

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Технология вяжущих веществ, бетонов  
и строительной керамики»

## **Практикум**

«Подбор состава тяжелого и  
мелкозернистого бетона»  
по дисциплине

# **«Технология бетонов и растворов»»**

Автор  
Касторных Л. И.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Методические указания регламентируют правила выполнения и оформления практической работы по дисциплине «Технология бетонов и растворов», выполняемой обучающимися по направлению 27.03.01 «Стандартизация и метрология» профиль бакалавриата «Метрология, стандартизация и сертификация в строительстве».

Содержат методику, правила выполнения и индивидуальные задания по расчету состава тяжелого и мелкозернистого бетона.

## Автор



канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Технология вяжущих веществ, бетонов и  
строительной керамики»  
Касторных Любовь Ивановна

## Оглавление

1 Общие сведения .....	4
2 Подготовка задания на подбор состава бетона .....	5
3 Этапы подбора номинального состава бетона .....	6
4 Назначение и корректирование рабочих составов бетона .....	9
Индивидуальные задания .....	13
Нормативные документы .....	15
Приложение А Форма карты подбора состава тяжелого бетона .....	16
Приложение Б Пример выполнения расчета состава тяжелого бетона с добавками .....	18
Приложение В Ориентировочный расход воды на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси	21

## 1 Общие сведения

Подбор составов тяжелого и мелкозернистого бетона выполняют по правилам ГОСТ 27006-2019 с обязательным выполнением требований, изложенным в ГОСТ 26633-2015 и ГОСТ 31384-2017. Состав бетонов подбирают поэтапно.

На первом этапе выполняют подбор **начального состава бетона** (основной и дополнительные), который рассчитывается теоретически и после экспериментальной проверки используется для назначения номинального состава бетона.

**Номинальный состав бетона**, определяющий расход материалов фиксированного качества для изготовления 1 м<sup>3</sup> бетона заданного качества, должен обеспечивать после твердения в определенных условиях в проектном возрасте (и других нормируемых возрастах) получение бетона, соответствующего всем нормируемым показателям качества.

В условиях действующего производства назначают **рабочий состав бетона**, полученный из номинального состава путем его корректирования, учитывающего отличия фактических показателей качества материалов, применяемых для изготовления бетонной смеси, от показателей качества материалов, использованных при подборе номинального состава бетона.

Подбор составов бетона необходимо проводить при организации нового производства, изменении нормируемых показателей качества бетона и его составляющих и при разработке производственных норм расхода материалов.

Состав бетона подбирают в целях получения бетонной смеси с заданными технологическими показателями и бетона с прочностью и другими нормируемыми показателями качества, установленными в задании на подбор состава бетона в соответствии с проектной и технологической документацией на изготовление этих изделий или конструкций.

## 2 Подготовка задания на подбор состава бетона

Задание на подбор состава бетона должно содержать:

- назначение бетона (изготовление сборных изделий, монолитных конструкций, товарного бетона);
- условия твердения (до достижения промежуточного и/или проектного возраста);
- нормируемые технологические показатели качества бетонных смесей по ГОСТ 7473 (удобоукладываемость, воздухововлечение и др.);
- нормируемые показатели качества бетона по ГОСТ 26633;
- ограничения по составу бетона и применяемых материалов по ГОСТ 31384;
- параметры оптимизации.

Состав бетона подбирают на **нормативную прочность проектного класса бетона** или другую обоснованную прочность. Нормативная прочность проектного класса бетона – это средняя кубиковая прочность бетона, соответствующая его классу с обеспеченностью 0,95 (для тяжелого и мелкозернистого) при коэффициенте вариации  $v = 13,5 \%$  или с обеспеченностью 0,9 (для гидротехнического бетона) при коэффициенте вариации  $v = 17 \%$ .

В задании на подбор состава бетона следует назначать критерии оптимизации, по которым выбирают номинальные составы бетона, обеспечивающие все нормируемые показатели качества бетонных смесей и бетонов.

В качестве критериев оптимизации могут быть выбраны:

- технологические характеристики бетонных смесей;
- физико-механические характеристики бетона;
- технико-экономические показатели производства.

Задание на подбор состава бетона должно быть утверждено заказчиком или проектной организацией объекта строительства.

### 3 Этапы подбора номинального состава бетона

Подбор номинального состава бетона заданного качества по ГОСТ 7473 выполняют по следующим этапам:

- выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;

- расчет начального основного состава;

- расчет начальных дополнительных составов бетона;

- изготовление опытных замесов из начального и дополнительных составов:

- отбор проб для испытания бетонной смеси и изготовления контрольных образцов.

- испытание бетона для определения нормируемых показателей качества;

- обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава бетона на нормируемые показатели качества:

- назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества.

Пробы материалов отбирают в объеме, необходимом для подбора номинального состава бетона. Отобранные **пробы заполнителей высушивают до постоянной массы и просеивают** с отсевом от мелкого заполнителя зерен крупнее 5 мм. а от крупного заполнителя – мельче 5 мм.

Начальный основной состав бетона рассчитывают по фактическим характеристикам материалов в соответствии с методиками, пособиями и рекомендациями, утвержденными в установленном порядке.

В качестве варьируемых параметров состава принимают параметры, оказывающие существенное влияние на свойства бетонной смеси и нормируемые показатели качества бетона. Например, для тяжелого бетона – Ц/В отношение, доля песка в смеси заполнителей и расход добавки. При

этом для каждого вида бетона устанавливают основной параметр, в большей мере влияющий на его прочность.

Начальные дополнительные составы рассчитывают аналогично начальному основному составу при значениях варьируемых параметров состава, отличающихся от принятых при расчете начального основного состава в меньшую и большую сторону на 15 % – 30 %. Число дополнительных составов должно быть не менее двух.

После получения бетонной смеси с заданными свойствами определяют её фактическую среднюю плотность  $\rho_{см}^{\phi}$  по ГОСТ 10181 и для каждого состава рассчитывают фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона в уплотненном состоянии (с учетом нормируемого воздухововлечения) по формулам:

$$Ц = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + В' + П' + Щ' + Д'} \cdot Ц', \quad (1)$$

$$В = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + В' + П' + Щ' + Д'} \cdot В', \quad (2)$$

$$П = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + В' + П' + Щ' + Д'} \cdot П', \quad (3)$$

$$Щ = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + В' + П' + Щ' + Д'} \cdot Щ', \quad (4)$$

$$Д = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + В' + П' + Щ' + Д'} \cdot Д', \quad (5)$$

где  $Ц, В, П, Щ, Д$  – расход цемента, воды, мелкого заполнителя, крупного заполнителя и добавки соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$Ц', В', П', Щ', Д'$  – масса цемента, воды, мелкого заполнителя, крупного заполнителя и добавки в замесе, кг.

Из составов бетонной смеси изготавливают контрольные образцы бетона и определяют их прочность по ГОСТ 10180 в заданном возрасте. В зависимости от условий твердения бетона изделий или конструкций для разрабатываемых составов бетона назначают режимы твердения контрольных образцов:

- изделий сборного железобетона – контрольные образцы твердеют по температурно-влажностному режиму, принятому в технологии изготовления данных изделий;

- монолитных конструкций и товарного бетона – контрольные образцы твердеют в нормальных условиях.

По результатам испытаний бетонной смеси и бетона основных и дополнительных начальных составов строят **базовые зависимости прочности бетона от Ц/В отношения** в 3-, 7- и 28-суточном возрасте для бетона монолитных конструкций и прочности бетона, прошедшего тепловую обработку, от Ц/В отношения по отпускной (передаточной) и проектной (28-суточной) прочности изделий сборного железобетона (рисунок 1).

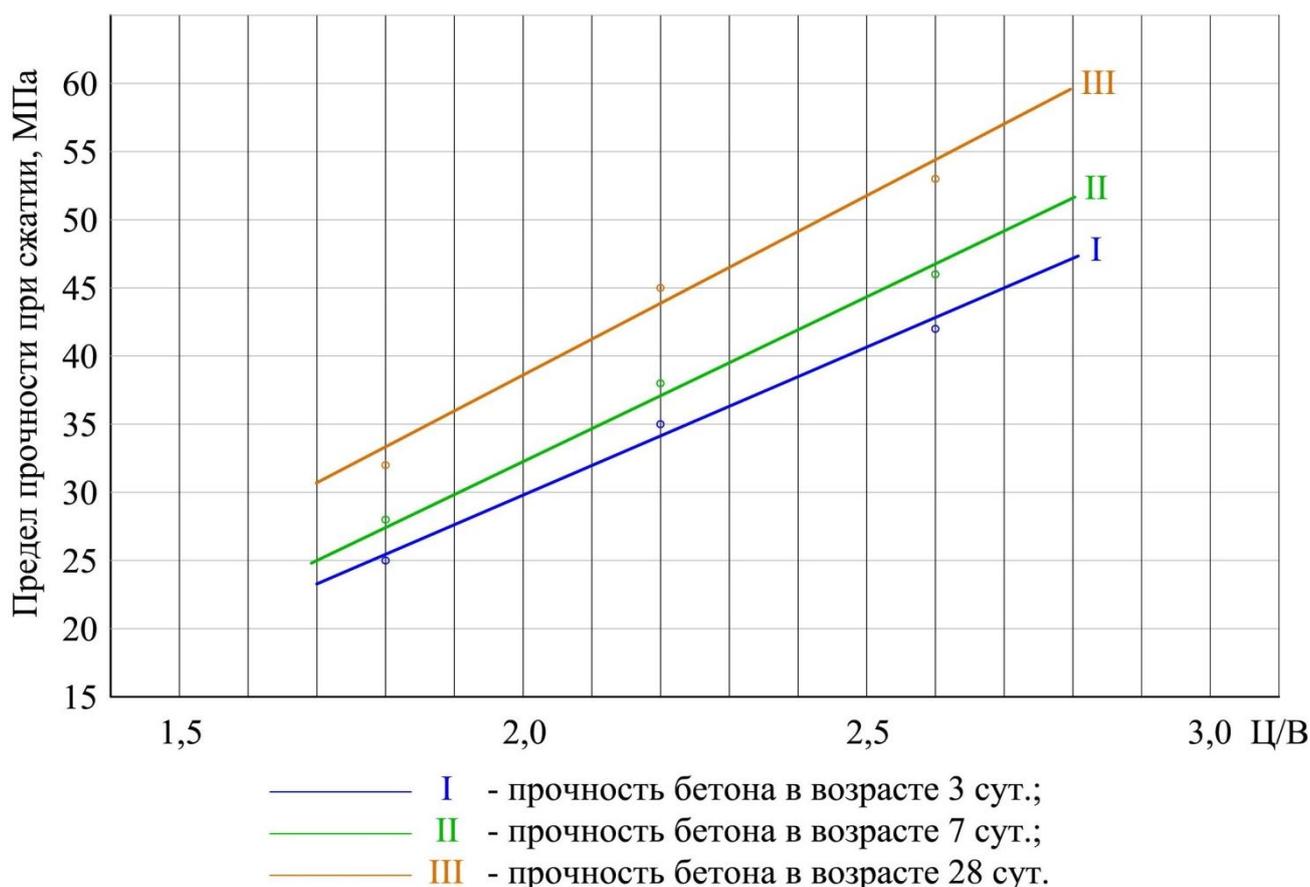


Рисунок 1 - Зависимость прочности бетона от Ц/В отношения

Полученные зависимости используют для назначения и корректирования номинальных составов бетона, обеспечивающего нормируемые требования по прочности в промежуточном и проектном возрастах. а также для разработки производственных норм расхода материалов.

В случае корректирования бетона для обеспечения требуемой прочности по ГОСТ 18105 состав бетона рассчитывают, используя разработанные зависимости.

По нормативной прочности проектного класса бетона, указанной в задании на подбор состава бетона, определяют Ц/В отношение и рассчитывают контрольный состав бетона, обеспечивающий нормируемые требования по прочности в промежуточном и проектном возрасте. При подтверждении соответствия контрольный состав принимается за номинальный.

Номинальный состав бетона, отвечающий всем нормируемым показателям по требованиям к материалам и бетонной смеси, указанным в задании на подбор состава, используют для назначения рабочего состава бетона.

#### **4 Назначение и корректирование рабочих составов бетона**

При назначении рабочего состава бетона необходимо учитывать фактические характеристики конкретных материалов, которые будут использованы при производстве бетона:

- прочность цемента;
- содержание пылевидных и глинистых частиц в заполнителе;
- влажность заполнителей;
- содержание крупного заполнителя в мелком;
- содержание мелкого заполнителя в крупном.

Назначение и корректирование рабочих составов бетона следует выполнять по блок-схеме, представленной на рисунке 2.

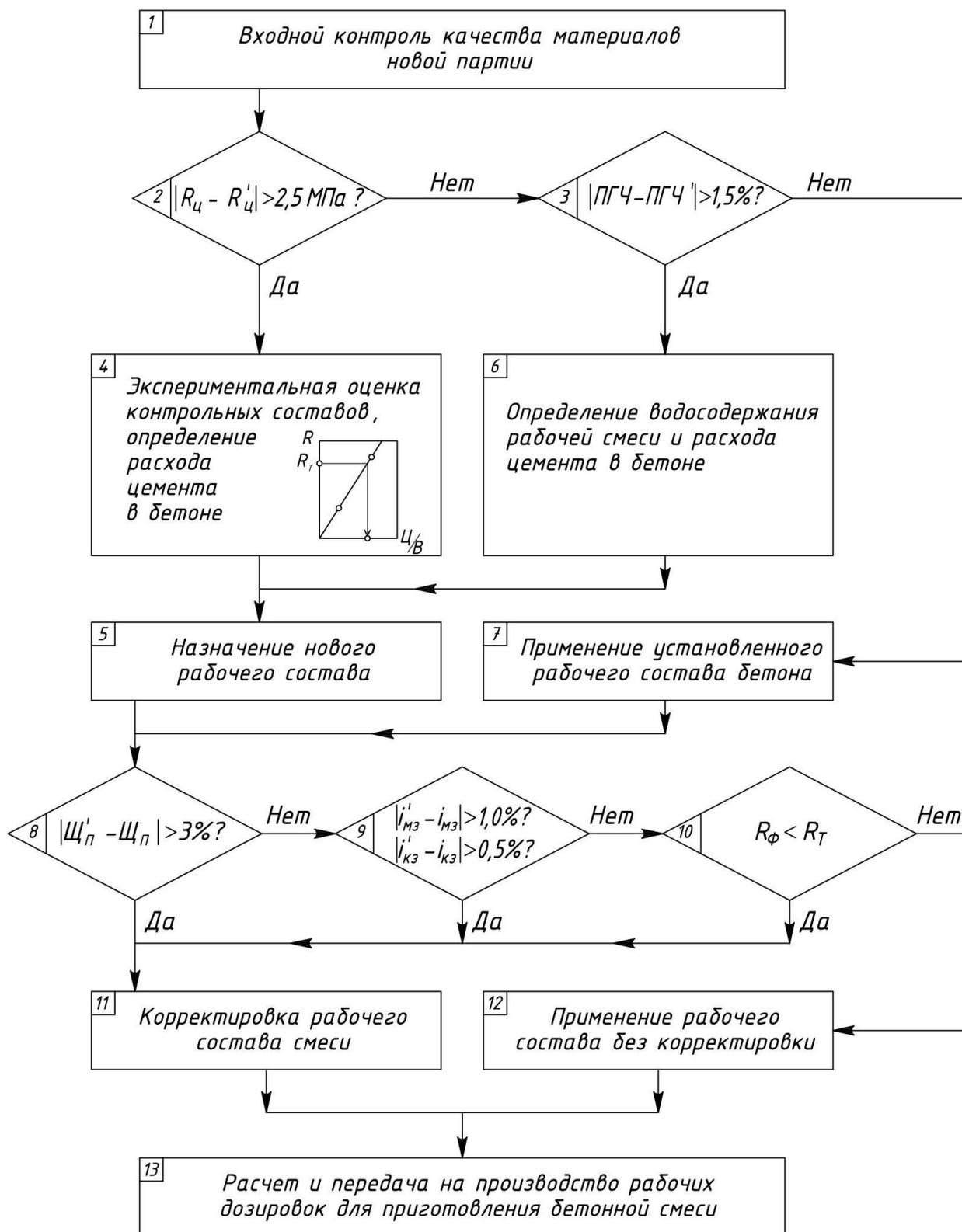


Рисунок 2 – Блок-схема назначения и корректирования рабочих составов бетона

Назначение нового рабочего состава бетона проводят, если по данным входного контроля установлены изменения качества поступивших материалов по сравнению с применяемыми ранее более чем на:

- 2,5 МПа - фактической прочности цемента;
- 1,5 абс.% - нормальной густоты цементного теста;
- 1,5 абс.% - содержания пылевидных и глинистых частиц.

Корректирование рабочего состава проводят, если по данным входного контроля новых партий материалов и операционного контроля производства установлено изменение качества материалов или качества получаемой бетонной смеси более чем на:

- 3,0 % – содержание песка в щебне или щебня в песке;
- 1,0 % – влажность мелкого заполнителя;
- 0,5 % – влажность крупного заполнителя.

Назначение и корректирование рабочих составов проводят на основании зависимостей между параметрами состава бетона «Прочность – Ц/В отношение», установленными при подборе номинального состава.

Когда материалы, применяемые на производстве, по своим показателям качества не отличаются от использованных в лабораторных замесах, в рабочих составах учитывают только фактическую влажность заполнителей. При этом расход цемента в бетоне сохраняют по начальному номинальному составу, а расход воды и заполнителей, кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формулам:

$$B_1 = B_0 - \frac{W_n \cdot \Pi_0 + W_{щ} \cdot \Psi_0}{100}, \quad (6)$$

$$\Pi_1 = \Pi_0 \cdot \left(1 + \frac{W_n}{100}\right), \quad (7)$$

$$\Psi_1 = \Psi_0 \cdot \left(1 + \frac{W_{щ}}{100}\right), \quad (8)$$

где  $B_1$ ,  $\Pi_1$ ,  $\Psi_1$  – расход воды, мелкого и крупного заполнителей соответственно, кг/м<sup>3</sup>, в рабочем составе бетона;

$V_0, P_0, W_0$  – расход воды, мелкого и крупного заполнителей соответственно, кг/м<sup>3</sup>, в номинальном составе бетона;

$W_{п}, W_{щ}$  – влажность мелкого и крупного заполнителей соответственно, %.

Корректирование рабочих составов бетона следует выполнять при наличии крупного заполнителя в партиях мелкого заполнителя или мелкого заполнителя в партиях крупного заполнителя. Скорректированные расходы заполнителей, кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формулам:

$$P_{кор} = P_0 - \frac{W_{п} \cdot P_0}{100} + \frac{P_{щ} \cdot W_0}{100}, \quad (9)$$

$$W_{кор} = W_0 - \frac{P_{щ} \cdot W_0}{100} + \frac{W_{п} \cdot P_0}{100}, \quad (10)$$

где  $P_{кор}, W_{кор}$  – расход мелкого и крупного заполнителей соответственно, кг/м<sup>3</sup>, после корректирования;

$W_{п}$  – процентное содержание крупного заполнителя в мелком, %;

$P_{щ}$  – процентное содержание мелкого заполнителя в крупном, %.

Результаты подбора состава бетона оформляются в виде **карты подбора состава** и утверждаются руководством изготовителя бетонной смеси по установленной форме (Приложение А).

### Индивидуальные задания

**Выполнить расчет состава бетона для железобетонных изделий и конструкций и обосновать выбор добавок для бетонной смеси**

Номер	Вид железобетонных изделий и конструкций, способ формования	Марка бетонной смеси по ГОСТ 7473	Марка цемента по ГОСТ 10178 Класс цемента по ГОСТ 31108, ГОСТ 22266	Температурный режим твердения, °С
1	Плиты перекрытия сплошного сечения, формируемые на стационарных формовочных столах по стендовой безвибрационной технологии	БСТ В25 П5 F <sub>150</sub>	ПЦ 500-Д5	ТО при T=60 °С
2	Монолитная плита перекрытия сплошного сечения, бетонированная по безвибрационной технологии бетононасосом с бетонораспределительной стрелой	БСМ В30 ( $R_m^T \geq 38$ МПа) П5	ПЦ 500-Д5	От минус 5 до плюс 10
3	Предварительно напряженные многослойные плиты перекрытия, формируемые по безопалубочной технологии на длинных стендах	БСТ В30 П1 F <sub>150</sub>	ЦЕМ I 42,5Н	ТО при T=60 °С
4	Монолитный плитный ростверк, бетонированный автобетононасосом с бетонораспределительной стрелой	БСМ В30 ( $R_m^T \geq 38$ МПа) П4	ПЦ 500-Д5	От минус 5 до плюс 5
5	Преднапряженные железобетонные фермы длиной 24 м, формируемые в индивидуальных силовых формах по стендовой технологии	БСТ В40 П3 F <sub>100</sub>	ЦЕМ I 42,5Н	ТО при T=60 °С
6	Монолитная несущая железобетонная стена цокольного этажа, бетонированная с помощью неповоротного переносного бункера	БСМ В25 ( $R_m^T \geq 32$ МПа) П4 F <sub>100</sub> W4	ПЦ 500-Д0	От плюс 10 до плюс 20
7	Преднапряженные стропильные балки длиной 18 м, формируемые в индивидуальных силовых формах по стендовой технологии в условиях полигона	БСТ В35 П3 F <sub>100</sub>	ПЦ 500-Д0	ТО при T=60 °С
8	Монолитная железобетонная буронабивная свая, бетонированная бетононасосом с бетонораспределительной стрелой	БСМ В25 ( $R_m^T \geq 32$ МПа) П3 F <sub>100</sub> W6	ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС	От плюс 15 до плюс 25
9	Преднапряженные стойки опор контактной сети, формируемые на постах агрегатно-поточной линии методом центрифугирования	БСТ В40 П2 F <sub>1200</sub> W10	ЦЕМ I 42,5Н	ТО при T=70 °С
10	Монолитная лестница для крыльца бассейна, бетонированная с помощью поворотного переносного бункера	БСМ В20 ( $R_m^T \geq 26$ МПа) П3 F <sub>100</sub> W4	ПЦ 400-Д0	От плюс 5 до плюс 15
11	Панели внутренних стен, формируемые по кассетной технологии	БСТ В15 П3	ЦЕМ II/A-П 32,5Н	ТО при T=90 °С
12	Монолитная железобетонная буронабивная свая, бетонированная бетононасосом с бетонораспределительной стрелой	БСМ В20 ( $R_m^T \geq 26$ МПа) П4 F <sub>175</sub> W4	ЦЕМ I 42,5Н	От плюс 10 до плюс 20

13	Преднапряженные аэродромные плиты, формируемые на постах агрегатно-поточной линии	БСТ В45 П1 F <sub>2300</sub> W12 G1	ЦЕМ I 42,5Н	ТО при T=60 °С
14	Монолитная опора квадратного сечения для крыльца бассейна, бетонированная с помощью поворотного переносного бункера	БСМ В20 ( $R_m^T \geq 26$ МПа) П3 F <sub>1100</sub> W4	ЦЕМ I 42,5Н	От плюс 15 до плюс 25
15	Преднапряженные подкрановые балки длиной 12 м, формируемые на постах полуконвейерной линии	БСТ В40 П2 F <sub>1100</sub>	ПЦ 500-Д5	ТО при T=70 °С
16	Монолитная железобетонная буронабивная свая, бетонированная бетононасосом с бетонораспределительной стрелой	БСМ В20 ( $R_m^T \geq 26$ МПа) П5 F <sub>175</sub> W4	ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС	От минус 5 до плюс 5
17	Диафрагмы жесткости, формируемые на постах агрегатно-поточной линии	БСТ В22,5 П2	ЦЕМ I 42,5Н	ТО при T=80 °С
18	Монолитная колонна для закрытого бассейна, бетонированная с помощью поворотного переносного бункера	БСМ В25 ( $R_m^T \geq 32$ МПа) П4 F <sub>175</sub> W4	ЦЕМ I 42,5Н	От минус 5 до плюс 10
19	Фундаментные балки длиной 6 м, формируемые на постах агрегатно-поточной линии	БСТ В30 П3 F <sub>1100</sub>	ПЦ 500-Д0	ТО при T=80 °С
20	Ригели железобетонные длиной 6 м, формируемые на постах полуконвейерной линии	БСТ В40 П2 F <sub>1100</sub>	ЦЕМ I 42,5Н	ТО при T=70 °С
21	Преднапряженные дорожные плиты, формируемые на постах агрегатно-поточной линии	БСТ В35 П1 F <sub>2300</sub> W12 G1	ЦЕМ I 42,5Н	ТО при T=60 °С

**При расчете состава бетона и обосновании выбора добавок необходимо:**

- 1 Описать условия эксплуатации железобетонных конструкций и определить класс среды эксплуатации по ГОСТ 31384-2017.
- 2 Выбрать и описать механизм действия добавок и их влияние на технологию производства конструкции.
- 3 Выполнить расчет состава бетона с добавками.

Пример выполнения расчета состава тяжелого бетона с добавками приведен в Приложении Б.

## Нормативные документы

1 ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора состава.

2 ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

3 ГОСТ 31384-2017 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования.

4 ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.

5 ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний.

6 ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

7 ГОСТ 18105-2018 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

8 ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

9 ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия.

10 ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия.

11 ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия.

12 ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

13 ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.

14 ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

15 ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.

16 ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности.

## Приложение А

### Форма карты подбора состава тяжелого бетона

Утверждаю

*Представитель руководства*\_\_\_\_\_  
(должность ответственного лица)\_\_\_\_\_  
(наименование организации)\_\_\_\_\_  
(дата, подпись, печать)

#### 1 Проектные требования к бетону:

- нормативная прочность класса бетона В;
- марка по водонепроницаемости бетона W;
- марка по морозостойкости бетона F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>;
- марка по истираемости бетона G.

#### 2 Технологические требования к бетонной смеси:

- марка по удобоукладываемости на месте применения Ж, П;
- сохраняемость подвижности, ч. мин;
- объем вовлеченного воздуха V<sub>в</sub>, % (при необходимости);
- технологические показатели качества бетонной смеси;
- ограничения по технологическим показателям;
- режим твердения бетона.

#### 3 Характеристики составляющих бетона.

##### 3.1 Цемент:

- стандарт [вид, класс (марка)];
- наименование изготовителя и поставщика;
- нормальная плотность, %;
- сроки схватывания (ч. мин).

##### 3.2 Мелкий заполнитель:

- стандарт;
- наименование карьера – изготовителя и поставщика;
- класс и группа;
- модуль крупности песка;
- насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- истинная плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- содержание зерен пылевидных и глинистых частиц и глины в комках, %.

##### 3.3 Крупный заполнитель:

- стандарт;
- наименование карьера – изготовителя и поставщика;
- наименование породы;
- фракционный состав, мм;
- насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- средняя плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- водопоглощение, %;
- содержание зерен пылевидных и глинистых частиц и глины в комках, %;
- содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %;
- прочность (марка по дробимости);
- марка по морозостойкости F.

##### 3.4 Добавки (химическая, минеральная и/или органико-минеральная):

- техническая документация, по которой выпускают добавку (технические условия);
- условное обозначение;
- наименование изготовителя;
- концентрация (в случае рабочего водного раствора), %;
- расход добавки на 1 м<sup>3</sup> бетона, л (по рабочему составу) или кг (по сухому веществу).

#### 4 Расчетные начальные основной и дополнительные составы, кг/м<sup>3</sup>:

- Ц =
- В =
- П =
- Щ =
- Д =

- 5 **Результаты экспериментальной проверки** начальных основного и дополнительных составов на соответствие нормируемым технологическим характеристикам бетонной смеси.
- 6 **Изготовление и испытание контрольных образцов бетона** начальных (основного и дополнительных) составов для определения прочности.
- 7 **Определение номинального состава** по базовой зависимости «прочность – Ц/В отношение», обеспечивающего промежуточную и проектную прочность класса, кг/м<sup>3</sup>:
- Ц =
  - В =
  - П =
  - Щ =
  - Д =
- 8 **Результаты проверки номинального состава** на соответствие проектным требованиям по водонепроницаемости (ГОСТ 12730.5) и морозостойкости (ГОСТ 10060).
- 9 **Результаты корректирования номинального состава** показывают, что обеспечены все проектные характеристики бетона.
- 10 **Принятый номинальный состав**, кг/м<sup>3</sup>:
- Ц =
  - В =
  - П =
  - Щ =
  - Д =
- 11 **Заключение:** номинальный состав по пункту 10 настоящей карты обеспечивает её нормируемые в задании на подбор состава бетона технологические характеристики бетонной смеси и все нормируемые показатели качества бетона.

Зав. лабораторией \_\_\_\_\_ (ФИО)  
(или иные уполномоченные лица) \_\_\_\_\_ (подпись)

## Приложение Б

### Пример выполнения расчета состава тяжелого бетона с добавками

Номер	Вид железобетонных изделий и конструкций, способ формования	Марка бетонной смеси по ГОСТ 7473	Марка цемента по ГОСТ 10178 Класс цемента по ГОСТ 31108, ГОСТ 22266	Температурный режим твердения, °С
	Предварительно-напряженные плиты покрытия автодорог, формуемые на постах полуконвейерной линии	БСТ В35 П4 F <sub>200</sub> W8 G1	ПЦ 500-Д0	ТО при T=60 °С

#### 1 Описать условия эксплуатации железобетонных изделий и определить класс среды эксплуатации по ГОСТ 31384-2017

1.1 По заданию в качестве базового изделия принята предварительно напряженная плита покрытия автомобильных дорог по ГОСТ 21924.1.

Вследствие эксплуатации плит в агрессивных средах класса XF3 по ГОСТ 31384-2017 к изделию предъявляются повышенные требования по морозостойкости (F<sub>200</sub>), водонепроницаемости (W12) и истираемости (G1).

Основными техническими требованиями к изделию являются класс бетона по прочности В35, марка по морозостойкости F<sub>200</sub>, марка по водонепроницаемости W8, марка по истираемости G1. Для формования плит требуется бетонная смесь марки БСТ В35 П4 F<sub>200</sub> W8 G1 ГОСТ 7473.

1.2 Изделие армируется в продольном и поперечном направлении 22 предварительно напрягаемыми стержнями диаметром 24 мм класса А600 по ГОСТ 10884.

Отпускная прочность бетона после тепловой обработки должна составлять не менее 80 % проектной в теплый период года и не менее 90 % – в холодный.

#### 2 Выбрать и описать механизм действия добавок и их влияние на технологию производства продукции

2.1 Для обеспечения защиты бетона плит от коррозии по ГОСТ 31384 требуется обязательное одновременное использование воздухововлекающей добавки и суперпластификатора, поэтому принимается комплексная добавка на основе суперпластификатора ПФМ-НЛК в количестве 0,7 % массы цемента.

ПФМ-НЛК – это полифункциональная воздухововлекающая добавка-суперпластификатор на основе смеси натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы с добавлением воздухововлекающего и гидрофобизирующего компонента, обеспечивающая стабильное повышение морозостойкости. Добавка в виде водного раствора темно-коричневого цвета, имеющего концентрацию не менее 32 %. Рекомендуемая дозировка: 0,3...0,7 % массы цемента. Позволяет получать литые смеси и отказаться от дополнительных энергозатрат на уплотнение. При максимальной дозировке оказывает эффект замедления схватывания бетонной смеси, обеспечивая требуемую сохраняемость её первоначальной подвижности.

2.2 Воздухововлекающий компонент добавки ПФМ-НЛК – это поверхностно-активное органическое вещество, способствующее вовлечению в бетонную смесь при её интенсивном перемешивании мелкодисперсного воздуха размером 0,015...0,030 мм, равномерно распределенного в бетоне. Микропузырьки воздуха выполняют роль смазки и облегчают взаимное перемещение зерен заполнителей. Воздухововлекающий эффект добавок обеспечивается тем, что они вводятся в бетонную смесь в виде щелочных мыл, которые обладают пенообразующей способностью.

Механизм действия суперпластификатора заключается в том, что его частицы адсорбируются на поверхности цементных зерен и сообщают им отрицательный заряд. После адсорбции на поверхности зерен цемента полимеры начинают отталкиваться друг от друга – диспергировать частицы цемента. Продукты на основе конденсатов формальдегида и сульфированного меламина и нафталина диспергируют зерна цемента с помощью электростатического отталкивания.

Механизм действия гидрофобизирующих добавок состоит в том, что они при контакте с продуктами гидратации цемента осаждаются в виде мельчайших капелек на стенках мелких пор и капилляров, образуя гидрофобные покрытия. В результате этого возникает контакт, имеющий обратный угол, при котором силы поверхностного натяжения выталкивают воду из пор. Применение гидрофобизирующих добавок в цементных системах способствует формированию плотной и однородной структуры. Это выражается в уменьшении количества и размеров макропор (радиус пор менее 10 мкм), а также в их более равномерном распределении в массе цементного камня.

2.3 Применение комплексной добавки на основе суперпластификатора позволяет упростить технологию бетонирования конструкций, отказаться от вредного и энергоемкого оборудования для виброуплотнения бетонных смесей, что улучшает условия труда бетонщиков и снижает энерго- и трудозатраты.

Использование комплексной добавки ПФМ-НЛК в оптимальном количестве позволит получить высокоподвижные бетонные смеси требуемой удобоукладываемости и обеспечит достижение бетоном конструкций требуемых показателей назначения.

### 3 Выполнить расчет состава бетона с добавками

3.1 При расчете состава бетона для обеспечения защиты от коррозии должны быть выполнены требования ГОСТ 31384 (таблица Д.1) и ГОСТ 26633:

- минимальный класс по прочности В35;
- максимальное водоцементное отношение 0,5 (минимальное  $C/B = 2,0$ );
- минимальный расход цемента 320 кг/м<sup>3</sup>;
- минимальное воздухововлечение 4 %;
- крупный заполнитель с необходимой морозостойкостью F200;
- обязательное одновременное использование воздухововлекающей добавки и суперпластификатора.

Требуемая прочность бетона в проектном возрасте  $R_T$  определяется по формуле:

$$R_T = K_T B_{норм}, \quad (1)$$

где  $K_T$  – коэффициент требуемой прочности бетона, принимаемый согласно ГОСТ 18105-2010 в зависимости от выбранной схемы контроля;

$B_{норм}$  – проектный класс прочности бетона, МПа.

При условии, что на предприятии для контроля прочности будет принята схема А и средний коэффициент вариации прочности бетона  $\bar{V} = 13,5$  %, коэффициент требуемой прочности бетона  $K_T = 1,3$  (таблица 2 ГОСТ 18105).

$$R_T = 1,3 \cdot 35 = 45,5 \text{ МПа.}$$

Расход воды для бетонной смеси марки по удобоукладываемости П4 (ОК = 16 – 20 см) без учета добавок принимается по рекомендациям (Приложение В):

$$B_o = 230 \text{ л/м}^3.$$

Водопотребность бетонной смеси с эффективной комплексной добавкой ПФМ-НЛК сокращается на 20 %, поэтому расчетный расход воды уменьшится на 46 л/м<sup>3</sup> и составит  $B_p = 184 \text{ л/м}^3$ .

При условии, что минимальное  $C/B = 2,0$ , расчетный расход цемента  $C_p$ , кг/м<sup>3</sup>, составит:

$$C_p = B \cdot C/B. \quad (2)$$

$$C_p = 184 \cdot 2,0 = 368 \text{ кг/м}^3.$$

Расход крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{\alpha \cdot V_{пщ} + 1}{\rho_{нщ}} + \frac{1}{\rho_{щ}}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  - коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя;

$V_{пщ}$  – межзерновая пустотность крупного заполнителя;

$\rho_{нщ}$  – насыпная плотность крупного заполнителя, т/м<sup>3</sup>;

$\rho_{щ}$  – средняя плотность крупного заполнителя (в куске), т/м<sup>3</sup>.

$$Щ = \frac{1000}{\frac{1,26 \cdot 0,47}{1,42} + \frac{1}{2,66}} = 1261 \text{ кг/м}^3.$$

Расход мелкого заполнителя, кг/м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$П = \left( 1000 - \frac{C}{\rho_c} - B - \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right) \cdot \rho_{п}, \quad (4)$$

где  $\rho_c$  - истинная плотность цемента, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{п}$  - истинная плотность песка, г/см<sup>3</sup>.

$$П = \left( 1000 - \frac{368}{3,1} - 184 - \frac{1261}{2,66} \right) \cdot 2,65 = 592 \text{ кг/м}^3.$$

3.2 Расчетная плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии, кг/м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$\rho_{БС} = C + B + Щ + П \quad (5)$$

$$\rho_{БС} = 368 + 184 + 1261 + 592 = 2405 \text{ кг/м}^3.$$

3.3 Состав бетонной смеси для базовой продукции с учетом потерь материалов представлен в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Состав бетонной смеси марки БСТ В35 П4 F<sub>200</sub> W4 G1

Наименование материала, единица измерения	Норматив потерь, %	Расход	
		по расчету	с учетом потерь
Цемент ПЦ500-Д0, т	0,9	0,368	0,371
Вода, л	-	184	184
Песок, м <sup>3</sup>	1,9	0,43	0,44
Щебень, м <sup>3</sup>	1,55	0,89	0,90
Добавка ПФМ-НЛК (0,7 % цемента), кг	-	2,58	2,58

## Приложение В

### Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси (на плотных заполнителях при температуре смеси 20 °С)

Марка смеси	Показатели		Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при крупности заполнителя, мм							
	жесткость, с	подвижность, см	гравия				щебня			
			10	20	40	70	10	20	40	70
Ж4	31 и >	-	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж3	21...30	-	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж2	11...20	-	165	150	135	130	175	165	155	150
Ж1	5...10	-	175	160	145	140	185	175	160	155
П1	1...4	4 и <	190	175	160	155	200	190	175	170
П2	-	5...9	200	185	170	165	210	200	185	180
П3	-	10...15	215	205	190	180	225	215	200	190
П4	-	16 и >	225	220	205	195	235	230	215	205

Примечания. 1. Данные для смесей на портландцементе с нормальной плотностью цементного теста 26...28 % и песке с модулем крупности  $M_k = 2,0$ .

2. При изменении нормальной плотности теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды следует уменьшать на 3...5 л/м<sup>3</sup>, а в большую – увеличивать на то же значение.

3. При изменении модуля крупности песка в меньшую сторону на каждые 0,5 его значения необходимо увеличивать, а в большую сторону – уменьшать расход воды на 3...5 л/м<sup>3</sup>.