смеси пригруз, обеспечивающий давление $0,004 \pm 0,0005 \text{ МПа}$, и вибрируют до прекращения оседания пригруза и дополнительно 5–10 с.

При уплотнении с использованием глубинного вибратора его диаметр не должен превышать $1/4$ наименьшего размера формуемого образца. Вибратор должен находиться в вертикальном положении и не касаться дна или стенок формы.

После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси в форме верхнюю поверхность образца заглаживают мастерком или пластиной.

На образцы непосредственно после их изготовления должна быть нанесена маркировка, идентифицирующая принадлежность образца и дату его изготовления. Маркировка не должна повреждать образец или влиять на результаты испытания.

Твердение, хранение и транспортирование образцов. Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до их распалубливания хранят в формах, покрытых влажной тканью или другим материалом, исключающим испарение из них влаги, в помещении с температурой воздуха 20 ± 5 °С.

При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч и не позднее чем через 72 ч. При определении прочности на растяжение – не ранее чем через 72 ч и не позднее чем через 96 ч.

После распалубливания образцы помещают в камеру с нормальными условиями твердения: с температурой 20 ± 2 °С и относительной влажностью воздуха 95 ± 5 %. Образцы укладывают на подкладки так, чтобы расстояние между ними, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Площадь контакта образца с подкладками, на которые он установлен, должна быть не более 30 % площади опорной грани образца. Образцы в камере нормального твердения не должны орошаться водой. Допускается хранение образцов под слоем влажного песка, опилок или других систематически увлажняемых гигроскопичных материалов.

Подготовка образцов к испытаниям. В помещении для испытания образцов следует поддерживать температуру 20 ± 5 °С и относительную влажность воздуха не менее 55 %. Образцы должны быть выдержаны до испытания при указанных условиях в распалубленном виде в течение 24 ч, если они твердели в воде, и в течение 4 ч, если они твердели в воздушно-влажностных условиях или в условиях тепловой обработки.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде трещин, околос ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, околы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм (кроме бетона крупнопористой структуры), а также следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси, испытанию не подлежат.

Наплывы бетона на ребрах опорных поверхностей образцов должны быть удалены абразивным камнем.

На образцах выбирают и отмечают опорные грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения.

Опорные грани отформованных образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы.

Плоскость изгиба образцов-призм при испытании на растяжение при изгибе должна быть параллельна слоям укладки.

Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1 %. Если опорные грани образцов-кубов или опорные поверхности образцов-цилиндров не соответствуют требованиям по плоскостности, то они должны быть выровнены. Для выравнивания применяют шлифование или нанесение слоя быстротвердеющего материала (например, на основе глиноземистого цемента или серы) толщиной не более 5 мм и прочностью к моменту испытания не менее ожидаемой прочности бетона образца.

Проведение испытаний. Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч. Перед установкой образца в испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах испытательной машины.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 до 80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.

Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до их разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

Разрушенный образец подвергают визуальному осмотру. В журнале испытаний отмечают наличие крупных (объемом более 1 см³) раковин и каверн внутри образца; зерен заполнителя размером более $1,5d_{\max}$ (d_{\max} – максимальный размер зерна заполнителя), комков глины, следов расслоения. Результаты испытаний образцов, имеющих перечисленные дефекты структуры и характер разрушения, не учитывают.

Испытание на сжатие. При испытании на сжатие образцы-кубы и образцы-цилиндры устанавливают одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту испытательной машины (пресса) центрально относительно ее продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту испытательной машины (пресса), или специальное центрирующее приспособление.

Если испытательная машина (или пресс) имеет один шаровой шарнир, радиус которого не обеспечивает поворот опорной плиты в процессе нагружения образца, то рекомендуется для передачи сжимающего усилия по оси образца устанавливать дополнительную опорную плиту с шарни-

ром, обеспечивающим ее поворот. Дополнительную опорную плиту устанавливают так, чтобы плита испытательной машины (пресса) с шарниром и дополнительная опорная плита прилегали к противоположным граням образца.

Половинки образцов-призм при испытании на сжатие помещают между двумя дополнительными стальными пластинами для передачи нагрузки на половинки образцов-призм.

После установки образца на опорные плиты испытательной машины или дополнительные стальные плиты совмещают верхнюю плиту испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки $0,6 \pm 0,2$ МПа/с.

Испытание на растяжение при изгибе. Образец-призму устанавливают в испытательную машину согласно схеме (см. рис. 1.9б). Если образец разрушился не в средней трети пролета или плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на 15° , то при определении средней прочности бетона серии образцов этот результат испытания не учитывают.

Обработка и оценка результатов испытаний.

Предел прочности бетона в мегапаскалях вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R = \alpha \cdot \frac{P}{F},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; F – площадь рабочего сечения образца, мм²; α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы.

Предел прочности бетона на растяжение при изгибе R_{tb} (МПа) вычисляют с точностью до 0,01 МПа по формуле

$$R_{tb} = \beta \cdot \frac{Pl}{ab^2},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; a , b , l – ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами соответственно при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм; β – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы.

Значения масштабных коэффициентов принимают по табл. 6.18.

Таблица 6.18

Значения масштабных коэффициентов для приведения прочности тяжелого бетона к прочности бетона в образцах базового размера

Форма и размеры образца, мм	Масштабные коэффициенты при испытании	
	на сжатие α	на растяжение при изгибе β
Длина ребра куба, мм		
Куб (ребро) или квадратная призма (сторона поперечного сечения)		
70	0,85	0,86
100	0,95	0,92
150	1,00	1,00
200	1,05	1,08
250	1,08	—
300	1,10	—
Цилиндры (диаметр \times высоту (длину))		
100 \times 200	1,16	—
150 \times 300	1,20	—
200 \times 400	1,24	—
250 \times 500	1,26	—
300 \times 600	1,28	—

Прочность бетона в серии образцов определяют как среднеарифметическое значение прочности испытанных образцов в серии:

из двух образцов – по двум образцам;

трех – по двум образцам с наибольшей прочностью;

четырех – по трем образцам с наибольшей прочностью;

шести – по четырем образцам с наибольшей прочностью.

При отбраковке дефектных образцов прочность бетона в серии определяют по всем оставшимся образцам, если их не менее двух. Результаты испытания серии из двух образцов при отбраковке одного образца не учитывают.

Результаты испытаний образцов бетона на сжатие R , МПа, заносят в табл. 6.19.

Таблица 6.19

Результаты определения предела прочности тяжелого бетона на сжатие

Класс прочности бетона, возраст бетона	Размеры образца, мм	Площадь поперечного сечения образца F , мм ²	Разрушающая нагрузка P , Н	Масштабный коэффициент для приведения прочности к базовому образцу α	Предел прочности бетона на сжатие R , МПа

Результаты испытаний образцов бетона на растяжение при изгибе R_{tb} , МПа, заносят в табл. 6.20.

Таблица 6.20

Результаты определения предела прочности бетона
на растяжение при изгибе

Класс прочности бетона, возраст бетона	Размеры образца, мм			Разрушающая нагрузка P , Н	Масштабный коэффициент для приведения прочности к базовому образцу β	Предел прочности бетона на растяжение при изгибе R_{tb} , МПа
	a	b	l			

6.2.6. Определение прочности на сжатие тяжелого бетона неразрушающими методами

Для более полного контроля прочности бетона в изделиях, конструкциях и сооружениях, как правило, недостаточно испытаний контрольных образцов. Образцы имеют другие размеры, форму, а также, если они не изъят непосредственно из тела конструкции, и другие условия изготовления и твердения. Таким образом, образцы позволяют оценить прочность бетона в реальном изделии лишь с некоторой степенью приближения.

В настоящее время широко используют неразрушающие методы контроля прочности, которые основаны на косвенных физических и механических характеристиках прочности бетона, имеющих связь с этим показателем статистической природы, и поэтому позволяют также с определенной степенью приближения, зависящей от природы и характера этой связи, определять прочность бетона непосредственно в конструкции или на любом отдельном участке конструкции (изделия) без ее разрушения. Неразрушающие методы применяют для определения прочности бетона на сжатие в установленном проектной документацией промежуточном и проектном возрасте и в возрасте, превышающем проектный, при обследовании конструкций.

Неразрушающие методы можно разделить на две группы: механические (поверхностные) и физические. *Неразрушающие механические методы* основаны на определении прочности бетона непосредственно в конструкции при локальном механическом воздействии на бетон. *Неразрушающие физические методы* (ультразвуковые, резонансные методы, метод свободных колебаний и т.д.) базируются на статистических зависимостях, связывающих прочность бетона с его физическими параметрами. При использовании неразрушающих методов прочность бетона определяют по предварительно установленным градуировочным зависимостям, связывающим косвенный показатель прочности бетона с величиной этой характеристики.

Неразрушающие механические методы определения прочности бетона основаны на связи прочности бетона с косвенными характеристиками прочности:

метод упругого отскока – на связи прочности бетона со значением отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника);

метод пластической деформации – на связи прочности бетона с размерами отпечатка на бетоне конструкции (диаметра, глубины и т.п.) или соотношения диаметра отпечатка на бетоне и стандартном металлическом образце при ударе индентора или вдавливании его в поверхность бетона;

метод ударного импульса – на связи прочности бетона с энергией удара и ее изменениями в момент соударения бойка с поверхностью бетона;

метод отрыва – на связи прочности бетона с величиной напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска и равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска;

метод отрыва со скалыванием – на связи прочности бетона со значением усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства;

метод скалывания ребра – на связи прочности бетона со значением усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции.

Из указанных методов два последних, в основе которых лежит локальное разрушение бетона на участке конструкции, являются *прямыми (стандартными)* неразрушающими методами определения прочности бетона, допускающими применение известных градуировочных зависимостей без привязки и корректировки. Все остальные неразрушающие методы, включая физические, требуют построения в каждом конкретном случае отдельной градуировочной зависимости либо (как минимум) привязки и корректировки паспортной градуировочной зависимости путем параллельных испытаний данным методом и обычным разрушением стандартных контрольных образцов бетона этой партии. В качестве эталонного метода испытания прочности бетона допускается использование прямого (стандартного) неразрушающего метода.

Без привязки к конкретным условиям градуировочные зависимости, установленные для бетона, отличающегося от испытываемого, допускается использовать только для получения ориентировочных значений прочности. Нельзя использовать ориентировочные значения прочности без привязки к конкретным условиям для оценки класса бетона по прочности.

Метод испытания следует выбирать с учетом данных, приведенных в табл. 6.21.

Предельные значения прочности бетона
при определении неразрушающими механическими методами

Наименование метода	Предельные значения прочности бетона, МПа
Упругий отскок и пластическая деформация	5–50
Ударный импульс	5–150
Отрыв	5–60
Скалывание ребра	10–70
Отрыв со скалыванием	5–100

Прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоения защитного слоя, трещин, каверн и т.п.). Возраст бетона контролируемых конструкций и их участков не должен отличаться от возраста бетона конструкций (участков, образцов), испытанных для установления градуировочной зависимости, более чем на 25 %. Исключениями являются контроль прочности и построение градуировочной зависимости для бетона, возраст которого превышает два месяца. В этом случае различие в возрасте отдельных конструкций (участков, образцов) не регламентируется.

Испытания проводят при положительной температуре бетона. Допускается проводить испытания и при отрицательной, но не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при установлении или привязке градуировочной зависимости с учетом требований). Температура бетона при испытаниях должна соответствовать температуре, предусмотренной условиями эксплуатации приборов. Градуировочные зависимости, установленные при температуре бетона ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, не допускается применять при положительных температурах.

В данной лабораторной работе используется *метод упругого отскока*, в котором косвенной характеристикой прочности является величина отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника). Этот метод осуществляется с помощью молотков Шмидта, часто называемых склерометрами (рис. 6.4).

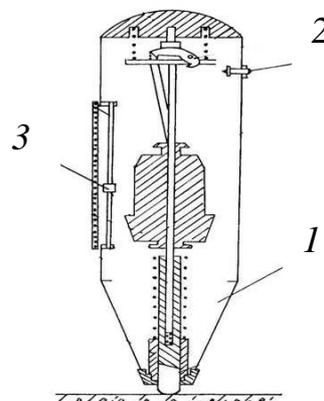


Рис. 6.4. Склерометр: 1 – индентор; 2 – стопор; 3 – бегунок со шкалой

Объектом для испытаний неразрушающим методом являются образцы-кубики из тяжелого бетона размерами 150 × 150 × 150 мм до начала испытаний разрушающим методом (п. 6.2.5). При этом образцы должны быть зажаты в прессе с усилием не менее 30 ± 5 кН и не более 10 % ожидаемого значения разрушающей нагрузки.

Испытания образца методом упругого отскока на склерометре проводят в следующей последовательности:

прибор располагают так, чтобы усилие прилагалось перпендикулярно испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

вычисляют среднее значение косвенной характеристики по девяти измерениям, выполненным на данном участке поверхности бетона.

Отклонение отдельных результатов измерений на каждом участке от среднего арифметического значения результатов измерений для данного участка не должно превышать 10 %. Результаты измерений, не удовлетворяющие указанному условию, не учитывают при вычислении среднего арифметического значения косвенного показателя для данного участка.

Затем определяют ориентировочное значение предела прочности образца бетона на сжатие по универсальной градуировочной зависимости, приведенной в паспорте на склерометр.

Результаты испытаний (в сравнении с результатами последующего разрушения образца на прессе) заносят в табл. 6.22.

Таблица 6.22

Результаты определения прочности бетона
неразрушающим методом

Класс прочности бетона, его возраст	Наименование неразрушающего метода, тип прибора	Среднее значение косвенной характеристики прочности на участке	Ориентировочное значение прочности бетона по градуировочной зависимости, МПа	Фактическое значение предела прочности образца на сжатие (из п. 6.2.5), МПа

Контрольные вопросы

1. Какими показателями характеризуют качество тяжелого бетона?
2. Что такое класс бетона по прочности на сжатие?
3. Как изготавливают и испытывают образцы для определения плотности бетона?
4. Как изготавливают и испытывают образцы для определения влажности бетона?
5. Как изготавливают и испытывают образцы для определения водопоглощения бетона?
6. Как рассчитывают полную, открытую капиллярную и условно-замкнутую пористость бетона?
7. Как изготавливают и испытывают образцы для определения прочности бетона на сжатие и растяжение при изгибе?
8. Как рассчитывают предел прочности бетона на сжатие?
9. Как рассчитывают предел прочности бетона на растяжение при изгибе?
10. В чем заключается принцип определения прочности бетона неразрушающими методами? Какие они бывают?
11. Назовите преимущества и недостатки неразрушающих методов определения прочности бетона.
12. Каким методом и как определяют прочность бетона на сжатие с помощью склерометра?

6.3. Решение задач по свойствам тяжелого бетона (практическая работа № 3)

Свойства бетонов определяются качеством составляющих их компонентов и их количественным соотношением. Таким образом, чрезвычайно важно иметь практические навыки в области оценки качества составляющих бетонов и уметь вести расчеты по проектированию их составов. Необходимо также рассчитывать требуемое количество материалов для производства заданного объема бетонных работ при известном составе бетона. В строительной практике весьма часты случаи, когда некоторые из ранее запроектированных компонентов бетона заменяются другими, отличающимися от первых по качеству. В таких случаях нужно уметь ввести в состав бетона необходимые коррективы с учетом свойств новых компонентов.

Ниже приводятся контрольные задачи и примеры их решения по разделам, относящимся к тяжелым бетонам.

Контрольные задачи

1. Для приготовления бетона с прочностью в 14-суточном возрасте, составляющей 16,8 МПа, применяется портландцемент класса В42,5, а

также заполнители высокого качества. Рассчитать В/Ц при изготовлении данного бетона.

2. Какой активности и какого класса по прочности на сжатие должен быть портландцемент для получения бетона с прочностью в 7-суточном возрасте 11,5 МПа на рядовых заполнителях при В/Ц = 0,62?

3. К какому классу по прочности на сжатие будет ориентировочно относиться бетон, изготовленный на портландцементе с активностью 43,5 МПа и рядовых заполнителях при В/Ц = 0,55?

4. Определить плотность затвердевшего бетона, полученного из бетонной смеси состава по массе 1 : 1,9 : 3,8 при В/Ц = 0,52, если плотность бетонной смеси 2 380 кг/м³, а химически связанной с цементом воды в бетоне содержится 16 % от массы цемента.

5. Сколько тонн щебня необходимо взять для изготовления бетонного фундамента, имеющего размеры 10,0 × 1,5 × 0,6 м, если насыпная плотность щебня равна 1,42 т/м³, истинная плотность – 2,80 г/см³, а коэффициент раздвижки зерен щебня – 1,25?

6. Определить плотность и коэффициент выхода бетонной смеси состава 1 : 2 : 4,5 (по массе) при В/Ц = 0,59, если на 1 м³ его расходуется 350 кг цемента, а насыпные плотности цемента, песка и щебня составляют соответственно 1,2; 1,58; 1,46 т/м³.

7. Определить расход материалов для получения 35 м³ бетона состава по массе 1 : 2 : 4,1 при В/Ц = 0,6, если плотность бетонной смеси составляет 2 310 кг/м³.

8. Определить пористость бетонов, полученных из смесей, В/Ц в которых было 0,5 и 0,75, и содержащих одинаковое количество воды затворения – 180 л на 1 м³ бетона. Химически связалось цементом воды в бетонах 15 % от массы цемента.

9. По известному составу бетона (расходы материалов на 1 м³ бетона: цемента – 330 кг; воды – 180 л; песка – 730 кг и щебня – 1 260 кг) определить расчетную плотность бетонной смеси; плотность затвердевшего бетона (если к этому времени прореагировало с цементом 20 % воды от массы цемента) и пористость бетона, образовавшуюся вследствие потери избыточной воды затворения.

10. На 1 м³ бетона расходуется 285 кг портландцемента с насыпной плотностью 1,20 т/м³; 610 кг сухого песка; 1 210 кг сухого щебня и 162 л воды. Составить дозировку материалов на один замес бетоносмесителя с емкостью по загрузке 425 л, если влажность песка составляет 3 %, щебня – 2 %, а их насыпные плотности в естественном состоянии соответственно равны 1,56 и 1,40 т/м³.

11. Номинальный состав тяжелого бетона по массе был 1 : 1,9 : 4,1 при В/Ц = 0,45. Плотность бетонной смеси оказалась равной 2 235 кг/м³. Определить расход материалов на 1 м³ бетона при влажности песка 4 %, а щебня – 1 %.

12. Сколько кубометров щебня будет израсходовано на бетонирование покрытия дороги площадью $2\,500\text{ м}^3$ и толщиной 15 см, если насыпная плотность щебня – $1,38\text{ т/м}^3$, истинная плотность – $2,70\text{ г/см}^3$, а коэффициент раздвижки зерен щебня – 1,15?

13. Бетонный фундамент из бетона марки по прочности М 200 имеет форму правильного параллелепипеда с размерами $4,0 \times 6,0 \times 2,0\text{ м}$. Сколько требуется портландцемента для изготовления этого фундамента, если активность цемента – 38,5 МПа, заполнители – среднего качества, а расход воды на 1 м^3 бетона равен 170 л?

14. Сколько портландцемента класса В52,5 необходимо израсходовать на 1 м^3 бетона класса по прочности В30 при рядовых заполнителях, если расход воды на 1 м^3 бетона составляет 185 л?

15. Какой активности и какого класса должен быть портландцемент для получения бетона класса по прочности В15 на заполнителях низкого качества при $В/Ц = 0,58$?

16. К какому классу по прочности на сжатие будет ориентировочно относиться бетон, приготовленный из портландцемента класса прочности 32,5 и заполнителей высокого качества при $В/Ц = 0,65$?

17. Для приготовления тяжелого бетона класса по прочности В15 используются портландцемент с активностью 42 МПа и заполнители среднего качества (рядовые). Рассчитать $В/Ц$ при изготовлении данного бетона.

18. При испытании трех бетонных кубиков с размером ребра 150 мм в 14-суточном возрасте на гидравлическом прессе с площадью поршня 572 см^2 показания манометра были соответственно равны 8,2; 8,4; 8,1 МПа. Какому классу по прочности соответствует бетон?

19. Определить минимально необходимую емкость бетоносмесителя и плотность бетонной смеси, если при одном замесе получается 2 т бетонной смеси состава 1 : 2 : 4 (по массе) при $В/Ц = 0,6$ и коэффициенте выхода, равном 0,7. Насыпные плотности материалов для бетона: песка – $1,6\text{ т/м}^3$, щебня – $1,5\text{ т/м}^3$, цемента – $1,3\text{ т/м}^3$.

20. Определить расход сухих материалов по массе и объему на 1 м^3 бетона, если номинальный состав его по массе 1 : 2,2 : 5,1 при $В/Ц = 0,65$. Насыпные плотности компонентов бетона: песка – $1\,600\text{ кг/м}^3$, щебня – $1\,450\text{ кг/м}^3$, цемента – $1\,300\text{ кг/м}^3$. Коэффициент выхода следует взять из справочных данных.

21. Плотность бетонной смеси номинального состава 1 : 1,9 : 4,1 (по массе) оказалась $2\,235\text{ кг/м}^3$. Водоцементное отношение было 0,45. Определить расход составляющих материалов на 1 м^3 бетона, если в момент приготовления бетонной смеси влажность песка была 7 %, а гравия – 4 %.

22. Цементный бетон с 7-дневным сроком твердения показал предел прочности при сжатии 20 МПа. Определить ориентировочную активность цемента, если $V/C = 0,4$.

23. Определить пористость цементного бетона состава 1 : 1,9 : 4,5 (по массе) при $V/C = 0,50$, если химически связанная вода составляет 15 % от массы цемента. Плотность бетона – 2 390 кг/м³ при влажности 2 %.

24. Определить коэффициент выхода и плотность цементного бетона, если для получения 555 м³ его израсходовано 62,5 т цемента, 275 м³ песка и 525 м³ гравия, имеющих насыпные плотности соответственно 1,2; 1,6; 1,5 т/м³. Водоцементное отношение было равно 0,4.

25. Номинальный состав цементного бетона по объему 1: 2,5 : 3,1 при $V/C = 0,45$. Определить количество составляющих материалов по массе и объему на 135 м³ бетона, если на 1 м³ его расходуется 390 кг цемента, а влажность песка и гравия в момент приготовления бетонной смеси была равна 5,6 и 3,0 % соответственно. Насыпная плотность цемента – 1,3 т/м³, песка – 1,6 т/м³, гравия – 1,5 т/м³.

Примеры решения задач

Пример 1. Расход цемента равен 300 кг на 1 м³ бетона, $V/C = 0,6$. Химически связанная цементной водой составляет 15 % от его массы. Определить пористость затвердевшего бетона.

Решение. Количество воды в 1 м³ бетонной смеси:

$$V = 300 \cdot 0,6 = 180 \text{ кг, или } 180 \text{ дм}^3.$$

Количество воды, химически связанной цементом:

$$V_1 = 300 \cdot 0,15 = 45 \text{ кг, или } 45 \text{ дм}^3.$$

Количество свободной воды, не вступившей в химические реакции с цементом:

$$V_2 = 180 - 45 = 135 \text{ дм}^3.$$

Следовательно, объем пор V_p , образованных избыточной водой затворения, в 1 м³ бетона будет равен 135 дм³.

Пористость затвердевшего бетона без учета гелевых пор в цементном камне и пор, образованных воздухом, который вовлекается в бетонную смесь при ее перемешивании:

$$P = \frac{135}{1000} \cdot 100 = 13,5 \text{ \%}.$$

Ответ: пористость затвердевшего бетона – 13,5 %.

Пример 2. Номинальный состав цементного бетона (по объему) 1 : 2,2 : 3,1 при $V/C = 0,45$. Сколько необходимо материалов для приготовления 150 м³ бетона при расходе на 1 м³ бетона 390 кг цемента? Влажность песка – 6 %, щебня – 2 %. Насыпные плотности компонентов бетона: цемента – 1,3 т/м³; песка – 1,6 т/м³; щебня – 1,5 т/м³.

Решение. Находим насыпной объем цемента, расходуемого на 1 м³ бетона:

$$\frac{0,390}{1,3} = 0,3 \text{ м}^3.$$

Насыпной объем сухого песка, расходуемого на 1 м³ бетона:

$$0,3 \cdot 2,2 = 0,66 \text{ м}^3.$$

Насыпной объем сухого щебня, расходуемого на 1 м³ бетона:

$$0,3 \cdot 3,1 = 0,93 \text{ м}^3.$$

Расход воды на 1 м³ бетона: $0,39 \cdot 0,45 = 0,176$ т, или $0,176 \text{ м}^3$.

Расход цемента на 150 м³ бетона: $150 \cdot 0,39 = 58,5$ т.

Расход песка влажностью 6 % на 150 м³ бетона:

$$150 \cdot 0,66 \cdot 1,6 \cdot \left(1 + \frac{6}{100}\right) = 167,9 \text{ т.}$$

Воды в песке содержится: $167,9 - 150 \cdot 0,66 \cdot 1,6 = 9,5$ т, или $9,5 \text{ м}^3$.

Расход щебня с влажностью 2 % на 150 м³ бетона:

$$150 \cdot 0,93 \cdot 1,5 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 213,4 \text{ т.}$$

Воды в щебне содержится: $213,4 - 150 \cdot 0,93 \cdot 1,5 = 4,2$ т.

Всего вносится воды вместе с заполнителями:

$$9,5 + 4,2 = 13,7 \text{ т, или } 13,7 \text{ м}^3.$$

Расход воды на 150 м³ бетона: $150 \cdot 0,176 - 13,7 = 12,7 \text{ м}^3$.

Ответ: Расходы материалов на 150 м³ бетона:

Цемент, т	Песок влажностью 6 %, т	Щебень влажностью 2 %, т	Вода, м ³
58,5	167,9	213,4	12,7

Пример 3. При испытании в возрасте 8 суток средний предел прочности тяжелого цементного бетона в кубиках размером $100 \times 100 \times 100$ мм оказался равным 8,4 МПа. К какому классу по прочности относится испытанный бетон?

Решение. Находим ориентировочную прочность бетона по результатам испытаний данных образцов в пересчете на 28-суточный (нормативный) возраст по формуле

$$R_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg 8} = 8,4 \cdot \frac{1,447}{0,904} = 13,4 \text{ МПа.}$$

Для перехода к образцам базового размера $150 \times 150 \times 150$ мм полученное значение прочности бетона умножаем на коэффициент 0,95, т.е. нормативная прочность класса бетона

$$R_m = 13,4 \cdot 0,95 = 12,7 \text{ МПа.}$$

Фактический класс бетона по прочности B_{ϕ} рассчитывают по формуле

$$B_{\phi} = 0,8R_m = 0,8 \cdot 12,7 = 10,2 \text{ МПа.}$$

Ответ: бетон относится к классу по прочности на сжатие В10.

7. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Строительными растворами называют искусственный камневидный материал, представляющий собой затвердевшую растворную смесь, т.е. рационально подобранную смесь вяжущего вещества, воды, мелкого заполнителя и необходимых добавок. Строительные растворы классифицируют по основному назначению, применяемому вяжущему и средней плотности.

По *основному назначению* растворы разделяют на кладочные; монтажные (в том числе для устройства стяжек); облицовочные; штукатурные. *Кладочные* растворы – это растворы и смеси, предназначенные для возведения каменной кладки из штучных кладочных изделий. *Монтажные* растворы – это растворы и смеси, предназначенные для выполнения монтажных работ при установке строительных конструкций и изделий, омоноличивания стыков между ними, крепления анкеров и использования при прочих работах. *Облицовочные* растворы – это растворы и смеси, необходимые для отделки поверхности конструкций зданий и сооружений штучными отделочными изделиями. *Штукатурные* растворы – это растворы, предназначенные для выравнивания стен и потолков, защиты конструкций от внешних воздействий и придания декоративных свойств.

По *плотности* растворы разделяют на *тяжелые* (плотностью от 1 500 кг/м³ и более (до 2 100 кг/м³)) и *легкие* (плотностью менее 1 500 кг/м³).

По *применяемым вяжущим* растворы разделяют на *простые* (на вяжущем одного вида: цементные, известковые, гипсовые) и *сложные* (на смешанных вяжущих – цементно-известковом, известково-гипсовом и др.).

Для строительных растворов различают свойства растворных смесей и свойства затвердевшего раствора. К основным свойствам растворных смесей относят:

- подвижность,
- водоудерживающую способность,
- расслаиваемость,
- температуру применения,
- среднюю плотность.

К основным свойствам затвердевшего раствора относят:

- прочность на сжатие;
- морозостойкость;

среднюю плотность;
 паропроницаемость (для штукатурных и облицовочных растворов);
 прочность сцепления с основанием (адгезию) штукатурных и облицовочных растворов;

морозостойкость контактной зоны штукатурных и облицовочных растворов (кроме смесей для внутренних работ).

При необходимости могут быть установлены дополнительные показатели качества и характеристики строительных растворов.

В зависимости от подвижности растворные смеси классифицируют в соответствии с табл. 7.1.

Таблица 7.1

Марки по подвижности растворных смесей

Марка по подвижности P_k	Норма подвижности по погружению конуса, см
P_{k1}	От 1 до 4 включительно
P_{k2}	От 4 до 8 включительно
P_{k3}	От 8 до 12 включительно
P_{k4}	От 12 до 14 включительно

Рекомендуемая подвижность кладочных растворных смесей приведена в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Подвижность кладочных смесей в зависимости от их применения

Основное назначение раствора	Глубина погружения конуса в растворную смесь, см
Кладочные:	
а) для бутовой кладки:	
вибрированной	1–3
невибрированной	4–6
б) для кладки из пустотелого кирпича или керамических камней	6–8
в) для кладки из полнотелого кирпича; керамических камней; бетонных камней или камней из легких пород	8–12
г) для заливки пустот в кладке и подачи раствора насосом	12–14
д) для устройства постели при монтаже стен из крупных бетонных блоков и панелей; расшивок горизонтальных и вертикальных швов в стенах из панелей и крупных бетонных блоков	5–7

Нормируемые показатели качества затвердевшего раствора должны быть обеспечены в проектном возрасте. За проектный возраст раствора, если иное не установлено в проектной документации, следует принимать

28 сут для растворов на всех видах гидравлических вяжущих. Проектный возраст растворов без гидравлических вяжущих следует принимать 7 сут.

Прочность растворов при сжатии (в десятых долях мегапаскаля) в проектном возрасте характеризуют марками М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200.

Морозостойкость растворов характеризуют марками. Для растворов установлены следующие марки по морозостойкости: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200. Для растворов марок по прочности на сжатие М4 и М10, а также для растворов, приготовленных без применения гидравлических вяжущих, марки по морозостойкости не назначают и не контролируют.

Вяжущие материалы для приготовления растворов следует выбирать в зависимости от назначения раствора, вида конструкций и условий их эксплуатации. Расход цемента на 1 м³ песка в растворах на цементном и цементосодержащих вяжущих должен быть не менее 100 кг, а для кладочных растворов в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации – не менее приведенного в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Минимальный расход цемента в кладочном растворе

Условия эксплуатации ограждающих конструкций, влажностный режим помещения	Минимальный расход цемента в кладочном растворе на 1 м ³ сухого песка, кг
При сухом и нормальном режимах помещения	100
При влажном режиме помещения	125
При мокром режиме помещения	175

Известковое вяжущее применяют в виде гидратной извести (пушонки), известкового теста, известкового молока. Известковое молоко должно иметь плотность не менее 1 200 кг/м³ и содержать извести не менее 30 % по массе. Известковое вяжущее для штукатурных и облицовочных растворов не должно содержать непогасившиеся частицы извести. Известковое тесто должно иметь температуру не ниже 5 °С.

В качестве заполнителя используют песок для строительных работ, золы-уноса, золошлаковый песок, пористые пески, песок из шлаков тепловых электростанций, песок из шлаков черной и цветной металлургии.

Наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть не более: в кладочных растворах (кроме бутовой кладки) – 2,5 мм; бутовой кладке – 5 мм; штукатурных растворах (кроме накрывочного слоя) – 2,5 мм; штукатурных растворах накрывочного слоя – 1,25 мм; облицовочных – 1,25 мм. Наличие зерен песка размером более 2,5 мм для штукатурных растворов и размером более 1,25 мм для облицовочных и штукатурных накрывочных растворов не допускается.

Условное обозначение строительного раствора должно включать назначение, вид применяемого вяжущего, марки по прочности и подвижности, среднюю плотность (для легких растворов) и обозначения настоящего стандарта.

Пример условного обозначения тяжелого раствора, кладочного, на известково-гипсовом вяжущем, марки по прочности М100, по подвижности – П_к2:

Раствор кладочный, известково-гипсовый, М100, П_к2, ГОСТ Р 58766-2019.

7.1. Подбор состава сложного строительного раствора и определение свойств растворной смеси и раствора (лабораторная работа № 12)

7.1.1. Расчет предварительного состава

Подбор состава строительного кладочного раствора включает расчет предварительного состава и его уточнение на пробном замесе.

Расчет состава строительного раствора производится на один кубический метр песка в рыхло-насыпном состоянии.

Определяют расход песка Π (кг) по формуле

$$\Pi = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{нп}},$$

где $V_{\text{п}}$ – объем песка, 1 м^3 ; $\rho_{\text{нп}}$ – насыпная плотность песка, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расход цемента Ц ($\text{кг}/\text{м}^3$) песка определяется по формуле

$$\text{Ц} = R_{\text{р}} \cdot 1000 / (K \cdot R_{\text{ц}}),$$

где $R_{\text{р}}$ – прочность (марка) раствора, МПа; $R_{\text{ц}}$ – активность цемента, МПа; K – коэффициент (при использовании портландцемента $K = 1$, при использовании пуццоланового портландцемента или шлакопортландцемента $K = 0,88$).

Расход цемента по объему $V_{\text{ц}}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$) песка подсчитывают по формуле

$$V_{\text{ц}} = \text{Ц} / \rho_{\text{нц}},$$

где $\rho_{\text{нц}}$ – насыпная плотность цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расход пластифицирующей добавки (известкового теста) по объему $V_{\text{д}}$ (м^3) определяется по формуле

$$V_{\text{д}} = 0,17 (1 - 0,002\text{Ц}),$$

где Ц – расход цемента, кг.

Пересчитывают расход пластифицирующей добавки D по массе в килограммах на 1 м^3 песка по формуле

$$D = V_d \cdot \rho_d,$$

где ρ_d – плотность добавки (для известкового теста $\rho_d = 1\,400 \text{ кг/м}^3$).

Ориентировочный расход воды B , дм^3 , на 1 м^3 песка для получения растворной смеси заданной подвижности определяют по формуле

$$B = 0,5 (Ц + D),$$

где $Ц$ – расход цемента, кг; D – расход добавки, кг.

В последующем расход воды уточняется опытным путем на пробных замесах по величине подвижности растворной смеси.

Путем деления расхода каждого компонента растворной смеси на расход цемента состав сложного раствора представляется в частях по объему:

$$\frac{V_{Ц}}{V_{Ц}} : \frac{V_{Д}}{V_{Ц}} : \frac{1}{V_{Ц}}.$$

7.1.2. Приготовление пробного замеса и определение подвижности растворной смеси

После выполнения расчета готовится пробный замес на 3 дм^3 песка из соответствующего количества цемента, добавки и воды. Компоненты растворной смеси тщательно перемешивают в лабораторной сферической чаше сначала в сухом состоянии, а затем вместе с расчетным количеством воды в течение 5–7 мин. Добавку в виде теста лучше вводить вместе с водой затворения. После приготовления растворной смеси проверяют ее подвижность и при необходимости производят корректировку состава.

Подвижность растворной смеси характеризуется глубиной погружения в нее эталонного конуса (рис. 7.1). Эталонный конус прибора изготавливают из листовой стали или из пластмассы со стальным наконечником. Угол при вершине – $30^\circ \pm 30'$. Масса эталонного конуса со штангой – $300 \pm 2 \text{ г}$.

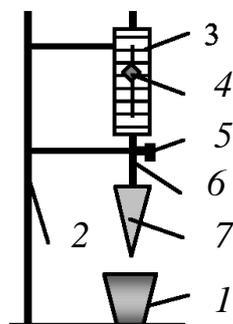


Рис. 7.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:

1 – емкость со смесью; 2 – штатив; 3 – шкала; 4 – указатель;
5 – стопорный винт; 6 – штанга; 7 – конус

Все соприкасающиеся с растворной смесью поверхности конуса и сосуда перед испытанием следует очистить от загрязнений и протереть влажной тканью. Величину погружения конуса определяют в сантиметрах в следующей последовательности.

Прибор (см. рис. 7.1) устанавливают на горизонтальной поверхности и проверяют свободу скольжения штанги в направляющих. Сосуд наполняют растворной смесью на 1 см ниже его краев и уплотняют ее путем штыкования стальным стержнем 25 раз и пяти-, шестикратным легким постукиванием о стол, после чего сосуд ставят на площадку прибора.

Острые конуса приводят в соприкосновение с поверхностью раствора в сосуде, закрепляют штангу конуса стопорным винтом и делают первый отсчет по шкале. Затем отпускают стопорный винт. Конус должен погружаться в растворную смесь свободно. Второй отсчет снимают по шкале через 1 мин после начала погружения конуса.

Глубину погружения конуса, измеряемую с точностью до 1 мм, определяют как разность между первым и вторым отсчетами.

Глубину погружения конуса в сантиметрах оценивают по результатам двух испытаний на разных пробах растворной смеси одного замеса как среднеарифметическое значение из них и округляют до целого значения. Разница в показателях частных испытаний не должна превышать 20 мм. Если разница превысит эту величину, испытания следует повторить на новой пробе растворной смеси.

Результаты испытаний заносят в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Результаты определения подвижности растворной смеси

Вид и марка раствора	Результаты частных испытаний, см	Среднеарифметическое значение, см

В тех случаях, когда погружение конуса отличается от заданного, состав раствора корректируют, добавляя либо песок, либо воду до тех пор, пока подвижность растворной смеси не будет равна заданной. Если погружение конуса оказалось большим, чем заданное, добавляют песок в количестве 5–10 % его расхода на опытный замес. Если погружение конуса оказалось меньше заданного, добавляют воду в количестве 5–10 % ее расхода на опытный замес. После этого смесь перемешивают 5 мин и вновь определяют ее подвижность. Пробный замес корректируют до тех пор, пока подвижность растворной смеси не будет соответствовать заданной.

7.1.3. Определение средней плотности растворной смеси

Плотность растворной смеси характеризуется отношением массы уплотненной растворной смеси к ее объему в килограммах на кубический метр. Для проведения испытаний применяют стальной цилиндрический сосуд емкостью не менее 1 000 см³.

Перед испытанием сосуд предварительно взвешивают с точностью до 2 г. Затем наполняют растворной смесью с избытком. Растворную смесь уплотняют путем штыкования стальным стержнем 25 раз и пяти-, шестикратным легким постукиванием о стол. После уплотнения избыток растворной смеси срезают стальной линейкой. Поверхность тщательно выравнивают вровень с краями сосуда. Стенки мерного сосуда очищают влажной ветошью от попавшего на них раствора. Затем сосуд с растворной смесью взвешивают с точностью до 2 г.

Плотность растворной смеси ρ (г/см³) вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m - m_1}{V},$$

где ρ – средняя плотность растворной смеси, г/см³; m – масса мерного сосуда с растворной смесью, г; m_1 – масса мерного сосуда без смеси, г; V – объем мерного сосуда, см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Результаты определения средней плотности растворной смеси

Масса мерного цилиндра, г	Масса мерного цилиндра со смесью, г	Результаты частных определений средней плотности, г/см ³	Средняя плотность смеси, г/см ³

7.1.4. Определение прочности раствора на сжатие

Прочность раствора на сжатие определяют на образцах-кубах размерами 70,7 × 70,7 × 70,7 или 70,0 × 70,0 × 70,0 мм. Допускается определять прочность раствора на половинках балочек (призм) размером 40,0 × 40,0 × 160,0 мм, полученных после испытаний на изгиб. Для каждого срока испытания изготавливают серию не менее чем из трех образцов.

Подготовка к испытанию. Образцы из растворной смеси подвижностью до 5 см должны изготавливаться в формах разъемных стальных с поддоном. Форму заполняют раствором в два слоя. Уплотнение слоев раствора в каждом отделении формы осуществляют 12 нажимами шпателя: шесть нажимов вдоль одной стороны и шесть нажимов в перпендикулярном направлении.

Образцы из растворной смеси подвижностью 5 см и более изготавливают в формах без поддона. Форму устанавливают на кирпич, покрытый газетной бумагой, смоченной водой, или другой непроклеенной бумагой (рис. 7.2). Размер бумаги должен быть таким, чтобы она закрывала боковые грани кирпича. Кирпичи перед использованием должны быть вручную притерты один о другой для устранения резких неровностей. Применяют глиняный обыкновенный кирпич влажностью не более 2 % и водопоглощением 10–15 % по массе. Кирпичи со следами цемента на гранях повторному использованию не подлежат.

Форму заполняют растворной смесью за один прием с некоторым избытком и уплотняют ее путем штыкования стальным стержнем 25 раз по concentрической окружности от центра к краям в каждом отделении формы. Избыток раствора в формах срезают вровень с краями формы стальной линейкой, смоченной водой, и разравнивают поверхность.

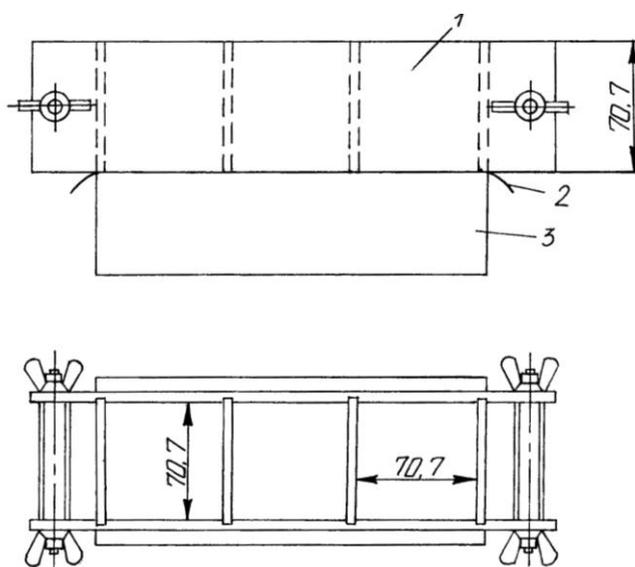


Рис. 7.2. Форма для изготовления образцов-кубов из растворной смеси подвижностью 5 см и более:
1 – металлическая форма; 2 – бумага; 3 – кирпич

В условиях зимней кладки на каждый срок испытания и каждый контролируемый участок конструкции изготавливают по шесть образцов, три из которых испытывают в сроки, необходимые для поэтапного контроля прочности раствора после 3 ч их оттаивания при температуре 20 ± 2 °С. Оставшиеся образцы испытывают после их оттаивания и последующего 28-суточного твердения при температуре 20 ± 2 °С. Время оттаивания должно соответствовать приведенному в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Режимы подготовки образцов раствора
к испытаниям в условиях зимней кладки

Температура замораживания, °С	Продолжительность оттаивания, ч
До минус 20	3
До минус 30	4
До минус 40	5
До минус 50	6

Формы, заполненные растворной смесью на гидравлических вяжущих, выдерживают до распалубки в камере нормального хранения при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 95–100 %, а формы, заполненные растворной смесью на воздушных вяжущих, – в помещении при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности 65 ± 15 %.

Образцы освобождают из форм через 24 ± 2 ч после укладки растворной смеси. Образцы, изготовленные из растворных смесей, приготовленных на шлакопортландцементе, пуццолановых портландцементе с добавками, замедлителями схватывания, а также образцы зимней кладки, хранившиеся на открытом воздухе, освобождают из форм не менее чем через 2 сут.

После освобождения из форм образцы должны храниться при температуре 20 ± 2 °С. При этом следует соблюдать следующие условия: образцы из растворов, приготовленных на гидравлических вяжущих в течение первых 3 сут, должны храниться в камере нормального хранения при относительной влажности воздуха 95–100 %, а оставшееся до испытания время – в помещении при относительной влажности воздуха 65 ± 15 % (для образцов, твердеющих на воздухе) или в воде (твердеющих во влажной среде); образцы из растворов, приготовленных на воздушных вяжущих, должны храниться в помещении при относительной влажности воздуха 65 ± 15 %.

При отсутствии камеры нормального хранения допускается хранение образцов, приготовленных на гидравлических вяжущих, во влажном песке или опилках. При хранении в помещении образцы должны быть защищены от сквозняков, обогривания приборами отопления и т.п. Образцы, хранившиеся в воде, должны быть извлечены из нее не ранее чем за 10 мин до испытания и вытерты влажной тканью. Образцы, хранившиеся в помещении, должны быть очищены волосяной щеткой.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливают наличие у них дефектов в виде околос ребер, раковин, каверн, расслоений, недоуплотнений и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, околы ребер глубиной более 3 мм, раковины диаметром 3 мм и глубиной более 2 мм (кроме растворов крупнопористой структуры), а также следы расслоения и недоуплотнения растворной

смеси, испытанию не подлежат. Наплывы раствора на ребрах опорных граней образца должны быть удалены. Образцы взвешивают с точностью до 0,1 % и измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

Проведение испытания и обработка результатов. Перед установкой образца на пресс с его опорных плит, контактирующих с гранями образца, удаляют частицы раствора, оставшиеся от предыдущего испытания.

Образец устанавливают на нижнюю плиту прессы центрально относительно его оси так, чтобы основанием служили грани, соприкасавшиеся со стенками формы при его изготовлении. Шкалу силоизмерителя испытательной машины или прессы выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале 20–80 % от максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью $0,6 \pm 0,4$ МПа/с до его разрушения. Достигнутое в процессе испытания образца максимальное усилие принимают за величину разрушающей нагрузки.

Разрушенный образец подвергают визуальному осмотру и выявляют дефекты структуры раствора:

наличие крупных раковин и каверн внутри образца;

наличие следов расслоения, зерен заполнителя размером больше максимального значения для данного вида раствора, комков и т.п.

Результаты испытаний образцов, имеющих дефекты структуры раствора, при определении средней прочности раствора в серии испытаний не учитывают, а в журнале испытаний отмечают наличие дефектов и причины отбраковки результатов испытаний.

Предел прочности раствора на сжатие R (МПа) вычисляют для каждого образца с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R = \frac{P}{A},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; A – рабочая площадь сечения образца, мм².

Рабочую площадь сечения образцов определяют по результатам измерения как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных опорных граней.

Предел прочности раствора на сжатие вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний серии образцов.

Результаты испытаний заносят в табл. 7.7.

Таблица 7.7

Результаты определения прочности раствора на сжатие

Вид и марка раствора по прочности	Размеры образца, мм	Рабочая площадь сечения образца A , мм ²	Разрушающая нагрузка P , Н	Предел прочности раствора на сжатие R , МПа

7.1.5. Определение средней плотности раствора

Среднюю плотность раствора определяют испытанием образцов-кубов с ребром 70,7 или 70,0 мм, изготовленных из растворной смеси рабочего состава. Образцы создают и испытывают сериями. Серия должна состоять из трех образцов.

Среднюю плотность раствора определяют испытанием образцов в состоянии естественной влажности или в нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом, нормальном, водонасыщенном.

При определении средней плотности раствора в состоянии естественной влажности образцы испытывают непосредственно после их отбора или хранят в паронепроницаемой упаковке или герметичной таре, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в два раза. При определении средней плотности раствора в сухом состоянии образцы предварительно высушивают до постоянной массы.

Среднюю плотность раствора при нормируемом влажностном состоянии определяют испытанием образцов раствора, имеющих нормируемую или произвольную влажность с последующим пересчетом полученных результатов на нормированную влажность.

При определении средней плотности раствора в воздушно-сухом состоянии образцы перед испытанием выдерживают не менее 28 сут в помещении при температуре 25 ± 10 °С и относительной влажности воздуха 50 ± 20 %. При определении средней плотности раствора в нормальных влажностных условиях образцы хранят 28 сут в камере нормального твердения, эксикаторе или другой герметичной емкости при относительной влажности воздуха не менее 95 % и температуре 20 ± 2 °С.

Объем образцов вычисляют по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Массу образцов устанавливают взвешиванием с точностью до 0,1 %.

Среднюю плотность образца раствора ρ_m (кг/м³) вычисляют с погрешностью до 1 кг/м³ по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V} 1000,$$

где m – масса образца, г; V – объем образца, см³.

Среднюю плотность раствора определяют как среднеарифметическое значение результатов испытаний всех образцов серии.

Результаты испытаний заносят в табл. 7.8.

Таблица 7.8

Результаты определения средней плотности раствора

Вид и марка раствора по прочности	Влажностное состояние образца в момент испытания	Масса образца m , г	Объем образца V , см^3	Средняя плотность образца ρ_m , кг/м^3

7.1.6. Определение влажности раствора

Влажность раствора определяют испытанием образцов или проб, полученных дроблением образцов после их испытания на прочность. Наибольшая крупность раздробленных кусков раствора должна быть не более 5 мм.

Образцы проб дробят и взвешивают сразу же после отбора и хранят их в паронепроницаемой упаковке или герметичной таре, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в два раза.

Подготовленные образцы или пробы взвешивают и высушивают до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С. Гипсовые растворы высушивают при температуре 50 ± 5 °С. Постоянной считают массу, при которой результаты двух последовательных взвешиваний различаются не более чем на 0,1 %. При этом время между взвешиваниями должно составлять не менее 4 ч. Перед повторным взвешиванием образцы охлаждают в эксикаторе с безводным хлористым кальцием или в сушильном шкафу до комнатной температуры.

Взвешивание осуществляют с точностью до 0,1 г.

Влажность раствора по массе W_M (%) определяют по формуле

$$W_M = \frac{m_B - m_C}{m_C} 100,$$

где m_B – масса образца раствора до сушки, г; m_C – масса образца раствора после сушки, г.

Влажность раствора по результатам испытаний серии образцов определяют как среднее арифметическое результатов определения влажности отдельных образцов раствора.

Результаты испытаний заносят в табл. 7.9.

Таблица 7.9

Результаты определения влажности раствора

Масса образца раствора во влажном состоянии m_v , г	Масса образца раствора в сухом состоянии m_c , г	Влажность образца раствора W_M , %

7.1.7. Определение водопоглощения раствора

Водопоглощение раствора определяют испытанием образцов-кубов с ребром 70,7 или 70,0 мм, изготовленных из растворной смеси рабочего состава. Образцы изготавливают и испытывают сериями. Серия должна состоять из трех образцов. Поверхность образцов очищают от пыли, грязи и следов смазки с помощью проволочной щетки или абразивного камня.

Образцы испытывают в состоянии естественной влажности или в состоянии высушенных до постоянной массы.

Образцы взвешивают с точностью до 0,1 %, а затем помещают в емкость, наполненную водой с таким расчетом, чтобы уровень воды был выше верхнего уровня уложенных образцов на 50 мм.

Образцы укладывают на прокладки так, чтобы высота образца была минимальной. Температура воды в емкости – 20 ± 2 °С.

Образцы взвешивают через каждые 24 ч насыщения водой с точностью до 0,1 %. При взвешивании образцы, извлеченные из воды, предварительно вытирают отжатой влажной тканью. Испытание проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут различаться не более чем на 0,1 %.

Образцы, испытываемые в состоянии естественной влажности, после окончания процесса насыщения высушивают до постоянной массы.

Водопоглощение раствора отдельного образца V_M (% масс.) вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$V_M = \frac{m_n - m_c}{m_c} 100,$$

где m_n – масса водонасыщенного образца раствора, г; m_c – масса высушенного образца, г.

Водопоглощение отдельного образца раствора по объему V_o (%) вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$V_o = \frac{V_M \cdot \rho_o}{\rho_v} 100,$$

где ρ_o – средняя плотность сухого образца раствора, г/см³; ρ_v – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Водопоглощение раствора по результатам испытаний серии образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии.

Результаты испытаний заносят в табл. 7.10.

Таблица 7.10

Результаты определения водопоглощения раствора

Масса водонасыщенного образца раствора m_n , г	Масса сухого образца m_c , г	Водопоглощение образца раствора, %	
		по массе V_m	по объему V_o

Контрольные вопросы

1. Какие бывают растворы по назначению?
2. Как зависит марка растворной смеси по подвижности от назначения смеси?
3. Какие бывают марки раствора по прочности и морозостойкости?
4. Как определяется ориентировочный состав растворной смеси?
5. Как определяется подвижность растворной смеси?
6. Как определяются прочность раствора на сжатие?

8. СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

К стеновым материалам и изделиям относятся строительные изделия и конструкции, применяемые для возведения наружных и внутренних стен, в том числе перегородок. Удельный вес стен в структуре здания по себестоимости составляет 16–30 %, трудоемкость – 18–25 %.

Основными представителями стеновых изделий являются кирпич и камни керамические и силикатные; пено- и газобетонные блоки; пустотелые камни и блоки из тяжелых и легких бетонов на пористых заполнителях, в том числе с термовкладышами; трехслойные и многослойные панели с защитным декоративным экраном (вентилируемые фасады), изготавливаемые из тяжелого или легкого бетона с внутренним теплоизоляционным слоем, в том числе сэндвич-панели; гипсобетонные перегородки и камни, арболитовые изделия, стеновые изделия на основе местных и вторичных техногенных ресурсов (шлако-, грунтоблоки) и т.д.

Использование малоразмерных изделий (стеновых материалов) позволяет расширить архитектурные возможности при возведении строительных объектов, чего не позволяет в ряде случаев сделать применение крупноразмерных изделий – блоков и панелей. Наметившаяся в последние годы тенденция расширения малоэтажного индивидуального

строительства также требует увеличения потребления и производства стеновых материалов.

Следует отметить развитие жилищного и общественного монолитного домостроения, для которого характерно возведение жесткого железобетонного каркаса, а также использование стеновых материалов для изготовления наружных и внутренних самонесущих стен.

8.1. Определение свойств керамического кирпича (лабораторная работа № 13)

В группу **стеновых керамических изделий** входят кирпич – керамическое мелкоштучное изделие, имеющее вид прямоугольного параллелепипеда толщиной до 88 мм, и камни – крупноформатные пустотелые керамические изделия номинальной толщиной 140 мм и более. Номинальные размеры кирпича приведены в табл. 8.1 (кирпич одинарный характеризуется номинальными размерами 250 × 120 × 65 мм).

Керамический кирпич и камни разделяют на рядовые и лицевые, которые укладывают в стену здания в перевязку с рядовыми (эти изделия выполняют также функции облицовочного материала). Кроме того, выделяют клинкерный кирпич, имеющий высокую прочность и низкое водопоглощение (что обеспечивает эксплуатационные характеристики кладки в сильно агрессивной среде) и выполняющий функции декоративного материала.

Таблица 8.1

Номинальные размеры кирпича

Вид кирпича (обозначение)	Номинальные размеры, мм			Обозначение размера кирпича
	Длина	Ширина	Толщина	
Кирпич (КР)	250	120	65	1 НФ
	250	85	65	0,7 НФ
	250	120	88	1,4 НФ
	250	60	65	0,5 НФ
	288	138	65	1,3 НФ
	288	138	88	1,8 НФ
	250	120	55	0,8 НФ
Кирпич с горизонтальными пустотами (КРГ)	250	120	88	1,4 НФ
	250	200	70	1,8 НФ

Камень может изготавливаться с плоскими вертикальными гранями, с выступами для пазогребневого соединения на вертикальных гранях, с нешлифованной или шлифованной опорной поверхностью (постелью). Камень с пазогребневым и пазовым соединениями может быть только рядовым.

Кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым, камень – только пустотелым. Пустоты в изделиях могут располагаться перпендикулярно (вертикальные) или параллельно постели (горизонтальные).

Предельные отклонения от номинальных размеров керамического кирпича и камней не должны превышать на одном изделии значений, указанных в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Предельные отклонения от номинальных размеров изделий

Номинальный размер	Вид изделия	Предельное отклонение
Длина	Кирпич и камень без пазогребневого соединения	±4
	Камень с пазогребневым соединением	±10
Ширина	Кирпич и камень шириной не более 120 мм	±3
	Камень шириной более 120 мм	±5
Толщина	Кирпич лицевой	±2
	Кирпич рядовой	±3
	Камень	±4

Отклонение от перпендикулярности смежных граней изделий не допускается более 3 мм для кирпича и камня длиной до 300 мм; более 1,4 % длины любой грани для камня длиной или шириной свыше 300 мм. Отклонение от плоскостности граней изделий не допускается более 3 мм для кирпича и камня; более 1 мм для шлифованного камня.

Толщина наружных стенок пустотелого кирпича должна быть не менее 12 мм, камня – не менее 8 мм. Диаметр вертикальных цилиндрических пустот и размер стороны квадратных пустот должен быть не более 20 мм, ширина щелевидных пустот – не более 16 мм. Размер пустот изделий с пустотностью не более 13 % не регламентируют.

Лицевые изделия должны иметь не менее двух лицевых граней – ложковую и тычковую. Рядовые изделия изготавливают с гладкими или рельефными вертикальными гранями. На лицевых изделиях допускаются единичные вспучивающиеся (например, известковые) включения глубиной не более 3 мм, общей площадью не более 0,2 % площади лицевых граней. На рядовых изделиях допускаются вспучивающиеся включения общей площадью не более 1,0 % площади вертикальных граней изделия.

На изделиях не допускаются дефекты внешнего вида, размеры и число которых превышают указанные в табл. 8.3 (допускаются черная сердцевина и контактные пятна на поверхности).

Таблица 8.3

Предельное количество дефектов внешнего вида изделий

Вид дефекта	Число дефектов для изделий	
	Лицевые (лицевые грани)	Рядовые
Отбитости углов глубиной, отбитости ребер и граней длиной более 15 мм, шт.	Не допуск.	4
Отбитости углов глубиной 3–15 мм, отбитости ребер и граней длиной не более 15 мм, шт.	2	Не регламент.
Отдельные трещины шириной раскрытия не более 0,5 мм, суммарной длиной, мм, не более:		
для кирпича	40	Не регламент.
для камня	80	Не регламент.
Трещины шириной раскрытия более 0,5 мм, шт.	Не допуск.	4

По показателю средней плотности изделия разделяют на классы 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0; 2,4 (табл. 8.4).

Таблица 8.4

Классы средней плотности кирпича и камней

Класс средней плотности	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	2,0	2,4
Средняя плотность, кг/м ³	до 700	710–800	810–1 000	1 010– 1 200	1 210– 1 400	1 410– 2 000	2 010– 2 400

По теплотехническим характеристикам в зависимости от класса средней плотности изделия разделяют на группы согласно табл. 8.5.

Таблица 8.5

Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Класс средней плотности изделия	Группа изделий по теплотехническим характеристикам
0,7; 0,8	Высокой эффективности
1,0	Повышенной эффективности
1,2	Эффективные
1,4	Условно-эффективные
2,0; 2,4	Малоэффективные (обыкновенные)

По прочности кирпич разделяют на марки М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; клинкерный кирпич – М300, М400, М500, М600, М800, М1000; камни – М25, М35, М50, М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; кирпич и камень с горизонтальными пустотами – М25, М35, М50, М75, М100.

Марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности при сжатии и при изгибе, кирпича с горизонтальным

расположением пустот и камня – по значению предела прочности при сжатии. Значения пределов прочности при сжатии и изгибе кирпича и камней должны быть не меньше значений, указанных в табл. 8.6.

Таблица 8.6

Пределы прочности изделий при сжатии и изгибе

Марка изделий	Предел прочности при сжатии изделий, МПа		Предел прочности при изгибе, МПа					
			полнотелого кирпича		пустотелого кирпича формата менее 1,4НФ		пустотелого кирпича формата 1,4НФ	
	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца
M300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
M250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
M200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
M175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
M150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9
M125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8
M100	10,0(10,0)	7,5 (7,5)	2,2 (-)	1,1 (-)	1,6 (-)	0,8 (-)	1,4 (-)	0,7 (-)
M75	7,5 (7,5)	5,0 (5,0)	–	–	–	–	–	–
M50	5,0 (5,0)	3,5 (3,5)	–	–	–	–	–	–
M35	3,5 (3,5)	2,5 (2,5)	–	–	–	–	–	–
M25	2,5 (2,5)	1,5 (1,5)	–	–	–	–	–	–

Примечание. В скобках приведены значения для изделий с горизонтальным расположением пустот.

По морозостойкости изделия разделяют на марки F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300. Марка по морозостойкости клинкерного кирпича должна быть не ниже F75, лицевых изделий – не ниже F50.

Водопоглощение клинкерного кирпича должно быть не более 6,0 %, для кирпича и камней – не менее 6,0 %. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в изделиях должна быть не более 370 Бк/кг.

Условное обозначение керамических изделий должно состоять из обозначения вида изделий (кирпич – КР, кирпич с горизонтальными пустотами – КРГ, камень – КМ, камень доборный – КМД), а также дополнительных признаков с помощью букв: «р» – для рядовых, «л» – для лицевых, «кл» – для клинкерных, «пг» – для камней с пазогребневой системой, «ш» – для шлифованных камней, «по» – для полнотелого кирпича, «пу» – для пустотелого кирпича; формата и номинальных размеров кирпича камня; марок по прочности; класса средней плотности; марки по морозостойкости и обозначения стандарта.

Например:

Кирпич рядовой (лицевой), полнотельный, размерами $250 \times 120 \times 65$ мм, формата 1НФ, марки по прочности М200, класса средней плотности 2,0, марки по морозостойкости F50:

КР-р-но (КР-л-но) 250 × 120 × 65/1НФ/200/2,0/50/ГОСТ 530-2012.

Кирпич клинкерный, полнотельный (пустотельный), размерами $250 \times 120 \times 65$ мм, формата 1НФ, марки по прочности М500, класса средней плотности 2,0, марки по морозостойкости F100:

КР-кл-но (КР-кл-пу) 250 × 120 × 65/1НФ/500/2,0/100/ГОСТ 530-2012.

Кирпич с горизонтальным расположением пустот, рядовой (лицевой), размерами $250 \times 120 \times 88$ мм, формата 1,4НФ, марки по прочности М75, класса средней плотности 1,4, марки по морозостойкости F50:

КРГ-р (КРГ-л) 250 × 120 × 88/1,4НФ/75/1,4/50/ГОСТ 530-2012.

Камень рядовой (лицевой), размерами $250 \times 120 \times 140$ мм, формата 2,1НФ, марки по прочности М200, класса средней плотности 1,4, марки по морозостойкости F50:

КМ-р (КМ-л) 250 × 120 × 140/2,1НФ/200/1,4/50/ГОСТ 530-2012.

8.1.1. Определение размеров и характеристик внешнего вида

Длину, ширину и толщину изделий измеряют металлической линейкой или штангенциркулем с погрешностью ± 1 мм по краям (на расстоянии 15 мм от угла) и в середине ребер противоположных граней. За результат измерения принимают среднеарифметическое значение трех измерений.

Глубину отбитостей и притупленностей углов и ребер измеряют при помощи угольника и линейки по перпендикуляру от вершины угла или ребра, образованного угольником, до поврежденной поверхности с погрешностью измерения ± 1 мм (рис. 8.1).

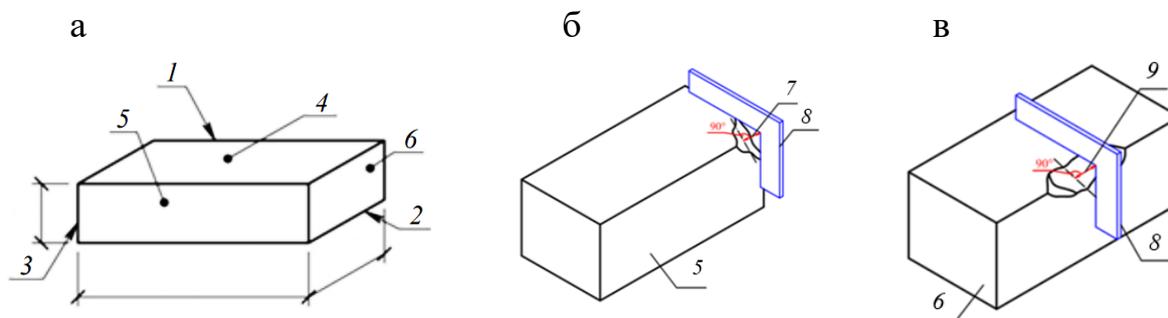


Рис. 8.1. Характеристики внешнего вида кирпича:

а – общий вид; б – схема определения

глубины отбитости углов; в – то же, ребер;

1 – длина; 2 – ширина; 3 – высота; 4 – постель; 5 – ложок; 6 – тычок;

7 – глубина отбитости углов; 8 – угольник; 9 – глубина отбитости ребер

Ширину раскрытия трещин измеряют при помощи лупы с погрешностью измерения $\pm 0,1$ мм.

Отклонение от перпендикулярности граней определяют, прикладывая угольник к смежным граням изделия и измеряя металлической линейкой наибольший зазор между угольником и гранью с погрешностью измерения ± 1 мм (рис. 8.2а). За результат измерений принимают наибольший из всех полученных результатов.

Отклонение от плоскостности изделия определяют, прикладывая одну сторону металлического угольника к ребру изделия, а другую – вдоль каждой диагонали грани и измеряя щупом или металлической линейкой наибольший зазор между поверхностью и ребром угольника (рис. 8.2б). Погрешность измерения также ± 1 мм. За результат принимают наибольший из всех полученных.

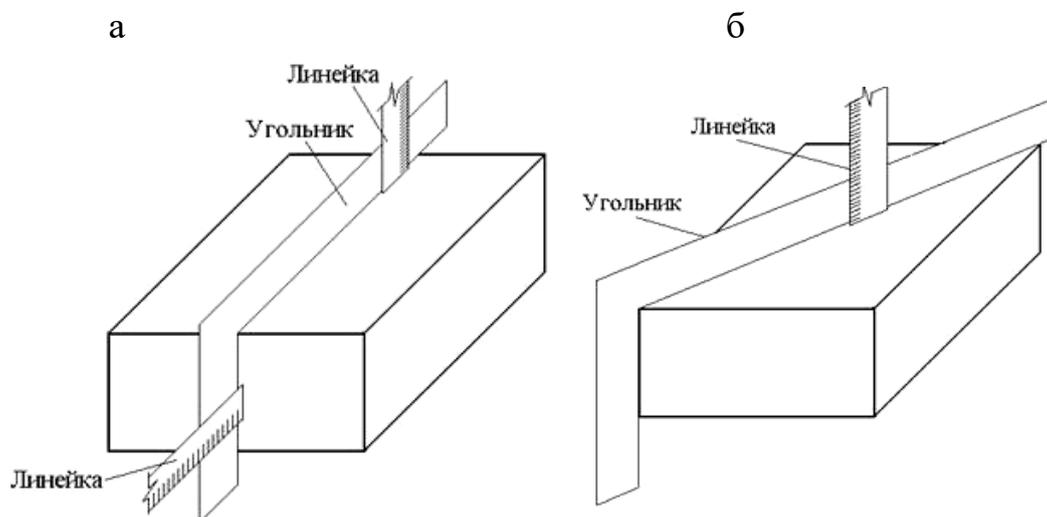


Рис. 8.2. Схемы определения правильности форм кирпича:
а – отклонения от перпендикулярности граней;
б – отклонения от плоскостности

Толщину наружных стенок пустотелого изделия измеряют не менее чем в трех местах каждой наружной стенки. За результат измерения принимают наименьшее значение. Размеры пустот измеряют внутри пустот не менее чем на трех пустотах. За результат принимают наибольшее значение.

Результаты определений размеров керамического кирпича и характеристик его внешнего вида заносят в табл. 8.7.

Таблица 8.7

**Результаты определения размеров
и показателей внешнего вида кирпича**

Размеры и показатели внешнего вида кирпича	Единицы измерения	Результаты частных испытаний	Средний результат	Требование ГОСТа
Длина	мм			
Ширина	мм			
Высота	мм			
Дефекты внешнего вида (в соответствии с табл. 8.2, 8.3)	шт., мм			

8.1.2. Определение средней плотности

Образцы (целые изделия или их половинки) очищают от пыли, высушивают до постоянной массы в электрошкафу при температуре 105 ± 5 °С. Высушивание образцов и проб до постоянной массы считают оконченным, если разность между двумя последовательными взвешиваниями в процессе высушивания не будет превышать установленной погрешности взвешивания. Перерыв между двумя взвешиваниями должен быть не менее 4 ч для образца. Взвешивание образцов массой до 1 000 г выполняют с погрешностью не более 1 г, образцов массой более 1 000 г (до 10 кг) – с погрешностью не более 5 г.

Объем образцов определяют по их геометрическим размерам, измеренным с погрешностью не более 1 мм.

Среднюю плотность образца $\rho_{\text{ср}}$ (кг/м³) вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V} 1000,$$

где m – масса образца, высушенного до постоянной массы, г; V – объем образца, см³.

Среднюю плотность определяют не менее чем на трех образцах. За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов определений средней плотности всех образцов, рассчитанное с точностью до 10 кг/м³. Исходные данные и результаты определений средней плотности кирпича заносят в табл. 8.8.

Таблица 8.8

Результаты определения средней плотности кирпича

Масса образца m , г	Размеры образца, см			Объем V , см ³	Средняя плотность $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³
	Длина	Ширина	Высота		

8.1.3. Определение водопоглощения

Определение водопоглощения при атмосферном давлении в воде температурой 20 ± 5 °С.

Образцы керамических изделий предварительно высушивают до постоянной массы. После этого укладывают в один ряд по высоте с зазорами между ними не менее 2 см на решетку в сосуд с водой температурой 20 ± 5 °С так, чтобы уровень воды был выше верха образцов на 2–10 см. Образцы выдерживают в воде 48^{+1} ч.

Насыщенные водой образцы вынимают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают. Массу воды, вытекшей из образца на чашку весов, включают в массу образца, насыщенного водой. Взвешивание каждого образца должно быть закончено не позднее 2 мин после его удаления из воды.

Определение водопоглощения под вакуумом в воде температурой 20 ± 5 °С.

Образцы укладывают в вакуумный эксикатор на подставку и заливают водой так, чтобы ее уровень был выше верха образца не менее чем на 2 см. При применении разъемной емкости образцы укладывают в один ряд по высоте с зазором между ними не менее 2 см.

Эксикатор (емкость) закрывают крышкой и вакуумным насосом создают над поверхностью воды разрежение $0,05 \pm 0,01$ МПа, фиксируемое образцовым манометром. Пониженное давление поддерживают, засекая время, до прекращения выделения пузырьков воздуха из образцов, но не более 30 мин. После восстановления атмосферного давления образцы выдерживают в воде столько же времени, сколько под вакуумом, чтобы вода заполнила объем, который занимал удаленный воздух. Затем насыщенные водой образцы вынимают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают. Массу воды, вытекшей из образца на чашку весов, включают в массу образца, насыщенного водой. Взвешивание каждого образца должно быть закончено не позднее 2 мин после его удаления из воды.

Определение водопоглощения керамических изделий при атмосферном давлении в кипящей воде.

Образцы укладывают в сосуд с водой, нагревают и доводят до кипения (приблизительно 1 ч), кипятят 5^{+1} ч и оставляют на 16–19 ч остывать до температуры помещения. Далее поступают так же, как и при испытаниях по предыдущим методикам.

Методы определения водопоглощения в воде температурой 20 ± 5 °С при атмосферном давлении и под вакуумом взаимозаменяемы.

Водопоглощение образцов по массе V_m (%) вычисляют по формуле

$$V_M = \frac{m_n - m_c}{m_c} 100,$$

где m_n – масса образца, насыщенного водой, г; m_c – масса образца, высушенного до постоянной массы, г.

Водопоглощение определяют не менее чем на трех образцах. За значение водопоглощения изделий принимают среднее арифметическое результатов определения водопоглощения всех образцов, рассчитанное с округлением до 1 %.

Результаты испытаний заносят в табл. 8.9.

Таблица 8.9

Результаты определения водопоглощения раствора

Масса водонасыщенного образца раствора m_n , г	Масса сухого образца m_c , г	Водопоглощение образца V_M , %

8.1.4. Определение пределов прочности при сжатии и изгибе

Образцы испытывают в воздушно-сухом состоянии. При *испытании кирпича на сжатие* испытываемый образец составляют из двух целых кирпичей, уложенных постелями друг на друга. При испытании камней в качестве образца используют один целый камень.

Подготовку опорных поверхностей изделий проводят шлифованием, для образцов из клинкерного кирпича применяют выравнивание цементным раствором из равных по массе частей цемента марки 400 и песка, просеянного через сито с сеткой № 1,25 ($V/C = 0,40-0,42$). Допускается в ходе проведения приемо-сдаточных испытаний применять иные способы выравнивания опорных поверхностей образцов при условии наличия корреляционной связи между результатами, полученными при разных способах выравнивания, а также доступности проверки информации, являющейся основанием для такой связи.

Образец устанавливают в центре опорной плиты машины для испытаний на сжатие, совмещая геометрические оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой машины. При испытаниях нагрузка на образец должна возрастать следующим образом; до достижения примерно половины ожидаемого значения разрушающей нагрузки – произвольно, затем поддерживают такую скорость нагружения, чтобы разрушение образца произошло не ранее чем через 1 мин. Значение разрушающей нагрузки регистрируют.

Предел прочности при сжатии образца $R_{сж}$ (МПа) вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R_{сж} = P / F,$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Н; F – площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней опорных поверхностей, мм².

Предел прочности при сжатии образцов в партии определяют как среднеарифметическое значение результатов испытаний 5 образцов из 10 целых кирпичей с округлением до 0,1 МПа.

Результаты испытаний заносят в табл. 8.10.

Таблица 8.10

Результаты определения предела прочности кирпича при сжатии

Масса образца, г	Размеры опорных поверхностей (длина × ширина), мм		Площадь опорных поверхностей F , мм ²			Разрушающая нагрузка P , Н	Предел прочности при сжатии образца, $R_{сж}$, МПа
	Верхняя	Нижняя	Верхняя	Нижняя	Средняя		

Предел прочности кирпича при изгибе определяют по результатам испытаний с измерением максимальной разрушающей нагрузки, вертикально передаваемой через верхнюю опору образца, установленного на двух нижних опорах (см. рис. 1.9а). В качестве образца для определения предела прочности при изгибе кирпича применяют целое изделие.

Приспособление для испытания на растяжение при изгибе имеет две нижних и одну верхнюю опоры. Одна нижняя и верхняя опоры должны иметь цилиндрическую форму в месте соприкосновения с образцом и возможность перемещаться. У одной из нижних опор должна быть коническая форма. Длина опоры должна быть не меньше ширины образца, а расстояние между нижними опорами – регулируемым. Опоры должны равномерно прилегать к образцу по ширине.

Ширину и толщину образца измеряют в месте приложения нагрузки с погрешностью не более 1 мм. Устанавливают расстояние между осями нижних опор, равное 4/5 номинальной длины образца. Расстояние между осями нижних опор измеряют с погрешностью не более 1 мм.

Образец симметрично устанавливают на нижних опорах приспособления для испытания. Кирпич с несквозными пустотами устанавливают на опорах так, чтобы пустоты располагались в растянутой зоне образца.

Нагрузка на образец должна возрастать равномерно и непрерывно со скоростью 0,1–0,2 кН/с, обеспечивающей его разрушение через 20–60 с после начала нагружения. Полученное значение максимальной нагрузки регистрируют с точностью до 0,1 кН.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа, образца вычисляют по формуле (1.7).

Предел прочности при изгибе образцов вычисляют с точностью до 0,05 МПа как среднеарифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

В ходе вычисления предела прочности при изгибе образцов в партии не учитывают образцы, пределы прочности которых имеют отклонение от среднего значения предела прочности всех образцов более чем на 50 % и не более чем по одному образцу по наибольшему или наименьшему показателю.

Результаты испытаний заносят в табл. 8.11.

Таблица 8.11

Результаты определения предела прочности кирпича при изгибе

Масса образца, г	Размеры образца посередине пролета, мм		Расстояние между осями опор l , мм	Разрушающая нагрузка, P , Н	Предел прочности при сжатии образца, $R_{изг}$, МПа
	Ширина b	Высота h			

Контрольные вопросы

1. Что такое керамические стеновые материалы? Где их применяют?
2. Какие показатели качества имеют керамические кирпич и камни?
3. Как оценивается внешний вид кирпича, его размеры, правильность формы?
4. Как определяется средняя плотность кирпича?
5. Как определяется водопоглощение керамического кирпича?
6. Как определяется предел прочности образца кирпича при сжатии?
7. Как определяется предел прочности образца кирпича при изгибе?
8. Какие показатели указываются в условном обозначении керамического кирпича?

8.2. Определение свойств силикатного кирпича (лабораторная работа № 14)

Силикатные кирпич и камни – это стеновые изделия, получаемые путем прессования известково-песчаной смеси с последующим твердением в автоклаве. Как правило, сырьевая смесь содержит 6–8 % воздушной извести в расчете на СаО и 92–94 % кварцевого песка. Воды вводится 7–8 % по массе сухой смеси.

Силикатный кирпич изготавливают двух видов: *одинарный* (размерами 250 × 120 × 65 мм) и *утолщенный* (размерами 250 × 120 × 88 мм). Размеры *силикатных камней* – 250 × 120 × 138 мм. Кирпич изготавливают

полнотелым (только одинарный) и пустотелым, камни – только пустотелыми. Пустоты могут быть сквозными и несквозными. Они должны быть расположены перпендикулярно к постели и равномерно распределены по сечению. Толщина наружных стенок пустотелых изделий должна быть не менее 10 мм.

Предельные отклонения от номинальных размеров не должны превышать:

для изделий, предназначенных для кладки на кладочных растворах, по длине, ширине, высоте, параллельности опорных граней – ± 2 мм;

изделий, предназначенных для кладки на клеях и растворах для тонкошовной кладки, по длине, ширине – ± 2 мм, а по высоте, параллельности опорных граней – ± 1 мм.

В зависимости от средней плотности изделия в сухом состоянии разделяют на классы, приведенные в табл. 8.12.

Таблица 8.12

Классы средней плотности силикатных изделий

Класс средней плотности	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Средняя плотность, кг/м ³	900–1 000	1 001–1 200	1 201–1 400	1 401–1 600	1 601–1 800	1 801–2 000	2 001–2 200

Кирпич и камни силикатные разделяют на рядовые и лицевые. На них не допускаются дефекты внешнего вида, размеры и число которых на одном изделии превышают указанные в табл. 8.13.

Таблица 8.13

Дефекты внешнего вида рядовых и лицевых кирпича и камней

Вид дефекта	Число дефектов кирпича и камней	
	лицевых	рядовых
Отбитости и притупленности углов глубиной от 10 до 15 мм, шт.	1	3
Отбитости и притупленности углов глубиной более 15 мм, шт.	Не допускается	
Отбитости и притупленности ребер глубиной от 5 до 10 мм, шт.	1	3
Отбитости и притупленности ребер глубиной более 10 мм, шт.	Не допускается	
Шероховатости или срыв грани глубиной не более, мм	3	5
Трещины протяженностью до 40 мм, шт.	Не доп.	1

В рядовых кирпиче и камне не допускается наличие в изломе или на поверхности глины, песка, извести и посторонних включений размером более 5 мм в количестве более трех. На поверхности лицевых кирпича и камня наличие указанных включений не допускается, в изломе допускается не более трех. Дефекты изделий (вздутие и шелушение поверхности, наличие сетки мелких трещин от непогасившейся силикатной массы, проколы постели пустотелых изделий) не допускаются.

По прочности изделия разделяют на марки М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300. Марка по прочности лицевого кирпича должна быть не менее 125.

Марку камня устанавливают по пределу прочности при сжатии, марку кирпича – по пределам прочности при сжатии и изгибе, указанным в табл. 8.14.

Таблица 8.14

Пределы прочности силикатного кирпича
и камней при сжатии и изгибе

Марка изделия	Предел прочности, МПа, не менее					
	при сжатии		при изгибе			
	Средний для пяти образцов камня и для десяти образцов кирпича	Наименьший из значений	полнотелого кирпича		пустотелого кирпича	
			Средний для пяти образцов	Наименьший из значений	Средний для пяти образцов	Наименьший из значений
М300	30,0	24,0	4,0	2,7	2,4	1,8
М250	25,0	20,0	3,5	2,3	2,0	1,6
М200	20,0	16,0	3,2	2,1	1,8	1,3
М175	17,5	14,0	3,0	2,0	1,6	1,2
М150	15,0	12,0	2,7	1,8	1,5	1,1
М125	12,5	10,0	2,4	1,6	1,2	0,9
М100	10,0	8,0	2,0	1,3	1,0	0,7

По морозостойкости кирпич и камни изготавливают марок F25, F35, F50, F100. За марку изделий по морозостойкости принимают число циклов попеременного замораживания и оттаивания, при которых в изделиях отсутствуют признаки видимых повреждений (шелушение, расслоение, выкрашивание и др.), снижение прочности при сжатии не превышает 20 % для рядовых, потеря массы – 10 %.

Водопоглощение изделий должно быть не менее 6 %.

Изделия, предназначенные для кладки наружных стен зданий и сооружений, должны подвергаться испытанию на теплопроводность кладки.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в изделии должна быть не более 370 Бк/кг.

Условное обозначение силикатных изделий помимо первой буквы «С» должно включать в себя наименование и обозначение вида изделия: «О» – одинарный кирпич, «У» – утолщенный кирпич, «Р» – рядовой кирпич и камень, «Л» – лицевой кирпич и камень, «По» – полнотелое изделие, «Пу» – пустотелое изделие, «Ру» – рустированный кирпич, «РуГ» – гидрофобизированный, рустированный кирпич, «К» – колотый кирпич, «КГ» – гидрофобизированный колотый кирпич, «Д» – декоративный кирпич, «Об» – объемно окрашенный кирпич; марки по

прочности и морозостойкости; класс средней плотности и обозначение стандарта.

Например:

Силикатный одинарный рядовой полнотелый кирпич марки по прочности М150, марки по морозостойкости F50, класса средней плотности 1,8:

Кирпич СОРПо-М150/F50/1,8 ГОСТ 379-2015.

Силикатный утолщенный лицевой пустотелый кирпич марки по прочности М175, марки по морозостойкости F75, класса средней плотности 1,4:

Кирпич СУЛПу-М175/F75/1,4 ГОСТ 379-2015.

Силикатный рядовой пустотелый камень марки по прочности М175, марки по морозостойкости F35, класса средней плотности 1,6:

Камень СКРПу-М175/F35/1,6 ГОСТ 379-2015.

8.2.1. Определение размеров и характеристик внешнего вида

Размеры силикатного кирпича, глубину отбитостей и притупленностей углов и ребер измеряют как для керамического кирпича (см. п. 8.1.1, рис. 8.1).

Для определения параллельности опорных граней измеряют четыре ребра изделия по длине, ширине и высоте и вычисляют разность между наибольшим и наименьшим значениями результатов измерений.

Шероховатости и срывы граней определяют измерением зазора между гранью изделия и ребром приложенной к ней металлической линейки. Число включений и их размер определяют на изломе одной из парных половинок. Дефекты от непогасившейся силикатной массы находят визуально.

Результаты определений размеров силикатного кирпича и характеристик его внешнего вида заносят в табл. 8.15.

Таблица 8.15

Результаты определения размеров
и показателей внешнего вида кирпича

Размеры и показатели внешнего вида кирпича	Единицы измерения	Результаты частных испытаний	Средний результат	Требование ГОСТа
Длина	мм			
Ширина	мм			
Высота	мм			
Дефекты внешнего вида (с учетом табл. 8.8)	шт., мм			

8.2.2. Определение средней плотности

Среднюю плотность силикатного кирпича определяют по той же методике, что и для керамического (см. п. 8.1.2). Аналогична и форма представления результатов испытаний (см. табл. 8.8).

8.2.3. Определение водопоглощения

Водопоглощение силикатного кирпича при атмосферном давлении в воде температурой 20 ± 5 °С и под вакуумом в воде температурой 20 ± 5 °С определяют по тем же методикам, что и для керамического кирпича (см. п. 8.1.3). Разница состоит в том, что испытание силикатных изделий производят без предварительного высушивания образцов, а их высушивание до постоянной массы осуществляют после взвешивания в водонасыщенном состоянии. Аналогична и форма представления результатов испытаний (см. табл. 8.9).

8.2.4. Определение пределов прочности при сжатии и изгибе

Пределы прочности при сжатии и изгибе силикатного кирпича устанавливают по тем же методикам, что и для кирпича керамического (см. п. 8.1.4). Разница состоит в том, что предел прочности силикатного кирпича определяют по результатам испытаний образцов, составленных из двух целых кирпичей насухо без выравнивания их поверхностей.

Аналогичны и формы представления результатов испытаний (см. табл. 8.10, 8.11).

Контрольные вопросы

1. Что такое силикатные кирпич и камни? Какие они бывают?
2. Какие показатели качества имеют силикатные кирпич и камни?
3. Как определить размеры и характеристики внешнего вида силикатного кирпича? Каким требованиям они должны отвечать?
4. По каким экспериментальным данным и как устанавливается марка кирпича по прочности?
5. В каких аспектах различаются требования по внешнему виду для лицевого и рядового силикатного кирпича?
6. Где рекомендуется и где нельзя применять силикатные кирпич и камни?
7. Какие показатели указываются в условном обозначении силикатного кирпича?

9. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Теплоизоляционными называются строительные материалы и изделия, обладающие теплопроводностью менее 0,07 Вт/(м·°С) и предназначенные для теплоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов.

Неорганические теплоизоляционные материалы составляют основную часть продукции отрасли. Это объясняется возможностью их применения практически в любых условиях эксплуатации, а также возможностью широкого регулирования свойств, распространенностью сырья, пожарной безопасностью.

Теплоизоляция на основе органических материалов характеризуется доступностью сырья, простотой переработки и обычно меньшими капитальными вложениями в производство. Однако по сравнению с неорганическими у органических материалов есть существенные ограничения по температуре применения и пожарной безопасности.

Многие материалы являются композиционными и сочетают в себе минеральное или органическое связующее, органические или минеральные наполнители. Таким образом, деление подобных материалов на неорганические и органические достаточно условно. Тем не менее оно позволяет сформулировать специфические направления применения теплоизоляции.

Теплопроводность – основной качественный показатель теплоизоляционных материалов. Теплопроводность является физическим свойством материалов, связанным с переносом в них тепловой энергии за счет взаимодействия атомов, ионов, электронов и молекул. Перенос тепловой энергии осуществляется непосредственно от частиц, обладающих большей энергией, к частицам с меньшей энергией и приводит к выравниванию температуры тела. Взаимодействие частиц происходит в результате непосредственного их столкновения при перемещении или колебании.

Теплопроводность оценивают *коэффициентом теплопроводности* λ , который равен количеству теплоты, проходящей через стену из материала толщиной в 1 м и площадью 1 м² в течение 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях в 1 °С или 1 К, в соответствии с законом Фурье:

$$Q = \lambda F \tau (t_1 - t_2) / \delta,$$

где Q – количество теплоты, кДж; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · град); F – площадь, через которую проходит теплота, м²; τ – время, ч; $(t_1 - t_2)$ – разность температур на горячей и холодной сторонах материала, °С; δ – толщина слоя материала, м.

Прочность теплоизоляционных материалов – это в первую очередь условие сохранения целостности структуры и формы. Обычно прочность

при сжатии не превышает 0,5–0,7 МПа и может колебаться для различных теплоизоляционных материалов от 0,03 до 1,5–2,5 МПа. Прочность при изгибе обычно определяют для волокнистых материалов (минераловатных, древесно-волокнистых плит (ДВП)).

Немаловажной для теплоизоляционных материалов является классификация по *сжимаемости (деформативности)*, определяющая направление применения изделий: мягкие – для ненагружаемых горизонтальных поверхностей; полужесткие – для вертикальных поверхностей; жесткие – для трехслойных плит; плиты повышенной жесткости – для плоской несущей кровли.

Водостойкость – способность материала сохранять прочность в насыщенном водой состоянии. Оценивается по коэффициенту размягчения $K_{\text{разм}}$, определяемому по формуле

$$K_{\text{разм}} = R_{\text{влажн}} / R_{\text{сух}},$$

где $R_{\text{влажн}}$ и $R_{\text{сух}}$ – прочность при сжатии образца во влажном и сухом состояниях соответственно, МПа.

Для водостойких материалов $K_{\text{разм}} \geq 0,8$, т. е. такие материалы могут потерять не более 20 % прочности (к ним относятся минеральная вата, бетоны, ячеистое стекло, керамика, пенопласты). Арболит, ДВП, торфоплиты, фибролит содержат древесный наполнитель, который набухает, поэтому изделия могут деформироваться ($K_{\text{разм}} = 0,4–0,5$).

Гигроскопичность (сорбционное увлажнение) – способность поглощать водяной пар из влажного воздуха. Гигроскопичность может колебаться в значительных пределах и зависеть от характера, размера пор, влажности среды. Минимальные значения гигроскопичности характерны для материалов с закрытыми порами средних размеров.

Паропроницаемость – способность материала пропускать водяные пары, содержащиеся в воздухе, под действием разности их парциальных давлений на противоположных поверхностях материала. Известно, что влага, проникая в слой материала ограждения с теплой стороны, увлажняет его, а при снижении температуры ниже нуля замерзает, что приводит к разрушению. Качество пароизоляционных материалов характеризуется *сопротивлением паропроницанию* R , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, – величиной, численно равной разности парциального давления водяного пара, Па, у противоположных сторон изделия, при которой через площадь, равную 1 м^2 , за 1 ч проходит 1 мг водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон.

Теплоемкость – способность материалов поглощать (аккумулировать) теплоту при нагревании. Теплоемкость оценивается величиной удельной теплоемкости C , равной количеству теплоты, которое необходимо для нагревания 1 кг материала на $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$):

$$C = Q / m(t_2 - t_1),$$

где Q – количество теплоты, Дж; m – масса материала, кг; $(t_2 - t_1)$ – разность температур, К.

Термостойкость – способность выдерживать циклическое изменение температур (нагрев и охлаждение). Термостойкость оценивают значением температуры, при нагревании до которой и последующем резком охлаждении материал не растрескивается. Термостойкость материала зависит от степени его однородности и способности каждого компонента к тепловым расширениям. Для оценки термостойкости определяют *температурные деформации* – изменение линейных размеров при изменении температуры материала. Обычно при повышении температуры размеры и объем увеличиваются, при снижении – уменьшаются. При сезонном перепаде температуры окружающей среды и материала на 50 °С относительная температурная деформация достигает 0,5–1,0 мм/м. Во избежание растрескивания сооружения большой протяженности разрезают деформационными швами согласно формуле

$$l_t = l_0(1 + \alpha_t T),$$

где l_t , l_0 – длина образца из данного материала соответственно при температуре T и при 0 °С; α_t – коэффициент линейного температурного расширения, °С⁻¹; T – температура, °С.

Коэффициент линейного температурного расширения α_t характеризует способность материала к температурным деформациям, т. е. изменение длины при увеличении температуры на 1 °С. Эта физическая характеристика материала определяется путем испытаний:

$$\alpha_t = \frac{\Delta l}{l \Delta T},$$

где l , Δl – начальная длина и абсолютная деформация соответственно, мм; ΔT – разность температур при испытании, °С.

Показателем *температурустойчивости* (температуры применения) $T_{\text{прим}}$ служит область рабочих температур, при которых материал сохраняет эксплуатационные свойства. Для оценки температурустойчивости определяют величину линейной усадочной деформации при конкретной температуре в процентах:

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l}{l_0} 100,$$

где l_0 – первоначальная длина образца, м; l – длина образца после выдержки при заданной температуре, м.

Данная величина не должна превышать 1 % за 24 ч в ненагруженном состоянии (или 4 % под нагрузкой).

Для стекла, стеклянной ваты температура термоустойчивости (применения) $T_{\text{прим}} \approx 400$ °С, так как при более высоких температурах возникают кристаллизация стекла, ломкость, деформация волокон. Для изделий на основе древесины $T_{\text{прим}} \leq 100$ °С, поскольку при более высокой температуре начинается удаление влаги, древесина и материалы на ее основе теряют свои свойства.

Огнеупорность – способность неорганического теплоизоляционного материала выдерживать длительные воздействия высоких температур без разрушения и деформаций (без плавления). Огнеупорность зависит от химического состава материалов (Fe_2O_3 , Na_2O снижают огнеупорность, Al_2O_3 , SiO_2 повышают). Огнеупорность оценивается для специальных материалов, эксплуатируемых при высоких температурах: конструкций тепловых агрегатов, дымовых труб, материалов для внутренней футеровки промышленных печей. Кроме того, огнеупорность оценивают для сырьевых материалов в обжиговых технологиях производства (для назначения температуры обжига, плавления).

Пожарная опасность строительных материалов, в том числе теплоизоляционных, основывается на их разделении по свойствам, способствующим возникновению опасных факторов пожара и его развитию. Пожарная опасность указанных материалов обуславливается такими пожарно-техническими характеристиками, как горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность.

Химическая и биологическая стойкость пористых теплоизоляционных материалов должна препятствовать проникновению в них агрессивных газов и паров, находящихся в окружающей среде. Органические теплоизоляционные материалы и связующие (клей, крахмал) должны обладать биологической стойкостью, т. е. сопротивляться действию микроорганизмов, домовых грибов, насекомых (муравьев, термитов).

Интегральным показателем качества строительных материалов, в том числе теплоизоляционных, является *долговечность*. Долговечность подразумевает срок службы материала без потери им эксплуатационных показателей и определяется комплексным сочетанием свойств: водо-, термо-, морозостойкости, биологической стойкости и атмосферостойкости (способности материала сопротивляться агрессивному действию внешней среды, сохранять без изменения внешний вид и механические характеристики).

Таким образом, долговечность – это комплексный показатель свойств теплоизоляционных материалов, который определяется после длительных циклических воздействий и позволяет делать прогнозные оценки по длительному бездефектному использованию материала.

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируют по следующим основным признакам:

1. *Виду основного сырья:* неорганические (минеральные) и органические. Изделия, изготовленные из смеси органического и неорганического сырья, относятся к органическим, если количество последних в смеси превышает 15 % по массе.

2. *Структуре:* волокнистые (минеральная каменная вата, ДВП); ячеистые (пеностекло, ячеистый бетон); вспененные (пенополистирол, пенополиэтилен, пенополиуретан); экструзионные (экструзионный пенополистирол); зернистые (сыпучие) (керамзит, перлит).

3. *Форме:* рыхлые (вата, перлит); плоские (плиты, маты, войлок); фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты); шнуровые.

4. *Горючести:* горючие (обозначаются как Г) и негорючие (НГ). Негорючие материалы под воздействием огня и высокой температуры не горят, не воспламеняются и не тлеют. Это неорганические материалы, такие как ячеистые бетоны, пенокерамика, минеральная вата, пеностекло, перлит и др. Не все негорючие материалы можно считать огнестойкими. Некоторые негорючие материалы при пожаре растрескиваются. Это явление характерно, например, для гранита, содержащего минерал кварц, в котором при температуре 575 °С происходят полиморфные превращения с увеличением в объеме. Стекло при температуре свыше 600 °С деформируется, поэтому ограждающие конструкции из подобных материалов нередко приходится защищать огнестойкими экранами.

Выделяют четыре группы горючих строительных материалов, в том числе теплоизоляционных: Г1 (слабогорючие); Г2 (умеренногорючие); Г3 (нормальногорючие); Г4 (сильногорючие). По степени воспламеняемости такие материалы классифицируют на три группы: В1 (трудновоспламеняемые); В2 (умеренновоспламеняемые); В3 (легковоспламеняемые). Характеристику горючих материалов по распространению пламени устанавливают для поверхностных слоев кровли и полов, в том числе ковровых покрытий, и разделяют на четыре группы: РП1 (нераспространяющие); РП2 (слабораспространяющие); РП3 (умереннораспространяющие); РП4 (сильнораспространяющие). По дымообразующей способности есть три группы горючих строительных материалов: Д1 (с малой дымообразующей способностью); Д2 (с умеренной дымообразующей способностью); Д3 (с высокой дымообразующей способностью). По токсичности продуктов горения выделяют четыре группы: Т1 (малоперильные); Т2 (умеренноперильные); Т3 (высокоперильные); Т4 (чрезвычайно перильные).

5. *Содержанию связующего вещества:* содержащие связующее вещество и не содержащие (несвязная теплоизоляция).

6. *Области применения (назначению):* а) на материалы и изделия для оснований, фундаментов, систем мощения, полов, плоских инверсионных кровель с уклоном не более 10 %; б) для стеновых ограждающих конструкций (в том числе в составе стеновых конструкций и конструктивных

элементов здания) и перегородок; в) покрытий, кровель (за исключением инверсионных кровель), перекрытий; г) систем внешней фасадной теплоизоляции.

Области применения (назначения) определяют *существенные характеристики* теплоизоляционных материалов (табл. 9.1). Под существенными показателями (характеристиками) теплоизоляционных материалов понимаются свойства продукции, обеспечивающие исполнение базовых требований по безопасности, предъявляемых к конструкциям зданий и сооружений и самим зданиям и сооружениям, включая эксплуатационные свойства, влияющие на выполнение основных функций продукции, указанные в области применения конкретной продукции.

В табл. 9.1 существенные характеристики для общестроительных теплоизоляционных материалов отмечены (в соответствии с приведенной классификацией) знаком «+». Знаком «-» отмечены теплоизоляционные материалы, не применяемые в конструкциях данного типа. Вид «волоконистые» включает в себя любые теплоизоляционные материалы, состоящие из минеральных, природных, синтетических, искусственных, органических или неорганических волокон. Вид «ячеистые» включает в себя любые теплоизоляционные материалы неорганического происхождения, вспениваемые любым способом при производстве *перед* либо *во время* формования, а также плиты и блоки, изготовленные из сыпучих теплоизоляционных материалов или вспененных гранул полистирола с использованием цементного или смешанного вяжущего.

Строительные теплоизоляционные материалы и изделия отвечают определенным требованиям. Они должны иметь:

теплопроводность в сухом состоянии не более $0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, определенную на образце со средней температурой $10 \text{ }^\circ\text{C}$;

показатель термического сопротивления не менее $0,14 \text{ (м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

плотность не более $300 \text{ кг}/\text{м}^3$;

стабильные физико-механические и теплотехнические свойства в пределах срока службы здания или сооружения (для зданий и сооружений массового строительства в обычных условиях эксплуатации – не менее 50 лет);

показатель водопоглощения при длительном полном погружении (28 сут) для теплоизоляционных материалов, применяемых при теплоизоляции заглубленных, подземных конструкций, цоколей, систем мощения, полов по грунту, полов в помещениях с мокрым режимом эксплуатации, плоских инверсионных кровель с уклоном $\leq 10 \text{ } \%$ не должен превышать $0,7 \text{ } \%$ по объему.

Кроме того, строительные теплоизоляционные материалы и изделия должны соответствовать санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям.

Таблица 9.1

Существенные характеристики для отдельных областей применения строительных теплоизоляционных материалов

Характеристика	Вид общестроительных теплоизоляционных материалов																							
	Неорганические (минеральные)												Органические (полимерные)											
	Волокнистые				Ячеистые				Пеностекло (CG)				Вспененный полистирол (EPS)				Вспененный эструдированный полистирол (XPS)				Пенополиуретан, пенополиизоцианурат (PUR, PIR)			
Область применения в соответствии с классификацией	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
Термическое сопротивление и/или теплопроводность	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации	-		+	+	-		-	-	-		-	-	+		+	+	+		+	+	+		+	+
Водопоглощение	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Морозостойкость	-				-		-	-	-		-	-												
Геометрические размеры	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Стабильность размеров при заданных температуре и влажности	-			+	-		-	-	-		-	-	+		+	+			+	+			+	+
Плотность	-				-		-	-	-		-	-	+			+								
Предел прочности при растяжении	-			+	-		-	-	-		-	-				+								
Паропроницаемость	-			+	-		-	-	-		-	-		+				+				+		
Содержание органических веществ	-				-		-	-	-		-	-			+				+				+	
Выделение вредных веществ	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Характеристики пожарной опасности	-				-	+	-	-	-		-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Отпускная влажность	-				-	+	-	-	-	+	-	-												

В настоящее время по объему потребления основные теплоизоляционные материалы распределились следующим образом: минераловатные утеплители – 70–80 %; пенопласты – 20–25 %, теплоизоляционные бетоны – 2–3 %; теплоизоляционные засыпные материалы из вспученных горных пород и изделия на их основе – 2–3 %; материалы на основе органических наполнителей – 1–2 %.

9.1. Определение свойств плит из минеральной ваты на синтетическом связующем (лабораторная работа № 15)

Минераловатные изделия представляют собой теплоизоляционные плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем. *Минеральная вата* – волокнистый бесформенный материал, состоящий из тонких стекловидных волокон диаметром 5–15 мкм, которые получают из расплава легкоплавких горных пород (мергелей, доломитов, базальтов и др.), металлургических и топливных шлаков и их смесей.

Наилучший вид минерального волокна – *базальтовое*, которое выдерживает температуру до 1 000 °С, обладает стойкостью к коррозии. Широко используются стеклянные волокна. Минераловатные изделия на основе указанных волокон различаются как по структуре и внешнему виду (плиты, маты, скорлупы и т.д.), так и по эксплуатационным свойствам (прочности, сжимаемости, теплопроводности, стойкости и др.).

Теплоизоляционные плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем (далее – плиты) с гидрофобизирующими добавками или без них, кэшированные облицовочным материалом (бумагой, алюминиевой фольгой, стеклохолстом и др.) или без него, предназначены для тепло- и звукоизоляции ограждающих строительных конструкций жилых (в том числе индивидуальных), общественных и производственных зданий и сооружений в условиях, исключающих контакт изделий с воздухом внутри помещений, а также для изготовления трехслойных панелей и тепловой изоляции промышленного оборудования с температурой изолируемой поверхности от –60 до +400 °С.

В зависимости от плотности плиты разделяют на марки, а в зависимости от степени деформации под действием сжимающей нагрузки – на виды.

Виды, марки по плотности, сокращенное обозначение, а также номинальные линейные размеры плит и предельные отклонения размеров приведены в табл. 9.2.

Разность длин диагоналей мягких и полужестких плит должна быть не более 10 мм, для жестких, повышенной жесткости и твердых – не более 5 мм. Отклонение от прямоугольности по ширине и длине плит повышенной жесткости и твердых не должно превышать 5 мм/м, а отклонение от плоскостности твердых плит – 6 мм.

Таблица 9.2

Виды, марки, сокращенное обозначение, номинальные размеры
и предельные отклонения размеров минераловатных плит

Вид плиты	Марка по плотности	Сокращенное обозначение	Длина, мм (предельное отклонение, %)	Ширина, мм (предельное отклонение)	Толщина, мм (предельное отклонение, мм)	
Плита мягкая	40	ПМ-40	1 000 ($\pm 0,8$)	400 (± 2 мм) 500 (± 2 мм) 600 (± 2 мм) 1 200 (± 2 мм)	30–200 (-2 ; $+5$)	
	50	ПМ-50	2 000 ($\pm 0,8$)			
Плита полужесткая	60	ПП-60	1 000 ($\pm 0,5$) 2 000 ($\pm 0,5$)			30–200 (± 2)
	70	ПП-70				
	80	ПП-80				
Плита жесткая	100	ПЖ-100	500 ($\pm 0,5$) 600 ($\pm 0,5$) 1 000 ($\pm 0,5$) 2 000 ($\pm 0,5$)			30–200 (± 2)
	120	ПЖ-120				
	140	ПЖ-140				
Плита повышенной жесткости	160	ППЖ-160		400 ($\pm 0,5$ %) 500 ($\pm 0,5$ %) 600 ($\pm 0,5$ %)	20–200 (± 2)	
	180	ППЖ-180				
	200	ППЖ-200				
Плита твердая	220	ПТ-220		1 200 ($\pm 0,5$ %)	20–60 (± 2)	
	250	ПТ-250				
	300	ПТ-300				

Примечания:

1. Параметрический ряд размеров плит принимают через 10 мм.
2. По заказу потребителя плиты могут выпускаться других размеров.

Условное обозначение плит должно включать в себя сокращенное обозначение в соответствии с табл. 9.2, группу горючести, номинальные размеры в миллиметрах, обозначение стандарта. При наличии кэширования дополнительно (после группы горючести) в условное обозначение включают сокращенное обозначение (первую букву) облицовочного материала (например, Б – бумага; С – стеклохолст; Ф – алюминиевая фольга).

Пример условного обозначения мягкой плиты марки 50, негорючей, длиной 1 000, шириной 600, толщиной 30 мм:

ПМ-50(НГ)-1000.600.30 ГОСТ 9573–2012;

то же, твердой плиты марки 300, группы горючести Г2, кэшированной алюминиевой фольгой, длиной 1 000, шириной 600, толщиной 20 мм;

ПТ-300(Г2)Ф-1000.600.20 ГОСТ 9573–2012.

По физико-механическим показателям плиты должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Физико-механические показатели минераловатных плит

Наименование показателя	Значение для плит марок						
	ПМ-40	ПМ-50	ПП-60	ПП- 70	ПП-80	ПЖ-100	ПЖ-120
Плотность, кг/м ³	От 40 до 45	От 45 до 55	От 55 до 65	От 65 до 75	От 75 до 90	От 90 до 110	От 110 до 130
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре: 10 °С [(283 ± 5) К] 25 °С [(298 ± 5) К] 125 °С [(398 ± 5) К]	0,040	0,040	0,038	0,037	0,037	0,036	0,037
	0,042	0,042	0,040	0,039	0,039	0,038	0,039
	0,060	0,060	0,056	0,056	0,054	0,052	0,051
Сжимаемость, %, не более	25	20	15	12	8	6	4
Прочность на сжатие при 10 %-й линейной деформации, кПа, не менее	–	–	4	8	20	25	30
Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации после сорбционного увлажнения, кПа, не менее	–	–	3,5	5,5	15	20	25
Прочность на отрыв слоев, кПа, не менее	–	–	–	–	4,5	5,5	6,5
Водопоглощение при частичном погружении, % по массе, не более	30	30	25	20	15	15	15
Содержание органических веществ, % по массе, не более	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5
Полнота поликонденсации связующего, %, не менее	90	90	90	90	90	91	91
Влажность, % по массе, не более	1	1	1	1	1	1	1

Окончание табл. 9.3

Наименование показателя	Значение для плит марок						
	ПЖ-140	ППЖ-160	ППЖ-180	ППЖ-200	ПТ-220	ПТ-250	ПТ-300
Плотность, кг/м ³	От 130 до 150	От 150 до 170	От 170 до 190	От 190 до 210	От 210 до 230	От 230 до 270	От 270 до 330
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре: 10 °С [(283 ± 5) К] 25 °С [(298 ± 5) К] 125 °С [(398 ± 5) К]	0,037	0,038	0,038	0,039	0,039	0,040	0,042
	0,039	0,042	0,044	0,045	0,045	0,045	0,046
	0,050	0,051	0,052	0,054	0,054	0,056	0,060
Сжимаемость, %, не более	2	–	–	–	–	–	–
Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации, кПа, не менее	35	40	50	60	80	100	150
Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации после сорбционного увлажнения, кПа, не менее	30	35	44	52	70	85	125
Прочность на отрыв слоев, кПа, не менее	7,5	8,5	10	12	–	–	–
Водопоглощение при частичном погружении, % по массе, не более	15	12	12	12	10	8	6
Содержание органических веществ, % по массе, не более	4,5	5,0	5,0	5,0	7,0	7,5	10,0
Полнота поликонденсации связующего, %, не менее	91	93	93	93	93	93	93
Влажность, % по массе, не более	1	1	1	1	1	1	1

Примечание. Значения показателя водопоглощения нормируются только для гидрофобизированных изделий.

Пожарно-технические характеристики плит приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Пожарно-технические характеристики минераловатных плит

Наименование показателя	Сокращенное обозначение плит		
	ПМ-40, ПМ-50, ПП-60, ПП-80, ПЖ-100, ПЖ-120, ПЖ-140	ППЖ-160, ППЖ-180, ППЖ-200	ПТ-220, ПТ-250, ПТ-300
Группа горючести	Негорючие НГ	Г1 слабогорючие	Г2 умеренногорючие
Группа воспламеняемости	–	В1 трудновоспламеняемые	
Группа дымообразующей способности	–	Д1 с малой дымообразующей способностью	

Примечания:

1. Для негорючих строительных материалов показатели воспламеняемости и дымообразующей способности не определяют.
2. Пожарно-технические характеристики приведены для некашированных плит.

Плиты, применяемые для изготовления звукопоглощающих конструкций, должны иметь нормальный коэффициент звукопоглощения в пределах от 0,30 до 0,94 в диапазоне частот 125–2 000 Гц.

С целью радиационно-гигиенической оценки минераловатных плит контролируют удельную эффективную активность естественных радионуклидов.

9.1.1. Определение линейных размеров

Для измерения размеров до 1 м применяют линейку, свыше 1 м – рулетку. Длина измерительного инструмента должна быть не меньше длины изделия.

Длину плиты измеряют в трех местах: на расстоянии 50 ± 5 мм от каждого края и посередине изделия. Ширину плиты измеряют в трех местах: на расстоянии 50 ± 5 мм от каждого края и посередине изделия.

Измерение толщины производят толщиномером (рис. 9.1). Масса основания с корпусом толщиномера должна создавать удельную нагрузку $500 \pm 7,5$ Па, если в нормативных документах на продукцию конкретного вида не указана другая нагрузка.

Для проведения измерения толщиномер устанавливают на поверхности изделия, помещенного на столе. Затем винтом (рис. 9.1) освобождают вставку толщиномера, левой рукой придерживают корпус, а правой – ручку. Нажимая правой рукой на ручку, опускают вниз вставку с иглой, при этом игла вертикально прокалывает изделие до упора о поверхность стола.

После этого левой рукой плавно опускают корпус толщиномера с основанием на изделие. Через 5 мин (если в нормативных документах на продукцию конкретного вида не указано другое время) по шкале при помощи указателя на стекле отсчитывают толщину изделия. В плите измеряют толщину в пяти местах: в центре и в четырех углах, располагая иглу толщиномера на расстоянии 15 ± 5 мм от смежных краев плиты.

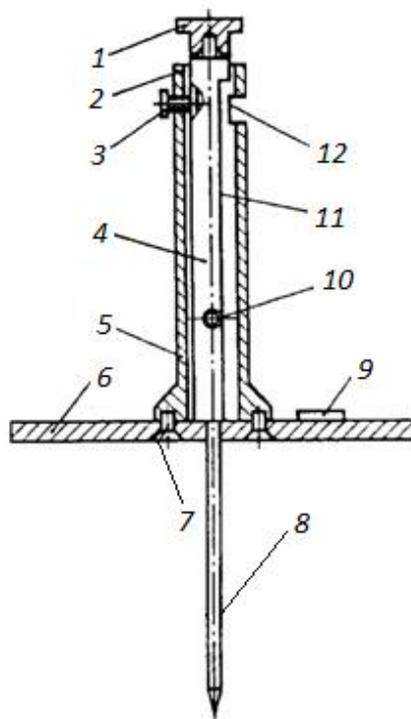


Рис. 9.1. Толщиномер:

1 – ручка; 2 – втулка; 3 – зажимной винт; 4 – вставка; 5 – корпус;
6 – основание; 7 – крепежный винт; 8 – игла; 9 – табличка;
10 – крепежный винт; 11 – шкала; 12 – стекло

Значение каждого геометрического размера округляют до 1 мм. Результат каждого из измеренных значений длины, ширины, толщины отдельного изделия не должен превышать значения предельного отклонения, установленного в нормативном документе на продукцию конкретного вида для каждого номинального размера.

Результаты определений размеров плит заносят в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Линейные размеры минераловатных плит

Линейные размеры плит, мм	Результаты частных испытаний	Средний результат	Требование ГОСТа
Длина			
Ширина			
Толщина			

9.1.2. Определение параметров внешнего вида

Для определения *разности длин диагоналей* измеряют длины двух диагоналей на наибольшей грани. В изделии с поврежденным углом (углами) вершину угла устанавливают при помощи складного метра, прикладывая одно его звено к боковому ребру, а другое смежное звено – к торцевому.

Отклонение от перпендикулярности смежных граней плиты проверяют в четырех местах: посередине боковых и торцевых граней. Для измерения отклонения от перпендикулярности граней угольник прикладывают опорной поверхностью к торцевым (боковым) граням так, чтобы его измерительная поверхность касалась одной из наибольших граней в изделиях с плоскими поверхностями, и измеряют линейкой наибольший зазор между измерительной поверхностью угольника и поверхностью изделия. Результат измерения округляют до 1 мм.

Отклонение от плоскостности граней плиты проверяют на двух наибольших гранях путем приложения к ним ребра линейки и измерения другой линейкой зазоров между поверхностью изделия и ребром приложенной линейки. В каждой проверяемой грани линейку прикладывают посередине последовательно в двух направлениях: вдоль всей длины и вдоль всей ширины изделия. Измеряют наибольший зазор – для поверхности с вогнутостью; зазоры по краям – для ребра с выпуклостью.

За результат измерения отклонения от прямолинейности ребра с выпуклостью принимают значение наибольшего из измеренных зазоров, округленное до 1 мм. Результаты определения показателей правильности геометрической формы минераловатных плит заносят в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Результаты определения показателей
правильности геометрической формы минераловатных плит

Наименование показателя	Значения показателей для отдельных изделий			Среднее значение показателя	Требование ГОСТа
	1	2	3		
Разность длин диагоналей, мм					
Отклонение от прямоугольности по ширине, м/мм					
Отклонение от прямоугольности по длине, м/мм					
Отклонение от плоскостности, мм					

9.1.3. Определение влажности

Для определения влажности изделий пробу массой $5 \pm 0,1$ г помещают в предварительно высушенный и взвешенный стаканчик или тигель и высушивают при температуре 105 ± 5 °С до постоянной массы. Образцы

(пробы) материалов или изделий считают высушенными до постоянной массы, если потеря их массы после повторного высушивания в течение 0,5 ч не превышает 0,1 %. После высушивания перед каждым повторным взвешиванием стаканчик или тигель с пробой охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием.

Влажность пробы W в процентах вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} 100,$$

где m_1 – масса стаканчика или тигля с пробой до высушивания, г; m_2 – масса стаканчика или тигля с пробой, высушенной до постоянной массы, г; m_3 – масса стаканчика или тигля, г.

Результат вычисления округляют до 0,1 % и заносят в табл. 9.7.

Таблица 9.7

Результаты определения влажности минераловатных плит

Марка плиты	Масса стаканчика или тигля с пробой до высушивания m_1 , г	Масса стаканчика или тигля с пробой, высушенной до постоянной массы m_2 , г	Масса стаканчика или тигля m_3 , г	Влажность пробы W , %

9.1.4. Определение средней плотности

Плотность определяют на образцах или на изделиях, в которых отклонения от правильной формы не превышают предельных значений. Определение плотности на образцах допускается для изделий, имеющих длину более 500 мм. При этом длина образца должна быть не менее 500 мм, ширина – не менее 500 мм или равна ширине изделия.

Отобранное для испытания изделие (или образец) взвешивают с погрешностью не более 0,5 %. Затем измеряют размеры изделия (или образца) (длину, ширину, толщину) и вычисляют его объем.

Если изделие (образец) имеет покровный материал, масса которого превышает 2 % массы изделия (образца), то ее необходимо вычесть из массы изделия (образца). Объем изделия (образца), вычисляют без учета толщины покровного материала, если его номинальная толщина превышает 1 мм.

Для изделий (образцов) без покровного материала плотность ρ (кг/м³) вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V(1+0,01W)}, \quad (9.1)$$

где m – масса плиты (образца), кг; V – объем плиты (образца), м³; W – влажность плиты (образца), определенная в соответствии с п. 9.1.3, %.

Результаты определения плотности минераловатных плит заносят в табл. 9.8.

Таблица 9.8

Результаты определения плотности
минераловатных плит

Марка плиты	Масса образца m , г	Размеры образца, см			Объем V , см ³	Влажность W , %	Плотность ρ , кг/м ³
		длина	ширина	толщина			

9.1.5. Определение водопоглощения

А. Метод определения водопоглощения при полном погружении образца в воду.

Сущность метода заключается в измерении массы воды, поглощенной образцом сухого материала при полном погружении в воду в течение заданного времени.

Для испытания из изделия вырезают образец в форме прямоугольного параллелепипеда длиной и шириной 100 ± 2 мм и толщиной, равной толщине изделия. Образцы высушивают до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С. Образцы изделий считают высушенными до постоянной массы, если потеря их массы после повторного высушивания в течение 0,5 ч не превышает 0,1 %. После высушивания перед каждым повторным взвешиванием образец охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием.

В ванну (рис. 9.2) на сетчатую подставку помещают образец и фиксируют его положение сетчатым пригрузом. Затем заливают в ванну воду температурой 22 ± 5 °С так, чтобы уровень воды был выше пригруза на 20–40 мм. Через 24 ч после залива воды образец переносят на подставку и через 30 с взвешивают на сухом поддоне. Массу воды, вытекшей из образца во время взвешивания в поддон, включают в массу насыщенного водой образца.

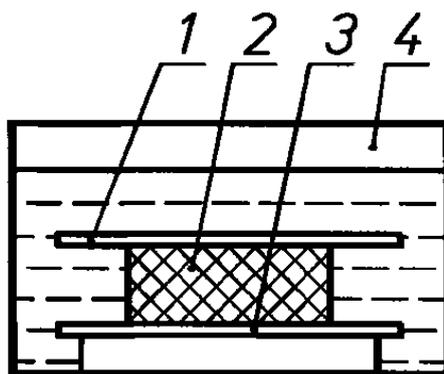


Рис. 9.2. Ванна с образцом, полностью погруженным в воду:
 1 – сетчатый пригруз; 2 – образец; 3 – сетчатая подставка; 4 – ванна

Б. Метод определения водопоглощения при частичном погружении образца в воду.

Сущность метода заключается в измерении массы воды, впитанной образцом сухого материала, частично погруженным в нее, в течение заданного времени.

Для испытания вырезают образец по форме прямоугольного параллелепипеда длиной и шириной 100 ± 2 мм и толщиной 30 ± 2 мм. Если толщина изделия больше 30 мм, то излишек срезают с одной стороны. Образец высушивают до постоянной массы, затем охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием и взвешивают.

В ванну (рис. 9.3) на сетчатую подставку помещают несрезанной плоскостью образец. Затем заливают в ванну воду температурой 22 ± 5 °С так, чтобы образец был погружен в воду на 5 ± 1 мм. При этом уровень воды в ванне поддерживают постоянным. После выдержки в течение 24 ч образец вынимают из воды и переносят на сетчатую подставку, через 30 с помещают в сухой поддон и взвешивают.

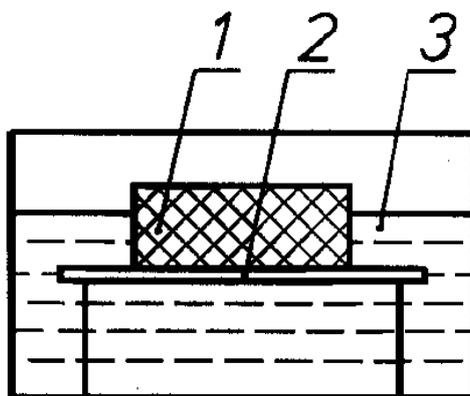


Рис. 9.3. Ванна с образцом, частично погруженным в воду:
 1 – образец; 2 – сетчатая подставка; 3 – ванна с водой

Массу воды, вытекшей из образца во время взвешивания в поддон, включают в массу насыщенного водой образца.

Водопоглощение при полном или частичном погружении образца $W^п$ (%) вычисляют по формуле

$$W^п = \frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_2} 100,$$

где m_1 – масса образца после насыщения водой и поддона для взвешивания, г; m_2 – масса образца, предварительно высушенного до постоянной массы, г; m_3 – масса сухого поддона для взвешивания, г.

Результаты определения водопоглощения заносят в табл. 9.9.

Таблица 9.9

Результаты определения водопоглощения минераловатных плит

Марка плиты	Масса образца после насыщения водой и поддона для взвешивания m_1 , г	Масса образца, предварительно высушенного до постоянной массы m_2 , г	Масса сухого поддона для взвешивания m_3 , г	Водопоглощение образца $W^п$, %

9.1.6. Определение прочности на сжатие при 10%-й линейной деформации

Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации определяют на образцах в форме параллелепипеда длиной и шириной 100 ± 1 мм и толщиной, равной толщине изделия. Предел допускаемой погрешности измерения длины и ширины образца линейкой составляет $\pm 0,5$ мм, штангенциркулем – $\pm 0,1$ мм.

Измеряют линейные размеры образца. Затем образец устанавливают на опорную плиту испытательной машины так, чтобы сжимающее усилие действовало по вертикальной оси образца, и измеряют нагрузку, при которой он уплотняется (деформируется) на 10 %. Измерение деформации образца производят индикатором часового типа. Отсчет деформации образцов начинают при удельной нагрузке на образец $2\,000 \pm 100$ Па.

Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации σ_{10} (МПа) вычисляют по формуле

$$\sigma_{10} = \frac{P}{lb},$$

где P – усилие при 10%-й линейной деформации, Н; l – длина образца, мм; b – ширина образца, мм.

Результат испытания округляют до 0,01 МПа.

Данные испытаний минераловатных плит на сжатие при 10%-й линейной деформации заносят в табл. 9.10.

Таблица 9.10

Результаты определения прочности минераловатных плит на сжатие при 10%-й линейной деформации

Марка плиты	Размеры образца, мм		Усилие при 10%-й линейной деформации P , Н	Прочность образца на сжатие при 10%-й линейной деформации σ_{10} , МПа
	Длина l , мм	Ширина b , мм		

Контрольные вопросы

1. Какие строительные материалы относятся к теплоизоляционным и каково их назначение?
2. Какими свойствами характеризуются теплоизоляционные материалы?
3. Какие теплоизоляционные материалы относятся к минераловатным изделиям?
4. Что представляют из себя и для чего применяют теплоизоляционные плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем?
5. Какими показателями качества характеризуются минераловатные изделия?
6. Как определяются линейные размеры минераловатных плит?
7. Как производится определение параметров внешнего вида минераловатных плит?
8. Каким образом определяют влажность минераловатных плит?
9. Как производится определение средней плотности минераловатных плит?
10. В чем заключается различие методов определения водопоглощения минераловатных плит при полном и частичном погружении образца в воду?
11. Как определяют прочность на сжатие минераловатных плит при 10%-й линейной деформации?

9.2. Определение свойств плит пенополистирольных теплоизоляционных (лабораторная работа № 16)

Материалы на основе полимеров, содержащие в своем составе газовую фазу, называются газонаполненными (газосодержащими) полимерными теплоизоляционными материалами (или пенопластами).

Пенополистирол (ППС/EPS) – теплоизоляционный плитный материал с ячеистой структурой, полученный путем спекания гранул, образованных из вспенивающегося полистирола беспрессовым способом. При этом необходимо различать белый вспененный пенополистирол и цветной экструдированный (ЭППС/XPS), который имеет другую структуру, свойства и, соответственно, другой способ производства.

Пенополистирольные плиты предназначены для тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций вновь строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений, тепловой защиты отдельных элементов строительных конструкций и промышленного оборудования при отсутствии контакта плит с внутренними помещениями, а также в холодильных камерах при температуре изолируемых поверхностей не выше +80 °С. Плиты должны быть изолированы от внешней среды с помощью, как правило, экранной (гипсокартон, ДСП, ориентировано-стружечная плита (ОСП) и т.п.), штучной (кирпич, блок, камень) или штукатурной отделки. Марка пенополистирола должна соответствовать области применения, а толщина утеплителя определяется на основе теплотехнического расчета.

В зависимости от предельного значения плотности плиты разделяют на марки ППС10, ППС12, ППС13, ППС14, ППС15, ППС15Ф, ППС16Ф, ППС17, ППС20, ППС20Ф, ППС23, ППС25, ППС30, ППС35, ППС40, ППС45. Плиты марок ППС15Ф, ППС16Ф, ППС20Ф предназначены для теплоизоляции в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями.

В зависимости от технологии изготовления плиты разделяют на типы: Р – резаные из крупногабаритных блоков; РГ – резаные графитосодержащие из крупногабаритных блоков; Т – термоформованные.

В зависимости от формы плиты изготавливают двух видов: А – плиты с прямоугольной боковой кромкой; Б – плиты с выбранной или формованной в «четверть» боковой кромкой.

Плиты изготавливают следующих размеров, мм: длина от 500 до 6 000 с интервалом через 50 мм; ширина от 500 до 2 000 с интервалом через 50 мм; толщина от 10 до 500 с интервалом через 5 мм. По согласованию с потребителем допускается изготовление плит другой формы и размеров.

Условное обозначение пенополистирольных плит должно состоять из обозначения марки, типа, вида, размеров по длине, ширине, толщине в миллиметрах и обозначения настоящего стандарта. При необходимости в

условное обозначение плит может быть включено обозначение цвета или торговой марки предприятия-изготовителя.

Пример условного обозначения пенополистирольных плит марки ППС10, типа Р, вида А, длиной 1 000, шириной 1 000 и толщиной 50 мм:

ППС10-Р-А-1 000×1 000×50 ГОСТ 15588-2014.

То же для пенополистирольных плит, предназначенных для теплоизоляции в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями, марки ППС16Ф, типа Р, вида Б, длиной 1 000, шириной 500 и толщиной 120 мм:

ППС16Ф-Р-Б-1 000×500×120 ГОСТ 15588-2014.

То же для пенополистирольных графитосодержащих плит, предназначенных для теплоизоляции в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями, марки ППС15Ф, типа РГ, вида А, длиной 1 000, шириной 500 и толщиной 100 мм:

ППС15Ф-РГ-А-1 000×500×100 ГОСТ 15588-2014.

Предельные отклонения от номинальных размеров плит не должны превышать значений, указанных в табл. 9.11.

Таблица 9.11

Предельные отклонения от размеров пенополистирольных плит

Наименование показателя	Значение	
	номинальных размеров, мм	предельных отклонений, мм
Длина	До 1 000	±5
	От 1 000 до 2 000	±7,5
	Свыше 2 000	±10
Ширина	До 1 000	±5
	Свыше 1 000	±7,5
Толщина	До 50	±2,0
	Свыше 50	±3,0

Плиты должны иметь правильную геометрическую форму. Разность длин диагоналей наибольших граней плиты не должна превышать, мм: для плит длиной до 1 000 – 4; для плит длиной от 1 000 до 2 000 – 6; для плит длиной свыше 2 000 – 10. Отклонение от плоскостности наибольших граней плиты не должно быть более 3 мм на 500 мм длины грани.

На поверхности плит не допускаются выпуклости или впадины длиной более 50 мм, шириной более 3 мм и высотой (глубиной) более 3 мм. В плитах допускаются притупленности ребер и углов глубиной не более 10 мм от вершины прямого угла и скосы по сторонам притупленных углов длиной не более 80 мм.

Показатели физико-механических свойств плит типа Р должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 9.12, плит типа РГ – в табл. 9.13, плит типа Т – в табл. 9.14.

Таблица 9.12

Показатели физико-механических свойств пенополистирольных плит резаных графитосодержащих из крупногабаритных блоков

Наименование показателя	Значение показателя для плит марки	
	ППС15Ф	ППС20Ф
Плотность, кг/м ³ , не менее	15	20
Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации, кПа, не менее	70	100
Предел прочности при изгибе, кПа, не менее	140	250
Предел прочности при растяжении в направлении, перпендикулярном поверхности, кПа, не менее	100	150
Теплопроводность плит в сухом состоянии при температуре 10 ± 1 °С (283 К), Вт/(м · К), не более	0,032	0,031
Теплопроводность плит в сухом состоянии при температуре 25 ± 5 °С (298 К), Вт/(м · К), не более	0,034	0,033
Влажность, % по массе, не более	2	2
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	4	3
Время самостоятельного горения, с, не более	1	1

Таблица 9.13

**Физико-механические показатели термоформованных
пенополистирольных плит**

Наименование показателя	Значение показателя для плит марок						
	ППС15	ППС20	ППС25	ППС30	ППС35	ППС40	ППС45
Плотность, кг/м ³ , не менее	15	20	25	30	35	40	45
Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации, кПа, не менее	100	150	180	200	250	300	350
Предел прочности при изгибе, кПа, не менее	180	200	250	400	450	500	550
Теплопроводность плит в сухом состоянии при темпе- ратуре 10 ± 1 °С (283 К), Вт/(м · К), не более	0,037	0,036	0,036	0,035	0,036	0,036	0,036
Теплопроводность плит в сухом состоянии при температуре 25 ± 5 °С (298 К), Вт/(м · К), не более	0,039	0,038	0,038	0,037	0,038	0,038	0,038
Влажность, % по массе, не более	1	1	1	1	1	1	1
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,3	0,2
Время самостоятельного горения, с, не более	4	4	4	4	4	4	4

Таблица 9.14

Показатели физико-механических свойств пенополистирольных плит резаных из крупногабаритных блоков

Наименование показателя	Значение показателя для плит марки										
	ППС10	ППС12	ППС13	ППС14	ППС16Ф	ППС17	ППС20	ППС23	ППС25	ППС30	ППС35
Плотность, г/м ³ , не менее	10	12	13	14	16	17	20	23	25	30	35
Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации, кПа, не менее	40	60	70	80	100	100	120	140	160	200	250
Предел прочности при изгибе, кПа, не менее	60	100	120	150	180	160	200	220	250	300	350
Предел прочности при растяжении в направлении, перпендикулярном поверхности, кПа, не менее	–	–	–	–	100	–	–	–	–	–	–
Теплопроводность плит в сухом состоянии при температуре 10 ± 1 °С (283 К), Вт/(м · К), не более	0,041	0,040	0,039	0,038	0,036	0,037	0,036	0,035	0,034	0,035	0,036
Теплопроводность плит в сухом состоянии при температуре 25 ± 5 °С (298 К), Вт/(м · К), не более	0,044	0,042	0,041	0,040	0,038	0,039	0,038	0,037	0,036	0,037	0,038
Влажность, % по массе, не более	5,0	5,0	3,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	4,0	4,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Время самостоятельного горения, с, не более	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4

9.2.1. Определение размеров и показателей внешнего вида

Плиты для испытаний выдерживают не менее 3 ч в помещении с температурой воздуха 22 ± 5 °С и относительной влажностью 50 ± 5 %.

Длину и ширину плит измеряют линейкой или рулеткой в трех местах: на расстоянии 50 мм от края и посередине плиты. Для измерения размеров до 1 м применяют линейку, свыше 1 м – рулетку. Длина измерительного инструмента должна быть не меньше длины изделия. Погрешность измерения – не более 0,5 мм.

Толщину плит измеряют штангенциркулем в восьми местах на расстоянии 50 мм от боковых граней плиты: четыре точки посередине длины и ширины плиты и четыре точки по углам плиты на расстоянии 50 мм от пересечения боковых граней. Погрешность измерения – не более 0,1 мм.

Для определения разности длин диагоналей измеряют длины двух диагоналей на наибольшей грани плиты рулеткой. Погрешность измерения – не более 0,5 мм. За результат измерения принимают значение разности длин диагоналей плиты.

Притупленность ребер и углов, скосы по сторонам притупленных углов определяют измерительным инструментом с погрешностью не более 1,0 мм.

Длину, ширину и высоту (глубину) выпуклостей или впадин измеряют двухсторонним штангенциркулем с глубиномером.

Отклонение от плоскостности плит определяют аналогично п. 9.1.2.

Результаты определений размеров плит и показателей внешнего вида заносят в табл. 9.15.

Таблица 9.15

Размеры плит и показатели внешнего вида пенополистирольных плит

Размеры и показатели внешнего вида	Единицы измерения	Результаты частных испытаний	Средний результат	Требование ГОСТа
Длина	мм			
Ширина	мм			
Высота	мм			
Дефекты внешнего вида	шт., мм			

9.2.2. Определение влажности

Влажность определяют на образцах размерами $(50 \times 50 \times 50) \pm 0,5$ мм, вырезанных в количестве трех штук из каждой плиты. Если толщина плиты, из которой изготавливают образцы, меньше 50 мм, то толщину образца принимают равной толщине плиты.

Образцы взвешивают с погрешностью не более 0,01 г, высушивают в сушильном электрошкафу при температуре 60 ± 2 °С в течение 3 ч, затем

охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием в течение 0,5 ч, после чего взвешивают с той же погрешностью.

Влажность W образца (%) вычисляют по формуле

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} 100,$$

где m – масса образца до высушивания, г; m_1 – масса образца после высушивания, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение результатов параллельных определений влажности образцов, округленное до 0,1 %.

Результаты испытаний заносят в табл. 9.16.

Таблица 9.16

Результаты определения влажности пенополистирольных плит

Марка плиты	Масса образца до высушивания m , г	Масса образца после высушивания m_1 , г	Влажность образца W , %

9.2.3. Определение средней плотности

Плотность определяют на образцах, соответствующих габаритным размерам целых плит. Плотность допускается также определять на образцах размерами $(100 \times 100 \times 100) \pm 0,5$ мм или на образцах других размеров, которые позволяют использовать имеющиеся измерительные приборы.

Образцы в данном и других испытаниях изготавливают из выдержанных плит (см. п. 9.2.1). При создании образцов из плит вырезают по одному образцу из середины плиты, остальные – на расстоянии 50 мм от края по длине плиты. Делают это нагретой нихромовой проволокой толщиной не более 0,7 мм; нагрев проволоки – электрический, напряжение тока – не более 40 В.

Плиты (образцы) взвешивают с погрешностью не более 0,5 % и определяют геометрические размеры в соответствии с п. 9.2.1. Плотность плиты (образца) ρ , кг/м³, вычисляют по формуле (9.1).

За результат испытаний принимают среднеарифметическое значение результатов параллельных определений плотности плит, округленное до 0,1 кг/м³. Результаты испытаний заносят в табл. 9.17.

Таблица 9.17

Результаты определения средней плотности пенополистирольных плит

Марка плиты	Масса образца m , г	Размеры образца, см			Объем V , см ³	Влажность W , %	Плотность ρ , кг/м ³
		Длина	Ширина	Толщина			

9.2.4. Определение водопоглощения

Сущность метода заключается в определении массы воды, поглощенной образцами сухого материала после полного погружения их в дистиллированную воду и выдерживания в ней в течение заданного времени.

Для определения водопоглощения из плит вырезают по одному образцу размерами $(50 \times 50 \times 50) \pm 0,5$ мм. Если толщина изделия меньше 50 мм, то толщину образца принимают равной толщине плиты. Длину, ширину и толщину образцов измеряют не менее чем в трех точках с погрешностью не более $\pm 0,1$ мм.

Перед проведением испытаний образцы высушивают при температуре 60 ± 2 °С не менее 3 ч, затем охлаждают в эксикаторе не менее 0,5 ч и взвешивают с погрешностью $\pm 0,01$ г.

Образцы помещают в ванну на сетчатую подставку и фиксируют их положение сетчатым пригрузом. Затем в ванну заливают воду с температурой 22 ± 5 °С так, чтобы ее уровень был выше сетчатого пригруза не менее чем на 20 мм. Через 24 ч после залива воды образцы вынимают, протирают фильтровальной бумагой и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Водопоглощение W_o (% по объему) вычисляют по формуле

$$W_o = \frac{m - m_1}{V\rho_v} 100 ,$$

где m – масса образца после выдерживания его в воде, г; m_1 – масса образца до погружения в воду, г; V – объем образца, см^3 ; ρ_v – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3 .

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение параллельных определений водопоглощения плит, округленное до 0,1 %.

Результаты испытаний заносят в табл. 9.18.

Таблица 9.18

Результаты определения водопоглощения пенополистирольных плит

Марка плиты	Масса образца после выдерживания его в воде m , г	Масса образца до погружения в воду m_1 , г	Объем образца V , см^3	Водопоглощение образца по объему W_o , %

9.2.5. Определение прочности на сжатие при 10%-й линейной деформации

Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации определяют на образцах размерами $(50 \times 50 \times 50) \pm 0,5$ мм, вырезанных в количестве трех штук из каждой плиты. Если толщина плиты менее 50 мм, то толщину образца принимают равной толщине плиты. Допускается определение прочности на сжатие при 10%-й линейной деформации на образцах квад-

ратного сечения размерами $(100 \times 100) \pm 0,5$ или $(150 \times 150) \pm 1$ мм и толщиной, равной толщине плиты.

Измеряют линейные размеры образца. Затем его устанавливают на опорную плиту испытательной машины так, чтобы сжимающее усилие действовало по оси образца. Нагружение образца проводят в направлении толщины плиты, из которой он вырезан, до достижения нагрузки, соответствующей 10%-й линейной деформации.

Прочность на сжатие при 10%-й линейной деформации $R_{сж}$ (кПа) вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{lb} 10^3,$$

где P – нагрузка при 10%-й линейной деформации, Н; l – длина образца, мм; b – ширина образца, мм.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение результатов параллельных определений прочности плит при 10%-й линейной деформации, округленное до 10 кПа.

Результаты испытаний заносят в табл. 9.19.

Таблица 9.19

Результаты определения прочности пенополистирольных плит на сжатие при 10%-й линейной деформации

Марка плиты	Размеры образца, мм		Нагрузка при 10%-й линейной деформации P , Н	Прочность образца на сжатие при 10%-й линейной деформации $R_{сж}$, кПа
	Длина l , мм	Ширина b , мм		

9.2.6. Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе определяют на образцах, вырезанных из плит. Вырезают по два образца размерами $(250 \times 40 \times 40) \pm 1$ мм (один образец из середины и один на расстоянии 50 мм от края плиты). Если отобранные плиты имеют толщину менее 40 мм, то высота образца должна быть равной толщине плиты.

Измеряют толщину и ширину образца не менее чем в трех точках с погрешностью не более 0,1 мм.

Образец помещают на опоры так, чтобы его плоскость касалась опор по всей ширине, а концы образца выходили за оси опор не менее чем на 20 мм. При этом толщина образца должна совпадать с направлением нагрузки. В момент разрушения образца фиксируют разрушающую нагрузку.

Предел прочности при изгибе образца $R_{изг}$ (кПа) вычисляют по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Pl}{2bh^2} 10^3,$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; l – расстояние между осями опор, мм; b и h – ширина и высота образца соответственно, мм.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение результатов параллельных определений прочности, округленное до 10 кПа.

Результаты испытаний заносят в табл. 9.20.

Таблица 9.20

Результаты определения предела прочности при изгибе плит

Марка плиты	Размеры образца, мм			Разрушающая нагрузка P , Н	Предел прочности при изгибе образца $R_{\text{изг}}$, кПа
	ширина b	высота h	расстояние между осями опор l		

Контрольные вопросы

1. Какие теплоизоляционные материалы относятся к полимерным теплоизоляционным материалам?
2. Что представляют из себя и для чего применяют пенополистирол и пенополистирольные плиты?
3. Какими показателями качества характеризуются пенополистирольные плиты?
4. Как производится определение размеров и показателей внешнего вида пенополистирольных плит?
5. Каким образом определяют влажность пенополистирольных плит?
6. Как производится определение средней плотности пенополистирольных плит?
7. Как определяют водопоглощение пенополистирольных плит?
8. Как определяют прочность на сжатие пенополистирольных плит при 10%-й линейной деформации?
9. Как производится определение предела прочности при изгибе пенополистирольных плит?

9.3. Сравнительный анализ характеристик теплоизоляционных материалов (практическая работа № 4)

Задачами настоящей работы являются изучение основных видов теплоизоляционных материалов, определение и анализ их физико-механических свойств, характерных особенностей применения с помощью учебной литературы. Результаты изучения теплоизоляционных материалов студенты заносят в табл. 9.21.

Таблица 9.21

**Основные виды и характеристика
теплоизоляционных материалов**

Материалы	Основные свойства	Особенности применения
Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия		
<p>Изделия из минеральной ваты и стекловолокна: плиты твердые плиты жесткие плиты полужесткие и мягкие маты Материалы и изделия из вспученных горных пород и минералов: вспученный перлит вспученный вермикулит битумоперлит стеклоперлит керамоперлит перлитцемент Ячеистое стекло Ячеистая керамика Ячеистый бетон</p>		
Органические теплоизоляционные материалы и изделия		
<p>Материалы на основе древесного волокна: ДВП фибrolит Торфоплиты Газонаполненные пластмассы (пенопласты)</p>		

10. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Отделочные материалы – это широкий спектр различных строительных материалов и изделий, которые должны сообщать конструкциям и сооружениям определенные свойства:

- придавать завершающее архитектурное оформление;
- защищать от воздействия окружающей среды;
- создавать особые санитарно-гигиенические условия, уменьшающие запыление, загрязнение, увлажнение, защиту от шума и др.;
- обеспечивать возможность восстанавливать свойства поверхности отделки, эксплуатирующейся под влиянием коррозионного старения, механических и химических дефектов, радиационного облучения, износа и других воздействий среды, различными приемами.

Современные виды отделочных материалов можно разделить на несколько групп согласно следующим признакам: условиям эксплуатации, назначению, физическому состоянию, природе их компонентов.

Исходя из *условий эксплуатации*, можно выделить наружные отделочные материалы (для работ вне помещения) и внутренние (отделка ими производится внутри здания).

По назначению материалы делятся:

на отделочные (декоративные) – включают в себя несколько видов и представляют собой либо тонкий рулонный материал (линолеум, обои), либо плиты небольшой толщины (керамика, камень), либо составы, наносимые на поверхность достаточно тонким слоем (декоративная штукатурка, лак, краска);

конструкционно-отделочные – материалы, не только выполняющие декоративную функцию, но и являющиеся в ряде случаев конструктивными несущими элементами (в качестве примера можно упомянуть блоки из стекла, декоративный бетон, лицевой кирпич и т. д.);

специально-отделочные изделия и материалы – призваны выполнять определенные функции: защищать от шума, рентгеновского излучения и т. д.

В зависимости от своего *физического состояния* материалы делятся:

на жидкие – являются смесью связующего и декоративного компонента (любые лакокрасочные составы, наливные полы и т. д.);

штучные – состоят из небольших изделий (паркетные доски, керамическая плитка);

сборные элементы – представляют собой довольно крупные плиты (листы гипсокартона, гипсоволокнистые листы, стеновые панели, ДСП, ламинированный пакет), монтирующиеся при помощи гвоздей, саморезов, заклепок, специального клея.

По природе компонентов можно разделить материалы на природные (часто это экологически чистые отделочные материалы, не представляющие никакой опасности для человека) и искусственные.

Отделочные материалы искусственного происхождения бывают двух видов – неорганические и органические. К первым можно отнести облицовочный кирпич, различные штукатурки на основе неорганических вяжущих веществ (цемента, гипса). Органические отделочные материалы – это в первую очередь изделия из полимеров (виниловые обои, линолеум), а также материалы на основе древесины (паркетная доска, фанера).

10.1. Определение свойств гипсокартонных листов (лабораторная работа № 17)

Листы гипсокартонные (ГКЛ) представляют собой листовое изделие, состоящее из гипсового затвердевшего сердечника, все плоскости которого, кроме торцевых кромок, облицованы картоном. Гипсокартонный лист применяется для облицовки стен, устройства межкомнатных перегородок, подвесных потолков, огнезащитных покрытий конструкций, а также для изготовления декоративных и звукопоглощающих изделий.

В зависимости от свойств и области применения листы разделяются на следующие виды:

листы гипсокартонные обычные (т.е. ГКЛ), применяемые преимущественно для внутренней отделки зданий и помещений с сухим и нормальным влажностными режимами;

листы гипсокартонные влагостойкие (ГКЛВ) – ГКЛ, имеющие пониженное водопоглощение (менее 10 %) и применяемые в помещениях с сухим, нормальным, влажным и мокрым влажностными режимами в соответствии с действующими нормами по строительной теплотехнике;

листы гипсокартонные с повышенной сопротивляемостью воздействию открытого пламени (ГКЛО) – ГКЛ, обладающие большей, чем обычные, сопротивляемостью огневому воздействию и применяемые в помещениях с повышенной пожарной опасностью;

листы гипсокартонные влагостойкие с повышенной сопротивляемостью воздействию открытого пламени (ГКЛВО) – ГКЛ, обладающие одновременно свойствами листов ГКЛВ и ГКЛО.

При применении листов ГКЛВ и ГКЛВО в помещениях с влажным режимом их следует защищать с лицевой поверхности водостойкими грунтовками, шпаклевками, красками, керамической плиткой или покрытиями из ПВХ. В этих помещениях следует предусматривать вытяжную вентиляцию, обеспечивающую нормальный воздухообмен.

Технические требования к гипсокартонным листам приведены в табл. 10.1, 10.2. Для листов группы *А* не допускаются повреждения углов и продольных кромок. Для листов группы *Б* не допускаются повреждения

углов и продольных кромок (малозначительные дефекты), размеры и количество которых превышают значения, приведенные в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Технические требования к гипсокартонным листам
по характеристикам внешнего вида

Наименование показателя	Значение для одного листа, не более
Повреждение углов: длина наибольшего катета, мм	20
число, шт.	2
Повреждение продольных кромок: длина, мм	20
глубина, мм	5
число, шт.	2

Разрушающая нагрузка при испытании листов на прочность при изгибе при постоянном пролете ($l = 350$ мм) должна быть не меньше указанной в табл. 10.2. Отклонение минимального значения разрушающей нагрузки отдельного образца от требований не должно быть более 10 %.

Таблица 10.2

Технические требования к гипсокартонным листам
по прочностным показателям

Толщина листов, мм	Разрушающая нагрузка для образцов, Н, кгс	
	продольных	поперечных
6,5	125 (12,5)	54 (5,4)
8,0	174 (17,4)	68 (6,8)
9,5	222 (22,2)	81 (8,1)
12,5	322 (32,2)	105 (10,5)
14,0	360 (36,0)	116 (11,6)
16,0	404 (40,4)	126 (12,6)
18,0	440 (44,0)	133 (13,3)
20,0	469 (46,9)	134 (13,4)
24,0	490 (49,0)	136 (13,6)

Водопоглощение гипсокартонных листов ГКЛВ и ГКЛВО не должно быть более 10 %. Сопротивляемость листов ГКЛЮ и ГКЛВО воздействию открытого пламени должна быть не менее 20 мин.

10.1.1. Определение характеристик внешнего вида

Повреждения углов листа измеряют по длине наибольшего катета линейкой с использованием угольника. Угольник прикладывают к каждому поврежденному углу изделия, восстанавливая его форму, и измеряют расстояние от внутренней вершины угольника до границы повреждения

соответствующей стороны листа. Длину повреждения продольных кромок листа измеряют линейкой или штангенциркулем. Глубину повреждения продольных кромок листа измеряют штангенциркулем с глубиномером при использовании линейки в месте наибольшего повреждения.

Длину и ширину листа измеряют рулеткой на расстоянии 65 ± 5 мм от соответствующих кромок и посередине листа; место измерения может быть смещено от середины соответствующей стороны листа не более чем на 30 мм.

Толщину листа измеряют толщиномером (штангенциркулем) по каждой торцевой кромке в трех местах: на расстоянии 65 ± 5 мм от продольных кромок и посередине торцевой кромки; место измерения может быть смещено от середины торцевой кромки не более чем на 30 мм.

Отклонение от прямоугольности определяют по разности длин диагоналей. Длину каждой диагонали измеряют рулеткой один раз. При измерении длины, ширины и диагоналей листа показание средства измерения округляют до 1 мм. При измерении толщины листа показание средства измерения округляют до 0,1 мм.

Характеристики внешнего вида ГКЛ заносят в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Характеристики внешнего вида гипсокартонных листов и их сравнение с нормативными требованиями

№ п/п	Характеристики внешнего вида ГКЛ	Фактические значения	Значение стандарта
1			
2			
...			

10.1.2. Определение разрушающей нагрузки

Сущность метода заключается в разрушении образца сосредоточенной нагрузкой, прикладываемой в середине пролета по однопролетной схеме. Для испытания применяют устройство любой конструкции, обеспечивающее возможность приложения нагрузки по схеме, приведенной на рис. 10.1, со скоростью нарастания нагрузки 15–20 Н/с (1,5–2,0 кгс/с), и имеющее прибор, позволяющий измерить разрушающую нагрузку с погрешностью не более 2 %. Опоры и деталь, передающая нагрузку, в месте соприкосновения с образцом должны иметь цилиндрическую форму радиусом от 5 до 10 мм; длина опор и детали должна быть не менее ширины образца.

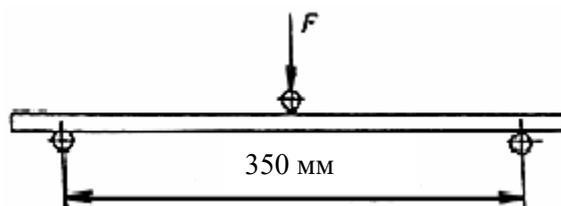


Рис. 10.1. Схема испытания образцов гипсокартона на прочность при изгибе при постоянном пролете

Из каждого листа, отобранного для контроля, вырезают по одному продольному и одному поперечному образцу длиной 450 ± 5 мм и шириной 150 ± 5 мм. Образцы вырезают на расстоянии не менее 100 мм от кромок листа у противоположных концов любой из его диагоналей. Образцы маркируют (продольный или поперечный) и высушивают.

Продольные образцы помещают на опоры лицевой стороной вниз, а поперечные – тыльной. Нагрузку повышают со скоростью 15–20 Н/с (1,5–2,0 кгс/с) до разрушения образца.

Результат испытания округляют до 1 Н (0,1 кгс). За разрушающую нагрузку партии листов принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний отдельно трех продольных и трех поперечных образцов. Результат испытания заносят в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Результаты определения разрушающей нагрузки и их сравнение с нормативными требованиями

Наименование листа	Продольный			Поперечный		
	1	2	3	1	2	3
№ листа						
Толщина листа						
Разрушающая нагрузка, Н						
Среднее значение, Н						
Значение по стандарту						

10.1.3. Определение прочности сцепления гипсового сердечника с картоном

В любом месте по длине каждого листа, отобранного для контроля, делают по два пересекающихся между собой под углом приблизительно в 30° надреза картона длиной до пересечения не менее 100 мм. Надрезы картона выполняют с лицевой и тыльной стороны листа до гипсового сердечника. В месте пересечения надрезов остроугольную часть картона приподнимают с помощью ножа и вручную отрывают от листа в вертикальном направлении. По характеру отрыва картона оценивают прочность его сцепления с гипсовым сердечником.

Сцепление гипсового сердечника с картоном должно быть прочнее, чем сцепление слоев картона.

10.1.4. Определение водопоглощения

От каждого листа, отобранного для контроля, вырезают по одному образцу-квадрату с длиной стороны 300 ± 5 мм на расстоянии не менее 100 мм от кромок листа.

Для проведения испытания следует использовать водопроводную воду, температура которой должна быть 20 ± 2 °С. Образец высушивают до постоянной массы при температуре 41 ± 1 °С. Высушенные образцы после охлаждения в условиях, исключающих воздействие на них влаги, взвешивают и помещают на 2 ч в воду в горизонтальном положении на подкладки, при этом уровень воды должен быть выше образцов не менее чем на 50 мм. Перед взвешиванием насыщенных водой образцов с них удаляют имеющиеся на поверхности капли воды. Взвешивание каждого образца должно быть закончено не позднее 5 мин после извлечения его из воды.

Результаты взвешиваний округляют до 10 г.

Водопоглощение W (%) вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100,$$

где m_1 – масса образца, высушенного до постоянной массы, г; m_2 – масса образца, насыщенного водой, г.

Результат вычисления округляют до 1 %. За водопоглощение партии листов принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний всех образцов.

Результаты испытания заносят в табл. 10.5.

Результаты определения водопоглощения гипсокартона

Масса образца, высушенного до постоянной массы m_1 , г	Масса образца, насыщенного водой m_2 , г	Водопоглощение W , %

Контрольные вопросы

1. Какие материалы применяют для отделки поверхностей зданий и помещений?
2. Перечислите основные виды гипсокартонных листов.
3. Какими показателями качества характеризуются гипсокартонные листы?
4. Как производится определение размеров и характеристик внешнего вида гипсокартонных листов?
5. Каким образом определяют разрушающую нагрузку гипсокартонных листов?
6. Как производится определение прочности сцепления гипсового сердечника с картоном?
7. Как определяют водопоглощение гипсокартонных листов?

10.2. Определение свойств фанеры общего назначения (лабораторная работа № 18)

Фанера – это клееный листовый материал, состоящий из нескольких (от 3 до 23) слоев древесного шпона. Волокна соседних слоев расположены перпендикулярно друг к другу, что обеспечивает фанере высокую прочность и устойчивость к деформациям, превосходя прочность массива дерева аналогичных размеров.

Фанеру разделяют:

на сорта в зависимости от внешнего вида поверхности: Е (элита), I, II, III, IV;

марки в зависимости от степени водостойкости клеевого соединения: ФСФ – повышенной водостойкости для внутреннего и наружного использования; ФК – водостойкая для внутреннего использования;

шлифованную с одной стороны Ш1, шлифованную с двух сторон и нешлифованную НШ в зависимости от степени механической обработки поверхности.

Физико-механические свойства фанеры общего назначения должны соответствовать требованиям, указанным в табл.10.6.

Таблица 10.6

**Технические требования к фанере общего назначения
по физико-механическим свойствам**

Наименование показателя	Толщина, мм	Марка фанеры	Значение физико- механических показателей
Влажность, %	3–30	ФК, ФСФ	5–10
Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев, МПа, не менее	6,5–30		25
Предел прочности при растяжении вдоль волокон, МПа, не менее	3–6,5		30
Модуль упругости при статическом изгибе вдоль волокон, МПа, не менее	6,5–30		7 000
Ударная вязкость при изгибе, КДж/м	12–30		34
Твердость, МПа	6,5–30		20
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К), при средней плотности, кг/м ³	3–30		
			300 500 700 1 000
			0,09 0,13 0,17 0,24

10.2.1. Определение средней плотности фанеры

Сущность метода заключается в определении массы образца взвешиванием, а объема – измерением и вычислении отношения массы образца к его объему. Среднюю плотность определяют на образцах размером $100 \times 100 \times S$ мм, где S – толщина листа фанеры.

Толщину образцов измеряют одним из следующих способов: в четырех точках в соответствии с рис. 10.2а или в трех точках в соответствии с рис. 10.2б. За толщину образца принимают среднее арифметическое результатов четырех измерений или показание трехточечного толщиномера.

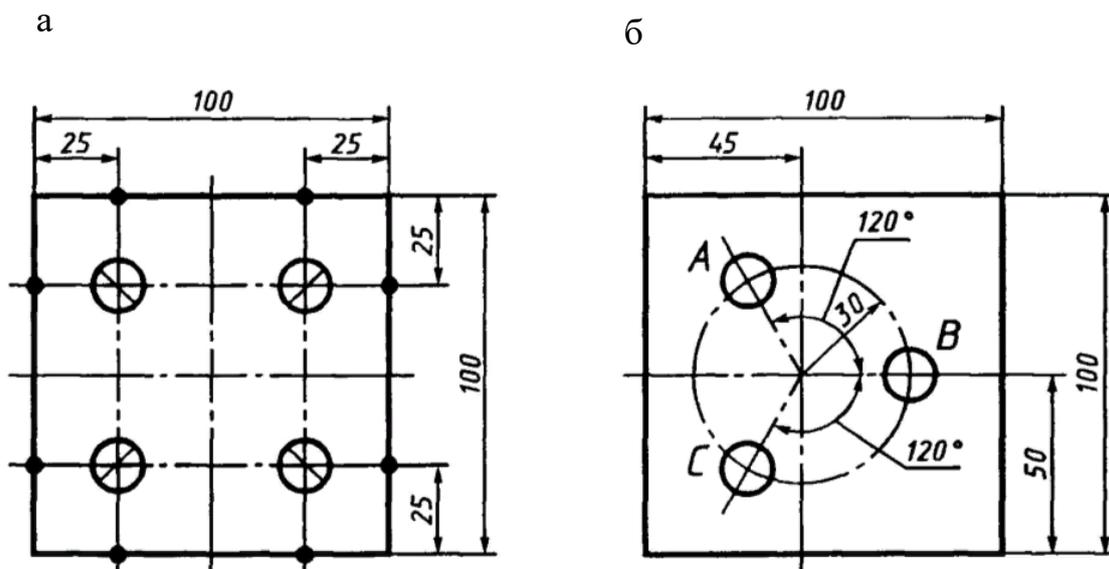


Рис. 10.2. Схема измерения толщины образца фанеры:
 а – по четырем измерениям в четырех точках;
 б – в трех точках с помощью трехточечного толщиномера

Длину и ширину образцов измеряют в двух местах параллельно кромкам на расстоянии 25 мм от них в соответствии с рис. 10.1. За длину и ширину образца принимают среднее арифметическое результатов двух измерений. При измерении длины и ширины образцов, отобранных из одной партии, допускается производить по одному измерению каждого размера по середине сторон образца параллельно его кромкам.

Среднюю плотность ρ образца (кг/м^3 (г/см^3)) вычисляют с округлением до $1,0 \text{ кг/м}^3$ ($0,01 \text{ г/см}^3$) по формуле

$$\rho = \frac{m}{b \cdot s \cdot l},$$

где m – начальная масса образца, кг (г); l – длина образца, м (см); b – ширина образца, м (см); s – толщина образца, м (см).

Результаты испытания заносят в табл. 10.7.

Таблица 10.7

Результаты определения средней плотности фанеры

Начальная масса образца m , г	Длина образца l , см	Ширина образца b , см	Толщина образца s , см	Средняя плотность образца ρ , кг/м^3

10.2.2. Определение влажности фанеры

Сущность метода заключается в определении взвешиванием массы воды в образце и вычислении в процентах ее отношения к массе образца после высушивания до абсолютно сухого состояния. Образцы для определения влажности должны иметь размеры не менее 25 см^2 по площади в

плане или не менее 10 г по массе. Форма образцов произвольная. При определении влажности с момента изготовления образцов до взвешивания последние должны помещаться в сухие закрытые эксикаторы, полиэтиленовые мешки или другие средства, обеспечивающие сохранение влажности.

При определении влажности образцы взвешивают. Взвешенные образцы высушивают в сушильном шкафу с естественной циркуляцией воздуха при 103 ± 2 °С до постоянной массы. Высушивание образцов считают законченным, если разность между двумя последовательными взвешиваниями, произведенными через 2 ч одно после другого, будет не более 0,01 г. После охлаждения в эксикаторе с безводным хлористым кальцием образцы взвешивают с той же точностью.

Влажность фанеры W (%) при сушке без стеклянных чашек вычисляют с округлением до 0,1 % по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} 100,$$

где m_1 – начальная масса образца, г; m_2 – масса образца, высушенного до постоянной массы, г.

Результаты испытания заносят в табл. 10.8.

Таблица 10.8

Результаты определения влажности фанеры
при сушке без стеклянных чашек

Начальная масса образца m_1 , г	Масса образца, высушенного до постоянной массы m_2 , г	Влажность W , %

Влажность фанеры W (%) при сушке в стеклянных чашках вычисляют с округлением до 0,1 % по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} 100,$$

где m_0 – масса чашки для взвешивания, г; m_1 – масса чашки с образцом до высушивания, г; m_2 – масса чашки с образцом после высушивания, г.

Результаты испытания заносят в табл. 10.9.

Таблица 10.9

Результаты определения влажности фанеры
при сушке в стеклянных чашках

Масса чашки для взвешивания m_0 , г	Масса чашки с образцом до высушивания m_1 , г	Масса чашки с образцом после высушивания m_2 , г	Влажность W , %

10.2.3. Определение водопоглощения фанеры

Перед испытанием на водопоглощение образцы выдерживают при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 65 ± 5 % в течение 120 ч. Допускается производить испытания без выдержки в указанных условиях. Образцы для определения водопоглощения изготавливают в виде прямоугольной призмы размером $80 \times 4 \times S$ мм, где 80 – длина образца вдоль волокон в миллиметрах; 4 – ширина образца в миллиметрах; S – толщина образца, равная 20 мм и менее.

При определении водопоглощения образцы взвешивают с погрешностью не более 0,1 г. Образцы погружают в эксикатор с дистиллированной водой. Температуру воды в эксикаторе поддерживают 20 ± 2 °С. Образцы периодически взвешивают, причем первое взвешивание производят через сутки, считая с момента погружения образцов в воду, затем через двое, трое и пятеро суток. Перед взвешиванием поверхности образцов осушают фильтровальной бумагой.

Водопоглощение $\Delta W_{\text{вд}}$ (%) вычисляют с округлением до 1 % по формуле

$$\Delta W_{\text{вд}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100,$$

где m_1 – масса образца до водонасыщения, г; m_2 – масса образца после водонасыщения, г.

Результаты испытания заносят в табл. 10.10.

Таблица 10.10

Результаты определения водопоглощения фанеры

Масса образца до водонасыщения m_1 , г	Масса водонасыщенного образца m_2 , г	Водопоглощение $\Delta W_{\text{вд}}$, %

10.2.4. Определение предела прочности при статическом изгибе

Образцы фанеры, фанерных и столярных плит изготавливают в форме прямоугольной призмы размерами:

толщина h – соответствует толщине листа или плиты;

ширина b – 75 мм;

длина – $25h + 50$ мм, но не менее 150 мм.

Поперечное сечение образца измеряют в середине его длины. При ширине образца 75 мм его толщину измеряют в двух точках, расположенных на его поперечной оси на расстоянии 25 мм от каждой из кромок. За толщину образца принимают среднее арифметическое измерений в двух точках.

При испытании образцов фанеры расстояние между опорами l регулируют так, чтобы оно было равно $25h$, но не менее 100 мм.

Перед испытанием определяют влажность плиты или листа, из которых вырезают образцы для испытания. Влажность образцов должна соответствовать нормализованной или установленной в нормативно-технической документации на конкретную продукцию.

Испытание образцов проводят по схеме, приведенной на рис. 10.3. Изгибающее усилие должно быть направлено посередине длины образца перпендикулярно или параллельно слоям (согласно требованиям стандартов на продукцию).

Образец нагружают равномерно с постоянной скоростью нагружения. Скорость должна быть такой, чтобы образец разрушился через 60 ± 30 с после начала нагружения. Максимальную нагрузку измеряют с погрешностью не более 1 %.

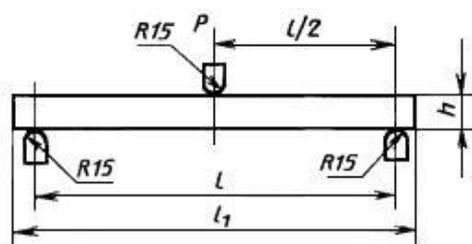


Рис. 10.3. Схема испытания образца фанеры на изгиб

Предел прочности при статическом изгибе $\sigma_{и}$ (МПа) для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_{и} = \frac{3P_{\max}l}{2bh^2},$$

где P – максимальная нагрузка, Н; l – расстояние между опорами, мм; b и h – ширина и толщина образца соответственно, мм.

Результаты испытания заносят в табл. 10.11.

Таблица 10.11

Результаты определения предела прочности при изгибе плит

Размеры образца, мм			Максимальная нагрузка P_{\max} , Н	Предел прочности при изгибе образца $\sigma_{и}$, МПа
Ширина b	Толщина h	Расстояние между осями опор l		

10.2.5. Измерение пороков фанеры и дефектов обработки

По внешнему виду фанеру из шпона листовных пород разделяют на сорта: E, I, II, III, IV. Нормы ограничения пороков древесины и дефектов обработки представлены в табл. 10.12.

Таблица 10.12

Нормы ограничения пороков древесины и дефектов обработки

Наименование пороков древесины и дефектов обработки	Фанера с наружными слоями из шпона лиственных пород сортов				
	Е	І	ІІ	ІІІ	ІV
1. Булавочные сучки	Не допускаются	Допускаются			
2. Здоровые сросшиеся светлые и темные сучки	Не допускаются	Допускаются диаметром, мм, не более		Допускаются с трещинами шириной не более 1,5 мм	Допускаются
		15	25		
		в количестве на 1 м ² , шт., не более			
		5	10		
		с трещинами шириной, мм, не более			
		0,5	1,0		
3. Частично сросшиеся, несросшиеся, выпадающие сучки, отверстия от них, червоточина	Не допускаются	Допускаются диаметром, мм, не более			
		6	6	6	40
		в количестве на 1 м ² поверхности листа, шт., не более			без ограничения количества
3	6	10			
4. Сомкнутые трещины	Не допускаются	Допускаются длиной, не более 200 мм в количестве не более 2 шт., на 1 м ширины листа		Допускаются	
5. Разошедшиеся трещины	Не допускаются	Допускаются длиной, мм, не более			
		200	300	600	
		шириной, мм, не более			
		2	2	5	
		в количестве, шт. на 1 м ширины листа, не более			
		2 при условии заделки замазками	2 допускаются длиной до 600 мм, шириной до 5 мм при условии заделки замазками		без ограничения

Продолжение табл. 10.12

Наименование пороков древесины и дефектов обработки	Фанера с наружными слоями из шпона листовых пород сортов				
	Е	І	ІІ	ІІІ	ІV
6. Светлая прорость	Не допускается	Допускается			
7. Темная прорость	Не допускается		Допускается в общем числе с нормами п. 2 настоящей таблицы		Допускается
8. Отклонение в строении древесины	Допускается незначительное случайного характера, кроме темных глазков		Допускается		
9. Здоровое изменение окраски без признаков разрушения древесины	Не допускается	Допускается не более, %, поверхности листа 15		Допускается	
10. Нездоровое изменение окраски с признаками разрушения древесины	Не допускается				Допускается
11. Накол	Не допускается	Допускаются в общем числе с нормами п. 3 настоящей таблицы			
12. Нахлестка в наружных слоях	Не допускается		Допускается длиной, мм, не более		Допускается
			100	200	
			в количестве на 1 м ширины листа, шт., не более		
			1	2	
13. Недостача шпона, дефекты кромок листа при шлифовании и обрезке	Не допускаются	Допускаются шириной, мм, не более:			
		2	5	5	5
14. Наличие клеевой ленты	Не допускается		Допускается в нешлифованной фанере		
15. Просачивание клея	Не допускается		Допускается, %, поверхности листа, не более		Допускается
			2	5	
16. Царапины	Не допускаются		Допускаются		

Продолжение табл. 10.12

Наименование пороков древесины и дефектов обработки	Фанера с наружными слоями из шпона листовых пород сортов				
	Е	I	II	III	IV
17. Вмятина, отпечаток, гребешок	Не допускаются		Допускаются глубиной (высотой) в пределах значений предельных отклонений по толщине		Допускается
18. Вырыв волокон	Не допускается		Допускается, %, поверхности листа, не более		Допускается
			5	15	
19. Прошлифовка	Не допускается			Допускается не более 1 % поверхности листа	Допускается
20. Покоробленность	В фанере толщиной до 6,5 мм не учитывается, толщиной 6,5 мм и более допускается со стрелой прогиба не более 15 мм на 1 м длины диагонали листа фанеры				
21. Металлические включения	Не допускаются				Допускаются скобки из цветного металла
22. Зазор в соединениях	Не допускается		Допускается шириной, мм, не более		
			1	2	5
			в количестве на 1 м ширины листа, шт., не более		
			1	1	без ограничения
23. Волнистость (для шлифованной фанеры), ворсистость, рябь	Не допускаются		Допускаются незначительные	Допускаются	
24. Шероховатость поверхности	Параметр шероховатости, мкм, не более: для шлифованной фанеры – 100, для нешлифованной – 200				
25. Вставки из древесины: а) для починки сучков и отверстий	Не допускаются		Допускаются при заделке в количестве, шт., не более 8 на 1 м ² листа	Допускаются	

Наименование пороков древесины и дефектов обработки	Фанера с наружными слоями из шпона листовых пород сортов				
	Е	I	II	III	IV
б) для починки разошедшихся трещин	Не допускаются	Допускаются шириной, мм, не более			Допускаются
		30	50		
		длинной, мм, не более			
		300	500		
в) двойная вставка	Не допускаются	в количестве, не более 2 шт. на 1 м ширины листа			Допускаются
		Допускается на 1 м ² листа, шт., не более			
		1	2		

Примечания:

1. Норма дефекта обработки «недостача шпона» относится и к внутренним слоям фанеры.

2. Пороки древесины и дефекты обработки, не указанные в таблице (гниль, расслоение, пузыри, закорины и др.), не допускаются.

Студенты изучают лист фанеры на наличие данных пороков и фиксируют результаты в табл. 10.13.

Таблица 10.13

Результаты изучения и измерений пороков и дефектов обработки на образце фанеры

№ п/п	Виды пороков фанеры и дефектов обработки	Фактические показатели	Требования ГОСТа
1			
2			
...			

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды фанеры общего назначения.
2. Какими показателями качества характеризуются гипсокартонные листы?
3. Как производится определение размеров и средней плотности фанеры?
4. Каким образом определяют влажность фанеры?
5. Как производится определение водопоглощения фанеры?
6. Как определяют предел прочности фанеры при статическом изгибе?
7. Каким образом изучают пороки и дефекты обработки на образце фанеры?

10.3. Сравнительный анализ характеристик отделочных материалов (практическая работа № 5)

В данной работе на основе изучения учебной литературы студенты производят сравнительный анализ свойств основных отделочных материалов и особенностей их применения. Результаты сравнительного анализа заносят в табл. 10.14.

Таблица 10.14

Характеристика основных свойств и особенности применения отделочных материалов

№ п/п	Вид материала и изделия	Характеристика основных свойств	Особенности применения
1.	Облицовочные плиты из природного камня		
2.	Керамические отделочные материалы: керамические плитки для наружных стен керамические плитки для внутренних стен керамические плитки для покрытия полов керамический гранит		
3.	Отделочные материалы на основе стекла стекло витринное плитка стеклянная облицовочная блоки стеклянные пустотелые		
4.	Отделочные материалы на основе гипса: плиты гипсовые декоративные листы гипсокартонные листы гипсоволокнистые		
5.	Отделочные материалы на основе цементов: декоративные бетоны декоративные штукатурки		
6.	Отделочные материалы на основе древесины: изделия паркетные ламинированные напольные покрытия ДВП ДСП ОСП фанера ламинированная		
7.	Отделочные материалы на основе полимеров: линолеум поливинилхлоридный обои панели из поликарбоната		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов В.В., Петропавловская В.Б. Строительные материалы: учебник для бакалавров / под общ. ред. В.В. Белова. 2-е изд., перераб. и доп. Тверь: ТвГТУ, 2021. 240 с.
2. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Шлапаков Ю.А. Лабораторные определения свойств строительных материалов: учеб. пособие. М.: АСВ, 2011. 176 с.
3. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храмцов Н.В. Строительные материалы: учебник. Тверь: ТвГТУ, 2014. 271 с.
4. Белов В.В. Основы строительного материаловедения: учеб. пособие. Тверь: ТвГТУ, 2018. 171 с.
5. Белов В.В., Смирнов М.А. Заполнители бетона и их технология: учеб. пособие. Тверь: ТвГТУ, 2019. 103 с.
6. Белов В.В., Курятников Ю.Ю., Новиченкова Т.Б. Технология и свойства современных цементов и бетонов: учеб. пособие. Тверь: ТвГТУ, 2013. 252 с.
7. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учебник: в 2 ч. М.: Юрайт, 2017. Ч. 1. 264 с.
8. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учебник: в 2 ч. М.: Юрайт, 2017. Ч. 2. 436 с.
9. Микульский В.Г. Строительные материалы: учебник / под общ. ред. В.Г. Микульского, Г.П. Сахарова. М.: АСВ, 2007. 520 с.
10. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: учебник / Ю.М. Баженов [и др.]. М.: АСВ, 2008. 348 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ.....	4
1.1. Определение физических свойств строительных материалов (лабораторная работа № 1).....	10
1.1.1. Определение средней плотности	14
1.1.1.1. Определение средней плотности образцов правильной геометрической формы	15
1.1.1.2. Определение средней плотности образцов неправильной геометрической формы	16
1.1.2. Определение насыпной плотности.....	19
1.1.3. Определение истинной плотности.....	20
1.1.4. Определение водопоглощения, пористости и качественная оценка морозостойкости	23
1.2. Определение механических свойств строительных материалов (лабораторная работа № 2)	25
1.2.1. Определение предела прочности на сжатие	29
1.2.2. Определение предела прочности на растяжение при изгибе	30
1.2.3. Определение показателя сопротивления удару (ударной прочности)	30
1.2.4. Определение показателя истираемости	32
1.3. Решение задач по общим свойствам материалов (практическая работа № 1)	34

2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И МИНЕРАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	39
Ознакомление с показателями внешнего вида, свойствами и областью применения основных минералов и горных пород (лабораторная работа № 3).....	47
3. ДРЕВЕСИНА И ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	49
3.1. Определение физико-механических свойств древесины (лабораторная работа № 4)	51
3.1.1. Определение влажности	51
3.1.2. Определение плотности древесины при влажности в момент испытания.....	54
3.1.3. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон	56
3.1.4. Определение предела прочности при статическом изгибе	58
4. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	62
4.1. Определение свойств гипсовых вяжущих (лабораторная работа № 5).....	63
4.1.1. Определение тонкости (степени) помола	65
4.1.2. Определение сроков схватывания гипсового теста стандартной консистенции (нормальной густоты).....	66
4.1.3. Определение прочности на сжатие и растяжение при изгибе	68
4.2. Определение свойств негашеной кальциевой извести (лабораторная работа № 6)	71

4.2.1. Определение суммарного содержания активных оксидов кальция и магния	72
4.2.2. Определение содержания в извести непогасившихся зерен.....	73
4.2.3. Определение температуры и времени гашения извести.....	74
4.3. Определение свойств цемента (лабораторная работа № 7).....	75
4.3.1. Определение тонкости помола по остатку на сите	79
4.3.2. Определение нормальной густоты (стандартной консистенции) цементного теста (водопотребности цемента).....	80
4.3.3. Определение сроков схватывания	81
4.3.4. Определение равномерности изменения объема	83
4.3.5. Определение прочности цемента	85
4.4. Решение задач по свойствам минеральных вяжущих веществ (практическая работа № 2)	88
5. ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	92
5.1. Определение строительно-технических свойств песка (лабораторная работа № 8).....	93
5.1.1. Определение насыпной плотности и пустотности	96
5.1.2. Определение зернового состава и модуля крупности	97
5.1.3. Определение влажности.....	98
5.1.4. Определение содержания глины в комках.....	98
5.1.5. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц методом мокрого просеивания	100

5.2. Определение строительно-технических свойств щебня (лабораторная работа № 9)	101
5.2.1. Определение средней плотности и пористости зерен щебня (гравия)	105
5.2.2. Определение насыпной плотности и пустотности	107
5.2.3. Определение зернового состава	108
5.2.4. Определение дробимости	109
5.2.5. Определение влажности	111
5.2.6. Определение содержания глины в комках	112
5.2.7. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц	113
6. ТЯЖЕЛЫЕ БЕТОНЫ	115
6.1. Подбор номинального состава тяжелого бетона и определение свойств бетонной смеси (лабораторная работа № 10)	117
6.1.1. Расчет начального основного состава	121
6.1.2. Определение удобоукладываемости бетонной смеси и корректирование начального состава бетона	125
6.1.2.1. Определение подвижности	125
6.1.2.2. Определение жесткости	127
6.1.3. Определение средней плотности бетонной смеси и номинального состава бетона	129
6.2. Определение свойств тяжелого бетона (лабораторная работа № 11)	132
6.2.1. Определение средней плотности бетона	132
6.2.2. Определение влажности бетона	133

6.2.3. Определение водопоглощения	134
6.2.4. Определение пористости	135
6.2.5. Определение прочности бетона по контрольным образцам...	136
6.2.6. Определение прочности на сжатие тяжелого бетона неразрушающими методами	143
6.3. Решение задач по свойствам тяжелого бетона (практическая работа № 3)	147
7. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	152
7.1. Подбор состава сложного строительного раствора и определение свойств растворной смеси и раствора (лабораторная работа № 12)	155
7.1.1. Расчет предварительного состава	155
7.1.2. Приготовление пробного замеса и определение подвижности растворной смеси	156
7.1.3. Определение средней плотности растворной смеси	158
7.1.4. Определение прочности раствора на сжатие	158
7.1.5. Определение средней плотности раствора	162
7.1.6. Определение влажности раствора	163
7.1.7. Определение водопоглощения раствора	164
8. СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	165
8.1. Определение свойств керамического кирпича (лабораторная работа № 13)	166
8.1.1. Определение размеров и характеристик внешнего вида	170
8.1.2. Определение средней плотности	172
8.1.3. Определение водопоглощения	173

8.1.4. Определение пределов прочности при сжатии и изгибе....	174
8.2. Определение свойств силикатного кирпича (лабораторная работа № 14)	176
8.2.1. Определение размеров и характеристик внешнего вида	179
8.2.2. Определение средней плотности	180
8.2.3. Определение водопоглощения	180
8.2.4. Определение пределов прочности при сжатии и изгибе.....	180
9. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	181
9.1. Определение свойств плит из минеральной ваты на синтетическом связующем (лабораторная работа № 15)	188
9.1.1. Определение линейных размеров	192
9.1.2. Определение параметров внешнего вида	194
9.1.3. Определение влажности	194
9.1.4. Определение средней плотности	195
9.1.5. Определение водопоглощения	196
9.1.6. Определение прочности на сжатие при 10%-й линейной деформации	198
9.2. Определение свойств плит пенополистирольных теплоизоляционных (лабораторная работа № 16)	200
9.2.1. Определение размеров и показателей внешнего вида	205
9.2.2. Определение влажности	205
9.2.3. Определение средней плотности	206
9.2.4. Определение водопоглощения	207

9.2.5. Определение прочности на сжатие	
при 10%-й линейной деформации	207
9.2.6. Определение предела прочности при изгибе	208
9.3. Сравнительный анализ характеристик теплоизоляционных	
материалов (практическая работа № 4)	209
10. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	211
10.1. Определение свойств гипсокартонных листов	
(лабораторная работа № 17)	212
10.1.1. Определение характеристик внешнего вида	213
10.1.2. Определение разрушающей нагрузки	214
10.1.3. Определение прочности сцепления гипсового	
сердечника с картоном	216
10.1.4. Определение водопоглощения	216
10.2. Определение свойств фанеры общего назначения	
(лабораторная работа № 18)	217
10.2.1. Определение средней плотности фанеры	218
10.2.2. Определение влажности фанеры	219
10.2.3. Определение водопоглощения фанеры	221
10.2.4. Определение предела прочности	
при статическом изгибе	221
10.2.5. Измерение пороков фанеры и дефектов обработки	222
10.3. Сравнительный анализ характеристик отделочных	
материалов (практическая работа № 5)	227
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	228

Владимир Владимирович Белов
Виктория Борисовна Петропавловская
Матвей Александрович Смирнов
Татьяна Борисовна Новиченкова
Юрий Юрьевич Курятников

ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Учебное пособие для бакалавров,
обучающихся по направлению «Строительство»*

*Издание третье,
переработанное и дополненное*

Редактор С.В. Борисов
Корректор С.В. Зорикова

Подписано в печать 20.05.2024

Формат 60x84/16

Физ. печ. л. 14,75

Тираж 200 экз.

Усл. печ. л. 13,72

Заказ № 27

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 12,83

С – 27

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22