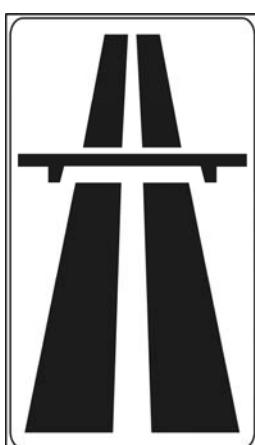


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 7-07-0732-01
«Строительство зданий и сооружений»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2026

УДК 625.7/8
ББК 39.311
С38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «9» декабря 2025 г.,
протокол № 4

Составитель ст. преподаватель Т. А. Полякова

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Данилов

В методических рекомендациях приведены основные теоретические материалы, методы, приборы и оборудование для контроля качества, используемые при строительство автомобильных дорог.

Учебное издание

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ответственный за выпуск	А. М. Брановицкий
Корректор	А. А. Подошевко
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Определение влажности и плотности грунта земляного полотна различными методами.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Контроль поперечного и продольного профилей в процессе строительства.....	16
3 Лабораторная работа № 3. Контроль плотности асфальтобетонного покрытия.....	17
4 Лабораторная работа № 4. Контроль прочности цементобетонного покрытия.....	24
Список литературы.....	33

Введение

Целью учебной дисциплины «Строительство автомобильных дорог» является формирование у студентов профессиональных знаний по технологиям строительства, реконструкции и ремонта земляного полотна и дорожных одежд всех существующих категорий автомобильных дорог на основе применения современных материалов, передовых способов строительства и производительных машин и комплексов.

Основные задачи учебной дисциплины: изучить особенности операций технологических процессов, методологию расчета ресурсов и комплектования звеньев при сооружении земляного полотна и строительстве дорожных одежд; требования к качеству строительства на всех этапах сооружения элементов автомобильной дороги; передовой опыт строительства автомобильных дорог и достижения науки и техники в дорожной отрасли; нормативные документы и стандарты, применяемые в расчетных и проектных работах, а также порядок контроля за соблюдением действующих норм и ведения технической документации.

Главная цель методических рекомендаций – закрепление полученных теоретических знаний, ознакомление с приборами и оборудованием для контроля качества, используемых при строительстве автомобильных дорог, приобретение навыков работы с нормативной литературой.

Работа с методическими рекомендациями должна обеспечить формирование компетенций УК 5, БПК 7.

В методических рекомендациях приведены основные теоретические материалы, контрольные вопросы и задания по теме лабораторной работы в соответствии с учебной программой.

Отчет по лабораторной работе оформляется в тетради для лабораторных работ и должен содержать краткую теоретическую часть, выполненные задания с конкретными результатами и вывод о качестве в соответствии с требованиями ТНПА.

1 Лабораторная работа № 1. Определение влажности и плотности грунта земляного полотна различными методами

Для обеспечения надлежащего качества работ при возведении земляного полотна должен быть организован производственный контроль проведения операций по искусственному уплотнению грунта.

Производственный контроль за уплотнением земляного сооружения подразделяется на:

- входной контроль, который включает обследование резервов (карьеров) и лабораторные испытания образцов грунтов, предназначенных для возведения земляных сооружений;
- операционный контроль уплотнения грунтов в процессе возведения земляного сооружения.

Оценка степени уплотнения грунта сооружений производится по величине коэффициента уплотнения или плотности сухого грунта.

Качество уплотнения земляного сооружения определяют сравнением полученных значений плотности сухого грунта (или коэффициента уплотнения грунта) с требуемыми значениями согласно следующей шкале:

- отличное, если у 90 % испытанных образцов величины коэффициента уплотнения грунта всех слоев земляного сооружения не ниже требуемых, а у 10 % образцов они понижены не более чем на 0,02;
- хорошее, если у 90 % испытанных образцов величины коэффициента уплотнения грунта всех слоев земляного сооружения не ниже требуемых, у 5 % образцов они понижены не более чем на 0,02, а у 5 % – на 0,04;
- удовлетворительное, если у 90 % испытанных образцов величины коэффициента уплотнения грунта всех слоев земляного сооружения не ниже требуемых, а у 10 % образцов они понижены не более чем на 0,04.

В дорожно-строительных организациях применяются различные методы и приборы контроля качества уплотнения грунтов при сооружении земляного полотна. При этом обычно выделяют следующие группы:

- объемно-весовые методы;
- методы динамического зондирования;
- методы статической пенетрации;
- сейсмоакустические методы;
- методы непрерывного автоматизированного контроля в процессе уплотнения грунтов.

Объемно-весовые методы.

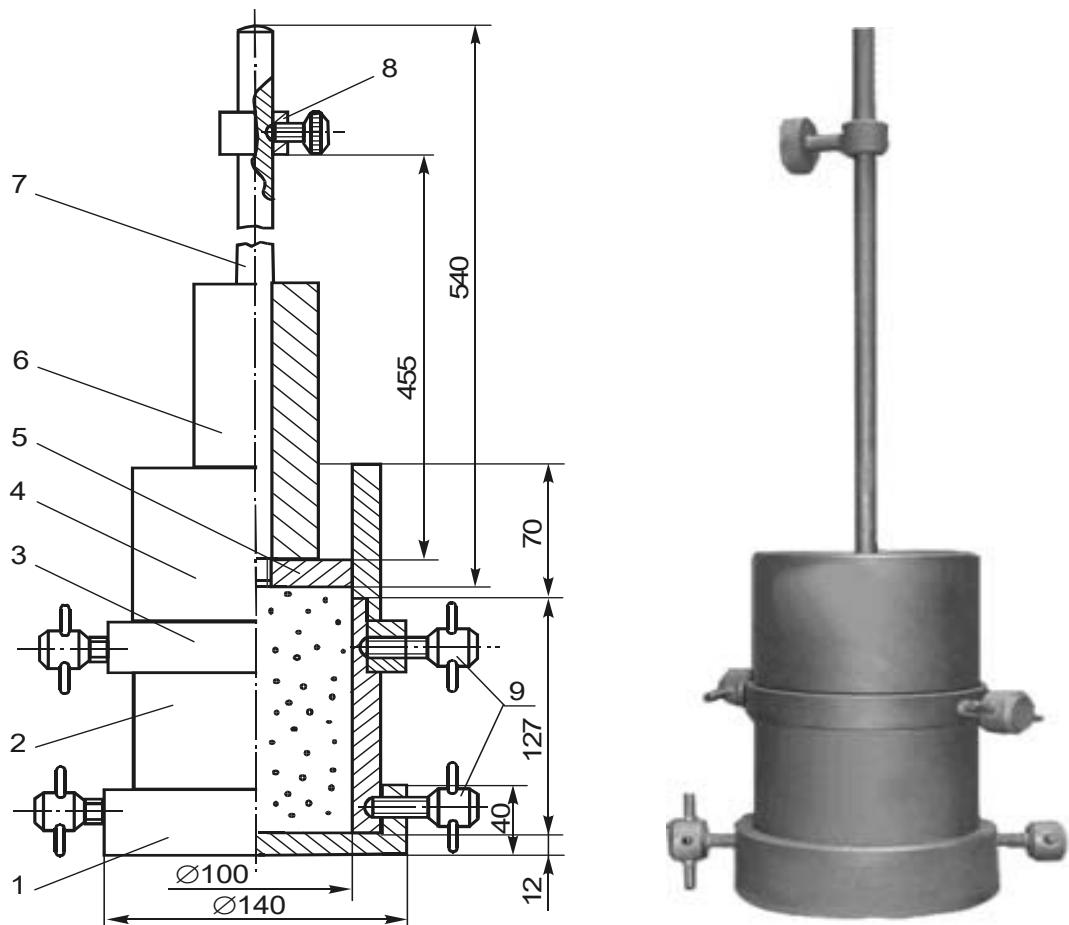
К объемно-весовым методам относятся:

- метод стандартного уплотнения по ГОСТ 22733;
- метод режущего кольца по ГОСТ 5180;
- метод замещения объёма по ГОСТ 28514;
- полевой экспресс-метод с помощью влагомера-плотномера Ковалева (ведро Ковалева).

Метод стандартного уплотнения грунтов в лабораторных условиях.

Целью стандартного уплотнения является определение максимальной плотности $\rho_{d\max}$ и оптимальной влажности W_{opt} грунта, при которой достигается максимальная плотность.

В качестве стандартного принят метод уплотнения образцов грунта по ГОСТ 22733 с использованием прибора СоюздорНИИ (рисунок 1.1).



1 – поддон; 2 – разъемный цилиндр емкостью 1000 см³; 3 – кольцо; 4 – насадка; 5 – наковальня; 6 – груз массой 2,5 кг; 7 – направляющая; 8 – ограничительное кольцо; 9 – зажимные винты

Рисунок 1.1 – Схема прибора СоюздорНИИ для стандартного уплотнения

Опыты по уплотнению выполняют в следующем порядке. Вначале берут образец грунта в воздушно-сухом состоянии, размельчают и просеивают сквозь сито с отверстиями размером 10 мм. Пробу грунта, прошедшего через сито, увлажняют до исходной влажности (4 % – для песчаных и 6 %...8 % – для пылевато-глинистых грунтов), перемешивают, закладывают в цилиндр прибора и уплотняют. Уплотнение выполняют последовательно в три слоя, каждый из которых уплотняют 40 ударами груза массой 2,5 кг, падающего с высоты 300 мм. При уплотнении третьего (верхнего) слоя на разъемный цилиндр сверху надевают насадку. После окончания уплотнения насадку снимают и

выступающий грунт осторожно срезают ножом по верхней кромке разъемного цилиндра.

Плотность влажного грунта ρ , г/см³, определяют по формуле

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

где m_1 – общая масса разъемного цилиндра с уплотненным грунтом, поддоном и зажимным кольцом, г;

m_2 – масса пустого цилиндра с поддоном и зажимным кольцом, г;

V – объем разъемного цилиндра, равный 1000 см³.

Для этой же пробы определяют влажность методом высушивания до постоянной массы.

Следующий опыт проводят на пробе грунта с влажностью, увеличенной на 1 %...2 % для песчаных и 2 %...3 % для пылевато-глинистых грунтов.

Испытания проводят до тех пор, пока плотность влажного грунта не станет уменьшаться при увеличении влажности.

Плотность сухого грунта ρ_d , г/см³, в каждом опыте вычисляют по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot W},$$

где ρ – плотность влажного грунта, г/см³;

W – весовая влажность, %.

По полученным данным строят кривую стандартного уплотнения, а по ней определяют максимальную плотность сухого грунта и соответствующую ей оптимальную влажность.

Метод режущего кольца.

Метод применяют для определения плотности однородных по гранулометрическому составу песчаных и пылевато-глинистых грунтов, не содержащих крупных включений. Метод непригоден для определения плотности песчаных грунтов, находящихся в рыхлом состоянии, и пылевато-глинистых – в текучем состоянии.

Для отбора проб из уплотненного слоя используют режущие кольца-пробоотборники с внутренним диаметром не менее 70 мм и высотой от 0,5 до 0,8 внутреннего диаметра. Кольца нумеруют, измеряют внутренний диаметр и высоту с погрешностью не более 0,1 мм и взвешивают. По результатам измерений вычисляют внутренний объем кольца с точностью до 0,1 см³.

На месте испытаний снимают верхний слой грунта, выравнивают небольшую площадку, устанавливают на ней режущим краем вниз слегка смазанное вазелином кольцо и погружают его в уплотненный грунт.

Кольцо с грунтом и пластинками взвешивают на технических весах с точностью до 1 г. По результатам взвешивания определяют плотность влажного грунта ρ , г/см³, по формуле

$$\rho = \frac{m_{ГКП} - m_K - m_g}{V},$$

где $m_{ГКП}$ – масса грунта с кольцом и пластинками, г;

m_K – масса режущего кольца, г;

m_g – масса пластинок, г;

V – внутренний объем кольца, см^3 ; $V = (\pi d^2/4) \cdot h$.

Из верхней и нижней частей образца отбирают по одной пробе массой не менее 30 г для определения влажности грунта (методом высушивания до постоянной массы).

По полученным в результате испытаний значениям плотности и влажности образца находят плотность сухого грунта ρ_d , $\text{г}/\text{см}^3$, по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01W},$$

где W – влажность грунта, %.

Величину коэффициента уплотнения грунта в соответствующем слое определяют по формуле

$$K_y = \frac{\rho_d}{\rho_{d\max}},$$

где $\rho_{d\max}$ – максимальная плотность сухого грунта, определенная в приборе СоюздорНИИ для стандартного уплотнения, $\text{г}/\text{см}^3$.

Метод замещения объема (метод лунок).

Метод применяют для определения плотности крупнообломочных, песчаных и пылевато-глинистых грунтов, содержащих крупные включения гравия, щебня и т. д.

В месте контроля откапывают лунку диаметром около 250 мм. Грунт тщательно собирают на поддон и взвешивают. Над лункой устанавливают воронку с известным объемом, через которую засыпают сухой однородный песок до полного заполнения. Заполняется сначала лунка, затем воронка. Объем засыпанного песка фиксируют с применением мерных устройств или с помощью баллонного плотномера. Схема установки воронки приведена на рисунке 1.2.

Значение плотности влажного грунта ρ , $\text{г}/\text{см}^3$, определяют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V_l},$$

где m – масса грунта, удаленного из лунки, г;

V_l – объем лунки, см^3 .

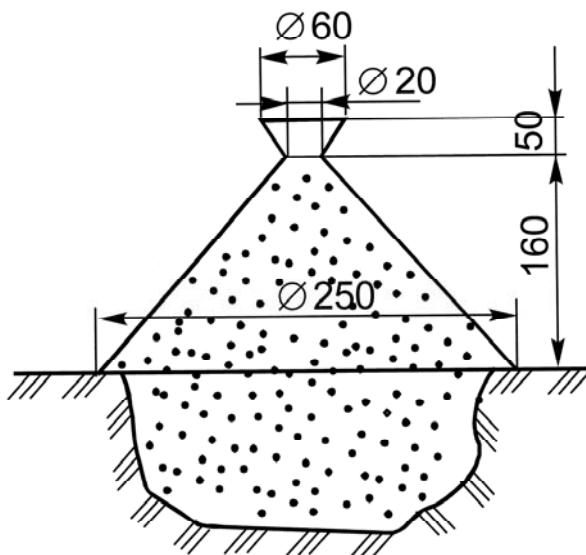


Рисунок 1.2 – Схема установки над лункой (при заполнении ее однородным сухим песком) двойной воронки

Полевой экспресс-метод с помощью плотномера-влагомера Ковалева.

Применяется для ускоренного определения плотности и влажности песчаных и пылевато-глинистых грунтов без крупных включений. Прибор Ковалева (рисунок 1.3) основан на принципе гидростатического взвешивания образца грунта, отобранного из уплотняемого слоя с помощью режущего кольца объемом 200 см³ (старая модификация прибора) или 50 см³ (новая модификация прибора). Плотность влажного и сухого грунтов определяют по шкалам, нанесенным на трубке поплавка при проведении испытаний. На трубке поплавка нанесены четыре шкалы. Шкала с пометкой «ВЛ» служит для определения плотности влажного грунта, с пометками «Ч», «П» и «Г» – для определения плотности сухого грунта чернозема, песка и глинистых грунтов соответственно. В ведро-футляр при испытании наливается вода, проба грунта помещается в поплавок (или в стакан с водой) и по срезу воды по соответствующей шкале на поплавке берутся отсчеты плотности.

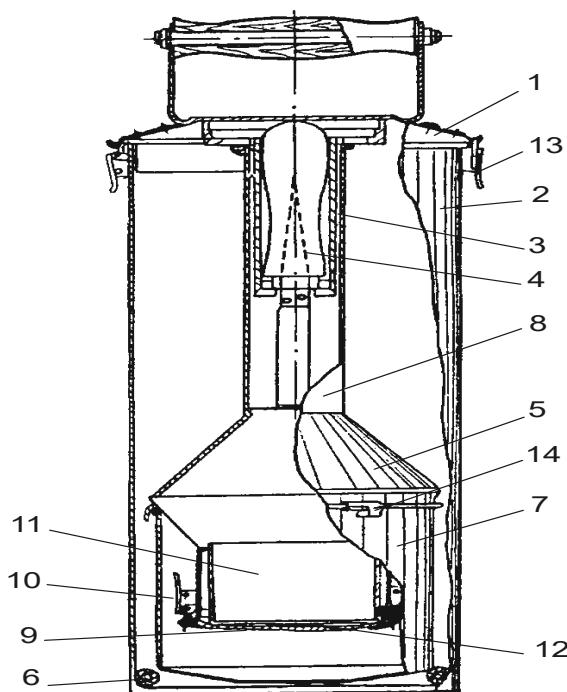
По найденным значениям плотности влажного и сухого грунтов рассчитывают влажность грунта $W, \%$, по формуле

$$W = \frac{\rho - \rho_d}{\rho_d} \cdot 100.$$

Методы динамического зондирования.

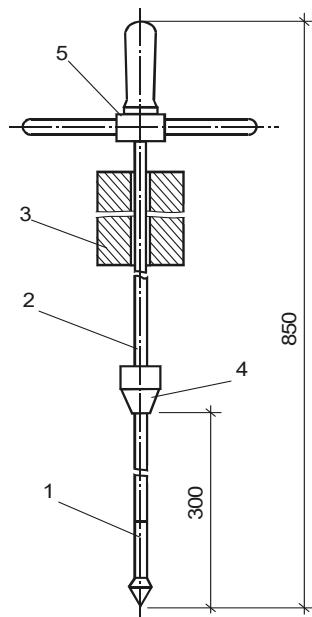
Методы основаны на принципе определения сопротивления грунта погружению зонда с коническим наконечником под действием последовательно возрастающего количества ударов груза постоянной массы, свободно падающего с заданной высоты.

Для оценки уплотнения песчаных грунтов применяют динамический плотномер модели Д-51, для песчаных и пылевато-глинистых грунтов – модели Д-51А или Д-51М (рисунок 1.4).



1 – крышка футляра; 2 – ведро-футляр; 3 – насадка; 4 – нож; 5 – поплавок;
 6 – резиновое кольцо; 7 – сосуд; 8 – трубка поплавка; 9 – крышка поплавка; 10 – замок поплавка; 11 – режущее кольцо; 12 – тарировочный груз; 13 – замок футляра; 14 – крючки

Рисунок 1.3 – Плотномер-влагомер Ковалева



1 – штанга с коническим наконечником; 2 – направляющая; 3 – гиря; 4 – наковальня;
 5 – рукоятка

Рисунок 1.4 – Динамический плотномер Д-51

Динамический плотномер модели Д-51М (рисунок 1.5) включает сам измерительный прибор Д-51А и электронный блок-приставку Д-51БЭ для расшифровки и воспроизведения результатов измерений.

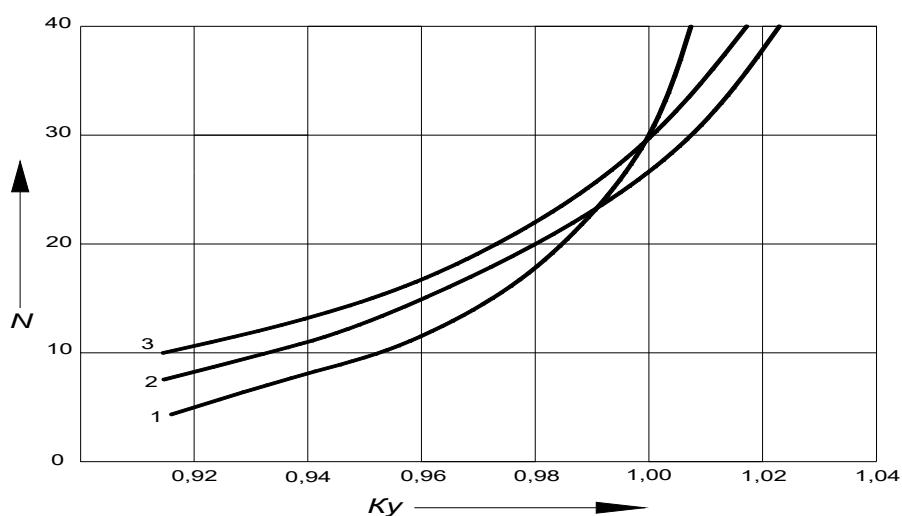
Испытания песчаных грунтов с помощью динамического плотномера производят в следующем порядке:

– в местах (точках) определения степени уплотнения грунта поверхность контролируемого слоя земляного сооружения зачищают и выравнивают на площадке размером 50×50 см;

– наконечник динамического плотномера устанавливают в центр площадки и последовательными ударами свободнопадающей гири погружают его на глубину. В зависимости от плотности грунта наконечник прибора от каждого удара гири погружается на различную глубину; по количеству ударов N с помощью тарировочных кривых (рисунок 1.6) определяют коэффициент уплотнения K_y .



Рисунок 1.5 – Внешний вид динамического плотномера Д-51М с электронным блоком-приставкой Д-51БЭ

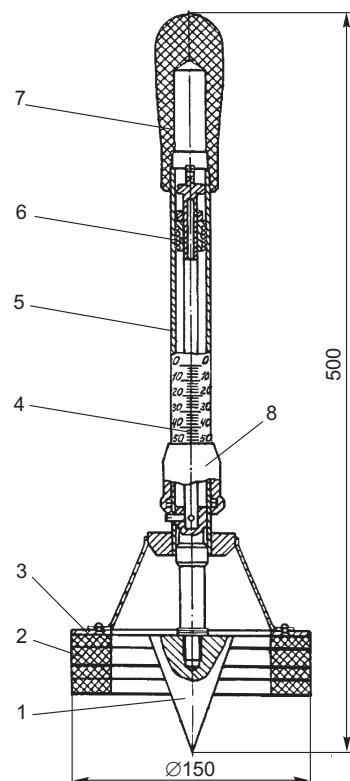


1 – песок средней крупности и крупный; 2 – песок мелкий; 3 – песок пылеватый

Рисунок 1.6 – Тарировочные графики для определения K_y грунтов земляного полотна методом динамического зондирования

Метод статической пенетрации.

В основе метода лежит принцип определения сопротивления грунта при внедрении конического наконечника под действием статической нагрузки на глубину меньшую, чем высота наконечника. Определение степени уплотнения грунтов методом статической пенетрации можно производить с помощью портативного пенетрометра (рисунок 1.7). Необходимой принадлежностью прибора является регулятор глубины погружения конуса, выполненный в виде набора колец.



1 – конус; 2 – кольца; 3 – опорная площадка; 4 – шкала; 5 – корпус;
6 – силоизмерительное устройство; 7 – рукоятка; 8 – движок

Рисунок 1.7 – Пенетрометр

Испытания производят в следующем порядке. На выровненную и зачищенную поверхность грунта укладывают друг на друга два-три кольца общей высотой 40...60 мм. По центру колец устанавливают конус прибора и вдавливают его в грунт до тех пор, пока опорная площадка не прижмется к верхнему кольцу. Второе и последующие вдавливания конуса производят в этой же точке, но при каждом испытании снимают по одному кольцу.

Последнее испытание производят без колец. После каждого вдавливания конуса берут отсчет по шкале с точностью до 0,5 мм и записывают в журнал. Таким образом, получают три-четыре ступени нагружения с различными значениями усилия вдавливания P_i и глубины пенетрации h_i . Для каждой глубины погружения конуса h_i вычисляют удельное сопротивление пенетрации R_i , МПа, по формуле

$$R_i = \frac{P_i}{h_i^2},$$

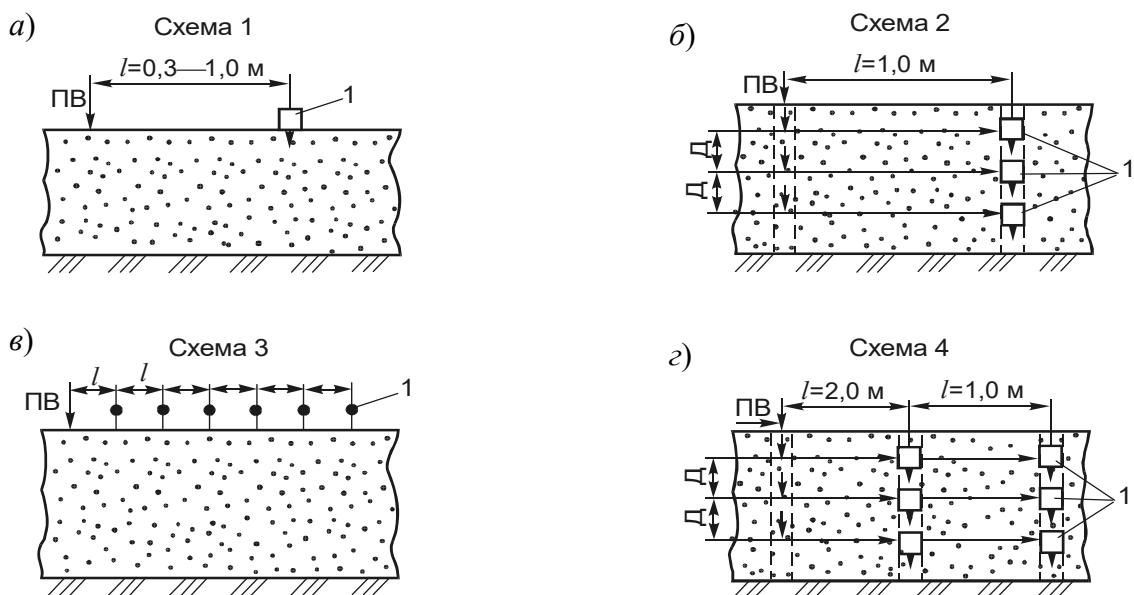
где P_i – усилие вдавливания, кН.

По тарировочным кривым определяют коэффициент уплотнения.

Сейсмоакустические методы.

Методы основаны на изучении распространения в земляном сооружении упругих волн, возбуждаемых искусственным путем с помощью одиночных ударных импульсов или направленного высокочастотного излучения с частотами 20 кГц и более. В первом случае измерения производят с помощью сейсмических методов и приборов, во втором – ультразвуковых. По данным измерений определяют скорости распространения сейсмических продольных Vp_c , поперечных Vs_c и ультразвуковых продольных Vp_y волн, которые позволяют оценить степень уплотнения земляного сооружения.

При контроле качества уплотнения земляного сооружения сейсмическими методами следует применять схемы измерений, показанные на рисунке 1.8.



а – просвечивание в поверхностном слое; *б* – просвечивание по глубине на параллельных лучах; *в* – сейсмическое профилирование (сейсмозондирование); 1 – сейсмоприемник (зонд); ПВ – пункт возбуждения; Δ – шаг просвечивания; l – база просвечивания

Рисунок 1.8 – Схемы измерений сейсмоакустическими методами при контроле уплотнения земляного сооружения

Методы непрерывного автоматизированного контроля в процессе уплотнения грунтов.

В процессе возведения земляных сооружений можно использовать методы непрерывного контроля с помощью приборов, установленных на катках.

Приборы непрерывного контроля качества уплотнения грунтов позволяют выявить неуплотненные участки в процессе работ, а также исключить избыточное число проходов грунтоуплотняющей техники.

Способ контроля степени уплотнения грунтов с помощью приборов и устройств, установленных на катках, включает измерение на каждом проходе уплотняющего катка параметра, зависящего от плотности грунта, и определение окончания процесса уплотнения по стабилизации разности параметров, измеренных на каждом предыдущем и последующем проходах катка.

Принцип действия данных приборов основан на:

- зависимости ускорения вибрирования катка от изменения жесткости грунта в процессе уплотнения;
- изменении энергии, потребляемой виброкатком от силовой установки тягача во время уплотнения;
- изменении скорости распространения колебаний в уплотняемой среде;
- изменении деформаций поверхности уплотняемого слоя при проходе уплотнителя;
- изменении поглощений радиоактивного излучения и др.

Фирма Bomag (Германия) разработала прибор Terrameter (ВТМ03, ВТМ04) и устанавливает его на поставляемые виброкатки, что позволяет контролировать степень достигнутого уплотнения. Это отражается специальными световыми сигналами на табло в кабине водителя: надпись типа «Продолжать уплотнение» высвечивается пока плотность грунта растет, надпись «Готово» – при достижении плотности, предельной для данного типа катка. В некоторых вариантах на приборной панели в кабине машиниста загораются разноцветные лампочки (красная и зеленая).

Перед началом работ по уплотнению для тарировки прибора производится прокатка на пробных участках с известной плотностью грунтов.

Прибор Terrameter фирмы Bomag может быть смонтирован практически на любом одновальцовом виброкатке-тандеме (рисунок 1.9).

Прибор фирмы Bomag включает четыре основных элемента:

- 1) датчики (акселерометры), укрепленные на бандаже и предназначенные для измерения ускорения движения вибрирующего вальца;
- 2) электронно-операционный блок (ЭВМ), расположенный под сиденьем оператора катка, обеспечивающий сбор данных, поступающих от датчиков, и их обработку;
- 3) устройство отображения информации, оценивающее качество уплотнения (табло, дискиеты и т. д.);
- 4) пульт управления, приводящий систему в работу, и ограничитель скорости, обеспечивающий постоянную рабочую скорость при каждом проходе.

При установке на катках подобных устройств появляется обратная связь, позволяющая вести контроль непосредственно в процессе производства работ, непрерывно фиксировать состояние системы «уплотнитель – среда» и прекращать процесс в момент, когда уплотняющие возможности данного механизма для конкретных условий исчерпаны.



Рисунок 1.9 – Каток фирмы Bomag с прибором Terrameter

Контрольные вопросы

- 1 Назовите группы методов для контроля плотности грунтов.
- 2 Какие приборы относятся к объемно-весовому методу контроля плотности грунтов?
- 3 Как определить влажность грунта?

Задание к лабораторной работе

Оценить достаточность уплотнения земляного сооружения с помощью динамического плотномера и плотномера-влагомера Ковалева. Результаты выполнения контроля представить в виде таблиц 1.1 и 1.2, а вывод сделать в соответствии с требованиями нормативных документов [1, 2].

Таблица 1.1 – Результаты контроля плотности грунта динамическим плотномером

Номер испытания	Количество ударов, шт.	Среднее количество ударов, шт.	Фактический коэффициент уплотнения	Требуемый коэффициент уплотнения	Вывод о достаточности уплотнения
1					
2					
3					

Таблица 1.2 – Результаты контроля плотности и влажности грунта плотномером-влагомером Ковалева

Плотность влажного грунта, г/см ³	Плотность скелета грунта, г/см ³	Влажность грунта, %

2 Лабораторная работа № 2. Контроль поперечного и продольного профилей в процессе строительства

При приемке выполненных работ проводят освидетельствование работ в натуре, контрольные замеры. При этом проверяют соответствие фактических значений проектным по параметрам, приведенным в [1]. Для оснований и покрытий дорожных одежд контролируемыми параметрами являются высотные отметки, ширина слоя, толщина слоя, поперечные и продольные уклоны, ровность и др.

При контроле поперечного и продольного профиля конструктивного элемента автомобильной дороги измеряют расстояние от оси до кромки слоя, общую ширину слоя, поперечные и продольные уклоны проезжей части и обочины, заложение откосов (при их наличии), толщину слоев, проектную отметку.

Для измерений контролируемых параметров рекомендуется использовать мерную ленту, рейку дорожную универсальную (РДУ) «Кондор», геодезические приборы.

Рейка дорожная универсальная «Кондор» представляет собой трехсекционную складную конструкцию. В рабочем состоянии ее секции жестко скрепляются между собой стяжными винтами.

В центральной секции рейки расположены:

- измеритель уклонов, состоящий из головки с лимбом (шкалой), совмещенной с уровнем горизонтальной установки измерителя;
- балансир-эклиметр для определения крутизны откосов.

К рейке приложен клин-промерник для измерения просветов под рейкой и для замера толщин слоев дорожной одежды.

Рейка позволяет измерить уклон поверхности, крутизну откоса, ширину и толщину слоя, ровность поверхности.

При использовании РДУ «Кондор» для измерения продольных и поперечных уклонов поверхности она укладывается на ровной поверхности по оси дороги (или перпендикулярно ей) и жестко фиксируется в местах соединения стяжными винтами. Вращением винта измерительной головки приводят уровень в горизонтальное положение, фиксируемое по положению пузырька в ампуле уровня. При этом пузырек должен находиться между двумя центральными делениями ампулы. Величина уклона определяется стрелкой по шкале лимба измерительной головки.

При измерении крутизны откосов рейку устанавливают непосредственно на откос перпендикулярно обрезу бровки откоса. Значение крутизны откоса определяют по шкале балансира-эклиметра.

При определении геометрических параметров элементов дороги используется метрическая шкала рейки, а для определения толщины конструктивных слоев – правая шкала клинового промерника.

Контрольные вопросы

1 Какие параметры автомобильной дороги позволяет измерить РДУ «Кондор»?

2 Из каких элементов состоит РДУ «Кондор»?

Задания к лабораторной работе

1 Вычертить схему прибора с указанием основных узлов и деталей.

2 С помощью рейки универсальной дорожной «Кондор» проверить соответствие продольного и поперечного профилей автомобильной дороги требованиям нормативных документов.

3 Вычертить в масштабе фактический поперечный профиль автомобильной дороги.

3 Лабораторная работа № 3. Контроль плотности асфальтобетонного покрытия

Операционные методы контроля качества асфальтобетонных покрытий и оснований без разрушения основаны на исследованиях в области радиометрии и акустики.

Основная технологическая операция при укладке асфальтобетонной смеси, которая предопределяет физико-механические свойства асфальтобетонного покрытия, – это уплотнение.

При контроле качества асфальтобетонных покрытий и оснований определяют коэффициент уплотнения асфальтобетона.

Коэффициент уплотнения асфальтобетона в покрытии представляет собой отношение средней плотности вырубок (кернов) к средней плотности переформованных из них образцов.

3.1 Определение средней плотности асфальтобетона в лабораторных условиях

Среднюю плотность асфальтобетона определяют на образцах, изготовленных в лаборатории из запроектированной смеси, из пробы смеси, взятой из смесителя, или на образцах – вырубках (кернах) из дорожного покрытия.

Для проведения испытания необходимы весы гидростатические, сосуд

вместительностью 1...3 л.

Три образца тщательно вытирают и очищают от налипших частиц смеси.

Образцы взвешивают с точностью до 0,001 г на воздухе, затем помещают их на 30 мин в сосуд с водой, имеющей температуру $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Извлеченные из воды образцы вытирают, взвешивают на воздухе, а затем в воде, температура которой должна быть $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Среднюю плотность образца вычисляют по формуле

$$\rho_c = \frac{m_o \cdot \rho_e}{m_1 - m_2},$$

где m_o – масса образца, определенная взвешиванием его на воздухе, г;

ρ_e – плотность воды, $\rho_e = 1$ г/см;

m_1 – масса образца, выдержанного в воде в течение 30 мин, определенная взвешиванием его на воздухе, г;

m_2 – масса того же образца, определенная взвешиванием его в воде, г.

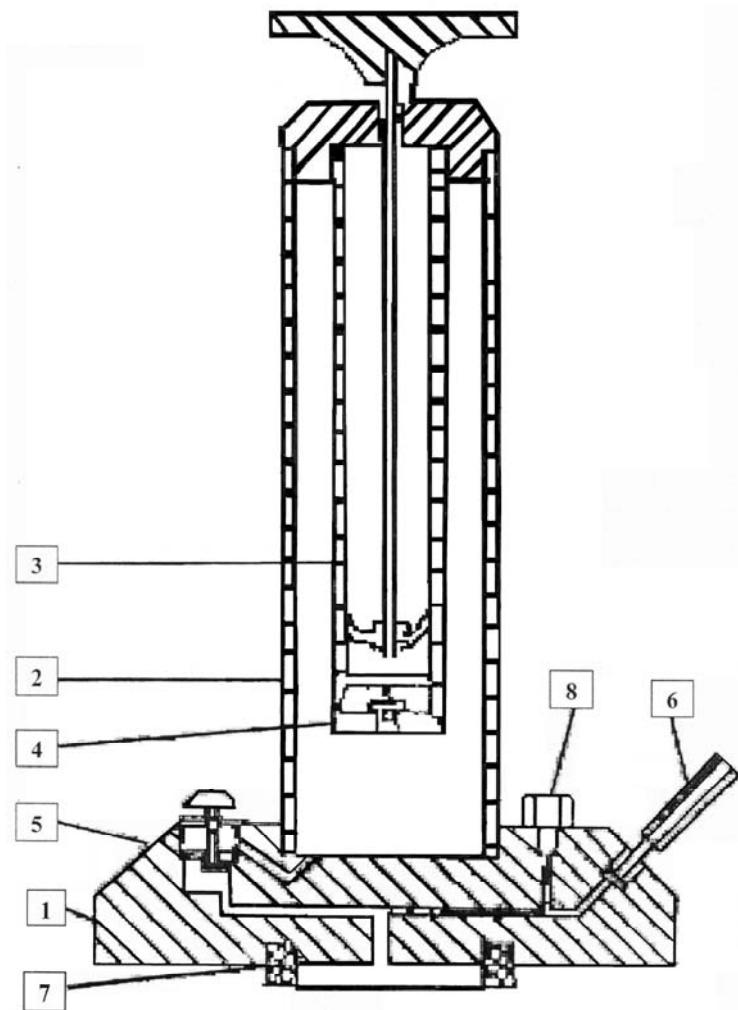
Среднюю плотность асфальтобетона определяют как среднее арифметическое результатов испытания трех образцов, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см³.

3.2 Вакуумный метод контроля плотности

Метод основан на зависимости времени прохождения воздуха через поры асфальтобетона от его плотности.

Плотность контролируют пористомером (рисунок 3.1). Плотность асфальтобетонных покрытий и оснований контролируют в следующем порядке: пористомер устанавливают так, чтобы резиновое уплотнительное кольцо 7 плотно прилегало к асфальтобетону и создавало герметизацию рабочей камеры. Насосом 3 создают разрежение воздуха в ресивере 2; открывают обратный клапан 4 (в этот момент создается разряжение в рабочей камере) и воздух из пор асфальтобетона поступает в рабочую камеру и ресивер; регистрируют давление воздуха в рабочей камере и ресивере по показаниям вакуумметра 6 и время T , за которое давление изменилось от 300 до 500 мм рт. ст.; определяют коэффициент уплотнения асфальтобетона K_y по градуировочному графику.

Асфальтобетонные покрытия и основания контролируют при температуре не более $60 ^\circ\text{C}$. Такое ограничение не дает возможности контролировать плотность асфальтобетонных конструктивных слоев в процессе уплотнения, т. к. эта технологическая операция завершается при температуре плюс $90 ^\circ\text{C}$, в связи с чем вакуумный метод может быть применен только при приемо-сдаточных работах.



1 – корпус; 2 – ресивер; 3 – ручной насос; 4 – обратный клапан; 5 – кнопочное устройство; 6 – вакуумметр; 7 – резиновое кольцо; 8 – винт

Рисунок 3.1 – Пористомер асфальтобетона КП-209

3.3 Радиационный метод контроля плотности

Радиационный метод – наиболее высокоточный метод контроля плотности асфальтобетонных покрытий и оснований как в процессе строительства, так и готовых. На измерение не влияет ни минералогический состав минерального порошка, щебня, песка, ни количество компонентов асфальтобетона. При контроле плотности уплотняемого конструктивного слоя дорожной одежды измерения на горячем асфальтобетоне в процессе уплотнения проводят через прокладку из термостойкого и теплоизолирующего материала (пенопласт, фторопласт и др.) между асфальтобетоном и радиоизотопным прибором, чтобы на его поверхности температура не превышала 40 °С, т. к. как дальнейшее повышение температуры влечет за собой резкое увеличение погрешности измерения. Получив измерения, по градуировочному графику определяют плотность асфальтобетона.

3.4 Контроль плотности асфальтобетона измерителем плотности ПАБ

Прибор ПАБ (рисунок 3.2) предназначен для операционного неразрушающего измерения (контроля) плотности и однородности асфальтобетонных покрытий толщиной до 150 мм. С его помощью можно не только оценить степень уплотнения (по коэффициенту уплотнения), но и оперативно выявить недоуплотненные участки дорожного покрытия, контролировать критические зоны (стыки, кромки, швы).



Рисунок 3.2 – Внешний вид прибора ПАБ

Прибор состоит из электронного блока и преобразователя, связанных между собой посредством кронштейна и ручки. На лицевой панели электронного блока расположена клавиатура и графический дисплей, в правой боковой части его корпуса установлен разъём для связи с компьютером. В нижней части корпуса расположен датчик с измерительными электродами. На боковом торце корпуса электронного блока расположена кнопка сброса питания на микроконтроллере.

При включении прибора на дисплей выводится главное меню. Вход и выход из любого пункта меню осуществляется клавишей «F».

«Установка нуля» – первый пункт главного меню, предназначенный для калибровки прибора перед проведением измерений.

«Материал» – пункт главного меню, служит для выбора вида материала, на котором будут производиться измерения. Вид материала выбирается клавишей (↓) или (↑), а группа – клавишей (←) или (→).

«Параметры» – пункт главного меню, содержащий следующие подменю:

– «Изм.параметр» – позволяет выбрать измеряемый параметр: плотность или коэффициент уплотнения;

– «Размерность» – позволяет выбрать размерность плотности: $\text{г}/\text{см}^3$, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{т}/\text{м}^3$;

– «Режим измерений» – позволяет выбрать один из двух режимов измерения:

а) с усреднением, измерения проводятся на одном участке покрытия в трех–пяти точках с вычислением среднего значения;

б) однократный для единичных измерений плотности в конкретной точке дорожного покрытия.

«Ресурс памяти» дает информацию о количестве свободных и занятых ячеек памяти результатов.

«Дополнительно» – пункт главного меню, содержит пункты подменю: дата и время, питание, очистка.

Для измерений следует выбрать ровную, сухую поверхность асфальта без видимых загрязнений (остатков грунта, отсева щебня, пятен горюче-смазочных материалов). На поверхности не должно быть бугров и вмятин, прибор должен стоять устойчиво, с плотным прилеганием.

При включении прибора на дисплей выводится главное меню с выделенным первым пунктом.

Выбрать строку «Установка нуля» и войти в неё. Взять прибор за рукоять одной рукой и держать в воздухе на расстоянии не менее 30 см от тела и посторонних предметов, во избежание вредного влияния внешних наводок. Нажать клавишу «F» и значение параметра ΔU обнулится.

В пункте главного меню «Материал» выбрать группу материалов «Асфальт». В выбранной группе материалов клавишей (↓) выделенная (инверсная) строка смещается вниз на следующие пункты, раскрывая меню до пункта «Асфальт 8» или «Без имени 8».

Внутри группы выбрать вид материала «Асфальт базовый» и войти в него.

В пункте главного меню «Параметры» выбрать строку «Изм. параметр», выбрать параметр «Плотность» и нажать клавишу «F».

Выбрать строку «Размерность» и задать необходимую размерность.

Выбрать в меню «Режим измерений» способ «С усреднением». Ввести в прибор количество замеров $N = 5$. Установить прибор на выбранном участке асфальтобетона. Нажать клавишу «M» и перевести прибор в режим измерений – на дисплей будет выводиться информация. Установить толщину измеряемого слоя клавишами. Нажать клавишу «M» и отойти от прибора на один шаг – на дисплее появится сообщение «ИЗМЕРЕНИЕ». Через 3...4 с измерение закончится и на дисплее появится значение плотности в первой точке измерения.

Сместить условный центр прибора относительно первого измерения на 5...7 см по диагонали в положение «2 часа» (рисунок 3.3) и провести второе измерение. Затем провести измерение, переставляя последовательно прибор в положения «4 часа», «8 часов» и «10 часов».

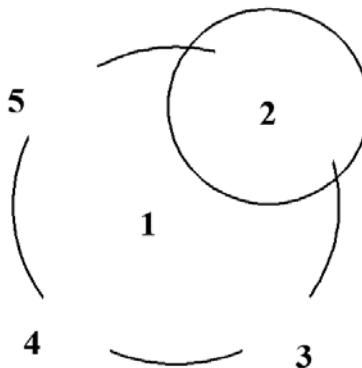


Рисунок 3.3 – Схема расположения прибора при проведении измерений

Коэффициент уплотнения асфальтобетона вычисляется для каждого результата по формуле

$$K_y = \frac{\rho}{\rho_{\max}},$$

где ρ – измеренное значение плотности, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_{\max} – максимальное значение плотности (определяется экспериментально для тестируемого вида покрытия и записывается в память прибора), $\text{кг}/\text{м}^3$.

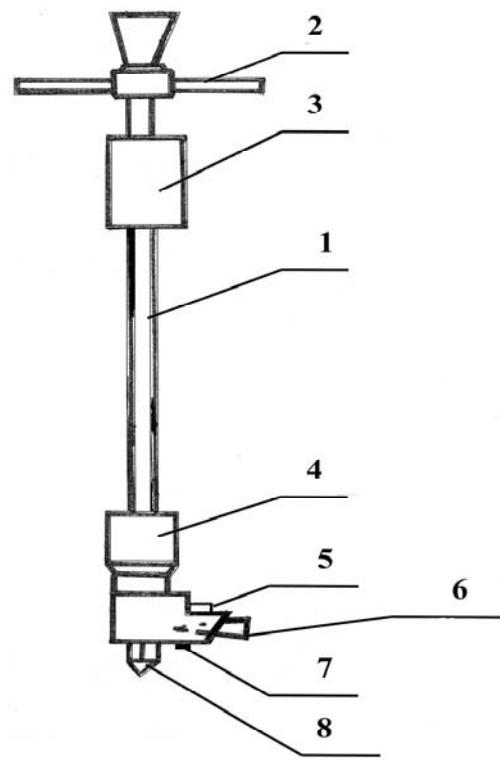
После выполнения этих измерений на дисплее появится среднеарифметическое значение плотности ρ из полученных пяти замеров.

3.5 Контроль плотности асфальтобетона динамическим плотномером

Плотномер с соответствующим наконечником (рисунок 3.4) устанавливается перпендикулярно к поверхности и производится пенетрация с подсчетом числа ударов, необходимых для полного погружения конуса в контролируемую поверхность. Окончание испытания фиксируется щелчком затвора.

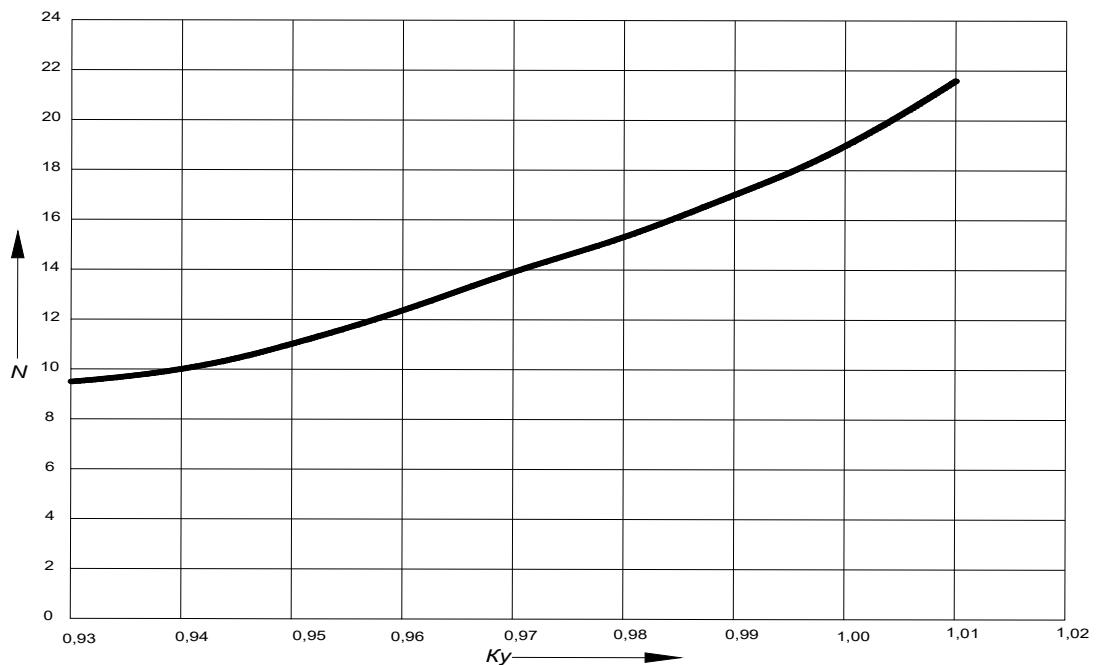
Определение коэффициента уплотнения проводится на основании не менее трех пенетраций участка по среднеарифметическому значению числа ударов. Расстояние между точками зондирования 20...30 см. Коэффициент уплотнения определяется по тарировочным графикам к прибору (рисунок 3.5).

Результаты испытаний заносят в таблицу 3.1. Делается обязательный вывод о соответствии K_y с требованиями [1].



1 – штанга; 2 – рукоятка; 3 – гиря; 4 – наковальня; 5 – ограничитель; 6 – затвор; 7 – фиксатор; 8 – конус

Рисунок 3.4 – Схема динамического плотномера для определения плотности асфальтобетона



N – количество ударов; K_y – коэффициент уплотнения

Рисунок 3.5 – Тарировочный график для определения коэффициента уплотнения асфальтобетона методом динамического зондирования для высокопористых смесей

Таблица 3.1 – Результаты испытаний динамическим плотномером

Номер испытания	Количество ударов	Среднее значение	K_y	$K_{y, треб}$

Контрольные вопросы

- 1 Назовите способы контроля плотности асфальтобетона.
- 2 Что такое коэффициент уплотнения асфальтобетона?

Задания к лабораторной работе

- 1 Измерить плотность асфальтобетонного покрытия прибором ПАБ и динамическим плотномером.
- 2 Дать оценку достаточности уплотнения асфальтобетона в соответствии с требованиями нормативных документов [1, 2].

4 Лабораторная работа № 4. Контроль прочности цементобетонного покрытия

К неразрушающим методам контроля относятся:

- механические методы:
 - а) метод пластической деформации бетона;
 - б) метод упругого отскока;
 - в) метод отрыва;
 - г) метод отрыва со скальванием;
- физические методы:
 - а) ультразвуковой;
 - б) радиационный.

4.1 Операционные неразрушающие методы контроля качества

Качество бетонных и железобетонных изделий и конструкций в значительной степени зависит от эффективного и действенного контроля прочности и однородности бетона, защитного слоя бетона и расположения арматуры.

Прочность бетона может определяться стандартными методами путем изготовления и испытания образцов. Однако достоверность контроля прочности и однородности бетона по стандартным образцам является недостаточной из-за ряда причин: объем испытания стандартных образцов не превышает 0,01 % уложенного в конструкцию бетона, условия виброформования и режимы твердения образцов и конструкций различны, стандартными методами невозможно определить однородность бетона в изделии и прочность отдельных его участков.

Перечисленные недостатки стандартных методов испытания прочности

бетона обусловили развитие неразрушающих методов контроля и методов, связанных с испытаниями бетона в нестандартных образцах, извлекаемых из конструкции.

Для неразрушающего контроля прочности бетона используются приборы, основанные на методах местных разрушений (отрыв со скальванием, скальвание ребра, отрыв стальных дисков), ударного воздействия на бетон (ударный импульс, упругий отскок, пластическая деформация) и ультразвукового прозвучивания.

Механические методы неразрушающего контроля применяют для определения прочности бетона всех видов нормируемой прочности, а также для определения прочности бетона при обследовании и отбраковке конструкций. Метод испытания прочности выбирают по таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Методы испытания прочности

Наименование метода	Предельное значение прочности бетона, МПа
Упругий отскок и пластическая деформация	5...50
Отрыв	0...5
Скальвание ребра	10...70
Отрыв со скальванием	5...100

Испытания проводят на участке конструкции площадью от 100 до 600 см².

Прочность бетона в контролируемом участке конструкции определяют по градуировочной зависимости.

Число испытаний на одном участке, расстояние между местами испытаний на участке и от края конструкции, толщина конструкции на участке испытания должны быть не меньше значений, приведенных в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Рекомендации по проведению испытаний

Наименование метода	Число испытаний на участке	Расстояние между местами испытаний, мм	Расстояние от края конструкции до места испытаний, мм	Толщина конструкции, мм
Упругий отскок	5	30	50	100
Пластическая деформация	5	30	50	70
Скальвание ребра	2	200	–	170
Отрыв	1	Два диаметра диска	50	50
Отрыв со скальванием	1	Пять глубин вырыва	150	Удвоенная глубина установки

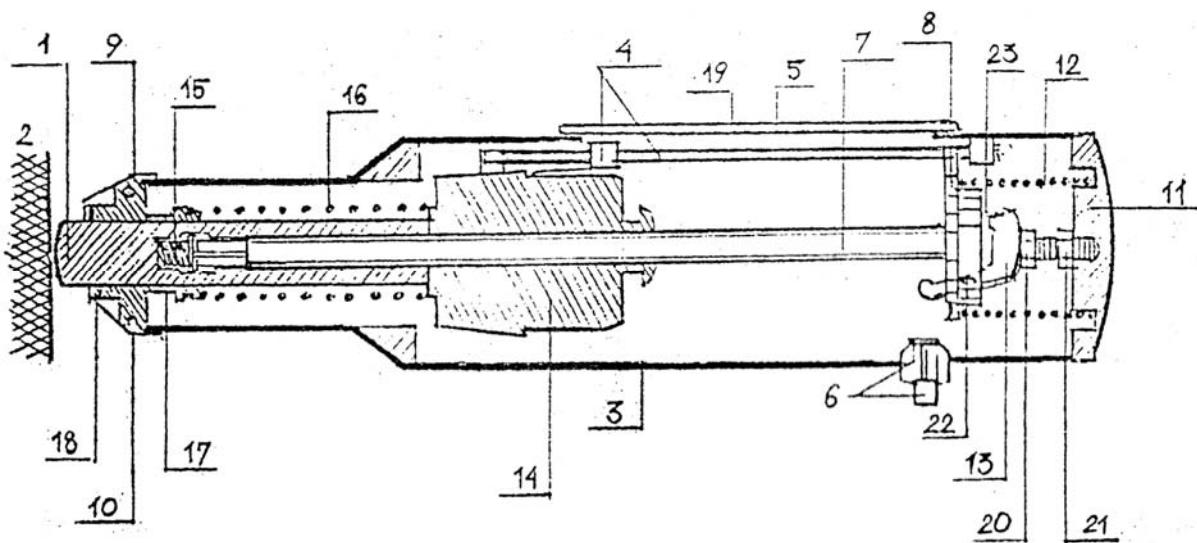
4.2 Определение физико-механических свойств бетона неразрушающими методами

Прочность бетона определяют при помощи приборов, предназначенных для определения косвенных характеристик, прошедших метрологическую аттестацию.

Для определения прочности бетона в конструкциях предварительно устанавливают градуировочную зависимость между прочностью бетона и косвенной характеристикой прочности (в виде графика, таблицы или формулы).

Метод упругого отскока.

Используется прибор склерометр Шмидта (рисунок 4.1).



1 – ударный стержень; 2 – бетон; 3 – корпус; 4 – движок и стержень; 5 – измерительная шкала; 6 – стопорная кнопка; 7 – направляющий стержень молота; 8 – направляющая шайба; 9 – колпачок; 10 – уплотнительное кольцо; 11 – крышка; 12 – пружина нажимная; 13 – защелка; 14 – молот; 15 – амортизирующая пружина; 16 – ударная пружина; 17 – патрон направляющий; 18 – войлочная шайба; 19 – крышка окна; 20 – регулирующий винт; 21 – контргайка; 22 – шпилька; 23 – пружина защелки

Рисунок 4.1 – Склерометр Шмидта

Испытание проводят в следующей последовательности:

- прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;
- положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как при испытании образцов для установления градуировочной зависимости; при другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;
- фиксируют значение косвенной характеристики по шкале, на которой

нанесены условные единицы (в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора);

– вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

Метод пластических деформаций.

Для проведения испытаний применяется молоток Кашкарова (рисунок 4.2).

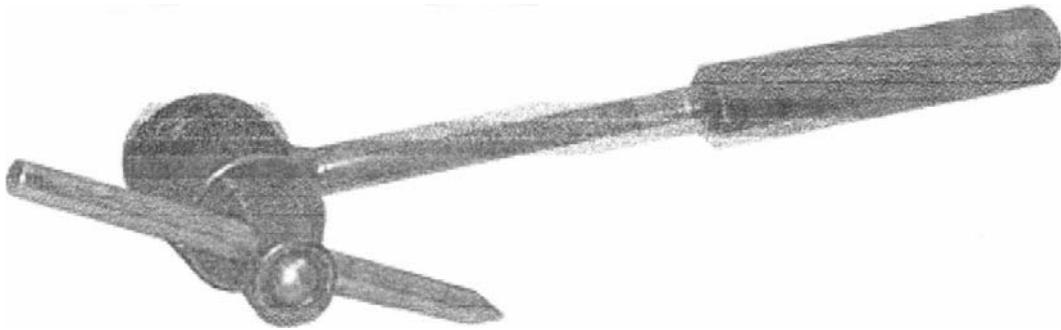


Рисунок 4.2 – Стандартный молоток Кашкарова

Молоток состоит из индентора (шарика), стакана, пружины, корпуса с ручкой, головки с внутренним упором и сменного эталонного стержня. Стержни являются расходным материалом. Диапазон определения прочности составляет 50...500 кг/см².

Для проведения испытаний в молоток вставляется металлический стержень с известной прочностью, затем молотком наносят серию ударов по поверхности бетона, при этом прибор следует располагать так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности. При помощи углового масштаба или измерительной лупы замеряют размер отпечатков, получившихся на бетоне и стержне. Для облегчения измерений диаметров отпечатков испытание допускается проводить через листы копировальной и белой бумаги. Зная марку стали, из которой сделан стержень (а следовательно, и его прочность), из соотношения диаметров отпечатков определяют прочность бетона (по градуировочным кривым).

Удары наносятся не ближе 5 см от кромки проезжей части покрытия или от швов. Диаметр лунки, образовавшейся в результате удара, измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях с погрешностью менее 0,1 мм.

Метод ударного импульса.

Для проведения испытаний может применяться прибор ИПС-МГ4.03 (электронный склерометр).

Испытания проводят в следующей последовательности:

– прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

– положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как при испытании образцов для уста-

новления градуировочной зависимости; при другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

– фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

– вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

Применительно к прибору ИПС-МГ4.03 (рисунок 4.3) алгоритм проведения испытаний выглядит так: измерение прочности бетона заключается в нанесении на контролируемом участке изделия серии до 15 ударов (прибор устанавливают перпендикулярно к испытываемой поверхности); электронный блок по параметрам ударного импульса, поступающим от склерометра, оценивает твердость и упругопластические свойства испытываемого материала, преобразует параметр импульса в прочность и вычисляет соответствующий класс бетона.

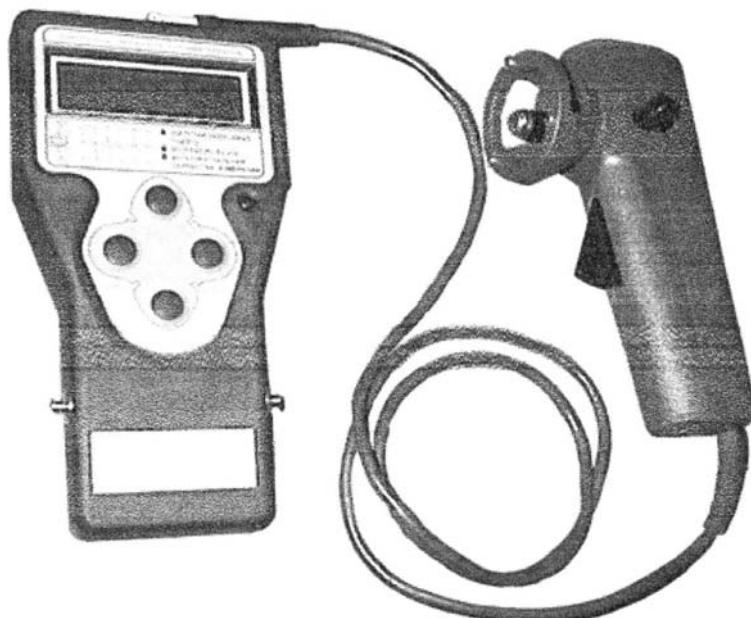


Рисунок 4.3 – Прибор ИПС-МГ4.03

В отличие от аналогов, прибор снабжен:

– устройством ввода коэффициента совпадения K_c для оперативного уточнения базовых градуировочных характеристик;

– устройством маркировки измерений типом контролируемого изделия;

– функцией вычисления класса бетона с возможностью выбора коэффициента вариации;

– функцией исключения ошибочного промежуточного значения. Прибор имеет энергонезависимую память, режим передачи данных на компьютер и снабжен устройством ввода в программное устройство индивидуальных градуировочных зависимостей, установленных пользователем.

Прибор ИПС-МГ4.03 имеет 44 базовые градуировочные характеристики, учитывающие вид бетона, дополнительно снабжен подсветкой дисплея, часами

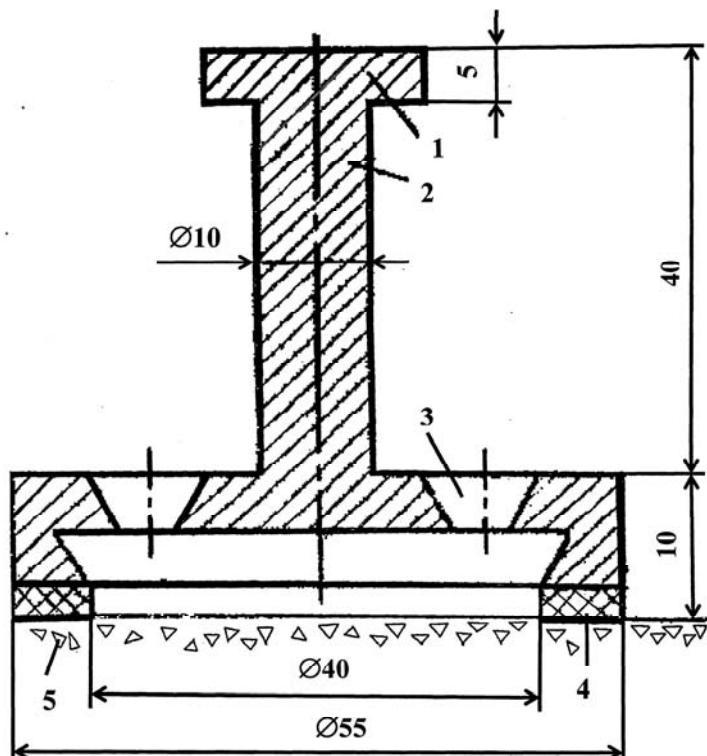
реального времени, функцией просмотра промежуточных значений прочности бетона и возможностью уточнения базовых градуировочных характеристик в зависимости от условий твердения и возраста бетона.

Метод отрыва.

При испытании методом отрыва участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

Метод испытания на отрыв основан на зависимости между прочностью бетона на сжатие $R_{сж}$ и прочностью на растяжение при отрыве R_{po} .

Для контроля дорожных покрытий используют методику определения прочности бетона на отрыв, разработанную в МАДИ (рисунок 4.4).



1 – буртик для соединения штампа с муфтой пресс-насоса; 2 – стойка штампа; 3 – отверстия для заливки клея; 4 – пластилиновая обмазка; 5 – дорожное покрытие

Рисунок 4.4 – Штамп МАДИ

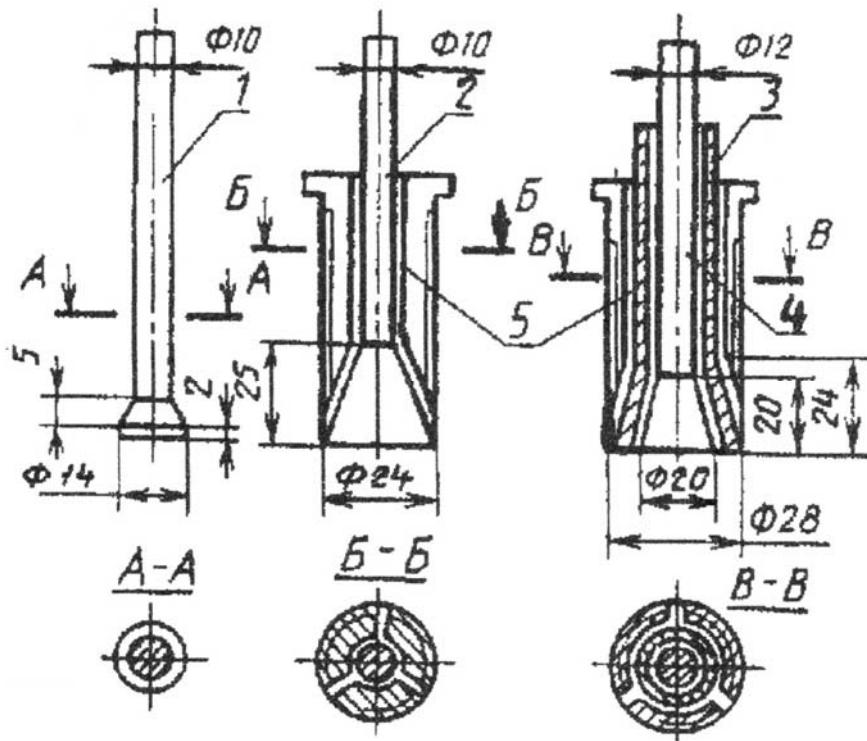
В этом случае используют полые штампы с четырьмя конусообразными отверстиями. Штампы с нанесенным по нижней кромке слоем пластилина толщиной 2...3 мм притирают к подготовленной поверхности покрытия и заливают эпоксидный клей в их полость через отверстия. Отрывают штамп через 24 ч после приклейивания.

Площадь отрыва при этом принята равной площади рабочей поверхности штампа. По градуировочной кривой $R_{сж} = f(R_{po})$ определяют значение прочности бетона на сжатие.

Результаты испытаний не учитывают, если при отрыве бетона была обнажена арматура или площадь проекции поверхности отрыва составила менее 80 % площади диска.

Метод отрыва со скальванием.

Применяются анкерные устройства трех типов (рисунок 4.5).



1 – рабочий стержень; 2 – рабочий стержень с разжимным конусом; 3 – рабочий стержень с полным разжимным конусом; 4 – опорный стержень; 5 – сегментные рифленые щеки

Рисунок 4.5 – Типы анкерных устройств

При испытании методом отрыва со скальванием участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно-напряженной арматуры.

Метод основан на определении прочности бетона по усилию P , необходимому для отрыва и выкалывания куска бетона из покрытия. Для этой цели в покрытие устанавливают анкерное устройство. Если анкерное устройство не было установлено до бетонирования, то в бетоне сверлят или пробивают шпур, размер которого выбирают в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора в зависимости от типа анкерного устройства; в шпуре закрепляют анкерное устройство на глубину, предусмотренную инструкцией по эксплуатации прибора, в зависимости от типа анкерного устройства; прибор соединяют с анкерным устройством; нагрузку увеличивают со скоростью 1,5...3,0 кН/с; фиксируют показание силоизмерителя прибора и глубину вырыва с точностью не менее 1 мм.

Анкерное устройство первого типа устанавливают на конструкции при

бетонировании; анкерные устройства второго и третьего типов устанавливают в предварительно подготовленные шпуры на конструкции на глубину заделки, приведенную в таблице 4.3.

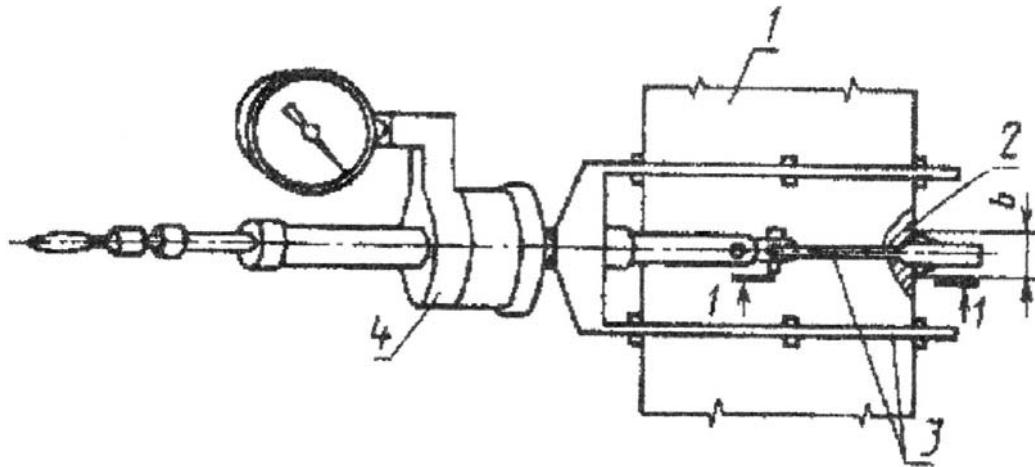
Таблица 4.3 – Рекомендуемая глубина заделки анкерных устройств

Тип анкерного устройства	Глубина заделки анкерных устройств, мм	
	рабочая h	полная h'
Первый	35; 48	37; 50
Второй	30; 48	37; 55
Третий	35	42

Метод скальвания ребра.

При испытании методом скальвания ребра на участке испытания не должно быть трещин, сколов бетона, наплывов или раковин высотой (глубиной) более 5 мм. Участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

Для проведения испытаний применяют прибор, состоящий из устройства УРС и силовозбудителя с силоизмерителем (рисунок 4.6).



1 – испытуемая конструкция; 2 – скальваемый бетон; 3 – устройство УРС; 4 – прибор ГПНС-4 (силовозбудитель и силоизмеритель)

Рисунок 4.6 – Прибор для испытания методом скальвания ребра

В качестве силовозбудителя и силоизмерителя рекомендуется использовать прибор ГПНС-4.

Испытание проводят в следующей последовательности:

- прибор закрепляют на конструкции, прикладывают нагрузку со скоростью не более $(1 \pm 0,3)$ кН/с;
- фиксируют показание силоизмерителя прибора;
- измеряют фактическую глубину скальвания;

– определяют среднее значение усилия скальвания.

Результаты испытания не учитывают, если при скальвании бетона была обнажена арматура и фактическая глубина скальвания отличалась от заданной более чем на 2 мм. Недостатком всех приведенных методов контроля прочности цементобетонных покрытий приборами механического действия является то, что прочность оценивается только в поверхностном слое покрытия.

Ультразвуковой метод.

Основан на измерении скорости V распространения через бетон ультразвуковой волны и на зависимости $V = f(R)$ прочности бетона R . При использовании ультразвука электронный генератор прибора создает высокочастотные электрические импульсы, которые в специальном излучателе преобразуются в ультразвуковые механические волны. Излучатель плотно прижимается к поверхности бетона, а на расстоянии L от излучателя к поверхности бетона подводят приемник, в котором ультразвуковые колебания преобразуются в электрические. Через усилитель эти колебания подаются на измерительное устройство, которое позволяет определить время t прохождения ультразвука через образец.

Скорость распространения ультразвука

$$V = L/(t - t_0),$$

где t_0 – время прохождения ультразвука при сомкнутых щупах.

По скорости V на основе тарировочных зависимостей определяют прочность бетона.

Радиометрические способы контроля плотности грунтов могут быть использованы для контроля плотности цементобетонного покрытия. Используя полученные значения плотности, по заранее установленным зависимостям «прочность – плотность» можно приближенно оценивать прочность бетона.

Физические методы позволяют определить прочность глубинных слоев бетона.

К **разрушающим методам** контроля прочности относятся методы стандартного испытания на прочность образцов в лабораторных условиях.

Контрольные вопросы

- 1 Какие методы относятся к неразрушающим методам контроля?
- 2 От чего зависит качество бетонных и железобетонных изделий?

Задание к лабораторной работе

Оценить прочность бетона с использованием молотка Кашкарова.

Список литературы

- 1 Автомобильные дороги. Правила устройства : ТКП 059.1–2020. – Мн. : Белавтодор, 2020. – 93 с.
- 2 Автомобильные дороги. Правила устройства асфальтобетонных покрытий и защитных слоев : ТКП 094–2021. – Мн. : Белавтодор, 2021. – 34 с.
- 3 Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила устройства : ТКП 313–2021. – Мн. : Белавтодор, 2021. – 196 с.