



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАВОДСКОГО ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Методические указания
к лабораторным работам*

**Минск
БНТУ
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАВОДСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Методические указания
к лабораторным работам
для студентов специальности 1-70 01 01
«Производство строительных изделий и конструкций»

Минск
БНТУ
2014

УДК 666.97(076.5)(075.8)

ББК 38.626я7

Т38

Составители:

*Э. И. Батяновский, В. В. Бабицкий,
А. И. Бондарович, П. В. Рябчиков*

Рецензенты:

В. М. Пилипенко, Я. Н. Ковалёв

Т38 **Технология** заводского производства бетонных и железобетонных изделий : методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» / сост. : Э. И. Батяновский, В. В. Бабицкий, А. И. Бондарович, П. В. Рябчиков. – Минск : БНТУ, 2014. – 63 с.
ISBN 978-985-550-321-8.

Изложены задачи, решаемые студентами при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Технология заводского производства бетонных и железобетонных изделий»; цель выполнения и основные теоретические положения разделов курса, отражаемых тематикой лабораторных работ.

УДК 666.97(076.5)(075.8)

ББК 38.626я7

ISBN 978-985-550-321-8

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВЛЯЮЩИХ БЕТОНА.....	5
Лабораторная работа № 2 МЕТОД РАСЧЕТА СОСТАВА БЕТОНА С УЧЕТОМ ЕГО СТРУКТУРНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ (МЕТОД ПРОФЕССОРА АХВЕРДОВА И.Н.).....	12
Лабораторная работа № 3 РАСЧЕТ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА МЕТОДОМ НИИЖБ И МЕТОДОМ АБСОЛЮТНЫХ ОБЪЕМОВ.....	19
Лабораторная работа № 4 ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ СВОЙСТВ, СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА	25
Лабораторная работа № 5 КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА РАЗРУШАЮЩИМ И НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ	27
Лабораторная работа № 6 РАСЧЕТ СОСТАВА ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ.....	41
Лабораторная работа № 7 ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ БЕТОНА	48
Лабораторная работа № 8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ.....	52
Лабораторная работа № 9 МНОГОФАКТОРНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ПОМОЩЬЮ ЭВМ	56
Литература	61

Введение

Целью выполнения лабораторных работ является закрепление теоретических положений учебной дисциплины «Технология заводского производства бетонных и железобетонных изделий» и приобретение студентами практических навыков по направлениям:

- определение физико-технических характеристик составляющих бетона;
- расчеты составов тяжелого и легкого бетона различными методами и разного предназначения;
- оценка технологических свойств бетонных смесей, включая оценку влияния на них химических добавок;
- определение прочностных характеристик бетона разрушающим и неразрушающими методами контроля;
- расчет коэффициента вариации прочности бетона и правила статистического контроля прочности;
- оценка параметров вибрационного уплотнения бетонных смесей;
- расчет состава конструкционного бетона с помощью ЭВМ.

Овладение указанными навыками в сочетании с приобретенными при выполнении курсового проекта по данной дисциплине обеспечит студенту требуемый уровень профессиональной подготовки для решения практических задач, сопровождающих производство сборного железобетона.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВЛЯЮЩИХ БЕТОНА

Цель работы: установление необходимых для расчета состава бетона характеристик цемента, крупного и мелкого заполнителей, воды, химических добавок.

Методика выполнения работы

1. *Цемент.* В соответствии с положениями ГОСТ 310.1–76 [1], ГОСТ 310.3–76 [2], ГОСТ 310.4–81, 10178–85 [4], СТБ EN 196-1–2007 [5], СТБ EN 197-1–2007 [6] определяют необходимые для расчета состава бетона характеристики цемента, приведенные в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики цемента

Активность (марка, класс) $f_{ц}$, МПа	Коэффициент нормальной густоты $K_{нг}$, доли ед.	Плотность $\rho_{ц}$, кг/м ³	Плотность в рыхлонасып- ном состоянии $\rho_{ц}^0$, кг/м ³

2. *Мелкий заполнитель (песок).* В соответствии с положениями ГОСТ 8735–88 [7]; ГОСТ 8736–93 [8]; ГОСТ 9758–86 [9]; СТБ 1217–2000 [10]; СТБ 12620–2010 [11] определяют необходимые для расчета состава бетона стандартные характеристики песка и дополнительные его характеристики, приведенные в таблице 1.2.

Удельную поверхность $S_{уд.п}$, общую водопотребность $B_{п}^{общ}$ и адсорбционную водопотребность $B_{п}^{ад}$ песка рассчитывают по методике [12, 13], используя следующие формулы и данные таблицы 1.3:

$$S_{уд.п} = \sum_{i=1}^n P_{ин} \cdot S_{ин}^{уд}, \text{ м}^2/\text{т}; \quad (1.1)$$

$$B_{п}^{общ} = 0,1 \sum_{i=1}^n P_{ин} \cdot B_{ин}^{общ}, \text{ л/т}; \quad (1.2)$$

$$B_{п}^{ад} = 0,1 \sum_{i=1}^n P_{ин} \cdot B_{ин}^{ад}, \text{ л/т}, \quad (1.3)$$

где $P_{ин}$ – содержание в песке (%) i -й фракции (частный остаток этой фракции на соответствующем сите);

$S_{ин}^{уд}$, $B_{ин}^{общ}$, $B_{ин}^{ад}$ – удельная поверхность, удельное общее водопоглощение и удельное адсорбционное водопоглощение i -й фракции песка, принимаемые по данным таблицы 1.3 [12].

Таблица 1.3 – Физические свойства крупного и мелкого заполнителей из плотных горных пород

Вид заполнителя	Размер фракции, мм	Удельная поверхность i -й фракции $S_i^{уд}$	Водопоглощение по массе, %		
			общее $B_i^{общ}$	поверхностью (адсорбционное) $B_i^{ад}$	порами $B_i^{пог}$
1	2	3	4	5	6
Щебень гранитный	20...40	1,35	0,77	0,27	0,5
	10...20	2,7	0,92	0,5	0,42
	5...10	5,4	1,21	0,81	0,4
Щебень известняковый	20...40	1,41	1,38	0,283	1,1
	10...20	2,82	1,5	0,565	0,95
	5...10	5,4	1.6	0,8	0,8

Окончание таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6
Гравий	20...40	1,16	1,24	0,24	1,0
	10...20	2,31	1,38	0,48	0,9
	5...10	4,38	1,46	0,66	0,88
Песок (природный)	2,5...5	9,4	1,914	0,374	1,54
	1,25...2,5	20,2	2,07	0,81	1,26
	0,63...1,25	37,0	2,3	1,48	0,82
	0,315...0,63	72,0	3,46	2,88	0,58
	0,16 (0,14)...0,315	141,0	6,0	5,65	0,35
	< 0,16 (0,14)	293,0	12,01	17,7	0,31

3. Крупный заполнитель (щебень, гравий, щебень из гравия)

В соответствии с положениями ГОСТ 8263–93 [14], ГОСТ 8267–93 [15] и ранее приведенными нормативными документами определяют необходимые для расчета состава бетона стандартные характеристики крупного заполнителя и дополнительные его характеристики, приведенные в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Характеристики крупного заполнителя

Плотность, кг/м ³			Зерновой состав* (частные остатки в % на сите)					Удельная поверхность крупного заполнителя $S_{уд,щ(г)}$, м ² /т	Удельная общая водопотребность $B_{щ(г)}^{общ}$, л/т	Удельная адсорбционная водопотребность $B_{щ(г)}^{ад}$, л/т
в рыхло-насыпном состоянии $\rho_{щ(г)}^0$	в виброуплотненном состоянии $\rho_{щ(г)}^в$	зерен крупного заполнителя $\rho_{щ(г)}^з$	< 5	5–10	10–20	20–40	> 40			

* Номера (размеры ячеек) сит – по фактическим данным к расчету конкретного состава бетона.

Удельную поверхность $S_{уд.ш(г)}$, удельную общую $B_{ш(г)}^{общ}$ и адсорбционную $B_{ш(г)}^{ад}$ водопотребность рассчитывают по методике [12, 13], используя следующие формулы и данные таблиц 1.3 и 1.4:

$$S_{уд.ш(г)} = \sum_{i=1}^n P_{iш(г)} \cdot S_{уд.iш(г)}, \text{ м}^2/\text{т}, \quad (1.4)$$

$$B_{ш(г)}^{общ} = 0,1 \sum_{i=1}^n P_{iш(г)} \cdot B_{iш(г)}^{общ}, \text{ л/т}, \quad (1.5)$$

$$B_{ш(г)}^{ад} = 0,1 \sum_{i=1}^n P_{iш(г)} \cdot B_{iш(г)}^{ад}, \text{ л/т}, \quad (1.6)$$

где $P_{iш(г)}$ – содержание в крупном заполнителе (%) i -й фракции (частный остаток этой фракции на соответствующем сите);

$S_{уд.iш(г)}$, $B_{iш(г)}^{общ}$ и $B_{iш(г)}^{ад}$ – удельная поверхность, удельное общее водопоглощение и удельное адсорбционное водопоглощение i -й фракции крупного заполнителя, принимаемые по данным таблицы 1.3 [12].

4. Вода для бетона. Технические требования

В соответствии с СТБ 1114–98 [16] к воде для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки бетона и промывки заполнителей предъявляются следующие требования:

1. Вода не должна содержать химических соединений и примесей в количестве, которое может влиять на сроки схватывания цементного теста, скорость твердения, прочность, морозостойкость и водонепроницаемость бетона, коррозию арматуры в пределах, превышающих нормы, указанные в пункте 4.

2. Для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки бетона и промывки заполнителей не допускается применение сточной, болотной и торфяной воды.

3. Содержание в воде растворимых солей, сульфатов, хлоридов и взвешенных частиц в зависимости от ее назначения не должно превышать величин, указанных в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Наименование воды	Предельное содержание, мг, л			
	растворимых солей	сульфат-ионов (SO_4^{-2})	хлорид-ионов (Cl^{-1})	взвешенных частиц
1. Для затворения бетонной смеси при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций и нагнетаемого раствора	3000	2000	600	200
2. Для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой, а также строительных штукатурных растворов и растворов для армированной каменной кладки	5000	2000	2000	200
3. Для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных неармированных конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению образования высолов, а также строительных растворов для неармированной каменной кладки	10000	2000	4500	300
4. Для промывки заполнителей, включая мокрую сортировку и охлаждение заполнителей	5000	2700	2000	500
5. Для поливки рабочих швов при перерывах в бетонировании конструкций, поверхностей стыков, подлежащих омоноличиванию, и поверхностей водосбросных конструкций, а также для трубного охлаждения массива бетона	3000	2000	600	200
6. Для поливки наружных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций	5000	2700	2000	500
7. Для поливки наружных поверхностей бетонных конструкций (исключая поверхности водосбросных сооружений), если на поверхности может быть допущено появление выцветов и высолов	35000	2700	20000	500

Примечание. Вода для затворения бетонной смеси с применением глиноземистого и гипсоглиноземистого цементов должна удовлетворять требованиям п. 1 настоящей таблицы.

4. Вода, удовлетворяющая требованиям таблицы, и в которой содержится нитратов, сульфидов, сахара, полифосфатов и цинка каждого более чем соответственно 500, 100, 100, 100 мг/л, признается пригодной, если сроки схватывания цементного теста изменяются не более чем на 25 %, прочность бетона после 7 и 28 дней нормально-влажностного твердения, а также морозостойкость и водонепроницаемость снижаются не более чем на 10 %, а арматурная сталь в бетоне находится в устойчивом пассивном состоянии.

5. Общее содержание в воде ионов (Na^+) и калия (K^+) в составе растворимых солей должно быть не более 1000 мг/л.

6. Допускается к применению вода при наличии на поверхности следов нефтепродуктов, масел и жиров.

7. Водородный показатель воды (рН) должен быть не менее 4 и не более 12,5.

8. Окисляемость воды должна быть не более 15 мг/л.

9. Допускается к применению вода при интенсивности запаха не более 2 баллов.

10. Окраска воды должна находиться в пределах от бесцветной до желтоватой с цветностью не выше 70° по ГОСТ 3351. Если к бетону предъявляются требования технической эстетики, цветность воды не должна превышать 30° .

Допускается в отдельных случаях использование воды с цветностью более 70° . При этом пригодность воды должна быть установлена определением физико-технических свойств бетонной смеси и бетона, указанных в пункте 1.

11. Вода, содержащая пенообразующие вещества, пригодна для применения при стойкости пены не более 2 мин. Допускается применение воды с устойчивостью пены, равной 2 и более минут, при условии определения пригодности воды сравнительными испытаниями физико-технических свойств бетонной смеси и бетона, указанных в пункте 1.

12. В местах водозабора (при первичном контроле качества воды) содержание грубодисперсных примесей в воде должно быть не более 4 % по объему.

5. Химические добавки в бетон

Применение химических добавок с целью модификации технологических свойств бетонных смесей и физико-технических характери-

стик затвердевшего бетона осуществляется на территории Беларуси в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции.

2. Пособие П1-99 к СН и П 3.09.01–85. Применение добавок в бетоне.

Информация о правилах применения химических добавок в бетон с различным целевым назначением приведена в Пособии П1-99 к СНиП 3.09.01–85 и в учебном пособии [17].

Лабораторная работа № 2

МЕТОД РАСЧЕТА СОСТАВА БЕТОНА С УЧЕТОМ ЕГО СТРУКТУРНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ (метод профессора И. Н. Ахвердова)

Цель работы: освоить методику расчета состава конструкционного бетона с учетом основных качественных характеристик составляющих, влияющих на его физико-технические свойства

Методика выполнения расчетов

Задаются требуемой прочностью бетона и удобоукладываемостью бетонной смеси.

Рассчитывают пустотность мелкого $m_{п}$ и крупного $m_{щ}$ заполнителя в виброуплотненном состоянии:

$$m_{п} = 1 - \frac{\rho_{пв}}{\rho_{зп}}; \quad (2.1)$$

$$m_{щ} = 1 - \frac{\rho_{щв}}{\rho_{зщ}}, \quad (2.2)$$

где $\rho_{пв}$ – плотность мелкого заполнителя в виброуплотненном состоянии, кг/м³;

$\rho_{зп}$ – плотность мелкого заполнителя в зернах, кг/м³;

$\rho_{щв}$ – плотность крупного заполнителя в виброуплотненном состоянии, кг/м^3 ;

$\rho_{зщ}$ – плотность крупного заполнителя в зернах, кг/м^3 .

Определяют минимальную пустотность смеси заполнителей

$$m_{см}^{\min} = m_{п} \cdot m_{щ}. \quad (2.3)$$

Строят график изменения пустотности смеси заполнителей в зависимости от соотношения объемов песка и крупного заполнителя (рисунок 2.1).

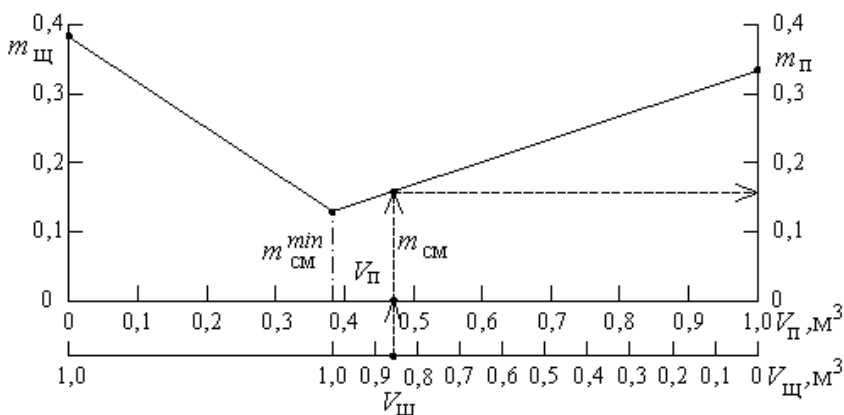


Рисунок 2.1 – Зависимость пустотности смеси заполнителей от их соотношения

Задаются оптимальным (по мнению технолога) объемом крупного заполнителя в виброуплотненном состоянии ($V_{щ}$).

Проводя секущую (перпендикулярно к выбранному значению $V_{щ}$) на графике, находят соответствующие величины объема мелкого заполнителя ($V_{п}$) и пустотность смеси заполнителей ($m_{см}$).

Рассчитывают расходы мелкого П и крупного Щ заполнителя:

$$П = V_{п} \cdot \rho_{пв}, \text{ кг}, \quad (2.4)$$

$$Щ = V_{щ} \cdot \rho_{щв}, \text{ кг}. \quad (2.5)$$

Рассчитывают общую площадь поверхности смеси заполнителей

$$S_{\text{см}} = S_{\text{п}} + S_{\text{щ}} = 0,001 \cdot \left[\Pi \cdot \sum_{i=1}^n (P_{\text{пи}} \cdot S_{\text{пи}}) + \text{Щ} \cdot \sum_{i=1}^n (P_{\text{щи}} \cdot S_{\text{щи}}) \right], \text{ м}^2, \quad (2.6)$$

где $P_{\text{пи}}$ и $P_{\text{щи}}$ – фракции (частные остатки) мелкого и крупного заполнителя, %;

$S_{\text{пи}}$ и $S_{\text{щи}}$ – удельные поверхности соответствующих фракций песка и крупного заполнителя, $\text{см}^2/\text{г}$.

Принимая, что каждое зерно заполнителя должно иметь оболочку из цементного теста толщиной 13 мкм, рассчитывают объем цементного теста

$$V_{\text{т}} = \frac{m_{\text{см}} + 0,000013 \cdot S_{\text{см}}}{1 + 0,000013 \cdot S_{\text{см}}}, \text{ м}^3. \quad (2.7)$$

Корректируют расходы заполнителей по увеличению объема бетонной смеси при обволакивании зерен заполнителя цементным тестом:

$$\Pi' = \frac{\Pi}{1 + 0,000013 \cdot S_{\text{см}}}, \text{ кг}, \quad (2.8)$$

$$\text{Щ}' = \frac{\text{Щ}}{1 + 0,000013 \cdot S_{\text{см}}}, \text{ кг}. \quad (2.9)$$

Рассчитывают общую водопотребность смеси заполнителей

$$B_3 = B_{\text{п}} + B_{\text{щ}} = 0,0001 \cdot \left[\Pi' \cdot \sum_{i=1}^n (P_{\text{пи}} \cdot W_{\text{пи}}) + \text{Щ}' \cdot \sum_{i=1}^n (P_{\text{щи}} \cdot W_{\text{щи}}) \right], \text{ кг}, \quad (2.10)$$

где $W_{\text{пи}}$ и $W_{\text{щи}}$ – общее водопоглощение соответствующих фракций мелкого и крупного заполнителя, %.

Рассчитывают количество воды, адсорбированной поверхностью заполнителей:

$$B_{ад} = B_{ад}^{п} + B_{ад}^{ш} = 0,0001 \cdot \left[\Gamma \cdot \sum_{i=1}^n (P_{пi} \cdot W_{пi}^{ад}) + \text{Ш} \cdot \sum_{i=1}^n (P_{шi} \cdot W_{шi}^{ад}) \right], \text{ кг}, \quad (2.11)$$

где $W_{пi}^{ад}$ и $W_{шi}^{ад}$ – количество воды, адсорбированное на зернах соответствующих фракций мелкого и крупного заполнителя, %.

Принимают оптимальное (по мнению технолога, производящего проектирование состава бетона) значение относительного водосодержания цементного теста X (величина X может изменяться от 0,876 до 1,65, то есть в пределах структурной связности цементного теста).

Рассчитывают расход цемента.

$$\text{Ц} = \frac{V_{г} - B_{ад}}{1,02 \cdot \left[\frac{1}{\rho_{ци}} + K_{нг} \cdot (X - 0,293) \right]}, \text{ кг}, \quad (2.12)$$

где $\rho_{ци}$ – истинная плотность цемента, кг/м^3 (составляет примерно 0,8 от плотности цемента);

$K_{нг}$ – коэффициент нормальной густоты цемента, д. ед. (равен водоцементному отношению цементного теста нормальной густоты).

Находят водоцементное отношение бетонной смеси

$$\left(\frac{B}{\text{Ц}} \right)_б = X \cdot K_{нг} + \frac{B_3}{\text{Ц}}. \quad (2.13)$$

Определяют прочность бетона

$$f_{cm} = \frac{k_{п} \cdot k_3 \cdot f_{ц}}{\frac{1 + K_{нг}}{K_{нг}} \left(\frac{B}{\text{Ц}} \right)_б - 1,65 \cdot K_{нг}}, \text{ МПа}, \quad (2.14)$$

где $k_{п}$ – коэффициент, учитывающий влияние на прочность бетона размера образцов и коэффициента нормальной густоты цемента (таблица 2.1);

k_3 – коэффициент, учитывающий влияние на прочность бетона характеристик заполнителя (для щебня – $K_3 = 1,1$; для гравия – $K_3 = 1,0$).

Таблица 2.1 – Значения коэффициента k_n

$K_{нт}$	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
k_n	1,80	1,73	1,65	1,58	1,52	1,45	1,39	1,34	1,27	1,26	1,21

Если полученная по (2.14) прочность бетона не соответствует требуемой, следует вернуться к формуле (2.13), изменить величину X и произвести перерасчеты по выражениям (2.14)–(2.16) до получения необходимого значения f_b .

Рассчитывают подвижность бетонной смеси

$$OK = 20 \cdot \frac{V_n}{V_n + V_{щ}} \cdot \frac{\rho_{бсм}}{\rho_v} \cdot V_T \cdot (1 + D_{ц}) \cdot \frac{X - 0,876}{0,774}, \text{ см}, \quad (2.15)$$

где $\rho_{бсм}$ – плотность бетонной смеси (принимается равной 2400 кг/м³;

ρ_v – плотность воды, кг/м³;

$D_{ц}$ – добавка цемента, принимаемая в пределах 0...1.

Необходимо последовательно изменять величину $D_{ц}$, добиваясь требуемой подвижности бетонной смеси. Если этим изменением цель не достигается, то следует вернуться к формуле (2.5), изменить объем крупного заполнителя и все пересчитать.

Определяют полученный (с учетом всех корректировок) объем бетонной смеси

$$V_6 = \frac{\Pi}{\rho_{ц}} \cdot (1 + D_{ц}) + \frac{\Pi'}{\rho_{п}} + \frac{\Pi''}{\rho_{щ}} + \frac{\Pi}{\rho_v} \cdot (1 + D_{ц}) \cdot \left(\frac{B}{\Pi} \right)_6, \text{ м}^3. \quad (2.16)$$

Определяют расчетные расходы компонентов бетонной смеси:

цемента

$$\Pi_p = \frac{\Pi}{V_6} \cdot (1 + D_{ц}), \text{ кг}; \quad (2.17)$$

песка

$$\Pi_p = \frac{\Pi'}{V_6}, \text{ кг}; \quad (2.18)$$

щебня

$$\Pi_p = \frac{\Pi'}{V_6}, \text{ кг}; \quad (2.19)$$

воды

$$B_p = \Pi_p \cdot \left(\frac{B}{\Pi} \right), \text{ кг}. \quad (2.20)$$

Расчетная плотность бетонной смеси

$$\rho_{\text{бсмп}} = \Pi_p + \Pi_p + \Pi_p + B_p, \text{ кг/м}^3. \quad (2.21)$$

Готовят пробный замес бетона рассчитанного состава, используя который устанавливают фактическое значение формуемости смеси, а также средней плотности бетонной смеси в виброуплотненном состоянии ($\rho_{\text{см.факт}}$), изготавливают образцы бетона для контроля его прочности.

Корректируют состав бетона по значению фактической средней плотности бетонной смеси.

Фактический расход цемента и других составляющих:

$$\Pi_{\phi} = \frac{\rho_{\text{см.факт}}}{\frac{\Pi_1}{\Pi_1} + \frac{\Pi_1}{\Pi_1} + \frac{\Pi_1}{\Pi_1} + \frac{B_1}{\Pi_1}}, \text{ кг}; \quad (2.22)$$

$$\Pi_{\phi} = \Pi_{\phi} \cdot \frac{\Pi_1}{\Pi_1}, \text{ кг}; \quad (2.23)$$

$$\Pi_{\phi} = \Pi_{\phi} \cdot \frac{\Pi_1}{\Pi_1}, \text{ кг}; \quad (2.24)$$

$$B_{\phi} = \Pi_{\phi} \cdot \frac{B_1}{\Pi_1}, \text{ кг}. \quad (2.25)$$

Фактический состав бетона (соотношение твердофазных составляющих в весовых частях, если расход цемента равен одной весовой части)

$$\frac{\Pi_{\phi}}{\Pi_{\phi}} : \frac{\Pi_{\phi}}{\Pi_{\phi}} : \frac{\text{Ш}_{\phi}}{\Pi_{\phi}} = 1 : \text{А} : \text{Б}. \quad (2.26)$$

Рабочий состав бетона (с учетом влажности заполнителей)

$$\Pi_{\text{р}} = \Pi_{\phi}, \text{ кг}; \quad (2.27)$$

$$\Pi_{\text{р}} = \Pi_{\phi} + \frac{\Pi_{\phi} \cdot W_{\text{п}}}{100}, \text{ кг}; \quad (2.28)$$

$$\text{Ш}_{\text{р}} = \text{Ш}_{\phi} + \frac{\text{Ш}_{\phi} \cdot W_{\text{ш}}}{100}, \text{ кг}; \quad (2.29)$$

$$B_{\text{р}} = B_{\phi} - \left(\frac{\Pi_{\phi} \cdot W_{\text{п}} + \text{Ш}_{\phi} \cdot W_{\text{ш}}}{100} \right), \text{ л}, \quad (2.30)$$

где $W_{\text{п}}$ и $W_{\text{ш}}$ – влажность песка и щебня в %.

Определяют коэффициент выхода бетона

$$\beta = \frac{1}{\frac{\text{Ш}_{\text{р}}}{\rho_{\text{ш}}^0} + \frac{\Pi_{\text{р}}}{\rho_{\text{вл.п}}^0} + \frac{\Pi_{\text{р}}}{\rho_{\text{ц}}^0}}, \text{ д. ед.}, \quad (2.31)$$

где $\rho_{\text{ш}}^0$, $\rho_{\text{вл.п}}^0$, $\rho_{\text{ц}}^0$ – средняя плотность щебня, влажного песка и цемента в рыхлонасыпном состоянии, т/м³.

Определяют расход материалов на замес смесителя объемом $V_{\text{см}}$ из выражений

$$\Pi_{\text{з}} = \beta \cdot \Pi_{\phi} \cdot V_{\text{см}}, \text{ кг}; \quad (2.32)$$

$$\Pi_{\text{з}} = \beta \cdot \Pi_{\text{р}} \cdot V_{\text{см}}, \text{ кг}; \quad (2.33)$$

$$\text{Щ}_3 = \beta \cdot \text{Щ}_\phi \cdot V_{\text{см}}, \text{ кг}; \quad (2.34)$$

$$B_3 = \beta \cdot B_p \cdot V_{\text{см}}, \text{ кг}. \quad (2.35)$$

Определяют объем бетона 1-го замеса бетоносмесителя

$$V_{\text{зам}} = \beta \cdot V_{\text{см}}. \quad (2.36)$$

Лабораторная работа № 3

РАСЧЕТ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА МЕТОДОМ НИИЖБ И МЕТОДОМ АБСОЛЮТНЫХ ОБЪЕМОВ

Цель работы: освоить методики расчета составов конструкционного тяжелого бетона упрощенными эмпирико-аналитическими методами, применяемыми в строительной практике.

Расчет состава тяжелого бетона методом НИИЖБ

Рассматриваемый метод относится к наиболее простым, что достигается максимально возможным удалением числа влияющих факторов и что несколько снижает достоверность получаемых результатов. С другой стороны, метод НИИЖБ позволяет рассчитывать составы бетона при 100-процентной отпускной прочности, что не предусмотрено иными методами.

Методика выполнения расчетов

Рассчитывают водоцементное отношение бетонной смеси $(B/C)_6$:
– если расчет ведется применительно к прочности бетона в проектном возрасте (28 суток твердения в нормальных условиях) или бетона, подвергаемого тепловой обработки с получением 70-процентной отпускной прочности, то применяют формулу

$$\left(\frac{B}{C}\right)_6 = \frac{0,23 \cdot f_{\text{ц}} + 10}{f_b + 8}, \text{ д. ед.}, \quad (3.1)$$

– для бетона со 100-процентной отпускной прочностью формула следующая:

$$\left(\frac{B}{Ц}\right)_{\text{б}} = \frac{0,16 \cdot f_{\text{ц}} + 7}{f_{\text{б}} + 56}, \text{ д. ед.}, \quad (3.2)$$

где $f_{\text{ц}}$ – активность цемента, МПа;

$f_{\text{б}}$ – требуемая прочность бетона, МПа.

По таблице 3.1 в зависимости от марки бетонной смеси по удобоукладываемости и свойств крупного заполнителя назначают табличный расход воды ($B_{\text{т}}$).

Таблица 3.1 – Ориентировочный расход воды для бетонной смеси, кг/м³

Ж, с	Расход воды, кг/м ³ , при крупности гравия и щебня, мм					
	Гравий			Щебень		
	10	20	40	10	20	40
ПЗ	218	198	188	227	208	198
П2	207	183	178	217	198	188
П1	190	165	160	200	180	170
Ж1	175	155	145	185	165	155
Ж2	160	145	140	170	155	150
Ж3	155	140	135	165	150	145

Рассчитывают расход цемента

$$Ц = \frac{B_{\text{т}}}{\left(\frac{B}{Ц}\right)_{\text{б}}}, \text{ кг.} \quad (3.3)$$

Если расход цемента превышает 400 кг, то вначале увеличивают расход воды:

$$B = B_{\text{т}} + 0,1 \cdot (Ц - 400), \text{ кг,} \quad (3.4)$$

а затем пересчитывают расход цемента:

$$\text{Ц} = \frac{\text{В}}{\left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_б}, \text{ кг.} \quad (3.5)$$

По таблице 3.2 в зависимости от рассчитанного расхода цемента и свойств крупного заполнителя определяют долю песка в смеси заполнителей (r).

Таблица 3.2 – Доля песка в смеси заполнителей, д. ед.

Расход цемента, кг/м ³	Доля песка в смеси заполнителей, д. ед., при крупности, мм					
	Гравий			Щебень		
	10	20	40	10	20	40
200	0,40	0,39	0,37	0,42	0,41	0,40
250	0,39	0,37	0,36	0,41	0,40	0,39
300	0,37	0,36	0,35	0,40	0,39	0,38
350	0,35	0,34	0,33	0,38	0,37	0,36
400 и более	0,34	0,33	0,32	0,36	0,35	0,34

Плотность бетонной смеси $\rho_{бсм}$ для заполнителей из плотных пород принимают равной 2400 кг/м³, а для карбонатных заполнителей – 2350 кг/м³.

Рассчитывают расход песка

$$\text{П} = (\rho_{бсм} - \text{Ц} - \text{В}) \cdot r, \text{ кг.} \quad (3.6)$$

Рассчитывают расход крупного заполнителя

$$\text{Щ} = \rho_{бсм} - \text{Ц} - \text{В} - \text{П}, \text{ кг.} \quad (3.7)$$

Готовят пробный замес бетона рассчитанного состава, определяют формуемость смеси и ее фактическую среднюю плотность в уплотненном состоянии, после чего завершают подбор состава по формулам (2.22)–(2.36) лабораторной работы № 2.

Расчет состава тяжелого бетона методом абсолютных объемов (метод профессора Б. Г. Скрамтаева)

Одним из наиболее известных и распространенных методов расчета состава бетона является расчетно-экспериментальный метод «абсолютных объемов», разработанный профессором Б. Г. Скрамтаевым. Метод базируется на двух взаимно дополняющих условиях. Во-первых, считается, что свежеприготовленная бетонная смесь, уложенная в форму и уплотненная, не должна иметь пустот, то есть сумма абсолютных объемов всех составляющих исходных материалов в бетоне приближается к 1 м^3 . Во-вторых, цементно-песчаный раствор (смесь цемента, песка и воды) должен заполнять все пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой их зерен. Наложение этих двух условий позволяет рассчитывать расходы составляющих бетонной смеси. Особенностью метода является использование двух формул для расчета водоцементного отношения, то есть предполагается, что зависимость прочности бетона от водоцементного отношения (или цементно-водного) изменяется в критической точке, равной 0,4.

Методика выполнения расчетов

Рассчитывают водоцементное отношение бетонной смеси

$$\left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\text{б}} = \frac{A \cdot f_{\text{ц}}}{f_{\text{б}} + 0,5 \cdot A \cdot f_{\text{ц}}}, \text{ д. ед.} \quad (3.8)$$

Если водоцементное отношение получилось меньше 0,4, то его пересчитывают по следующей формуле:

$$\left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\text{б}} = \frac{A_1 \cdot f_{\text{ц}}}{f_{\text{б}} - 0,5 \cdot A_1 \cdot f_{\text{ц}}}, \text{ д. ед.,} \quad (3.9)$$

где $f_{\text{ц}}$ – активность цемента, МПа;

$f_{\text{б}}$ – требуемая прочность бетона, МПа.

Величины коэффициентов A и A_1 назначают по таблице 3.3 в зависимости от качества используемых заполнителей.

Таблица 3.3 – Значения коэффициентов A и A_1

Заполнители бетона	A	A_1
Высококачественные (мытые и фракционированные щебень и песок)	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества (гравий и мелкий песок)	0,55	0,37

По таблице 3.4 в зависимости от марки бетонной смеси по удобоукладываемости и свойств крупного заполнителя назначают табличный расход воды (B_T):

Таблица 3.4 – Ориентировочный расход воды для бетонной смеси, кг/м³

Ж, с	Расход воды, кг/м ³ , при крупности гравия и щебня, мм					
	Гравий			Щебень		
	10	20	40	10	20	40
П4	227	218	203	237	228	213
П3	217	208	193	227	217	204
П2	207	187	172	212	203	187
П1	190	175	160	200	190	175
Ж1	175	160	145	185	175	160
Ж2	165	150	135	175	165	150
Ж3	160	145	130	170	160	145
Ж4	150	135	125	160	150	135

Если нормальная густота цемента отлична от 27 %, то определенный по таблице 3.4 расход воды уменьшают на 3...5 кг на каждый процент менее 27 %, а если больше 27 %, то соответственно увеличивают.

При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону от 2,0 расход воды увеличивают на 3...5 кг, а если в большую сторону от 2,0, то соответственно уменьшают на 3...5 кг.

Рассчитывают расход цемента

$$Ц = \frac{B_T}{\left(\frac{B}{Ц}\right)_6}, \text{ кг.} \quad (3.10)$$

Если расход цемента превышает 400 кг, то вначале увеличивают расход воды:

$$B = B_T + 0,1 \cdot (Ц - 400), \text{ кг}, \quad (3.11)$$

а затем пересчитывают расход цемента:

$$Ц = \frac{B}{\left(\frac{B}{Ц}\right)_6}, \text{ кг}. \quad (3.12)$$

По таблице 3.5 в зависимости от рассчитанного расхода цемента и водоцементного отношения определяют коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором α .

Таблица 3.5 – Значения коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя α для пластичных бетонных смесей

Расход цемента, кг/м ³	Значения коэффициента α при водоцементном отношении					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	–	1,30	1,36	1,42	–
350	–	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,31	1,40	1,46	–	–	–
500	1,44	1,52	1,56	–	–	–
600	1,52	1,56	–	–	–	–

Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м³ коэффициент α принимают равным 1,05...1,15 (меньшая величина для мелких песков), а при расходе более 400 кг/м³ α принимают равным не менее 1,10.

Рассчитывают расход крупного заполнителя

$$\Pi = \frac{1}{\left(\frac{1}{\rho_{\text{щн}}} - \frac{1}{\rho_{\text{щ}}}\right) \cdot \alpha + \frac{1}{\rho_{\text{щ}}}}, \text{ кг}, \quad (3.13)$$

где $\rho_{\text{шн}}$ – плотность крупного заполнителя в насыпном состоянии, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $\rho_{\text{щ}}$ – плотность крупного заполнителя в зернах, $\text{кг}/\text{м}^3$.
Рассчитывают расход песка

$$П = \left(1 - \frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} - \frac{Щ}{\rho_{\text{щ}}} - \frac{В}{\rho_{\text{в}}} \right) \cdot \rho_{\text{п}}, \text{ кг}, \quad (3.14)$$

где $\rho_{\text{ц}}$ – плотность цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $\rho_{\text{п}}$ – плотность мелкого заполнителя в зернах, $\text{кг}/\text{м}^3$.
Рассчитывают плотность бетонной смеси

$$\rho_{\text{бсм}} = Ц + П + Щ + В, \text{ кг}/\text{м}^3. \quad (3.15)$$

Готовят пробный замесбетона рассчитанного состава, определяя формуемость смеси и ее фактическую среднюю плотность в уплотненном состоянии, после чего завершают подбор состава по формулам (2.22)–(2.36) лабораторной работы № 2.

Лабораторная работа № 4

ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ СВОЙСТВ, СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА

Цель работы: практическое освоение студентами навыков и стандартных методик приготовления и испытаний бетонных смесей, закрепление знаний о влиянии пластифицирующих добавок и водосодержания на их свойства.

На основании расчетов составов бетона, выполненных в лабораторных работах № 2 и 3, готовят замесы для определения свойств смеси и изготовления контрольных образцов.

После определения формуемости и фактической средней плотности полученной бетонной смеси каждого замеса изготавливают образцы бетона для контроля его физико-технических свойств. Используя величины фактически установленной средней плотности (отформованной в мерном цилиндре) бетонной смеси и ее расчетную величину, полученную при расчете составов бетона, для каждого из них завершают расчеты состава по формулам (2.22)–(2.36) лабораторной работы № 2.

Анализируют результаты определения формовочных свойств бетонной смеси. При необходимости требуемые формовочные характеристики бетонной смеси (подвижность, жесткость) обеспечивают изменением объема цементного теста, введением химических добавок, изменением соотношения крупного и мелкого заполнителей.

Методика выполнения работы

1. Свойства бетонной смеси

Удобоукладываемость (формуемость) бетонной смеси определяют в соответствии с положениями СТБ 1545–2005 [18], в части определения осадки стандартного конуса, или растекания конуса (при введении в смесь добавки-пластификатора), или жесткости (при уменьшении водосодержания расчетного состава на 10...25 %).

Среднюю (фактическую) плотность бетонной смеси определяют в соответствии с положениями СТБ 1545–2005 [18].

Полученные данные сводят в таблицу 4.1, анализируют их, оценивают влияние пластифицирующих добавок и водосодержания на формовочные свойства бетонной смеси.

Таблица 4.1 – Свойства бетонных смесей

Номер состава	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг					Подвижность, см, или жесткость, С	Средняя плотность, кг/м ³	
	цемент	щебень	песок	вода	(В/Ц) _б		ρ _{расч}	ρ _{факт}
№ 1						ОК		
То же (№ 1) с введением добавки-пластификатора						ОК РК		
То же (№ 1) при снижении расхода воды на %						Ж		
№ 2						ОК		
№ 3						ОК		

Примечание. Состав № 1 – расчет по методу проф. И. Н. Ахвердова; состав № 2 и № 3 – по методу НИИЖБ и проф. Б. Г. Скрамтаева соответственно.

Данные о средней (фактической) плотности бетонной смеси используют для корректировки (при необходимости) расходов составляющих бетона, определенных в работах № 2 и № 3, и окончания проектирования его состава (определение рабочего состава бетона, коэффициентов выхода бетона и объема замеса).

2. Изготовление контрольных образцов

Контрольные образцы изготавливают по ГОСТ 10180–90 [19] из составов № 1, № 2 и № 3 по таблице 4.1 в обязательном порядке.

С исследовательской целью изготавливают серии образцов из состава № 1 с введением добавки-пластификатора, с уменьшением расхода воды (жесткая смесь), а также с уменьшением расхода воды при введении добавки-пластификатора и сохранении равноподвижности бетонной смеси на уровне исходной осадки конуса для состава № 1.

Контрольные образцы изготавливают вибрированием на стандартной лабораторной виброплощадке (амплитуда ~ 0,5 мм; частота колебаний ~ 50 Гц).

Условия твердения контрольных образцов до испытаний в проектном возрасте (28 сут) – нормально-влажные по ГОСТ 10180–90 [19].

Лабораторная работа № 5

КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА РАЗРУШАЮЩИМ И НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Цель работы: закрепление навыков определения прочностных характеристик бетона путем испытаний изготовленных образцов разрушающим методом и приобретение навыков контроля прочности бетона неразрушающими методами.

Определение прочности бетона на сжатие разрушающим методом осуществляют в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–90 [19], путем испытаний контрольных образцов бетона ранее рассчитанных составов (лабораторные работы № 2 и № 3). Одновременно, до начала нагружения образцов бетона, снимают показания для расчета его прочности механическими неразрушающими методами по СТБ 2264–2012 [20], ГОСТ 22690–88 [21], а также для ее определения ультразвуковым методом по ГОСТ 17624–87 [22].

Полученные данные обрабатывают в соответствии со стандартными методиками, анализируют, сопоставляя значения прочности бетона, установленные различными методами контроля.

По заданию преподавателя рассчитывают коэффициент вариации прочности бетона по ГОСТ 10180–90 [19] и ГОСТ 18105–86 [23] и устанавливают класс бетона.

Анализируют полученные результаты, формулируют выводы, оформляют их в виде заключения о точности определения прочности бетона различными методами контроля.

Методическое обеспечение работы

Общие правила определения прочности бетона разрушающим методом

Общие правила подготовки к испытаниям образцов

В помещении для испытания образцов следует поддерживать температуру воздуха в пределах 20 ± 5 °С и относительную влажность воздуха не менее 55 %. В этих условиях образцы должны быть выдержаны до испытания 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.

Образцы, предназначенные для испытаний для определения предаточной или распалубочной прочности бетона на сжатие в горячем состоянии, а также образцы, предназначенные для определения прочности на растяжение после водного твердения, следует испытывать без предварительной выдержки.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде околов 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 граней образцов должны быть удалены напильником или абразивным камнем. Результаты осмотра записывают в журнал испытаний. В случае необходимости фиксируют схему расположения дефектов.

На образцах выбирают и отмечают 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.

Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1 %. Результаты измерений линейных размеров образцов записывают в журнал испытаний.

Отклонения от прямолинейности образующей образцов-цилиндров определяют с помощью поверочных плиты или линейки и щупом путем установления наибольшего зазора между боковой поверхностью образца и поверхностью плиты ($\leq 0,1$ мм на 100 мм длиной).

Отклонения от перпендикулярности смежных граней образцов-кубов и призм, а также опорных и боковых поверхностей цилиндров определяют по методике приложения 5 [19] (≤ 1 мм).

Отклонения от плоскостности опорных поверхностей образцов определяют по методике приложения 5 [19] ($\leq 0,1$ мм).

Если опорные грани образцов-кубов или образцов-цилиндров не удовлетворяют означенным требованиям, то они должны быть выравнены. Для выравнивания опорных граней применяют шлифование или нанесение слоя быстротвердеющего материала толщиной не более 3 мм и прочностью к моменту испытания не менее половины ожидаемой прочности бетона образца.

Перед испытанием образцы взвешивают с целью определения их средней плотности по ГОСТ 12730.1–78 [24]. Отклонения ее значений для образцов серии не должны превышать 50 кг/м^3 .

Общие правила проведения испытаний образцов

Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч.

Перед установкой образца на пресс или испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах пресса.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины, пресс или испытательную установку выбирают из условия, что ожидаемое значение

разрушающей нагрузки будет находиться в интервале 20...80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.

Нагружение образцов производят непрерывно со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения в пределах $0,6 \pm 0,4$ МПа/с при испытаниях на сжатие и в пределах $0,05 \pm 0,02$ МПа/с при испытаниях на растяжение. При этом время нагружения одного образца должно быть не менее 30 с.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку и записывают в журнал испытаний.

Разрушенный образец необходимо подвергнуть визуальному осмотру и отметить в журнале испытаний:

характер разрушения;

наличие крупных (объемом более 1 см^3) раковин и каверн внутри образца;

наличие зерен заполнителя размером более $1,5 d_{\text{max}}$, комков глины, следов расслоения.

Результаты испытаний образцов, имеющих перечисленные дефекты структуры и характер разрушения, учитывать не следует.

Определение прочности бетона на сжатие

При испытании на сжатие образцы-кубы и образцы-цилиндры устанавливают одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту пресса (или испытательной машины) центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту пресса, дополнительные стальные плиты или специальное центрирующее устройство.

Между плитами пресса и опытными поверхностями образца допускается прокладывать дополнительные стальные опорные плиты.

Образцы-половинки призм при испытании на сжатие помещают между двумя дополнительными стальными плитами. Дополнительные плиты центрируют относительно оси пресса, используя риски, нанесенные на плиту пресса, и дополнительные стальные плиты, или специальное центрирующее устройство.

После установки образца на опорные плиты пресса (дополнительные стальные плиты) совмещают верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью образца (дополнительной стальной плитой) так, чтобы их плоскости полностью прилегли одна к другой. Далее начинают нагружение.

В случае разрушения образца по одной из дефектных схем (по приложению 7 [19]) при определении средней прочности серии этот результат не учитывают.

Обработка результатов

Прочность бетона на сжатие следует вычислять с точностью 0,1 МПа для каждого образца по формуле

$$f_i = \alpha \cdot \frac{F}{A}, \text{ МПа}, \quad (5.1)$$

где α – масштабный коэффициент;

F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь поперечного сечения, мм.

Значения масштабных коэффициентов α для образцов-кубов и образцов-цилиндров определяют по приложению 11 [19] или принимают по следующим данным ГОСТ 10180–90 [19].

Для образцов-кубов с ребром (при определении призмной прочности на образцах в виде «квадратных» призм – сторона) размером 70; 100; 150; 200 и 300 мм – соответственно 0,85; 0,95; 1,00; 1,05 и 1,10, доли ед.

Для образцов-цилиндров с размерами (диаметр \times высоту) – 100 \times 200; 150 \times 300; 200 \times 400 и 300 \times 600 мм – соответственно 1,16; 1,20; 1,24 и 1,28.

Прочность бетона в серии образцов определяют как среднее арифметическое значение в серии:

– из двух образцов – по двум образцам;

– из трех образцов – по двум наибольшим;

– из четырех образцов – по трем наименьшим;

– из шести образцов – по четырем наибольшим по прочности образцам.

При отбраковке дефектных образцов прочность бетона в серии образцов определяют по всем оставшимся образцам, если их не менее двух.

Результаты испытаний серии из двух образцов при отбраковке одного образца не учитывают.

Определение среднего внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона

Цель определения – оценка величины отклонений в значениях прочности бетона «внутри» серии, оценка требуемого количества испытываемых образцов и уровня производства.

Средний внутрисерийный коэффициент вариации прочности бетона V_S , %, определяют по результатам испытания любых последовательных 30 серий образцов бетона одного класса. Для этого определяют размах W_{Sj} , в каждой серии, а также средний размах W_S , МПа, и среднюю прочность f_{cS} , МПа, по всем 30 сериям по формулам:

$$W_{Sj} = f_{c,i \max} - f_{c,i \min} ; \quad (5.2)$$

$$W_S = \sum_{l=1}^{30} W_{Sj} / 30 ; \quad (5.3)$$

$$f_{cS} = \sum_{l=1}^{30} f_{Sj} / 30 ; \quad (5.4)$$

$$V_S = \frac{W_S}{dR_S} , \quad (5.5)$$

где $f_{c,i \max}$ и $f_{c,i \min}$ – максимальное и минимальное значения прочности бетона в каждой серии образцов, МПа;

f_{Sj} , W_{Sj} – средняя прочность и размах прочности бетона в каждой серии образцов, МПа;

d – коэффициент, принимаемый в зависимости от числа образцов n в серии:

$$\text{при } n = 2 \quad d = 1,13;$$

$$n = 3 \quad d = 1,69;$$

$$n = 4 \quad d = 2,06;$$

$$n = 6 \quad d = 2,50.$$

Общие правила определения прочности бетона неразрушающими методами

Основные правила контроля прочности бетона в конструкциях

При контроле неразрушающими методами для определения отпусковой или передаточной прочности бетона сборных конструкций от партии отбирают 10 %, но не менее трех конструкций.

Для определения прочности бетона монолитных конструкций неразрушающими методами в промежуточном возрасте контролируют не менее одной конструкции из объема бетона, уложенного в течение каждых суток (или часть конструкции в случае, когда ее бетонирование производится более 1 сут).

На каждой сборной конструкции, отобранной для определения прочности бетона неразрушающими методами, назначают не менее двух, а для монолитной – не менее четырех контролируемых участков.

Число и расположение контролируемых участков должно указываться проектной организацией в рабочих чертежах конструкций в зависимости от геометрических размеров, назначения и технологии их изготовления и быть не менее:

для линейных конструкций – одного участка на 4 м длины;

для плоских конструкций, за исключением монолитных конструкций сплошных стен – одного участка на 4 м² площади;

для монолитных конструкций сплошных стен – одного участка на 8 м² площади.

При отсутствии указаний в рабочих чертежах контролируемые участки устанавливаются изготовителем по согласованию с проектной или научно-исследовательской организацией.

Число измерений, выполняемых на каждом контролируемом участке, принимают по действующим стандартам на методы неразрушающего контроля.

Дополнительные требования к контролю прочности бетона неразрушающими методами

За единичное значение при неразрушающем контроле принимают: при контроле конструкций плоских и многпустотных плит перекрытий и покрытий, дорожных плит, панелей внутренних несущих стен, стеновых блоков, а также напорных и безнапорных труб – среднюю прочность бетона конструкции, вычисленную как среднее

арифметическое значение прочности бетона контролируемых участков конструкции;

во всех остальных случаях, включая монолитные и сборно-монолитные конструкции – среднюю прочность бетона контролируемого участка конструкции (или часть монолитной, сборно-монолитной конструкции).

Контроль прочности бетона неразрушающими методами (ультразвуковым, импульсным или механическими) в случае, когда за единичное значение принимается средняя прочность бетона конструкции, проводят с использованием градуировочной зависимости, предварительно установленной в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов на эти методы.

Контроль прочности бетона неразрушающими методами в случае, когда за единичное значение принимается средняя прочность бетона контролируемого участка (в основном для монолитных конструкций), проводят с использованием поправочного коэффициента K_{Π} в формуле для расчета значения среднего квадратичного отклонения (при определении коэффициента вариации прочности бетона).

Его определяют перед началом перехода на эти методы при каждом изменении номинального состава бетона, технологии изготовления конструкции, вида применяемых материалов, при каждой новом установлении градуировочной зависимости, но не реже одного раза в год.

Коэффициент K_{Π} вычисляют по формуле

$$K_{\Pi} = \frac{V_o}{V_{н.м}}, \quad (5.6)$$

где V_o – коэффициент вариации прочности бетона тех же образцов, испытанных нагружением для установления градуировочной зависимости;

$V_{н.м}$ – коэффициент вариации прочности бетона всех серий образцов, испытанных неразрушающими методами для установления градуировочной зависимости.

Основные положения расчета поправочного коэффициента K_{Π} изложены в ГОСТ 18105–86 [23].

При выполнении настоящей лабораторной работы студенты принимают значение $K_{\Pi} \sim 1,0$ либо соответствующие установления, при-

веденные в стандарте или рекомендациях к применению используемого метода (прибора) разрушающего контроля прочности бетона.

Испытания бетона и оформление результатов

Определение прочности бетона на сжатие разрушающим методом

Для определения прочности бетона на сжатие используют образцы-кубы или образцы-цилиндры, изготовленные в процессе выполнения лабораторных работ № 2, № 3 и № 4. Выполняют все необходимые действия и работы в соответствии с ранее изложенными методическими положениями по подготовке образцов к испытаниям и проведению испытаний. Их результаты записывают в журнал испытаний по следующей форме.

Вид бетона, проектный (расчетный) класс, формуемость (подвижность) бетонной смеси, из которой он изготовлен: _____

Номинальные размеры образцов: _____

Дата изготовления: _____

Дата испытания и возраст образцов в сут: _____

Таблица 5.1 – Данные испытаний

№ п/п	Определения и характеристики	Номер образцов				Среднее значение
		1	2	3	...	
1	Масса образца, г					х
2	Размеры образца, мм					х
3	Средняя плотность бетона, кг/м ³					х
4	Площадь поперечного сечения образца, см ²					х
5	Показания силоизмерителя, ед.*					х
6	Разрушающая нагрузка, н (кН)					х
7	Прочность бетона, МПа					
8	Прочность бетона, МПа, приведенная к базовому стандартному образцу (масштабный коэффициент $\alpha =$)	х	х	х	х	
9	Прочность бетона, МПа, приведенная к стандартному возрасту (28 сут)**	х	х	х	х	

* Форма записи – в зависимости от типа испытательной машины.

** В случае если испытания проводят на образцах не 28 суточного возраста (в возрасте n , сут), приводят формулу перерасчета $f_{c,n} = f_{c,28} \cdot \lg n / \lg 28$.

Анализируют полученные данные, делают вывод о соответствии (или не соответствии) прочности бетона расчетному значению.

При отклонении прочности бетона от расчетной дают анализ возможных причин и намечают мероприятия по устранению установленного несоответствия.

*Определение прочности бетона на сжатие
неразрушающим методом*

Прочность бетона неразрушающим методом (принятым при выполнении работы) определяют на образцах до испытания их на сжатие, используя стандартные (рекомендуемые) тарировочные данные. Полученные результаты записывают в журнал испытаний с учетом данных стандарта или рекомендаций на применение метода по следующей форме.

Вид бетона, проектный (расчетный) класс и формуемость (подвижность) бетонной смеси, из которой он изготовлен: _____

Вид конструкции (образцов), размеры: _____

Число контролируемых участков: _____

Количество измерений на контролируемом участке: _____

Вид (тип) и характеристика метода (прибора) контроля: _____

Дата испытаний бетона и возраст в сут: _____

Таблица 5.2 – Данные испытаний

№ п/п	Определения и характеристики	Показания прибора при измерении, ед. изм.						Прочность бетона, МПа							
		1	2	3	4	5	...	1	2	3	4	5	...	Средняя	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Номер контролируемого участка: № 1														
	№ 2														
	№ 3														
	...														
2	Средняя прочность бетона конструкции (контролируемого участка), МПа	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Окончание таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	Прочность бетона, МПа, приведенная к стандартному возрасту (28 сут)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
4	Прочность бетона, МПа, установленная при испытании образцов разрушением	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Анализируют полученные результаты определения прочности бетона неразрушающим и разрушающим методами, делают и оформляют соответствующие выводы: о соответствии полученных результатов испытаний; о возможном влиянии различных факторов на точность определений; о достоверности определения по стандартным тарировочным графикам (данным) и др.

Определение прочностных характеристик бетона нестандартизированными методами испытаний

Метод определения прочности бетона при растяжении посредством раскалывания образцов-кубов по граням прост, и одним из преимуществ этого метода является то, что с помощью одной и той же серии образцов можно определить предел прочности бетона при одноосном растяжении, при срезе и при сжатии. В обычном случае это потребовало бы не менее трех серий образцов. Определение этих характеристик на одном и том же образце производится в следующем порядке.

Прочность бетона при одноосном растяжении, срезе и сжатии

Для определения предела прочности при одноосном растяжении образцы раскалывают под фиксируемыми усилиями прессы с помощью приспособления, состоящего из двух стальных пластинок, имеющих продольное ребро (нож; допускается – несмещаемый в процессе испытаний стержень Ø 5...6 мм), проходящее вдоль всей поверхности образца и имеющее ширину 5...6 мм с закруглением. Плас-

тинки устанавливаются снизу и сверху образца ребром к образцу и тыльной гладкой стороной к плитам пресса, создавая при этом линейно распределённую нагрузку. Необходимо следить, чтобы ребра обеих пластинок находились в одной общей вертикальной плоскости и прилегали по всей длине к поверхности образца. Кроме того, центральная ось пластинок и образца должна при испытании совпадать с осью поршня пресса. При доведении нагрузки до разрушающей образец раскалывается на две равные половинки.

Предел прочности бетона при растяжении вычисляется по формуле

$$f_{ctm} = K \frac{P}{\alpha^2}, \text{ МПа.} \quad (5.7)$$

Предел прочности бетона при срезе R_{cp} при известной величине предела прочности бетона на одноосное растяжение R_p определяется по формуле

$$f_{cm}^{cp} = \frac{\pi}{2} R_p, \text{ МПа.} \quad (5.8)$$

Следует отметить, что масштабный фактор при испытании бетона раскалыванием практически не имеет значения. Образцы с ребрами разных размеров показывают одинаковую прочность.

После определения предела прочности бетона при растяжении расколотый на две половинки образец используется для определения предела прочности при сжатии. Для этого обе половинки продавливаются (для удаления отслоившихся при расколе частиц), тщательно складываются, образец поворачивается на 90° так, чтобы плоскость раскола была перпендикулярна направлению сжатия, убираются раскалывающие приспособления, и образец на том же прессе испытывается на сжатие.

Установлено, что испытанные таким способом образцы показывают при сжатии такую же прочность, как целые (соотносят результаты этих испытаний с данными, полученными в этом подразделе на образцах-аналогах).

Определение прочности бетона при растяжении, срезе и сжатии на одном и том же образце, кроме значительного упрощения испытаний,

позволяет точнее оценить соотношение важнейших прочностных характеристик бетона, поскольку значительно сокращается влияние его неоднородности. Данные испытаний заносят в таблицу 5.3.

Вид бетона, проектный (расчетный) класс, формуемость (подвижность) бетонной смеси, из которой он изготовлен: _____

Номинальные размеры образцов: _____

Дата изготовления: _____

Дата испытания и возраст образцов в сут: _____

Таблица 5.3 – Определение прочности бетона на одноосное растяжение, на срез и сжатие поперечным раскалыванием образцов

Определения	№ кубов				
	1	2	3	...	Среднее значение
Разрушающее усилие при раскалывании, кН					
Предел прочности при растяжении, МПа					
Предел прочности при срезе, МПа					
Разрушающее усилие при сжатии, кН					
Предел прочности при сжатии, МПа					

Прочность бетона при двухосном растяжении

Для определения предела прочности при двухосном растяжении применяется приспособление, состоящее из двух стальных пластин с сваренными посередине стальными шарами диаметром 24 мм. Испытание производится на прессе путем раскалывания образцов-кубов сосредоточенной нагрузкой, передаваемой образцам от пресса через шары. Для чего образцы бетона располагают между двумя пластинами с шарами, ориентированными соосно: геометрическая (вертикальная) ось образца бетона, нижнего и верхнего шаров и ось штока пресса.

Предел прочности бетона при двухосном растяжении по формуле

$$f_{ctm}^{др} = \frac{3P}{2\pi\alpha^2}, \text{ МПа.} \quad (5.9)$$

Отношение предела прочности бетона при двухосном растяжении к пределу прочности при одноосном растяжении для тяжелого бетона должно быть близким 0,55.

Поскольку лабораторная работа № 5 является завершающей из предыдущих четырех работ по проектированию и проверке составов бетона, в конце необходимо сделать заключение о качестве запроектированного состава бетона различными методами.

Результаты испытаний заносят в таблицу 5.4, обрабатывают и анализируют.

Вид бетона, проектный (расчетный) класс, формуемость (подвижность) бетонной смеси, из которой он изготовлен: _____

Номинальные размеры образцов: _____

Дата изготовления: _____

Дата испытания и возраст образцов в сут: _____

Таблица 5.4 – Определение предела прочности бетона на двухосное растяжение

Определения	№ кубов				
	1	2	3	...	Среднее значение
Разрушающее усилие при раскалывании, кН					
Предел прочности при двухосном растяжении, МПа					

Анализируют результаты испытаний, формулируют заключение о качестве запроектированных составов бетона, точности методов их расчета.

Лабораторная работа № 6

РАСЧЕТ СОСТАВА ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Цель работы: освоить методику расчета состава легкого конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного бетона на пористых заполнителях.

Методика выполнения расчетов

Рассчитывают пустотность крупного заполнителя (аглопоритового щебня или керамзитового гравия) в виброуплотненном состоянии

$$m_{кз} = 1 - \frac{\rho_{кзв}}{\rho_{кз}}, \text{ д. ед.}, \quad (6.1)$$

где $\rho_{кзв}$ – плотность крупного заполнителя в виброуплотненном состоянии, кг/м^3 ;

$\rho_{кз}$ – плотность крупного заполнителя в зернах (может быть принята равной для аглопоритового щебня 1350, для керамзитового гравия 900 или определена экспериментально), кг/м^3 .

Рассчитывают пустотность мелкого заполнителя (кварцевого, аглопоритового или керамзитового песка) в виброуплотненном состоянии

$$m_{мз} = 1 - \frac{\rho_{мзв}}{\rho_{мз}}, \text{ д. ед.}, \quad (6.2)$$

где $\rho_{мзв}$ – плотность мелкого заполнителя в виброуплотненном состоянии, кг/м^3 ;

$\rho_{мз}$ – плотность мелкого заполнителя в зернах (может быть принята равной для аглопоритового песка 1900, для керамзитового 1600 или определена экспериментально), кг/м^3 .

Исходя из технологических особенностей формирования изделий и марки бетонной смеси по удобоукладываемости, по таблице 6.1 назначают объем крупного заполнителя $V_{кз}$ в 1 м^3 его смеси с песком.

При расчетах составов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов на керамзитовом гравии допускается принимать его исходный объем равным 1 м^3 с последующей корректировкой в соответствии с настоящей методикой.

Таблица 6.1 – Рекомендуемые значения $V_{\text{кз}}$, м^3

Условия формирования изделий	Марка бетонной смеси по удобоукладываемости			
	Ж1...Ж4	П1	П2	П3*
Горизонтальное формование на виброплощадках или уплотнение глубинными вибраторами	0,85...0,90	0,83...0,85	0,80...0,83	–
В формах высотой до 1,5 м с навесными вибраторами или на касетно-конвейерных линиях	0,75...0,85	0,80...0,83	0,75...0,80	–
Стенд-касеты, объемно-блочные элементы в стенд-формах и на «каруселях» и пр.	–	–	–	0,75...0,80
Виброштампование, вибропрокат, вальцевание, роликовое формование и пр.	0,75...0,78	0,73...0,75	–	–
Нагнетательные методы, экструзия, пресс-вакуумирование, пневмотранспорт бетонной смеси	–	0,70...0,73	0,65...0,70	0,60...0,65

* Большие значения подвижности бетонной смеси следует обеспечивать за счет применения пластифицирующих добавок.

Рассчитывают объем песка в виброуплотненном состоянии

$$V_{\text{мз}} = 1 - V_{\text{кз}} \cdot (1 - m_{\text{кз}}), \text{ д. ед.} \quad (6.3)$$

Рассчитывают пустотность смеси заполнителей в виброуплотненном состоянии

$$m_{\text{см}} = V_{\text{мз}} \cdot m_{\text{мз}}, \text{ д. ед.} \quad (6.4)$$

Рассчитывают расход крупного заполнителя

$$KЗ = V_{KЗ} \cdot \rho_{KЗВ}, \text{ кг.} \quad (6.5)$$

Рассчитывают расход мелкого заполнителя

$$MЗ = V_{MЗ} \cdot \rho_{MЗВ}, \text{ кг.} \quad (6.6)$$

Рассчитывают удельную поверхность крупного заполнителя

$$S_{удкз} = \frac{k_{фкз} \cdot (F_{40} + 2 \cdot F_{20} + 4 \cdot F_{10} + 8 \cdot F_5)}{100}, \text{ м}^2/\text{кг}, \quad (6.7)$$

где $k_{фкз}$ – коэффициент формы зерен крупного заполнителя (может быть принят для аглопоритового щебня 1,9...2,0 и керамзитового гравия 1,7...1,8, м²/кг);

$F_{40}, F_{20}, F_{10}, F_5$ – частные остатки крупного заполнителя на ситах 40, 20, 10, 5 мм, %.

Рассчитывают удельную поверхность мелкого заполнителя

$$S_{удмз} = \frac{k_{фмз} \cdot (F_{2,5} + 2 \cdot F_{1,25} + 4 \cdot F_{0,63} + 8 \cdot F_{0,315} + 16 \cdot F_{0,16} + 32 \cdot F_{<0,16})}{100}, \text{ м}^2/\text{кг}, \quad (6.8)$$

где $k_{фмз}$ – коэффициент формы зерен мелкого заполнителя (может быть принят для кварцевого песка 1,3...1,5, аглопоритового 1,6...1,8 и керамзитового 1,4...1,6, м²/кг);

$F_{2,5}, F_{1,25} \dots F_{<0,16}$ – частные остатки мелкого заполнителя на ситах 2,5, 1,25... менее 0,16 мм, %.

Рассчитывают площадь поверхности смеси заполнителей

$$S_{см} = S_{удкз} \cdot KЗ + S_{удмз} \cdot MЗ, \text{ м}^2. \quad (6.9)$$

Рассчитывают толщину пленки цементного теста на смазывание каждого зерна крупного и мелкого заполнителей (δ):

– при поверхности смеси заполнителей 8000 м^2 и менее

$$\delta = \delta_0 + 0,5 \cdot (\text{ОК} - 1), \text{ мкм}, \quad (6.10)$$

– при поверхности смеси заполнителей 8000 м^2 и более

$$\delta = \delta_0 - 0,00025 \cdot (S_{\text{см}} - 8000) + 0,5 \cdot (\text{ОК} - 1), \text{ мкм}, \quad (6.11)$$

где δ_0 – начальная толщина пленки цементного теста на смазывание каждого зерна смеси заполнителей, принимаемая равной для аглопоритового щебня и керамзитового гравия 15,5 и 14,5 мкм соответственно;

ОК – подвижность (осадка конуса) бетонной смеси, см. Для жестких бетонных смесей ОК принимают равной 1 см.

Рассчитывают объем бетонной смеси

$$V_6 = 1 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot \delta \cdot S_{\text{см}}, \text{ м}^3. \quad (6.12)$$

Рассчитывают объем цементного теста

$$V_{\text{т}} = \frac{1 \cdot m_{\text{см}} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot \delta \cdot S_{\text{см}}}{V_6}, \text{ м}^3. \quad (6.13)$$

Пересчитывают расход крупного заполнителя

$$KЗ' = \frac{KЗ}{V_6}, \text{ кг}. \quad (6.14)$$

Пересчитывают расход мелкого заполнителя

$$MЗ' = \frac{MЗ}{V_6}, \text{ кг}. \quad (6.15)$$

Рассчитывают общую водопотребность крупного заполнителя

$$B_{\text{кзобщ}} = KЗ' \cdot \frac{W_{\text{кз}}}{100}, \text{ кг}, \quad (6.16)$$

где $W_{кз}$ – водопоглощение крупного заполнителя, % (определяют экспериментально, но может быть принято равным для аглопоритового щебня 8...10, а для керамзитового гравия 18...20 %).

Рассчитывают общую водопотребность мелкого заполнителя

$$V_{мзобщ} = MЗ' \cdot \frac{W_{мз}}{100}, \text{ кг}, \quad (6.17)$$

где $W_{мз}$ – водопоглощение мелкого заполнителя, % (определяют экспериментально, но может быть принято равным для кварцевого песка 4,5, а для аглопоритового и керамзитового 10...15 %).

Рассчитывают количество воды, поглощенное зернами крупного заполнителя

$$V_{кзпогл} = k_{кзпогл} \cdot V_{кзобщ}, \text{ кг}, \quad (6.18)$$

где $k_{кзпогл}$ – коэффициент перехода от общей водопотребности крупного заполнителя к поглощенной, д. ед. (может быть принят равным для аглопоритового щебня 0,7, а для керамзитового гравия 0,8).

Рассчитывают количество воды, поглощенное зернами мелкого заполнителя

$$V_{мзпогл} = k_{мзпогл} \cdot V_{мзобщ}, \text{ кг}, \quad (6.19)$$

где $k_{мзпогл}$ – коэффициент перехода от общей водопотребности мелкого заполнителя к поглощенной, д. ед. (может быть принят равным для кварцевого песка 0,3, аглопоритового 0,75 и керамзитового 0,65).

Рассчитывают истинное (без учета воды, поглощенной зернами заполнителей) водоцементное отношение бетона

$$\left(\frac{B}{Ц}\right)_{ист} = \frac{\alpha \cdot k_3 \cdot k_\delta \cdot f_{ц}}{f_6} + \beta, \text{ д. ед.}, \quad (6.20)$$

где α , δ – коэффициенты, зависящие от особенностей технологии производства изделий и для вибрированного и центрифугированного бе-

тона без активации цементного теста и без применения добавок ускорителей твердения, равные 0,248 и 0,092 соответственно;

k_3 – коэффициент, учитывающий свойства заполнителей и равный:

– для аглопоритового щебня и кварцевого песка 0,90;

– для аглопоритового щебня и пористого песка 0,85;

– для керамзитового гравия и кварцевого или пористого песка

$$k_3 = 0,25 + 0,000875 \cdot (\rho_{кз} - 400), \text{ д. ед.}; \quad (6.21)$$

k_δ – коэффициент, зависящий от толщины пленки цементного теста на смазывание каждого зерна смеси заполнителей (δ) и равный

$$k_\delta = 1 + 0,1 \cdot (\delta - \delta_0), \text{ д. ед.}; \quad (6.22)$$

$f_{ц}$ – активность цемента, МПа.

Рассчитывают расход цемента

$$\text{Ц} = \frac{V_T}{k_{\text{вв}} \cdot \left[\frac{1}{\rho_{\text{ц}}} + \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}} \right)_{\text{ист}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right]}, \text{ кг}, \quad (6.23)$$

где $k_{\text{вв}}$ – коэффициент, учитывающий воздухововлечение бетонной смеси и принимаемый равным 1,03 и 1,02 для аглопорито- и керамзитобетонных смесей соответственно;

$\rho_{\text{ц}}$ – плотность цемента, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³.

Рассчитывают расход воды

$$\text{В} = \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}} \right)_{\text{ист}} \cdot \text{Ц} + \text{В}_{\text{кзпогл}} + \text{В}_{\text{мзпогл}}, \text{ кг}. \quad (6.24)$$

Рассчитывают уточненный объем бетонной смеси

$$V_{\text{бл}} = \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{МЗ}'}{\rho_{\text{МЗ}}} + \frac{\text{КЗ}'}{\rho_{\text{КЗ}}} + \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}} \right)_{\text{ист}} \cdot \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{в}}}, \text{ м}^3, \quad (6.25)$$

Уточняют расход цемента

$$\text{Ц}_1 = \frac{\text{Ц}}{V_{61}}, \text{ кг.} \quad (6.26)$$

Уточняют расход мелкого заполнителя

$$\text{МЗ}_1 = \frac{\text{МЗ}'}{V_{61}}, \text{ кг.} \quad (6.27)$$

Уточняют расход крупного заполнителя

$$\text{КЗ}_1 = \frac{\text{КЗ}'}{V_{61}}, \text{ кг.} \quad (6.28)$$

Уточняют расход воды

$$\text{В}_1 = \frac{\text{В}}{V_{61}}, \text{ кг.} \quad (6.29)$$

Определяют расчетную среднюю плотность бетонной смеси

$$\rho_{\text{бср}} = \text{Ц}_1 + \text{МЗ}_1 + \text{КЗ}_1 + \text{В}_1, \text{ кг/м}^3. \quad (6.30)$$

Определяют расчетную среднюю плотность бетона в высушенном состоянии

$$\rho_{\text{б}} = 1,15 \cdot \text{Ц}_1 + \text{МЗ}_1 + \text{КЗ}_1, \text{ кг/м}^3. \quad (6.31)$$

Готовят пробный замес, определяют формуемость и фактическую среднюю плотность бетонной смеси, корректируют расчет состава по формулам (2.22)–(2.36) лабораторной работы № 2.

Лабораторная работа № 7

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ БЕТОНА

Цель работы: приобретение навыков оценки параметров вибрирования (амплитуды и частоты колебаний, виброскорости и виброускорения) и расчета интенсивности, эффективности и продолжительности виброуплотнения бетона.

Методика выполнения работ

Определение амплитуды и частоты колебаний производят с помощью вибротесторов в пяти точках плиты лабораторной стандартной виброплощадки по схеме на рисунке 7.1.

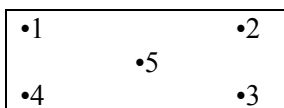


Рисунок 7.1 – План плиты лабораторной виброплощадки

Точки № 1–№ 4 должны находиться над опорными пружинами плиты виброплощадки; точка № 5 – в ее геометрическом центре. Полученные с помощью вибротестора данные заносят в таблицу 7.1.

При съеме показаний замеры выполняют в процессе устойчивой работы виброплощадки, т. е. исключая период ее «включения-выключения».

Таблица 7.1 – Параметры вибрирования виброплощадки

Точки замеров	Амплитуда колебания A , мм	Частота колебаний f , Гц	Отклонение от стандартных величин		Применение
			ΔA , мм	Δf , Гц	
1					
2					
3					
4					
5					
Среднее значение по точкам № 1–№ 4					

На основании полученных результатов дается оценка соответствия установленных параметров вибрирования стандартным: $A_{ст} = 0,5 \pm 0,05$ мм; $f_{ст} = 2900 \pm 100$ кол./мин или $f_{ст} \sim 48,3 \pm 1,7$ Гц (СТБ 1545–2005 [18]).

При отклонении установленных параметров вибрирования за пределы указанных допусков намечают мероприятия по устранению недостатков (корректировка усилия сжатия опорных пружин, изменение возмущающей силы дебалансов и пр.).

Расчет интенсивности, эффективности вибрирования и времени уплотнения бетона.

Интенсивность вибрирования. Произведение скорости: $A \cdot f$ на ускорение $A \cdot f^2$ есть интенсивность вибрирования (И), или:

$$И = A^2 \times f^3, \text{ см}^2/\text{с}^3, \quad (7.1)$$

где A – амплитуда, см;

f – частота, Гц или кол./с.

Интенсивность вибрирования определяют по фактическим данным таблицы 7.1.

Для стандартных амплитуды колебаний ($A \sim 0,05$ см) и частоты ($f \sim 49$ Гц) интенсивность соответствует $И_{ст} \sim 312 \text{ см}^2/\text{с}^3$.

Чем ниже подвижность (ОК) или выше жесткость (Ж) смеси, тем больше должна быть (И) для качественного уплотнения бетона. Взаимосвязь параметров вибрирования и интенсивности отражена графическими зависимостями (рисунок. 7.2).

Эффективность вибровоздействия. Эффективность (Э) уплотнения, интенсивность и время вибрирования (τ_v) связаны зависимостью:

$$И_1 \cdot \tau_1 \sim И_2 \cdot \tau_2 \sim И_n \cdot \tau_n$$

или

$$Э \sim И_n \cdot \tau_v^n, \quad (7.2)$$

то есть эффективность вибровоздействия связана с величиной (И) и (τ_v) прямой зависимостью. Равный эффект может быть обеспечен разными интенсивностями ($И_1, И_2, \dots, И_n$) и временем уплотнения ($\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$).

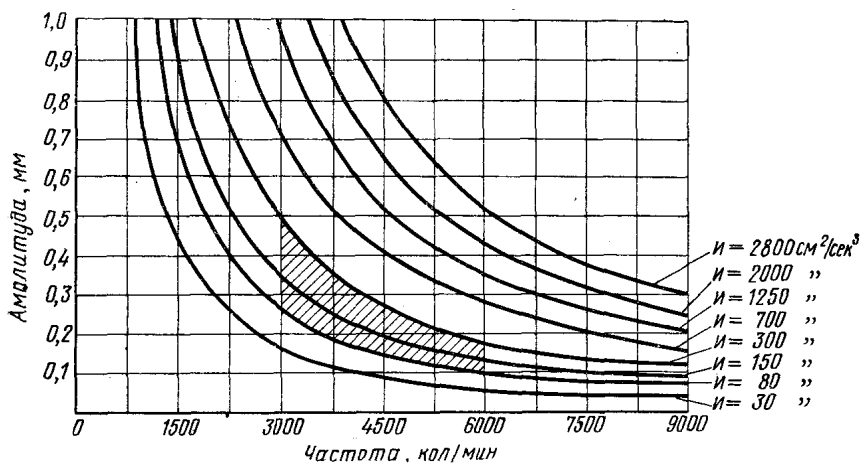


Рисунок 7.2 – Соотношение между амплитудами и частотами колебаний при различной интенсивности вибрации

Коэффициент уплотнения бетона характеризует качество или степень уплотнения:

$$K_{\text{упл}} = \frac{\rho_{\text{факт}}^{\text{см}}}{\rho_{\text{бсм}}} \approx 0,94 \dots 0,99, \quad (7.3)$$

при меньших значениях для жестких смесей. Соответственно воздуховлечение (расчетное) для приведенных значений $K_{\text{упл}}$ составит 6...1 % при условии достоверности подбора состава бетона.

Время вибрирования. Необходимое для уплотнения бетона время вибрирования рассчитывают по формуле И. Н. Ахвердова – В. П. Лукьянова:

$$t_{\text{в}} = K_{\text{в}} \cdot \tau_0^6 (1 - V_{\text{р.с}}), \text{ с}, \quad (7.4)$$

где $K_{\text{в}}$ – коэффициент, зависящий от параметров вибрирования, $K_{\text{в}} \sim 0,05 \dots 0,02$ при частоте колебаний $f \sim 50 \dots \geq 200$ Гц соответственно, доли ед.;

τ_0^b – предельное напряжение сдвига бетонной смеси, Па, которое рассчитывают по данным подбора состава бетона (формула (7.5)). Его значение в расчетах может быть принято (при отсутствии расчетных данных) для бетонных смесей подвижностью марок П1...П4 в пределах 1500...500 Па соответственно;

$V_{p.c}$ – объем (м³) растворной составляющей в бетоне, равный $V_{p.c} = 1 - V_{щ}^a$ или $V_{p.c} = 1 - Щ / \rho_{щ}^3$, где $V_{щ}^a$ – абсолютный объем щебня в бетоне при его содержании (расходе) в 1 м³, равном Щ, кг, и плотности зерен горной породы $\rho_{щ}^3$.

Рассчитывают значение предельного напряжения сдвига бетонной смеси τ_0^b по формуле

$$\tau_0^b = \frac{1 - X' \cdot K_{щг}}{X' \cdot K_{щг}} \cdot r^2 \cdot g(\rho_{см}^3 - \rho_{ц.г}) \cdot \frac{V'_п + V'_{щ}(1 - \Pi_{щ}^3)}{V'_{ц.г} + V'_п(1 - \Pi_{п}^3)} \times \times \frac{V_{ц.г}}{S_{см}} \cdot 10^4, \text{ Па (Н/м}^2\text{)}, \quad (7.5)$$

где $r = \frac{V'_п}{V'_п + V'_{щ}}$ – относительное содержание песка в суммарном объеме заполнителей (д. ед.);

$g = 9,806 \text{ м/с}^2$, ускорение свободного падения;

$\rho_{см}^3$ – средняя плотность зерен смеси заполнителей; для кварцевого песка и гранитного щебня примерно соответствует 2670 кг/м³;

$\rho_{ц.г}$ – средняя плотность цементного теста, в расчетах допускается принимать примерно равной 1850, 1950, 2050 кг/м³ для смесей с ОК = 6...10 см, до 5 см и жестких соответственно.

Прочие обозначения соответствуют принятым в расчете состава бетона.

Лабораторная работа № 8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Цель работы: освоение упрощенных методик расчета бетона с применением пластифицирующих и иных химических добавок

Общая методика выполнения расчетов

Рассчитывают водоцементное отношение

$$\left(\frac{B}{Ц}\right)_6 = \frac{0,3 \cdot k_3 \cdot f_{ц}}{f_6} + 0,08, \text{ д. ед.}, \quad (8.1)$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий влияние крупного заполнителя на прочность бетона (для щебня равен 1,0, а для гравия 0,9);

$f_{ц}$ – активность цемента, МПа;

f_6 – требуемая прочность бетона в проектном возрасте, МПа.

Рассчитывают объем цементного теста

$$V_T = \frac{k_{ок}}{\sqrt[3]{\left[\left(\frac{B}{Ц}\right)_6\right]^2}} + 0,07 \cdot \left(\frac{B}{Ц}\right)_6^3, \text{ м}^3. \quad (8.2)$$

Коэффициент $k_{ок}$ для подвижной смеси (ОК, см):

$$k_{ок} = 0,17 \cdot ОК^{0,1}, \quad (8.3)$$

а для жесткой (Ж, с):

$$k_{ок} = \frac{0,2}{Ж^{0,1}}. \quad (8.4)$$

Определяют расход цемента

$$\text{Ц} = \frac{V_{\text{T}}}{\frac{1}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\text{б}}}{\rho_{\text{в}}}}, \text{ кг}, \quad (8.5)$$

где $\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{в}}$ – плотность цемента, воды соответственно, кг/м^3 .

Рассчитывают расход воды

$$\text{В} = \text{Ц} \cdot \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\text{б}}, \text{ кг}. \quad (8.6)$$

Определяют долю песка в смеси заполнителей
для подвижной смеси (ОК, см)

$$r = r_0 - 80 \cdot (V_{\text{T}} - 0,2) + 1,4 \cdot \sqrt[3]{(\text{ОК} - 1)^2}, \text{ \%}, \quad (8.7)$$

для жесткой (Ж, с)

$$r = r_0 - 80 \cdot (V_{\text{T}} - 0,2) - 0,75 \cdot \sqrt[3]{(\text{Ж} - 5)^2}, \text{ \%}, \quad (8.8)$$

где r_0 – начальная доля песка в смеси заполнителей (для конструкций с обычным армированием принимается равным 40 %, а для густоармированных – 45 %).

Определяют расход мелкого заполнителя

$$\text{П} = \frac{1 - V_{\text{T}}}{\frac{1}{\rho_{\text{п}}} \cdot \frac{100}{r}}, \text{ кг}, \quad (8.9)$$

где $\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{щ}}$ – плотность в зернах песка (около 2630) и щебня (около 2670) соответственно, кг/м^3 .

Определяют расход крупного заполнителя

$$\text{Щ} = \text{П} \cdot \frac{\rho_{\text{щ}}}{\rho_{\text{п}}} \cdot \left(\frac{100}{r} - 1\right), \text{ кг}. \quad (8.10)$$

Расчетная плотность бетонной смеси представляет собой сумму всех компонентов

$$\rho_{\text{бсм}} = \text{Ц} + \text{П} + \text{Щ} + \text{В}, \text{ кг/м}^3. \quad (8.11)$$

Методика выполнения расчетов для разных вариантов проектирования состава бетона с пластифицирующими добавками

Рассчитывают возможное сокращение расхода воды в бетоне с пластифицирующей добавкой при сохранении заданной удобоукладываемости бетонной смеси:

$$\Delta \text{В} = k_{\text{п}} \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot D}{\left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\delta}}} \cdot V_{\text{T}}^{1,7} \cdot (1 - 0,0015 \cdot C_3 A^2), \%, \quad (8.12)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент пластификации, зависящий от группы эффективности (по СТБ 1112–98) пластифицирующей добавки и удобоукладываемости бетонной смеси;

D – дозировка пластифицирующей добавки по сухому веществу, % от массы цемента;

$C_3 A$ – содержание $C_3 A$ в цементе, %.

Коэффициент пластификации при осадке конуса (ОК, см) бетонной смеси

$$k_{\text{п}} = k_{\text{эф}} + 2 \cdot \text{ОК}, \%, \quad (8.13)$$

а при жесткости (Ж, с) бетонной смеси

$$k_{\text{п}} = k_{\text{эф}} - 0,5 \cdot \text{Ж}, \%. \quad (8.14)$$

В (8.13) и (8.14) коэффициент эффективности пластифицирующей добавки ($k_{\text{эф}}$), например, для добавок первой группы равен 70, для гиперпластификаторов 120.

Рассчитывают расход воды в бетонной смеси с пластифицирующей добавкой при сохранении заданной удобоукладываемости смеси

$$\text{В}_д = \text{В} \cdot \left(1 - \frac{\Delta \text{В}}{100}\right), \text{ кг}. \quad (8.15)$$

Если пластифицирующую добавку вводят с целью повышения физико-механических характеристик бетона, то вначале пересчитывают водоцементное отношение бетонной смеси с добавкой при сохранении величины расхода цемента:

$$\left(\frac{B}{Ц}\right)_д = \frac{B_д}{Ц}, \text{ д. ед.} \quad (8.16)$$

Затем пересчитывают прочность бетона

$$f_б = \frac{0,3 \cdot k_з \cdot f_ц}{\left(\frac{B}{Ц}\right)_б - 0,08}, \text{ МПа.} \quad (8.17)$$

Затем по приведенной выше таблице в зависимости от водоцементного отношения бетонной смеси с добавкой определяют морозостойкость и водонепроницаемость бетона с добавкой (при наличии требований по данным параметрам).

Далее увеличивают расход песка для компенсации уменьшения объема бетонной смеси из-за снижения расхода воды

$$П_д = П + (B - B_д) \cdot \frac{\rho_п}{1000}, \text{ кг.} \quad (8.18)$$

Расход щебня не меняется.

Плотность бетонной смеси

$$\rho_{бсм} = Ц + П_д + Щ + B_д, \text{ кг/м}^3. \quad (8.19)$$

Если пластифицирующую добавку вводят с целью экономии расхода цемента при сохранении водоцементного отношения, удобоукладываемости бетонной смеси и физико-механических характеристик бетона, то пересчитывают расход цемента:

$$Ц_д = \frac{B_д}{\left(\frac{B}{Ц}\right)}, \text{ кг.} \quad (8.20)$$

Затем увеличивают расход песка для компенсации уменьшения объема бетонной смеси из-за снижения расходов воды и цемента:

$$П_{д} = П + (В - В_{д}) \cdot \frac{\rho_{п}}{1000} + (Ц - Ц_{д}) \cdot \frac{\rho_{п}}{\rho_{ц}}, \text{ кг.} \quad (8.21)$$

Пересчитывают расчетную плотность бетонной смеси с пластифицирующей добавкой:

$$\rho_{бсм} = Ц_{д} + П_{д} + Щ + В_{д}, \text{ кг/м}^3. \quad (8.22)$$

Далее во всех случаях по фактическому значению средней плотностью отформованной бетонной смеси завершают расчет состава бетона по формулам (2.22)–(2.36) лабораторной работы № 2.

Лабораторная работа № 9

МНОГОФАКТОРНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Данный метод позволяет проектировать составы тяжелого бетона с учетом достоверных закономерностей, полученных в настоящее время в технологии бетона. Цель расчетов – получение состава бетонной смеси требуемой марки по удобоукладываемости, а также бетона заданного класса бетона по прочности на сжатие, марок по морозостойкости и водонепроницаемости в проектном возрасте. Адаптирован для проектирования состава бетона как естественного твердения, так и подвергаемого тепловой обработки с отпускной прочностью бетона 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 и 100 % от проектной. Требуемая прочность бетона рассчитывается по коэффициенту вариации для данного изделия. Метод дает возможность дополнительно рассчитывать модуль упругости бетона, учитывать многочисленные свойства цемента (завод-производитель, минералогический состав и удельную поверхность, активность, нормальную густоту, плотность), крупного заполнителя (вид, наибольшую крупность зерен,

фракционный состав, прочность и модуль упругости породы, содержание мелких фракций, ила, глины и пыли), мелкого заполнителя (вид, модуль крупности, содержание крупных фракций, ила, глины и пыли). Метод позволяет варьировать видом и количеством вводимых химических добавок – пластифицирующих, воздухововлекающих и ускорителей твердения. Применительно к производственному составу рассчитывают расходы компонентов бетонной смеси в зависимости от ее потребного объема, влажности заполнителей, характеристик приготовленных растворов химических добавок. Вводимые цены всех компонентов бетонной смеси позволяют из множества возможных вариантов получения бетона с заданными техническими характеристиками выбрать тот, который обеспечивает минимальную стоимость.

Система расчетов содержит несколько сотен взаимно увязанных формул, поэтому реализация данного метода проектирования состава бетона возможна только с использованием вычислительной техники. Важной особенностью приведенного ниже программного продукта является исключение каких-либо ошибок, поскольку ввод информации производится без использования клавиатуры. Варьирование влияющих факторов добиваются того, чтобы сигналы возле «Расчетных характеристик бетона» сменили красный цвет (величины параметров недостаточны) на зеленый (параметры равны или превышают расчетные).

Программное обеспечение расчетов приведено в учебном классе кафедры № 1304 и в деловом комплексе «Технолог» (разработчик проф. В. В. Бабицкий).

Методика выполнения расчетов

Основные окна программного продукта представлены на рисунках 9.1–9.4.

Алгоритм расчета состава тяжелого бетона представлен на рисунке 9.5.

Проектирование состава тяжелого бетона

Файл Компоненты бетона Состав бетона Перечень изделий Параметры бетона изделия О программе ?

Свойства компонентов бетона

Цемент

Цементный завод: **Кривевский**

Активность, МПа: **40**

Нормальная густота, %: **26**

Плотность, кг/м куб: **3050**

Минералогический состав, %:

C₃S: **56**

C₂S: **18**

C₃A: **7**

C₄AF: **17**

SO₃: **2**

Удельная поверхность, м кв/кг: **320**

Щебень

Вид: гранитный базальтовый
 известняковый щебень из гравия
 гравий

Крупность, мм: 10 20 40 70

Прочность, МПа: **80**

Модуль упругости, ГПа: **55**

Содержание песка в щебне, %: **1**

Содержание ила, пыли, %: **0,5**

Песок

Вид: естественный дробленый

Модуль крупности: **2**

Содержание щебня в песке, %: **0,5**

Содержание ила, пыли, %: **1**

Рисунок 9.1 – Введение свойств компонентов бетона

Проектирование состава тяжелого бетона

Файл Компоненты бетона Состав бетона Перечень изделий Параметры бетона изделия О программе ?

Расчет состава бетона

Проектные характеристики

Класс бетона по прочности: **C16/20** Морозостойкость: **Нет** ОК, см Ж, с

Коэффициент вариации, %: **13,5** Водонепроницаемость: **Нет** Бетонная смесь: **П1**

Требуемая прочность бетона, МПа: **25,7** Отпускная прочность **70 %** **3**

Химические добавки

Цель введения пластифицирующей добавки: ОК, см снижение ВЦ экономия цемента

Добавка (сухое вещество), % от массы цемента: **4,3**

Ускоритель твердения: Хлорид кальция (ХК) **0**

Пластификатор: Пластификатор С-3 (С-3) **0,12**

Воздуховлекающая (газообразующая): Смола нейтрал. воздуховлекающая (СНВ) **0**

Фактическое содержание воздуха в бетонной смеси, %: **0**

Состав бетона, кг/м куб

Цемент	309
Песок	703
Щебень	1235
Вода	169

Корректировка состава бетона
 прочность: **0,548**
 доля песка: **2416**

Расчетные характеристики бетона

Фактическая прочность, МПа	25,7
Морозостойкость, циклы	154
Водонепроницаемость, атм	4,6
Модуль упругости, ГПа	33,1

Рисунок 9.2 – Расчет лабораторного состава бетона

Проектирование состава тяжелого бетона

Файл Компоненты бетона Состав бетона Перечень изделий Параметры бетона изделия О программе ?

Производственный состав бетона
Цена компонентов бетонной смеси, у.е./т (для добавок - за 1 т товарного раствора)

Цемент	50	Добавка ускорителя твердения	
Песок	6	Добавка пластифицирующая	1300
Щебень	10	Добавка воздухововлекающая	
Вода	0,5	Курс: руб/у.е.	8100

Концентрация раствора добавки, %

	Товарный раствор	Рабочий раствор
Добавка ускорителя твердения		
Добавка пластифицирующая	23	10
Добавка воздухововлекающая		

Расходы компонентов бетонной смеси, кг/замес

Влажность песка, %	3	Цемент	309	Добавка (рабочий раствор)
Влажность щебня, %	1	Песок	729	Ускоритель твердения
Объем замеса, м куб	1	Щебень	1241	Пластифицирующая
Стойкость замеса	35,6	Вода	130	Воздухововлекающая
	у.е.		руб	
			288881	

Запомнить

Рисунок 9.3 – Расчет производственного состава бетона

Sostav1 - Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

Результаты проектирования состава бетона

Свойства цемента:

завод	Кричевский
активность, МПа	40
нормальная плотность, %	26
плотность, кг/м куб	3050
содержание С35, %	56
содержание С25, %	18
содержание С3А, %	7
содержание С4АФ, %	17
содержание SO3, %	2
удельная поверхность, мкв/кг	320

Свойства песка:

вид	естественный
модуль крупности	2

Свойства щебня:

вид	гранитный
крупность, мм	40

проектные требования к бетону:

класс	С16/20
коэффициент вариации, %	13,5
требуемая прочность, МПа	25,7
морозостойкость	нет
водонепроницаемость	нет
модуль упругости, ГПа	31
подвижность бетонной смеси, см	3

Состав бетона, кг/м куб (на сухие компоненты):

цемент	309
песок	703
щебень	1235
вода	169
Водоцементное отношение	0,548

Рисунок 9.4 – Пример распечатки (части) состава бетона

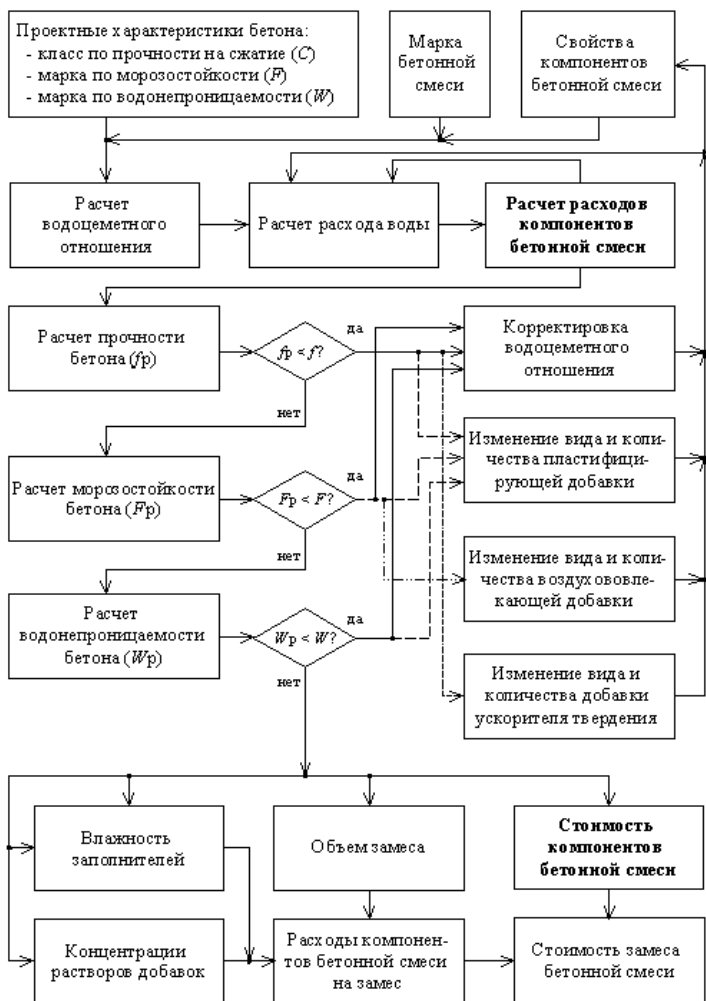


Рисунок 9.5 – Алгоритм расчета состава бетона

Важной особенностью данного метода проектирования состава бетона является то, что технолог, варьируя весь представленный комплекс влияющих факторов, обеспечивает не только получение заданных характеристик бетонной смеси и бетона, но и минимизирует стоимость бетонной смеси. То есть из множества возможных вариантов выбирается тот, в котором суммарная цена компонентов бетонной смеси наименьшая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цементы. Методы испытаний. Общие положения : ГОСТ 310.1–76.
2. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема : ГОСТ 310.3–76.
3. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии : ГОСТ 310.4–81.
4. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия : ГОСТ 10178–85.
5. Методы испытания цемента. Часть 1. Определение прочности : СТБ EN 196-1–2007.
6. Цемент. Часть 1. Состав, технические требования и критерии соответствия общих цементов : СТБ EN 197-1–2007.
7. Песок для строительных работ. Методы испытаний : ГОСТ 8735–88.
8. Песок для строительных работ. Технические условия : ГОСТ 8736–93.
9. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний : ГОСТ 9758–8.
10. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия : СТБ 1217–2000.
11. Заполнители для бетона : СТБ EN 12620–2010.
12. Ахвердов, И. Н. Теоретические основы бетоноведения / И. Н. Ахвердов. – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 263 с.
13. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М. : Стройиздат, 1981. – 464 с.
14. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия : ГОСТ 8267–63.
15. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний : ГОСТ 8269.0–97.
16. Вода для бетонов и растворов. Технические условия : СТБ 1114–98.
17. Технологическое обеспечение производства железобетонных конструкций : учеб. пособие / Э. И. Батяновский [и др.]. – Минск : БГПА, 2001. – 161 с.
18. Смеси бетонные. Методы испытаний : СТБ 1545–2005.

19. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : ГОСТ 10180–90.

20. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности : СТБ 2264–2012.

21. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля : ГОСТ 22690–88.

22. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности : ГОСТ 17624–87.

23. Бетоны. Правила контроля прочности : ГОСТ 18105–86.

24. Бетоны. Методы определения плотности : ГОСТ 12730.1–78.

Учебное издание

**ТЕХНОЛОГИЯ ЗАВОДСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Методические указания
к лабораторным работам
для студентов специальности 1-70 01 01
«Производство строительных изделий и конструкций»

Составители:

БАТЯНОВСКИЙ Эдуард Иванович
БАБИЦКИЙ Вячеслав Вацлавович
БОНДАРОВИЧ Александр Иванович
РЯБЧИКОВ Павел Владимирович

Редактор *Л. Н. Шалаева*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 30.01.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,66. Уч.-изд. л. 2,86. Тираж 300. Заказ 855.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

