

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1:

«Определение истинной плотности»

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

$$\rho = m / V_a, \quad (1)$$

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

Истинную плотность материала определяют либо с помощью специальной стеклянной колбы – объёмомера Ле-Шателье, вместимостью 120-150 см³, либо с помощью пикнометра – колбы точного объема, обычно вместимостью 100 см³.

Для определения истинной плотности каменного материала с помощью объёмомера *Ле-Шателье* из отобранной и тщательно перемешанной пробы отвешивают 200-220 г. Кусочки отобранной пробы сушат в сушильном шкафу при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы; затем их тонко измельчают в агатовой или фарфоровой ступке. Полученный порошок просеивают через сито с сеткой № 02 (размер ячейки в свету $0,2 \times 0,2$ мм). Отвесив в фарфоровой чашке навеску около 180 г просеянного порошка, его снова высушивают при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, а затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе, в котором порошок хранят до проведения испытания. Объёмомер наполняют до нижней нулевой черты жидкостью (водой, безводным керосином или спиртом), инертной по отношению к порошку материала. После этого свободную от жидкости часть (выше черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Затем объёмомер 4 помещают в стеклянный сосуд 5 с водой и термометром 3 (рис.1). Вода имеет температуру 20°C (температура, при которой градуировали его шкалу). В воде объёмомер остается все время, пока идет испытание.

Чтобы объёмомер в этом положении не всплывал, его закрепляют на штативе 1 так, чтобы вся градуированная часть шейки находилась в воде.

От подготовленной пробы, находящейся в эксикаторе, отвешивают с погрешностью до 0,01 г на технических весах 80 г порошка материала и высыпают его ложечкой через воронку 2 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 объёмомере показывает значение объема порошка, высыпаемого в прибор. Остаток порошка взвешивают. Масса порошка, высыпаемого в объёмомер, будет равна разности между результатами первого и второго взвешиваний.

Истинная плотность материала (г / см³)

$$\rho = (m_1 - m_2) / V_a, \quad (2)$$

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

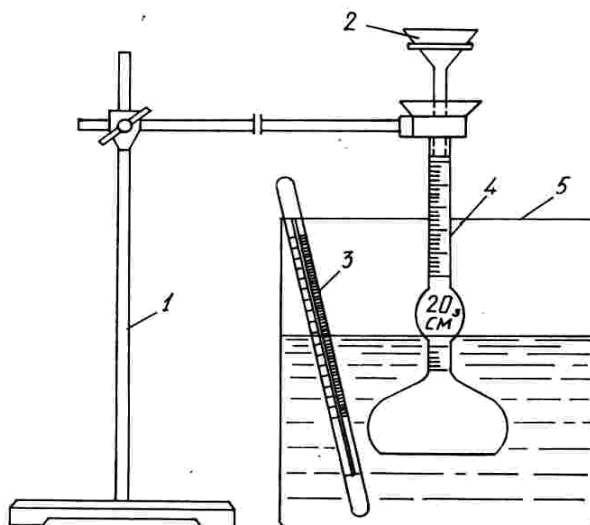


Рисунок 1 – Прибор для определения истинной плотности

Результаты опытов записывают в табл.1.

Таблица 1 – Результаты определения истинной плотности с помощью объёмомера Ле-Шателье

Наименование материала	№ опыта	Первоначальная масса пробы, г	Масса остатка, г	Объем вытесненной жидкости, см ³	Истинная плотность, г/см ³	Среднее значение, г/см ³

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2:

«Определение насыпной плотности песка»

Для определения насыпной плотности пробу песка массой 5...10 кг высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы и просеивают через сито с размером ячейки 5 мм. Затем песок засыпают в воронку и, открывая задвижку, заполняют сосуд вместимостью 1 дм³. Излишек песка срезают линейкой в обе стороны от центра. Сосуд с песком взвешивают и насыпную плотность с округлением до 10 кг/м³ вычисляют по формуле

$$\rho_H = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (3)$$

где ρ_H – насыпная плотность песка, кг/м³; m_1 – масса мерного сосуда, кг; m_2 – 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.

Результаты опытов заносят в табл.2.

Таблица 2 – Результаты определения насыпной плотности песка

№ опыта	Масса мерного цилиндра, кг	Масса мерного цилиндра с песком, кг	Насыпная плотность, кг/м ³	Среднее значение насыпной плотности, кг/м ³

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3:

«Определение нормальной густоты цементного теста»

Для определения нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста применяют прибор Вика с кольцом, чашку и лопатку для приготовления цементного теста. При определении нормальной густоты теста в нижнюю часть стержня вставляют металлический цилиндр-пестик. Пестик должен быть изготовлен из нержавеющей стали с полированной поверхностью. Поверхность пестика должна быть чистой. При пользовании прибором вес падающей части при замене пестика иглой должен оставаться постоянным. Массу перемещающейся части прибора сохраняют постоянной путем взаимной перестановки пестика и иглы. Остальные детали прибора подбирают таким образом, чтобы общая масса находилась в пределах 300 ± 2 г. Кольцо к прибору Вика и пластинка, на которую устанавливают кольцо во время испытания, должны быть изготовлены из нержавеющей стали, пластмассы или стекла.

Нормальной густотой цементного теста считается такая консистенция его, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит 5-7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо. Нормальная густота цементного теста характеризуется количеством воды затворения, выраженным в процентах от массы цемента.

Перед испытанием следует проверить нулевое показание прибора, для чего приводят пестик в соприкосновение с пластинкой, на которой расположено кольцо. В случае отклонения от нуля шкала прибора соответствующим образом передвигается. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпают в чашку, предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты. После заливки воды углубление засыпают цементом и через 30 секунд после этого сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания цемента с водой должна быть 5 минут с момента приливания воды.

Сразу после окончания перемешивания кольцо наполняют цементным тестом и 5-6 раз встряхивают его, постукивая о стол. Затем поверхность теста выравнивают, срезая избыток теста вровень с краями кольца ножом, протертым влажной тканью. Немедленно после этого приводят пестик прибора в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом, затем быстро освобождают стержень и предоставляют пестику возможность свободно погружаться в тесто. Через 30 секунд с момента освобождения стержня фиксируют глубину его погружения по шкале. Кольцо с тестом при определении не должно подвергаться толчкам.

При несоответствующей консистенции цементного теста изменяют количество воды и вновь затворяют тесто, добиваясь погружения пестика на глубину, указанную выше (5-7 мм до пластинки). Количество добавляемой воды для получения теста нормальной густоты, выраженное в процентах от веса цемента, определяется с округлением до 0,25 %.

Результаты опытов заносят в табл.3.

Таблица 3 – Результаты определения нормальной густоты цементного теста

№ опытов	Навеска цемента, г	Количество воды, мл	Отсчет по шкале прибора, мм	Водопотребность цемента, %

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4:

«Определение начала и конца схватывания цементного теста»

Сроки схватывания цементного теста определяют при помощи прибора Вика, но вместо пестика на нижней части подвижного стержня закрепляют стальную иглу сечением 1 мм² и длиной 50 мм. Перед началом испытания проверяют перемещение металлического стержня прибора Вика, положение стрелки, которая должна быть на нуле при опирании иглы на пластинку, смазанную тонким слоем машинного масла.

Цементное тесто нормальной густоты приготавливают по методике, изложенной в лабораторной работе №3.

Сразу после приготовления тесто помещают в кольцо прибора Вика, установленное на стеклянной пластинке, и слегка встряхивают пять-шесть раз для удаления воздуха. Избыток теста снимают ножом и поверхность выравнивают. Кольцо с цементным тестом устанавливают на столик прибора, опускают стержень до соприкосновения иглы с поверхностью теста и закрепляют винтом стержень. Затем быстро отвинчивают зажимной винт, чтобы игла могла свободно погрузиться в тесто. Иглу погружают в тесто через каждые 5 минут до начала схватывания и через каждые 10 минут после начала схватывания, передвигая кольцо каждый раз для того, чтобы игла не попадала в одно и то же место. После каждого погружения иглу следует вытирать.

За начало схватывания принимают время с момента затворения водой до того момента, когда игла не будет доходить до пластинки на 1-2 мм. Концом

схватывания цементного теста считают время от начала затворения до того момента, когда игла будет опускаться в тесто не более чем на 1 мм.

Результаты опытов заносят в табл.4.

Таблица 4 – Результаты определения сроков схватывания цементного теста

№ опытов	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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5:

«Определение предела прочности при изгибе»

Для испытания образцов на изгиб могут быть использованы приборы любой конструкции, удовлетворяющие следующим требованиям: средняя скорость нарастания нагрузки должна быть $(0,05 \pm 0,01)$ кН/с или $(0,12 \pm 0,02)$ МПа/с в пересчете на единицу площади приведенного сечения балочки. Образцы устанавливают на опоры изгибающего устройства таким образом, чтобы те грани его, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении.

Машина МИИ-100 – модернизированный прибор Михаэлиса, в котором сохранена такая же рычажная система с соотношением плеч 1:50 и такой же захват. Основное отличие состоит в том, что нагрузка на образец создается передвижением тяжелого груза по верхнему рычагу с помощью электродвигателя.

Машина состоит из двух основных частей: станины и коромысла, шарнирно установленного на стойке станины с помощью треугольных призм. Электродвигатель, находящийся на коромысле, вращая через редуктор ходовой винт, перемещает груз по направляющим коромысла. Коромысло

выходит из равновесия и давит на рычажную систему, которая передает увеличенное в 50 раз усилие на установленный в захват образец. Скорость перемещения груза поддерживается центробежным регулятором постоянной и соответствует нагружению образца со скоростью $(1 \pm 0,1)$ Н/с.

Груз перемещается до тех пор, пока возрастающая нагрузка не разрушит образец. При этом коромысло поворачивается на призмах так, что хвостовик микропереключателя ударяется об упорную шайбу амортизатора и двигатель выключается. Ходовой винт связан зубчатой передачей со счетчиком, который проградуирован так, что показывает напряжения ($\text{кгс}/\text{см}^2$), возникающие в образце. При разрушении образца счетчик фиксирует значение предела прочности материала при изгибе ($\text{кгс}/\text{см}^2$).

Преимущество машины МИИ-100 – возможность непосредственного определения значения предела прочности по счетчику без дополнительных расчетов; однако точность определения прочности при изгибе на приборе Михаэлиса несколько выше.

Для пуска машины МИИ-100 в работу ее подключают к электросети напряжением 220 В. Затем вставляют и закрепляют образец в захвате и переключают тумблер в положение «Вперед». При этом замыкается электрическая цепь, в которую входит электродвигатель, микропереключатель и центробежный регулятор.

После разрушения образца тумблер ставят в положение «Назад». При этом происходит ускоренный возврат груза в исходное положение, так как двигатель включается без центробежного регулятора скорости. В конце хода груз, нажав на рычаг, включает в цепь центробежный регулятор и скорость перемещения груза замедляется. При достижении грузом крайнего левого положения микропереключатель размыкает цепь и механизм машины приходит в исходное положение.

Обслуживание машины МИИ-100. Скорость нагружения на машине МИИ-100 измеряют секундомером по счетчику; она должна быть $(0,4 \pm 0,04)$ $\text{кгс}/\text{см}^2$ в секунду. В случае расхождения фактической и требуемой скоростей

нагрузки скорость регулируют, перемещая контакт центробежного регулятора.

Перед включением машины МИИ-100 в сеть следует убедиться в соответствии напряжения сети напряжению, на которое рассчитана машина. Машина МИИ-100 должна быть заземлена. Контактные кольца центробежного регулятора машины очищают спиртом в случае загрязнения, но не реже чем через 40...50 ч работы. Коллектор электродвигателя очищают по мере необходимости. Угольные щетки заменяют по мере износа; щетки считаются изношенными, если длина их оставшейся рабочей части менее 5 мм.

Машина МИИ-100 должна быть установлена на прочной горизонтальной поверхности в помещении с температурой не ниже 15°C. Не допускается устанавливать машину в помещении, в воздухе которого содержатся агрессивные пары и газы, вызывающие коррозию ответственных деталей (опорных призм, электрических приборов). Необходимо следить за тем, чтобы в опоры не попадала цементная пыль и грязь, а также за правильностью установки рычагов на опорных призмах. Не реже одного раза в месяц направляющие и опорные части приборов и машин смазывают машинным маслом, а шестерни — техническим вазелином.

Для определения предела прочности цемента при изгибе и сжатии изготавливают образцы-балочки размерами 40x40x160 мм из пластичного цементного раствора нормальной консистенции состава 1:3 по массе (1 ч. цемента и 3 ч. песка) при водоцементном отношении (В/Ц) не менее 0,4.

Результаты опытов заносят в табл.5.

Таблица 5 – Результаты определения предела прочности бетона при изгибе

Наименование определяемых показателей	Значения для отдельных образцов			Результат испытаний
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа				

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6:

«Определение прочности тяжелого бетона неразрушающими методами»

Для более полного контроля прочности бетона в изделиях недостаточно обычных стандартных испытаний контрольных образцов. Образцы имеют другие размеры, что сказывается на условиях их формирования и твердения, и поэтому они оценивают прочность бетона в изделии лишь с некоторой степенью приближения.

В настоящее время широко используют неразрушающие методы контроля прочности бетона, которые позволяют ориентировочно определить прочность в любой конструкции или на любом отдельном участке конструкции или изделия без их разрушения.

Неразрушающие методы можно разделить на две группы: механические или поверхностные (методы упругого отскока, ударного импульса, пластических деформаций, отрыва участка конструкции, скалывания ребра конструкции и т.д.) и физические (ультразвуковые, резонансные методы, метод свободных колебаний). При использовании неразрушающих методов прочность бетона определяют по градуировочной зависимости, связывающей косвенный показатель прочности бетона (величина отскока бойка, диаметр отпечатка на бетоне, скорость прохождения через него ультразвукового импульса и т.п.) с прочностью бетона. Градуировочная зависимость устанавливается на основании параллельных испытаний под прессом и неразрушающим методом не менее чем пятнадцати серий контрольных образцов-кубов. Контрольные образцы отбираются из произвольно выбранных замесов. Если отобранные таким образом образцы не обеспечат разброса значений прочности бетона в диапазоне, дающем возможность построить градуировочную зависимость, допускается изготавливать до 40% образцов с отклонениями по цементно-водному отношению до $\pm 0,4$.

Среди механических неразрушающих методов на практике наиболее распространены: метод пластических деформаций, основанный на принципе

заглубления в бетон бойка (шарика) при ударе и получения отпечатка (лунки) на бетоне определенного диаметра, и метод упругого отскока, в котором косвенной характеристикой прочности является величина отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника).

Первый метод испытания бетона реализуется с помощью пружинных приборов с определенной энергией удара, а также молотка Кашкарова с произвольной энергией удара. С целью уменьшения влияния этого параметра на результаты измерений, при использовании последнего прибора косвенной характеристикой прочности бетона является соотношение диаметров отпечатков на бетоне и эталонном стержне.

Эталонный молоток конструкции К. П. Кашкарова представлен на рис.2. Метод определения прочности бетона заключается в том, что при ударе молотком по поверхности бетонной конструкции одновременно образуется два отпечатка: первый диаметром d_B — на бетоне, второй диаметром $d_Э$ — на введенном в молоток эталонном стержне. За косвенную характеристику прочности бетона принимают отношение $d_B:d_Э$, по которому определяют прочность бетона в данном месте конструкции. Эталонный стержень изготовлен из стали Ст3 длиной 150 и диаметром 10 мм; конец стержня заострен.

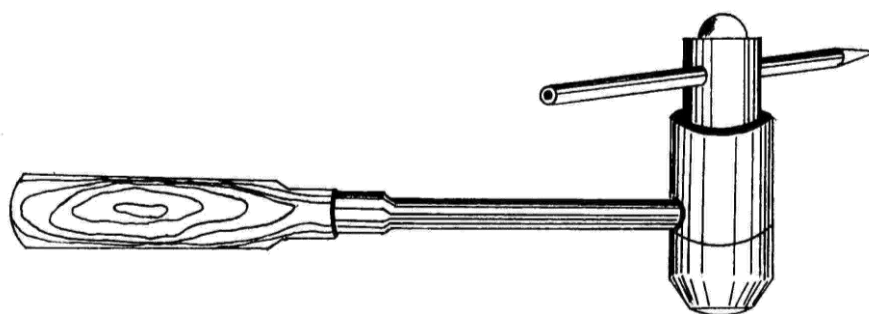


Рисунок 2 – Эталонный молоток конструкции К.П. Кашкарова

Эталонным молотком наносят не менее 5 ударов в различных точках по длине или площади конструкции. Во время испытания необходимо следить за тем, чтобы ось головки молотка была перпендикулярна поверхности испытуемой конструкции. После каждого удара эталонный стержень передвигают таким образом, чтобы расстояние между центрами соседних

отпечатков было не менее 10 мм. Удары по поверхности испытуемой конструкции наносят так, чтобы расстояние между местами испытаний было не менее 30 мм. Диаметр лунок на бетонной поверхности и эталонном стержне измеряют с погрешностью до 0,1 мм угловым масштабом, состоящим из двух стальных измерительных линеек, склепанных под углом. Для облегчения измерения диаметров отпечатков на бетоне удары можно производить через листы копировальной и белой бумаги.

Прочность бетона в конструкции устанавливают с помощью градуировочной зависимости по среднеарифметическому значению косвенной характеристики. Полученные таким образом значения прочности справедливы для бетона с влажностью 2-6 %. В случае повышенной влажности значения предела прочности бетона необходимо умножить на поправочный коэффициент влажности, принимаемый равным при влажности 8 % — 1,1; при влажности 12 % — 1,2.

Метод упругого отскока позволяет получать более достоверные данные о прочности бетона, так как на величину упругого отскока в большей степени влияют внутренние слои конструкции. Этот метод осуществляется с помощью молотков Шмидта, часто называемых склерометрами. Склерометр ОМШ-1 (рис.3) предназначен для определения прочности бетона на сжатие в диапазоне 5...40 МПа в бетонных и железобетонных конструкциях.

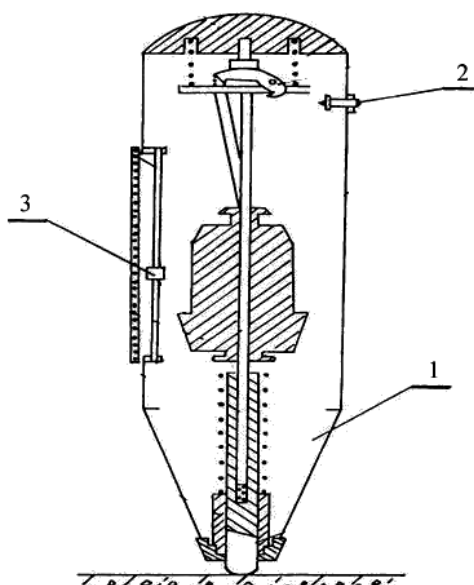


Рисунок 3 – Склерометр ОМШ-1

Перед выполнением удара нажатием ладони на сферический конец индентора 1 приводят склерометр в рабочее положение. Затем устанавливают склерометр в выбранную точку испытываемой поверхности перпендикулярно к ней. Удерживая склерометр за корпус двумя руками так, чтобы один палец находился у стопора, прижимают индентор к поверхности бетона и плавно сдвигают к ней корпус прибора до щелчка (удара). Не отводя склерометр от поверхности бетона, нажимают пальцем на кнопку – стопор 2, фиксируя положение бегунка со стрелкой 3 после удара. В данной лабораторной работе используется электронный склерометр ОМШ-1Э, оснащенный электронным счетчиком величины отскока бойка, что дает более точные измерения.

Испытание выполняют в не менее чем пяти точках изделия. Затем вычисляют среднее значение величины упругого отскока и определяют прочность бетона по градуировочной зависимости, заранее установленной путем параллельных испытаний контрольных кубов бетона склерометром и на прессе. При испытании контрольных кубов склерометром они должны быть зажаты в прессе усилием (30 ± 5) кН. Положение склерометра относительно испытываемой поверхности должно быть таким же, как и при установлении градуировочной зависимости, то есть горизонтально. При необходимости испытания горизонтальных или наклонных поверхностей следует учесть угол наклона между продольной осью прибора и горизонтальной плоскостью для введения поправки при обработке результатов.

Результаты опытов заносят в табл.8.

Таблица 8 – Результаты определения прочности бетона неразрушающим методом

Вид контролируемой прочности и ее требуемое значение	Наименование неразрушающего метода, тип прибора	Среднее значение косвенной характеристики прочности	Значение прочности бетона по градуировочной зависимости, МПа	Поправочный коэффициент	Значение прочности бетона с учетом поправочного коэффициента, МПа	Среднее значение прочности бетона, МПа

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7:

«Определение предела прочности тяжелого бетона на сжатие»

Предел прочности бетона на сжатие обычно определяют на образцах кубической формы с размерами грани 70, 100, 150, 200, 300 мм; а также на образцах цилиндрической формы диаметром 70, 100, 150, 200 мм и высотой $h = d$ или $2d$. Размеры образцов выбирают в зависимости от максимального размера зерен заполнителя. Максимальный размер зерен заполнителя должен быть не более $1/4$ размера грани куба или диаметра цилиндра. Образцы испытывают сериями по три образца.

Перед формованием внутреннюю поверхность металлических форм смазывают тонким слоем машинного масла. Уплотнение бетонной смеси при изготовлении образцов осуществляют способом, принятым в технологии производства изделий. При невозможности выполнения этого условия, образцы формируют следующим образом. Укладку бетонной смеси и ее уплотнение производят штыкованием с помощью металлического стержня диаметром 16 мм. Количество штыкований определяется из расчета 10 штыкований на каждые 100 см^2 площади образца.

При уплотнении бетонной смеси с подвижностью менее 10 см или жесткостью до 11 с форму закрепляют на лабораторном вибростоле с помощью металлических зажимов. Форму заполняют бетонной смесью с избытком и включают вибростол. Вибрирование продолжают до тех пор, пока смесь полностью не заполнит форму с образованием на поверхности цементного молока. При изготовлении образцов из бетонной смеси жесткостью 11 с и более, на форме закрепляют насадку. Форму с насадкой жестко закрепляют на виброплощадке и устанавливают на поверхность смеси пригруз, обеспечивающий давление $(4 \pm 0,5)$ кПа, и вибрируют до прекращения оседания пригруза, плюс дополнительно 5-10 с.

Затем излишек бетонной смеси срезают металлической линейкой, и поверхность образца сглаживают кельмой. При определении пределов прочности на сжатие товарного бетона поверхность образцов закрывают

влажной тканью, выдерживают в комнате при температуре воздуха $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ не менее 24 часов, а затем распалубливают и помещают в камеру нормального твердения. Если предусмотрено тепловлажностное ускоренное твердение бетона, то образцы в формах помещают в пропарочную камеру и подвергают тепловлажностной обработке по заданному режиму. Чаще всего образцы подвергают твердению вместе с изделиями в идентичных условиях.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру (дефектные образцы испытаниям не подлежат), взвешивают, определяют среднюю плотность. Среднее значение средней плотности бетона округляют до десяти $\text{кг}/\text{м}^3$. Испытуемый образец устанавливают на нижнюю плиту гидравлического пресса так, чтобы направление разрушающей силы было параллельно слоям бетонной смеси при ее уплотнении. Нарастание нагрузки на образец должно быть постепенным. Скорость нарастания нагрузки должна быть в пределах $(0,6 \pm 0,4)$ МПа в секунду.

Предел прочности бетона в МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$) вычисляют по формуле

$$R = \alpha \cdot \frac{P}{F}, \quad (4)$$

где P – разрушающая сила, Н (кгс); F – площадь поперечного сечения образца, мм^2 (см^2); α – масштабный коэффициент.

Значения масштабных коэффициентов выбирают из табл.6 в зависимости от размеров испытываемых образцов.

Таблица 6 – Значения масштабных коэффициентов для приведения прочности тяжелого бетона к прочности бетона в образцах базового размера

Длина ребра куба, мм	Значение коэффициента α
70	0,85
100	0,95
150	1,00
200	1,05
300	1,10

После вычисления предела прочности отдельных образцов рассчитывают среднее арифметическое значение предела прочности в данной

серии образцов: из двух образцов — по двум образцам; из трех образцов — по двум наибольшим по прочности образцам.

Результаты опытов заносят в табл.7.

Таблица 7 – Результаты определения предела прочности бетона при сжатии

Наименование определяемых показателей	Значения для отдельных образцов			Среднее значение определяемого показателя
Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие, кН (кгс)				
Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²)				