

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Ростовский государственный строительный университет»

Утверждено на заседании кафедры  
технологии вяжущих веществ,  
бетонов и строительной керамики  
«14» октября 2011 г.

## **РАСЧЕТ СОСТАВА ОБЫЧНОГО БЕТОНА**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к курсовой работе по дисциплине «Технология бетона, строительных  
изделий и конструкций»

Ростов-на-Дону

2012

УДК 666. 972. 07

Расчет состава обычного бетона: методические указания к курсовой работе по курсу «Технология бетона, строительных изделий и конструкций». – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2012. – 32 с.

Определены задачи и состав курсовой работы, приведена методика и порядок расчетов состава бетона, требования к содержанию и оформлению разделов пояснительной записки, а также справочные данные, необходимые для выполнения работы.

Предназначены для студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 270800 "Строительство", профиль подготовки "Производство строительных материалов, изделий и конструкций"

Составители: д-р. техн. наук, проф. Г.В. Несветаев,  
канд. техн. наук, доц. Г.В. Чмель

Рецензенты: коллектив кафедры ТВВБиСК

Редактор Н.Е. Гладких

Темплан 2012 г., поз. 105

---

Подписано в печать 29.05.2012. Формат 60х84/16.

Бумага писчая. Ризограф. Уч. - изд. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ

---

Редакционно-издательский центр

Ростовского государственного строительного университета

344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

## **Введение**

Курсовая работа по технологии бетонных и железобетонных изделий выполняется студентами специальности 290600 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» в сроки, предусмотренные календарным планом.

Цель курсовой работы – изучить нормативные требования и освоить методику технологических расчетов, связанных с проектированием состава бетонных смесей, оценкой качества бетона и повышением эффективности железобетонных изделий.

Курсовая работа в виде расчетно-пояснительной записки должна включать в себя следующие разделы:

1. Расчет состава обычного бетона;
2. Пересчеты состава бетона;
3. Статистический контроль прочности бетона;
4. Оптимальное планирование производства.

Расчетно-пояснительная записка к курсовой работе должна содержать решения всех задач, предусмотренных заданием. Вычисления и расчеты в записке должны сопровождаться необходимыми пояснениями и ссылками на соответствующие нормативные документы и литературные источники. Ответы на отдельные задания необходимо проиллюстрировать графиками.

Выполненная курсовая работа представляется на кафедру для проверки и последующей защиты.

Пояснительная записка выполняется рукописным способом в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам».

## 1 Расчет состава бетона

### 1.1 Выбор рационального для данного изделия вида цемента

Рациональный вид цемента для бетона с учетом назначения заданного изделия и условий эксплуатации устанавливается на основании указаний ГОСТ 23464 (таблица 1 приложения 1).

Истинная и насыпная плотности вяжущего принимаются для портландцемента: истинная плотность –  $\rho_{ц} = 3,0 - 3,2 \text{ г/см}^3$ ;

насыпная плотность –  $\rho_{нц} = 1100 - 1200 \text{ кг/м}^3$ .

### 1.2 Определение соответствия гранулометрического состава заполнителей требованиям ГОСТ, установление группы песка и вычисление пустотности заполнителей

Гранулометрический состав мелкого заполнителя для бетона характеризуется данными, представленными в таблице 1.

Таблица 1 - Гранулометрический состав песка

Размер отверстий контрольных сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Частный остаток, %					
Полный остаток, %					

Модуль крупности песка:

$$M_k = \frac{\sum A}{100}, \quad (1)$$

где  $\sum A$  – сумма полных остатков на контрольных ситах, %.

В соответствии с ГОСТ 8736-93 песок относится к группе ....., так как модуль крупности  $M_k$ .....(таблица 2 приложение 1).

Зерновой состав песка представлен на рисунке 1.

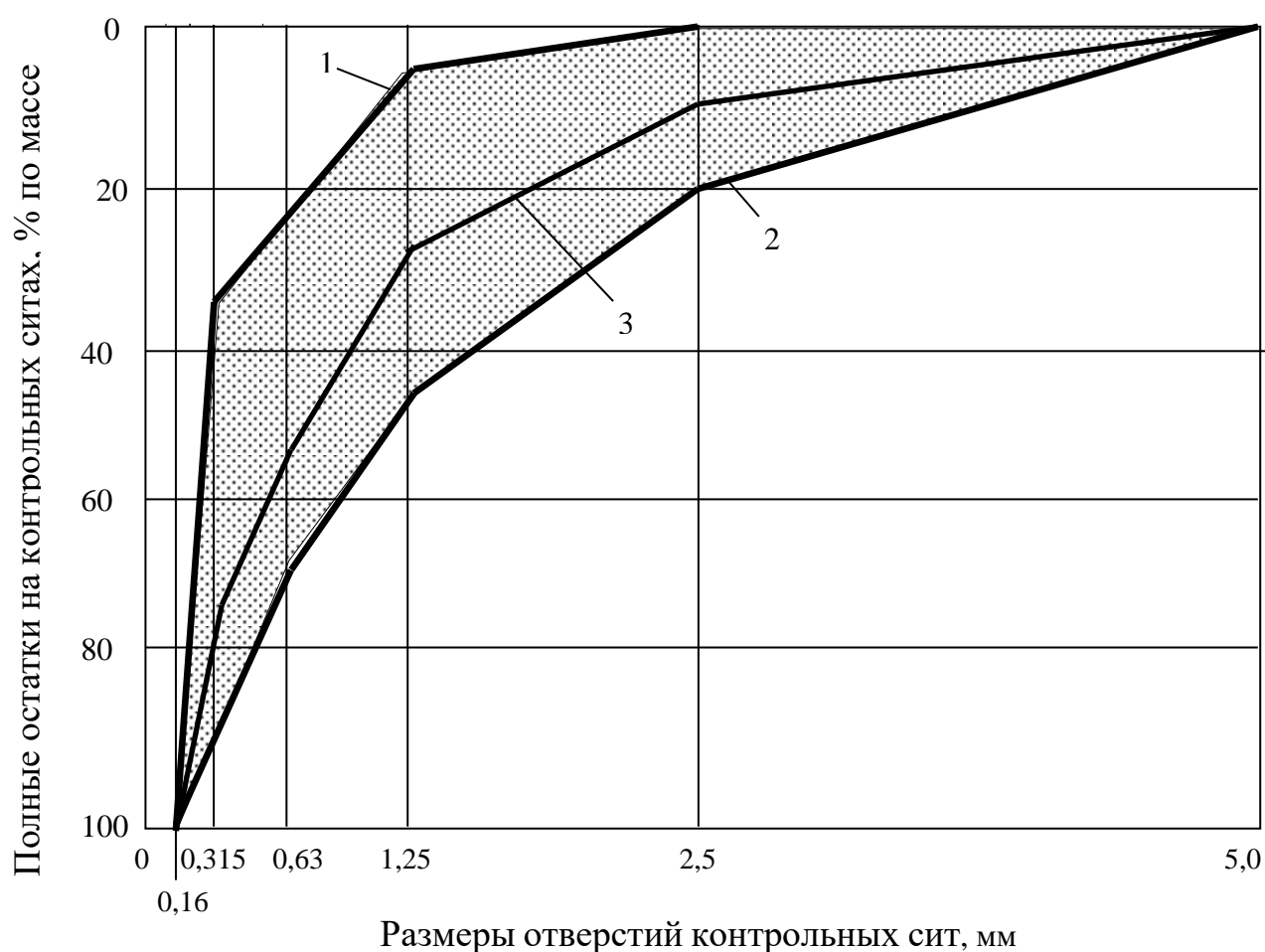


Рисунок 1 – График гранулометрического состава песка:

- 1 – допустимая нижняя граница для песка с модулем крупности  $M_k=1,5$ ;
- 2 – допустимая верхняя граница для песка с модулем крупности  $M_k= 3,25$ ;
- 3 – кривая просеивания песка заданного состава с модулем крупности  $M_k = \dots$  (фактическое значение, рассчитанное по формуле (1))

Зерновой состав песка соответствует (не соответствует) требованиям ГОСТ 26633 к зерновому составу мелкого заполнителя.

Гранулометрический состав крупного заполнителя представлен в таблице 2

Таблица 2 - Гранулометрический состав щебня (гравия)

Размер отверстий контрольных сит, мм	40	20	10	5
Частный остаток, %				
Полный остаток, %				

В соответствии с ГОСТ 8267-93 щебень (гравий) нефракционированный, наибольшая крупность  $D = \dots$  мм.

Зерновой состав крупного заполнителя представлен на рисунке 2.

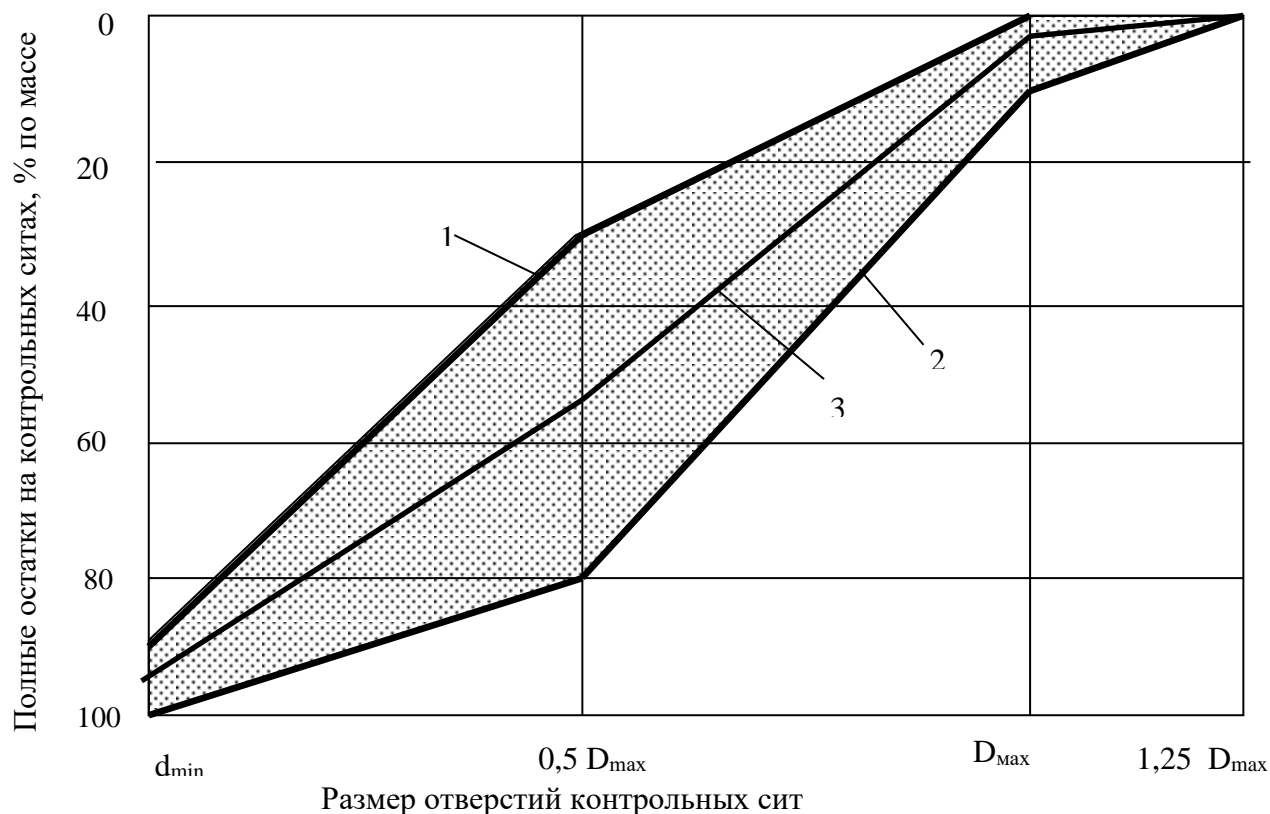


Рисунок 2 – График гранулометрического состава щебня (гравия):

- 1 – допустимая нижняя граница для крупного заполнителя;
- 2 – допустимая верхняя граница для крупного заполнителя;
- 3 – кривая просеивания щебня (гравия) заданного состава

Зерновой состав крупного заполнителя соответствует (не соответствует) требованиям ГОСТ к зерновому составу крупного заполнителя.

Определение межзерновой пустотности заполнителей:

$$\text{песка} - v_{nn} = 1 - \frac{\rho_{nn}}{\rho_n \cdot 1000}; \quad (2)$$

$$\text{щебня (гравия)} - v_{nc} = 1 - \frac{\rho_{nc}}{\rho_{cc} \cdot 1000}, \quad (3)$$

где  $\rho_{нп}, \rho_{нщ}$  – насыпные плотности в сухом состоянии соответственно мелкого и крупного заполнителей, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_n, \rho_{щ}$  – истинная плотность песка, плотность щебня в куске, г/см<sup>3</sup>.

1.3 Определение величины цементно-водного отношения, необходимой для получения бетона требуемой прочности

1.3.1 Расчет величины среднего контролируемого уровня прочности бетона для заданного класса прочности производится по формуле:

$$R_b = \frac{B}{1 - tv} = \frac{B}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = \frac{B}{0,778}, \quad (4)$$

где  $B$  – численное значение класса бетона по прочности, МПа;

$R_b$  – средний контролируемый уровень прочности или средняя прочность бетона, МПа;

$t$  – статистический коэффициент (при 95 % обеспеченности  $t=1,64$ );

$v$  – коэффициент вариации прочности бетона (принимается среднеотраслевое или нормативное значение  $v=13,5$  %).

1.3.2 Величина цементно-водного отношения вычисляется по обобщенной формуле Боломея-Скрамтаева

$$R_b = A \cdot R_u (C / B \pm B), \quad (5)$$

где  $R_b$  – средняя прочность бетона, МПа;

$R_u$  – активность используемого цемента, МПа;

$A$  – коэффициент, назначаемый в зависимости от качества заполнителей и особенностей состава бетона, принимаем  $A=.....$  (таблица 3, приложения 1);

$B$  – эмпирический коэффициент, принимаем  $B=0,5$ .

Определение знака при коэффициенте  $B$  в уравнении прочности:

если  $R_b \leq 2A R_u$  или  $R_b \leq 1,2 R_u$  (т.к. среднее значение коэффициента  $A = 0,6$ ),

то формула 5 используется с «-  $B$ »;

если  $R_b > 1,2 R_u$ , то формула 5 используется с «+  $B$ »

Расчет величины цементно-водного отношения:

$$Ц / B = \frac{R_b}{AR_u} \pm B \quad (6)$$

1.4 Назначение марки бетонной смеси по удобоукладываемости в зависимости от вида изделия и способа его формирования (таблица 4 приложение 1)

Для изготовления ..... (указать вид изделия и способ формирования) необходимо использовать бетонную смесь с ..... (указать требуемую подвижность или жесткость бетонной смеси), т. е. марка по удобоукладываемости .....

1.5 Установление ориентировочного расхода воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси принятой удобоукладываемости

Водосодержание бетонной смеси рассчитывается по следующей формуле:

$$B = B_0 + \sum \Delta B_i, \quad (7)$$

где  $B_0$  – ориентировочное водосодержание, назначаемое по таблице 5 приложения 1 в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси и водопотребности крупного заполнителя (вида и наибольшей крупности), л/м<sup>3</sup>;

$\sum \Delta B_i$  – поправки, учитывающие водопотребности вяжущего (по величине нормальной густоты цементного теста  $НГ$ ), мелкого заполнителя (по модулю крупности  $Мк$ ) и особенности состава бетона:

$\Delta B_1$  – поправка, учитывающая водопотребность цемента, рассчитывается

$$\text{по формуле: } \Delta B_1 = (НГ - 27) \cdot (3 \div 5); \quad (8)$$

$\Delta B_2$  – поправка, учитывающая водопотребность песка, рассчитывается по

$$\text{формуле: } \Delta B_2 = (2 - Мк) \cdot \frac{(3 \div 5)}{0,5}; \quad (9)$$

$\Delta B_3$  и  $\Delta B_4$  – поправки, учитывающие особенности состава бетона (см.

прим. к таблице 5 приложения 1).



1.6 Определение расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> свежесушеного бетона и сравнение его с минимальными расходами, установленными строительными нормами (таблица 6 приложения 1)

Расчет расхода цемента производится по формуле:

$$C = C/B \cdot B, \text{ кг/м}^3. \quad (10)$$

$C_{\min} = \dots\dots\dots$ , в дальнейших расчетах принимаем  $C = \dots\dots\dots$

1.7 Расчет расходов крупного и мелкого заполнителей на 1 м<sup>3</sup> бетона методом абсолютных объемов (расчетный состав бетона)

Расходы заполнителей рассчитываются по формулам:

$$S = \frac{1000}{\frac{\alpha v_{\text{нц}}}{\rho_{\text{нц}}} + \frac{1}{\rho_{\text{ц}}}}; \text{ кг/м}^3; \quad (11)$$

$$P = \left( 1000 - \frac{C}{\rho_{\text{ц}}} - B - \frac{S}{\rho_{\text{ц}}} \right) \cdot \rho_{\text{п}}, \text{ кг/м}^3, \quad (12)$$

где  $C, B, P, S$  – расходы компонентов бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (определяется по таблице 7 приложения 1, в зависимости от величин межзерновых пустотностей заполнителей);

$v_{\text{нц}}$  – межзерновая пустотность крупного заполнителя;

$\rho_{\text{нц}}$  – насыпная плотность крупного заполнителя в сухом состоянии, г/см<sup>3</sup>.

1.8 Проверки правильности подобранного состава бетона

1.8.1 Количество цемента из условия получения бетона литой структуры:

$$V_{\text{цт}} > 1.05 V_{\text{пн}}^*, \quad (13)$$

где  $V_{\text{цт}}$  – объем цементного теста, л:  $V_{\text{цт}} = \frac{C}{\rho_{\text{ц}}} + B; \quad (14)$

$V_{\text{пн}}^*$  – объем пустот в песке, л:  $V_{\text{пн}}^* = 0,9 v_{\text{пн}} \frac{P}{\rho_{\text{п}}} 1000, \quad (15)$

где 0,9 – коэффициент, учитывающий снижение пустотности песка при уплотнении бетонной смеси.

При невыполнении условия (13) следует произвести перерасчет состава бетона с учетом необходимости увеличения объема цементного теста и уменьшения объема пустот в песке.

1.8.2 Расчетная (предполагаемая) плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии вычисляется по формуле:

$$\rho_{BC} = Ц + В + Щ(\Gamma) + П. \quad (16)$$

Для обычных тяжелых бетонов средняя плотность бетонной смеси составляет 2350 - 2450 кг/м<sup>3</sup>.

1.8.3 Содержание вовлеченного воздуха (расчетное значение)

$$ВВ = (1000 - \frac{Ц}{\rho_{ц}} - В - \frac{Щ}{\rho_{щ}} - \frac{П}{\rho_{п}}) . \quad (17)$$

Определение расчетной величины воздухововлечения является итоговой проверкой "правильности" расчета состава бетона. В бетонных смесях без воздухововлечения значение величины ВВ должно стремиться к 0.

1.9 Расчет номинального состава бетона по массе и объему

При расчете номинальных составов бетона расход цемента принимается за единицу, все остальные компоненты записываются в долях по отношению к цементу.

Номинального состава бетона по массе:

$$ц : в : п : щ = 1 : \frac{В}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{Щ}{Ц} ; \quad (18)$$

Номинальный состав бетона по объему:

$$v_{ц} : v_{в} : v_{п} : v_{щ} = 1 : \frac{V_{в}}{V_{ц}} : \frac{V_{п}}{V_{ц}} : \frac{V_{щ}}{V_{ц}} , \quad (19)$$

где  $ц, в, п, щ$  – доли компонентов бетонной смеси по массе по отношению к цементу;

$v_{ц}, v_{в}, v_{п}, v_{щ}$  – доли компонентов бетонной смеси по объему по отношению к цементу;

$V_{ц}, V_{в}, V_n, V_{щ}$  – объемы компонентов бетонной смеси, л/м<sup>3</sup>, которые рассчитываются по формулам:

$$\text{- объем цемента} \quad V_{ц} = \frac{Ц}{\rho_{щ}} 1000 ; \quad (20)$$

$$\text{- объем мелкого заполнителя} \quad V_n = \frac{П}{\rho_{нп}} 1000 ; \quad (21)$$

$$\text{- объем крупного заполнителя} \quad V_{щ} = \frac{Щ}{\rho_{нщ}} 1000 . \quad (22)$$

1.10 Расчет производственного состава бетона, учитывающего естественную влажность заполнителей и определение дозировки сырьевых материалов на замес бетоносмесителя

1.10.1 Пересчет расхода влажных заполнителей с учетом их влажности

$$П^в = П \left( 1 + \frac{W_n}{100} \right) , \quad (23)$$

$$Щ^в = Щ \left( 1 + \frac{W_{щ}}{100} \right) , \quad (24)$$

где  $W_n, W_{щ}$  – влажности заполнителей, %

1.10.2 Расчет количества воды, содержащейся во влажных заполнителях

$$B_n = П^в - П ; \quad (25)$$

$$B_{щ} = Щ^в - Щ . \quad (26)$$

1.10.3 Пересчет количества воды затворения, необходимого для получения бетонной смеси определенной удобоукладываемости, с учетом естественной влажности заполнителей

$$B^в = B - B_n - B_{щ} . \quad (27)$$

1.10.4 Расчет коэффициента выхода бетона для расчета дозировки материалов на замес

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_n^в + V_{щ}^в} , \quad (28)$$

где  $V_n^в, V_{щ}^в$  – объемы влажных заполнителей, л/м<sup>3</sup>, которые рассчитываются по формулам:

$$V_n^6 = \frac{P^6}{\rho_{np}^6} 1000, \quad (29)$$

$$V_{щ}^6 = \frac{Щ^6}{\rho_{нщ}^6} 1000, \quad (30)$$

где  $\rho_{np}^6, \rho_{нщ}^6$  - насыпные плотности заполнителей во влажном состоянии, кг/м<sup>3</sup>

1.10.5 Расчет дозировки материалов на замес бетоносмесителя по загрузке (кг) производится по формулам:

$$Ц_{33} = \frac{Ц \cdot \beta \cdot V_{смз}}{1000}; \quad (31)$$

$$B_{33} = \frac{B^6 \cdot \beta \cdot V_{смз}}{1000}; \quad (32)$$

$$П_{33} = \frac{П^6 \cdot \beta \cdot V_{смз}}{1000}; \quad (33)$$

$$Щ_{33} = \frac{Щ^6 \cdot \beta \cdot V_{смз}}{1000}, \quad (34)$$

где  $V_{смз}$  – объем бетоносмесителя по загрузке, л.

1.10.6 Расчет дозировки материалов на замес бетоносмесителя по готовому продукту, кг

$$Ц_{32} = \frac{Ц \cdot V_{смг}}{1000}; \quad (35)$$

$$B_{32} = \frac{B^6 \cdot V_{смг}}{1000}; \quad (36)$$

$$П_{32} = \frac{П^6 \cdot V_{смг}}{1000}; \quad (37)$$

$$Щ_{32} = \frac{Щ^6 \cdot V_{смг}}{1000}, \quad (38)$$

где  $V_{смг}$  – объем бетоносмесителя по готовому продукту, л.

## 2 Пересчеты состава бетона

### 2.1 Определение предполагаемой прочности бетона в $n$ -суточном возрасте.

Предполагаемая прочность бетона в определенном возрасте (отличном от эталонного, т.е. 28 сут) рассчитывается с помощью логарифмической зависимости между прочностью и возрастом бетона (если  $n < 28$  сут).

$$\frac{R_{28}}{R_n} = \frac{\lg 28}{\lg n} \rightarrow R_n = \frac{R_{28} \cdot \lg n}{\lg 28}, \quad (39)$$

либо по экспоненциальной зависимости (если  $n > 28$  сут.):

$$R_n = R_{28} \exp \left( b \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{n}} \right) \right), \quad (40)$$

где  $R_{28}$  – прочность бетона в эталонном возрасте, МПа;

$R_n$  – прочность бетона в заданном возрасте, МПа;

$b$  – коэффициент, равный 0,2 – для быстро твердеющих, 0,25 – для нормально твердеющих, 0,33 – для медленно твердеющих бетонов;

$n$  – возраст твердения бетона, сут.

2.2 Определение изменения расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона в случае формирования изделий из бетонной смеси, с изменившейся удобоукладываемостью (прочность бетона должна быть неизменной)

Изменение удобоукладываемости влечет за собой изменение водопотребности бетонной смеси, которая определяется с помощью формулы:

$$B_2 = (B_0)_2 + \sum \Delta B_i, \quad (41)$$

где  $(B_0)_2$  – ориентировочная водопотребность бетонной смеси с изменившейся удобоукладываемостью.

Изменение водосодержания бетонной смеси приводит к изменению расхода цемента:

$$C_2 = C/B \cdot B_2. \quad (42)$$

*Вывод:* изменение удобоукладываемости бетонной смеси с..... на ..... приводит к (повышения или снижению) расхода цемента:

$$\Delta C_2 = C_2 - C. \quad (43)$$

2.3 Определение изменения расхода цемента, если применяется такой же цемент, но с изменившейся активностью (прочность бетона должна остаться неизменной)

Изменение активности цемента влечет за собой изменение величины цементно-водного отношения, которое определяется из обобщенной формулы Боломея –Скрамтаева:

$$(C/B)_3 = \frac{R_b}{A(R_u)_3} \pm B, \quad (44)$$

где  $(R_u)_3$  – новое значение активности цемента, МПа

Расход цемента рассчитывается по формуле:

$$C_3 = (C/B)_3 \cdot B. \quad (45)$$

*Вывод:* изменение активности цемента с ..... на ..... требует (повышения или снижения) расхода цемента, необходимого для получения требуемой прочности бетона:

$$\Delta C_3 = C_3 - C. \quad (46)$$

2.4 Определение изменения расхода цемента в случае необходимости достижения эталонной прочности бетона в возрасте, отличном от эталонного, при твердении в нормальных условиях

Поскольку формула Боломея-Скрамтаева характеризует зависимость прочности бетона от  $C/B$  в эталонном, т.е. 28-суточном возрасте, то вначале необходимо произвести расчет фактической прочности в 28-суточном возрасте твердения в нормальных условиях. Для этого принимаем:

$$(R_b = R_{28}) = R_n,$$

тогда известная логарифмическая зависимость  $\frac{R_{28}}{R_n} = \frac{\lg 28}{\lg n}$

приобретает вид  $\frac{R_{28}^*}{R_{28}} = \frac{\lg 28}{\lg n} \rightarrow R_{28}^* = \frac{R_{28} \cdot \lg 28}{\lg n}, \quad (47)$

экспоненциальная зависимость следующая:  $R_{28}^* = \frac{R_{28}}{\exp\left(b\left(1 - \sqrt{\frac{28}{n}}\right)\right)}, \quad (48)$

где  $R_{28}$  – проектная (эталонная) прочность бетона, которая должна быть достигнута в  $n$ -суточном возрасте, МПа;

$R_{28}^*$  – фактическая прочность бетона в эталонном возрасте, МПа.

Необходимая величина  $Ц/B$ , которая должна обеспечить получение необходимой прочности бетона, определяется по формуле:

$$(Ц / B)_4 = \frac{R_{28}^*}{AR_{ц}} \pm B. \quad (49)$$

Расчет потребного количества цемента:

$$Ц_4 = (Ц/B)_4 \cdot B. \quad (50)$$

*Вывод:* для достижения бетоном проектной прочности (ранее или позже) эталонного возраста при твердении в нормальных условиях расход цемента необходимо (повысить или снизить):

$$\Delta Ц_4 = Ц_4 - Ц. \quad (51)$$

2.5 Определение расхода цемента, если изменился вид используемого крупного заполнителя, при условии сохранения удобоукладываемости смеси и прочности бетона

Изменение вида крупного заполнителя влечет за собой изменение водопотребности бетонной смеси:

$$B_5 = (B_0)_5 + \sum \Delta B_i, \quad (52)$$

где  $(B_0)_5$  – ориентировочная водопотребность бетонной смеси с изменившимся видом крупного заполнителя, л/м<sup>3</sup>.

Кроме того, изменяется величина  $Ц/B$ , т.к. изменяется качество заполнителя ( $A_5 = \dots$ ):

$$(Ц / B)_5 = \frac{R_b}{(A)_5 R_{ц}} \pm B. \quad (53)$$

Все это приводит к изменению расхода цемента:

$$Ц_5 = (Ц/B)_5 \cdot B_5. \quad (54)$$

*Вывод:* замена вида крупного заполнителя (щебень на гравий или наоборот) приводит к (повышению или снижению) расхода цемента:

$$\Delta Ц_5 = Ц_5 - Ц. \quad (55)$$

2.6 Определение изменения расхода цемента, если при принятом режиме ускоренного твердения бетон к 28 суткам приобретает  $N$  % требуемой прочности

Для компенсации потери прочности бетона в результате твердения при тепловой обработке расход цемента необходимо увеличить. Для этого необходимо рассчитать коэффициент снижения прочности в результате тепловой обработки  $K_n$  и увеличить значение требуемой прочности бетона на эту величину:

$$K_n = \frac{100}{N} ; \quad (56)$$

$$(R_b)_6 = R_b \cdot K_n ; \quad (57)$$

$$(C/B)_6 = \frac{(R_b)_6}{AR_u} \pm B ; \quad (58)$$

$$C_6 = (C/B)_6 \cdot B ; \quad (59)$$

$$\Delta C_6 = C_6 - C. \quad (60)$$

### 3 Статистический контроль прочности бетона

В настоящем разделе произведен анализ работы технологического комплекса и установлены статистические характеристики для работы его в новом контролируемом периоде.

Анализ работы технологического комплекса выполнен в соответствии с ГОСТ 53231-2008 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности» по схеме А при помощи контрольной карты прочности бетона (стр....ПЗ).

При контроле прочности бетона сборных конструкций по схеме А производится следующее:

- определение прочности бетона в каждой партии конструкции, изготовленной в течение анализируемого периода;
- расчет характеристики однородности бетона по прочности за анализируемый период;



- определение требуемой прочности бетона для следующего контролируемого периода по характеристикам однородности бетона по прочности за анализируемый период;
- проводят оценку прочности бетона каждой партии конструкций, изготовленной в контролируемом периоде.

### 3.1 Вычисление средней прочности бетона в партии

$$R_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i, \quad (61)$$

где  $R_i$  – единичный результат (прочность серии бетона), МПа;

$n$  – число единичных результатов.

Размах прочности бетона определяется как разность между максимальным и минимальным значениями прочности отдельных серий бетона в партии:

$$W_m = R_{max} - R_{min}. \quad (62)$$

3.2 Расчет *среднего по партии за анализируемый период коэффициента вариации прочности*  $V_n$ , необходимого для оценки прочности бетона и назначения требуемой прочности

$$V_n = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \frac{W_m}{R_m \cdot d} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N V_m, \quad (63)$$

где  $N$  – число партий за анализируемый период;

$V_m$  – коэффициент вариации прочности  $m$ -ой партии бетона, %;

$W_m$  – размах значений прочности в партии, МПа;

$d$  – коэффициент, зависящий от количества серий образцов, и принимаемый при  $n=3$   $d=1,69$ ; при  $n=2$   $d=1,13$ .

3.3 Вычисление *требуемой прочности бетона*  $R_T$ , в зависимости от величины коэффициента вариации прочности бетона

В соответствии с ГОСТ 18105 требуемая прочность бетона вычисляется по формуле:

$$R_T = R_{норм} \cdot K_T, \quad (64)$$

где  $R_{норм}$  – нормируемая величина отпускной прочности бетона, МПа;

$K_T$  – коэффициент требуемой прочности, принимается по таблице 1 приложения 2 (принимается  $K_T = \dots\dots$ , т.к.  $V_n = \dots\dots\%$ ).

3.7 По карте прочности бетона принимается решение об отпуске каждой партии бетона. Партия бетона подлежит приемке, если значение фактической прочности бетона в партии  $R_m$  не ниже величины требуемой прочности  $R_T$ , а минимальное единичное значение прочности  $R_{min}$  – не менее  $(R_T - 0,4)$  МПа :

$$\text{условие приемки партии бетона} - R_m \geq R_T, \quad (68)$$

$$R_{min} \geq (R_T - 0,4 \text{ МПа})$$

Положительные решения отмечаются в соответствующей строке знаком «+», а бракуемые – знаком «—».

На основании карты прочности бетона установлено следующее.

Партии № (перечислить номера партий со знаком «+») отпускаются потребителю, т.к. удовлетворяют условию приемки партии.

Партии № (перечисляются номера партий со знаком «—») бракуются, т.к. не удовлетворяют условию приемки. Прочность образцов этих партий выходит за пределы  $R_T$ , следовательно образцы не набирают требуемую прочность из-за недостатка цемента.

Для нормального хода технологического процесса необходимо изменить расход цемента.

3.8 Краткий сравнительный анализ работы технологического комплекса в анализируемом периоде

Значение коэффициента вариации прочности бетона за анализируемый период (ниже или выше), чем за контролируемый, следовательно, прочность образцов в партиях (более или менее) однородна.

#### 4 Оптимальное планирование производства бетона

4.1 Задачи экономики, планирования и управления технологическим процессом связаны с поиском оптимального варианта использования ограниченных ресурсов.

Для решения таких задач может быть использован метод линейного программирования. Задача линейного программирования состоит в поиске оптимального (наибольшего или наименьшего) значения ряда ограничений, отражающих конкретные условия. Целевая функция описывает критерий оптимальности, по которому сопоставляют между собой возможные варианты решений.

В общем виде задача линейного программирования может быть сформулирована следующим образом.

Условие целевой функции имеет следующий вид:

$$C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n = L \rightarrow \max (\min). \quad (69)$$

Система ограничений по ресурсам может быть записана следующим образом:

[illegible]

Система ограничений учитывает необходимость получения неотрицательных значений аргументов, т.к. в задачах планово-производственного характера искомые неизвестные величины  $X$  могут принимать только положительные значения:

$$\begin{cases} X_1 > 0; \\ X_2 > 0; \\ \dots\dots\dots \\ X_n > 0. \end{cases}$$

(71)

При наличии только двух неизвестных задача линейного программирования может быть решена графическим методом.

4.2 Записать условие задачи (приложение 4) и исходные данные (таблица 3).

4.3 Решение задачи

Математическая модель задачи с двумя неизвестными и ограничениями по трем ресурсам записывается следующим образом:

принимая, например,  $X_1$  – количество изделий 1-го вида;

$X_2$  – количество изделий 2-го вида,

Тогда целевая функция имеет следующий вид:

$$C_1X_1 + C_2X_2 = L \rightarrow \max (\min). \quad (72)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – стоимости изделий 1-го и 2-го видов;

Система ограничений по ресурсам записывается в следующем виде:

$$\begin{cases} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 \leq b_1; \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 \leq b_2; \\ a_{31}X_1 + a_{32}X_2 \leq b_3. \end{cases} \quad (73)$$

$a_1 - a_{32}$  – нормы расходов сырьевых и энергетических ресурсов для изделий 1-го и 2-го видов;

$b_1 - b_2$  – имеющиеся сырьевые ресурсы

$$\text{и} \quad \begin{cases} X_1 > 0; \\ X_2 > 0. \end{cases} \quad (74)$$

4.3.1 Нахождение области возможных решений системы неравенств

Для этого необходимо рассмотреть предельные значения, имеющие вид:

$$\begin{cases} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 = b_1; \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 = b_2; \\ a_{31}X_1 + a_{32}X_2 = b_3. \end{cases} \quad (75)$$

Решение системы уравнений выполняется графо-аналитическим способом (таблица 4, рисунок 3)

Таблица 4 – Решение системы уравнений

прямая	(\cdot) 1		(\cdot) 2	
	$X_1$	$X_2$	$X_1$	$X_2$
AB				
CD				
EF				

В результате построения всех ограничений получен многоугольник  $OANKF$ , все точки которого удовлетворяют условию ограничения по ресурсам. Это многоугольник возможных решений, из которых следует выбрать оптимальное.

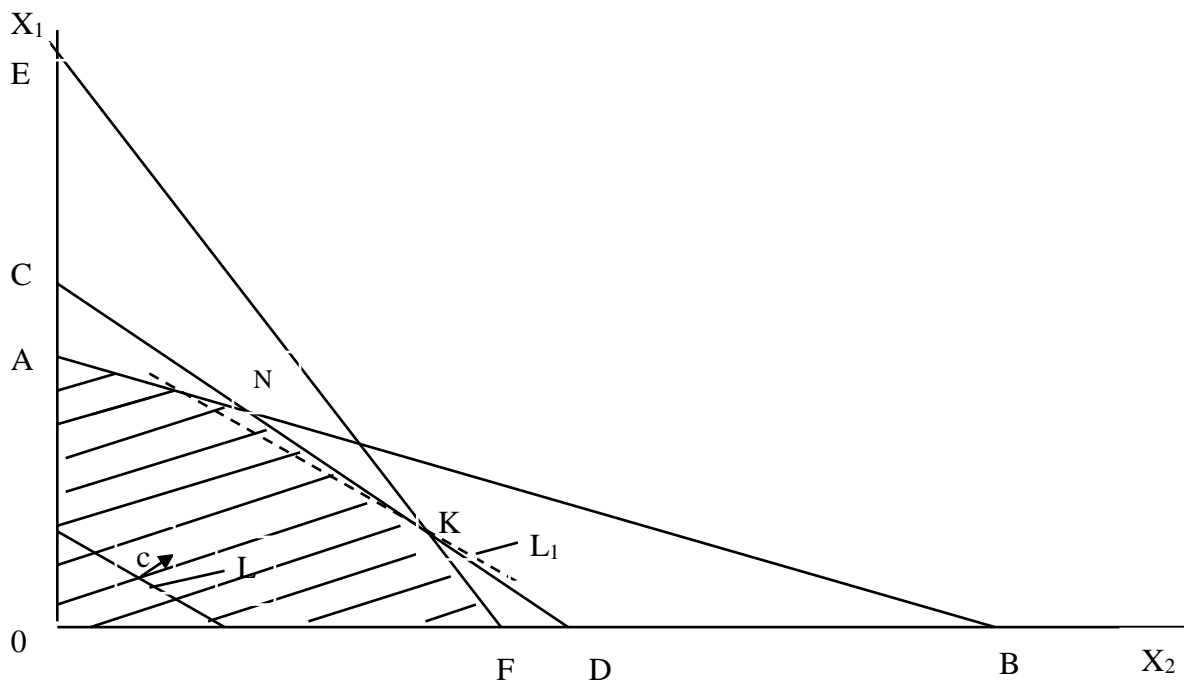


Рисунок 3 – Графическое решение задачи

4.3.2 Целевая функция  $C_1X_1 + C_2X_2 = L$  графически изображена семейством параллельных прямых. Для нахождения угла их наклона к осям координат необходимо задаться некоторым значением  $L$  и найти значения искомых неизвестных  $X$ .

4.3.3 Для нахождения максимального (минимального) значения целевой функции прямую  $L$  необходимо переместить параллельно самой себе в направлении вектора  $c$ . Прямая  $L_1$  обеспечивает максимальное (минимальное) значение функции при прохождении через наиболее удаленную (приближенную) вершину многоугольника возможных решений. Целевая функция принимает оптимальное значение в  $(\cdot)$ .....(например,  $(\cdot) K$ ), имеющей координаты  $(\dots)$ .

4.3.4 Вычисление значения функции, принимающей оптимальное значение:

$$C_1X_1 + C_2X_2 = L$$

## Приложение 1

Таблица 1 – Выбор типа цемента в зависимости от условий эксплуатации конструкции

Вид цемента	Условия эксплуатации конструкции						
	внутри здания		на открытом воздухе	при действии сред, агрессивных по содержанию сульфатов		в зоне переменного действия воды и мороза	в подземных частях и внутри гидротехнических сооружений
	W < 60%	W > 60%		при стабильных температурно-влажностных условиях	при систематическом замораживании-оттаивании или увлажнении		
1 ПЦ Д0 <sup>1</sup>	Р	Р	Р	Н	Н	Д	Д
2 ПЦ Д5, Д20 <sup>1</sup>	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Д
3 ШПЦ <sup>1</sup>	Р	Р	Д	Д	Д	Н	Д
4 БТЦ <sup>1</sup>	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н
5 БШПЦ <sup>1</sup>	Р	Р	Д	Д	Д	Н	Н
6 ССПЦ <sup>2</sup>	Д	Д	Д	Р	Р	Р	Н
7 ССШПЦ <sup>2</sup>	Д	Д	Д	Р	Д	Н	Н
8 ППЦ <sup>1</sup>	Н	Д	Н	Р	Н	Н	Р
9 НЦ <sup>3</sup>	Д	Р	Р	Р	Д	Р	Н

Примечания: 1 – по ГОСТ 10178; 2 – по ГОСТ; 3 – по ТУ;  
 Р – рекомендуется;  
 Д – допускается при технико-экономическом обосновании;  
 Н – не допускается.

Таблица 2 – Разделение песка на группы по ГОСТ 8736-93

Группа песка	Полный остаток на сите № 063	Модуль крупности
Очень крупный	св. 75	св. 3,5
Повышенной крупности	65 ÷ 75	3,0 ÷ 3,5
Крупный	45 ÷ 65	2,5 ÷ 3,0
Средний	30 ÷ 45	2,0 ÷ 2,5
Мелкий	10 ÷ 30	1,5 ÷ 2,0
Очень мелкий	до 10	1,0 ÷ 1,5
Тонкий	Не нормируется	0,7 ÷ 1,0
Очень тонкий	Не нормируется	до 0,7

Таблица 3 – Значения коэффициентов в формулах прочности

Качество заполнителей	Коэффициенты	
	$A$	$A'$
1 Высокое	0,65	0,43
2 Среднее	0,6	0,4
3 Низкое	0,55	0,37

Таблица 4 – Требования к удобоукладываемости бетонной смеси

(СНиП 3.09.01)

Способ формирования изделий	По ГОСТ 10181.1-91		
	жесткость, с	подвижность, см	марка
1	2	3	4
Виброштампование стационарное	Св. 31	-	Ж 4
Вибронасадком или вибропротяжным устройством	4 и менее	1 – 4	П 1
То же, при значительном общем или местном насыщении арматуры	-	5 - 9	П 2
С немедленной и частичной распалубкой	21 - 30	-	Ж 3
В передвижных формах на виброплощадках	5 – 10	-	Ж 1
То же, с пригрузом	11 - 20	-	Ж 2
В формах с навесными вибраторами при высоте бетонирования до 0,8 м	4 и менее	1 – 4	П 1
То же, при высоте бетонирования более 0,8 м	-	5 - 9	П 2
На стендах с глубинной вибрацией	4 и менее	1 – 4	П 1
То же, при значительном общем или местном насыщении арматуры	-	5 - 9	П 2
В вертикальных кассетных формах при толщине изделия до 0,1 м	-	10 – 15	П 3
То же, при толщине изделия свыше 0,1 м	-	5 - 9	П 2
На центробежных станках	4 и менее	1 - 4	П 1



Таблица 5 – Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси на плотных заполнителях при температуре смеси 20 °С

Марка смеси по удобоукладываемости	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при крупности, мм							
	гравия				щебня			
	10	20	40	70	10	20	40	70
Ж5	140	125	115	110	150	140	125	120
Ж4	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж3	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж2	165	150	135	130	175	165	150	155
Ж1	175	160	145	140	185	175	160	165
П1	190	175	160	155	200	190	175	170
П2	200	185	170	165	210	200	185	180
П3	215	200	190	180	225	215	200	190
П4	225	220	205	195	235	230	215	200
П5	235	230	220	210	245	240	225	210

Примечания: 1. Смеси на цементе с нормальной густотой теста  $НГ=27\%$  и модулем крупности песка  $M_k=2$ .

2. При изменении нормальной густоты цементного теста на каждый % следует изменять расход воды на 3-5 л/м<sup>3</sup>.

3. В случае изменения модуля крупности песка на 0.5 следует изменять расход воды на 3-5 л/м<sup>3</sup>.

4. Данные справедливы при расходе цента до 400 кг/м<sup>3</sup> и Ц/В <2,5. При расходе цемента более 400 кг водосодержание смеси необходимо увеличить на 10 л на каждые 100 кг сверх 400 кг.

5. При повышенном содержании песка в смеси (более 700 кг/м<sup>3</sup>) расход воды должен быть увеличен на 5-10 л/м<sup>3</sup>.

Таблица 6 – Минимальные расходы цемента, установленные ГОСТ 26633

Удобоукладываемость			ТЭН для бетона марок, кг/м <sup>3</sup>								
Марка бет. см.по удобоукладываемости	ОК, см	Ж, с	по морозостойкости					по водонепроницаемости			
			F75 и менее	F100-150	F200	F300	F400 и более	W2	W4	W6	W8 и более
П2	5-9	-	260	300	370	400	455	300	330	400	455
П1	1-4	-	240	280	340	380	430	280	310	380	430
Ж1	-	5-10	220	260	325	360	405	260	290	360	405
Ж2	-	11-20	210	245	300	335	385	245	270	335	385

Таблица 7 – Рекомендуемые значения коэффициента раздвижки  
зерен крупного заполнителя

Пустотность песка	Пустотность щебня (гравия)							
	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.53
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.37	1.41 (1.48)	1.37 (1.45)	1.34 (1.42)	1.30 (1.39)	1.26 (1.36)	1.23 (1.33)	1.19 (1.29)	1.15 (1.23)
0.39	1.39 (1.47)	1.35 (1.44)	1.31 (1.41)	1.28 (1.38)	1.24 (1.34)	1.21 (1.30)	1.17 (1.27)	1.14 (1.23)
0.41	1.37 (1.45)	1.33 (1.42)	1.29 (1.39)	1.26 (1.35)	1.22 (1.32)	1.19 (1.28)	1.15 (1.24)	1.12 (1.21)
0.43	1.35 (1.43)	1.31 (1.39)	1.27 (1.37)	1.24 (1.33)	1.20 (1.30)	1.17 (1.26)	1.13 (1.22)	1.10 (1.19)
0.45	1.33 (1.41)	1.29 (1.37)	1.25 (1.35)	1.22 (1.31)	1.18 (1.28)	1.15 (1.24)	1.11 (1.20)	1.08 (1.17)
0.47	1.31 (1.39)	1.27 (1.35)	1.23 (1.33)	1.20 (1.29)	1.16 (1.26)	1.13 (1.22)	1.09 (1.18)	1.06 (1.15)
0.49	1.28 (1.36)	1.25 (1.33)	1.21 (1.31)	1.19 (1.27)	1.14 (1.24)	1.11 (1.20)	1.07 (1.16)	1.04 (1.13)
0.51	1.26 (1.34)	1.23 (1.31)	1.19 (1.29)	1.17 (1.25)	1.12 (1.22)	1.09 (1.18)	1.05 (1.14)	1.02 (1.11)

Примечание. В скобках — для тонкостенных и густоармированных конструкций.

## Приложение 2

Таблица 1 – Значения коэффициентов в формулах

Коэф- фици- енты	Значения коэффициентов при $V_n$ , %										
	< 6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
$K_T$	1,07	1,08	1,09	1,11	1,14	1,19	1,23	1,28	1,33	1,38	1,43

## Приложение 3

## Задания по статистическому контролю прочности

Таблица 1 – Единичные результаты контрольных испытаний  
(отпускная прочность бетона  $R_0=14,0$  МПа)

Дата	Индекс серии образцов								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	17,2	16,0	16,0	16,7	17,9	17,4	16,3	16,4	16,8
2	15,4	17,0	15,8	15,6	16,9	17,9	16,6	17,4	15,6
3	16,0	16,8	15,6	17,9	17,6	16,8	17,6	16,2	16,0
4	14,8	16,2	17,0	18,5	18,2	19,0	16,0	15,0	15,6
5	15,6	16,6	18,7	18,1	17,2	16,4	16,0	16,1	16,6
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	15,0	16,6	18,8	18,2	16,7	15,7	15,8	15,7	16,0
8	15,0	15,8	16,2	18,5	18,1	18,2	16,0	16,0	16,4
9	16,4	17,0	17,5	18,8	19,0	18,2	16,0	18,0	15,2
10	18,2	16,8	16,0	17,7	19,0	19,9	16,5	17,4	15,8
11	15,6	17,0	15,6	16,5	19,1	19,3	18,3	16,8	17,0
12	15,3	16,5	16,0	15,8	17,4	19,0	15,8	15,6	16,2
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	16,6	16,1	15,8	18,7	17,8	18,1	15,8	15,8	16,4
15	15,0	14,6	16,4	17,5	18,4	18,8	15,1	15,4	15,6
16	14,3	15,0	15,0	19,6	19,1	19,1	16,2	15,8	15,5
17	14,6	15,4	15,3	17,2	19,0	19,8	16,5	17,2	16,0
18	17,8	16,2	15,0	18,1	17,2	20,2	17,0	18,8	16,8
19	15,8	16,6	14,4	16,2	15,3	18,4	15,7	16,6	15,9
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	16,2	17,0	15,6	17,8	18,7	19,2	17,6	15,3	15,4
22	16,6	15,7	16,0	14,2	18,6	17,8	16,2	15,6	16,8
23	16,8	15,0	16,0	18,8	18,3	17,6	17,0	16,6	17,2
24	14,4	17,2	16,2	16,6	19,2	18,5	16,8	16,4	17,5
25	15,8	14,2	15,8	18,1	17,8	15,3	17,7	16,0	16,2
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	14,5	16,2	16,0	18,8	18,2	18,3	15,4	15,4	15,3
28	15,5	17,5	16,2	19,4	19,8	20,0	16,2	17,6	17,4
29	17,0	14,8	15,0	19,5	20,0	19,1	17,0	16,4	16,0
30	16,5	14,6	16,6	17,1	18,0	17,2	16,2	16,8	15,8

Таблица 2 – Единичные результаты контрольных испытаний  
(отпускная прочность бетона  $R_0 = 21,0$  МПа)

Дата	Индекс серии образцов								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	27,3	24,0	27,4	23,7	23,5	24,2	27,0	27,3	25,1
2	22,1	21,8	24,5	22,8	21,9	22,9	23,0	24,5	27,3
3	23,2	25,0	23,0	21,3	22,1	21,4	23,2	24,8	24,5
4	22,8	27,5	24,0	24,0	27,1	23,1	22,8	22,9	23,5
5	26,0	27,2	25,5	23,3	24,3	20,9	23,9	22,1	23,2
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	23,8	24,0	21,6	20,9	22,7	23,9	22,1	24,1	23,7
8	24,0	24,5	22,2	23,7	22,2	21,9	24,3	22,8	22,9
9	21,5	21,8	22,3	19,8	22,6	21,4	22,2	23,1	23,2
10	22,8	22,2	23,5	20,0	-	23,5	23,4	23,3	23,1
11	21,2	21,7	24,0	20,1	20,3	22,3	22,2	22,3	22,7
12	-	24,2	23,2	21,8	19,8	23,7	23,7	25,3	23,1
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	23,0	22,7	24,0	23,0	21,2	21,8	26,0	25,9	23,4
15	22,5	26,8	22,8	22,8	24,0	22,6	24,1	25,8	22,8
16	26,5	26,0	23,1	-	22,7	22,9	25,8	22,9	23,1
17	25,8	24,0	21,5	22,0	22,8	21,8	22,5	22,8	21,9
18	21,9	21,5	24,0	23,7	23,1	23,3	25,2	24,7	23,1
19	26,5	23,9	24,2	22,2	22,4	-	24,1	22,6	22,8
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	27,0	27,7	27,6	23,5	24,4	23,7	27,8	27,0	26,7
22	24,2	21,9	22,2	25,9	22,2	21,9	25,9	25,4	23,1
23	21,7	24,0	-	18,5	20,2	23,1	24,8	23,7	21,6
24	22,1	24,5	21,8	23,0	23,7	21,8	24,7	24,3	23,1
25	22,3	23,3	24,7	-	22,3	23,8	22,7	24,9	22,9
26	21,7	21,2	21,1	22,5	23,2	22,5	20,8	23,5	20,5
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	23,8	22,2	24,8	22,7	24,3	22,2	22,5	24,3	24,1
29	23,3	21,9	21,5	23,9	22,8	22,1	21,9	25,2	19,2
30	19,1	18,9	20,2	19,0	19,2	20,1	18,9	19,0	19,9

Таблица 3 – Единичные результаты контрольных испытаний  
(отпускная прочность бетона  $R_0 = 28,0$  МПа)

Дата	Индекс серии образцов								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	35,5	32,3	34,1	33,8	31,7	31,3	32,1	30,3	21,7
2	33,3	33,1	31,7	31,6	30,8	30,1	29,5	25,2	29,8
3	30,8	33,7	24,7	30,4	30,3	31,1	30,5	26,6	30,7
4	30,6	29,7	30,1	31,6	29,3	28,3	29,2	23,0	26,0
5	28,9	25,7	29,7	30,6	29,7	28,8	28,1	22,7	27,1
6	30,5	27,2	30,8	30,9	28,5	30,8	32,6	30,2	29,8
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	31,8	30,2	30,5	27,5	31,8	29,6	28,8	27,4	24,7
9	30,8	33,8	31,5	32,1	31,3	28,8	30,2	23,8	30,3
10	34,5	28,4	34,4	34,1	33,1	31,4	31,2	30,1	25,8
11	35,8	33,2	34,9	33,5	30,5	31,5	30,7	29,1	30,1
12	34,3	30,1	28,2	24,7	30,8	31,2	31,7	29,1	26,8
13	31,2	-	31,7	33,4	32,7	30,8	30,8	21,7	23,5
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	27,7	28,4	30,6	31,7	32,8	31,9	30,8	24,9	28,8
16	32,1	25,3	29,7	31,7	34,1	33,9	31,3	29,8	25,6
17	28,3	29,2	29,4	29,8	31,8	30,9	27,6	24,8	25,4
18	-	31,0	31,8	28,1	29,2	30,5	29,7	25,1	26,1
19	27,6	32,1	30,2	30,4	32,1	30,3	30,6	27,5	26,7
20	30,4	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	34,6	30,8	30,8	29,8	33,8	28,8	32,8	30,8	24,8
23	34,7	32,3	31,1	30,5	33,9	27,1	31,3	32,0	31,2
24	31,6	30,3	30,2	31,0	30,6	29,3	30,9	31,2	28,7
25	33,1	32,4	31,3	33,5	30,5	26,7	-	26,2	30,1
26	33,6	33,8	22,1	30,7	30,8	30,4	29,6	25,7	25,8
27	28,6	30,8	29,5	29,7	29,4	32,2	30,4	26,7	29,2
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	34,3	32,3	34,0	33,9	33,5	34,7	32,4	29,7	28,8
30	32,1	33,1	31,2	29,9	32,1	32,5	29,5	26,8	30,4

## Приложение 4

## Задачи по оптимальному планированию

**Задача 1.** Бетоносмесительный цех готовит два вида бетонной смеси с пароразогревом до 45 и 75° С. Количество цемента для смеси с пароразогревом до 75° С, пара и добавки замедлителя схватывания ограничено. Установить, какой объем бетона каждого вида следует приготовить, чтобы общий выпуск продукции был максимальным.

Таблица 1 – Исходные данные к задаче 1

Варианты	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона					Имеющиеся ресурсы		
	разогрев до 45° С		разогрев до 75° С					
	пар, кг	добавка, кг	пар, кг	добавка, кг	цемент, кг	пар, т	добавка, т	цемент, т
1	35	1,2	80	0,9	300	28	0,4	90
2	30	1,1	75	1,0	350	22,5	0,5	87,5
3	37	1,05	82	0,9	320	50	0,855	160
4	40	0,7	85	0,8	280	30	0,44	56
5	50	0,9	90	0,7	250	45	0,56	100
6	50	0,9	80	0,75	275	36	0,525	95
7	42	0,95	87	0,9	300	48	0,99	120
8	50	1,05	85	1,0	350	50	0,8	200
9	40	1,05	75	1,2	375	45	0,96	187,5
10	37	0,97	82	0,8	280	35	0,68	84
11	45	0,8	90	0,7	250	54	0,595	125

**Задача 2.** Завод выпускает железобетонные изделия двух видов. Для их производства требуется различный расход материалов и энергоресурсов. На предприятии ограничены расходы цемента, пара и электроэнергии. Определить количество изделий каждого вида, чтобы при заданных производственных возможностях общая стоимость продукции была наибольшей.

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 2

Варианты	Показатели на I и II вид изделий								Имеющиеся ресурсы		
	стоимость, руб		расходы						цемент, т	электроэнергия, кВт.ч	пар, т
			цемент, кг		эл. энер, кВт.ч		пар, кг				
	I	II	I	II	I	II	I	II			
1	28	45	240	400	23,1	10	180	230	24	1000	18
2	32	50	240	420	15,0	11	170	250	40	2000	32
3	27	52	200	450	10,5	16	210	150	50	2000	30
4	32	48	280	420	10,5	24,5	230	210	28	1500	20
5	50	30	450	290	10,5	16	300	280	34	1200	24
6	45	25	380	300	10	13,5	230	150	32	1200	18
7	46	25	420	260	18,5	14	210	360	50	3200	38
8	58	40	520	380	16	21	320	210	63	2800	45
9	34	54	290	480	16	12	216	275	29	1200	22
10	55	33	500	320	11	17,5	300	310	37	1300	26
11	60	36	540	350	12	19	360	335	34	1200	24

**Задача 3.** Завод бетонных смесей использует два вида цемента. Составы бетона на этих цементах отличаются расходом материалов и стоимостью. На заводе ограничены ресурсы добавки и цемента второго вида. Необходимо определить объем бетонной смеси каждого вида, чтобы при заданном объеме выпуска стоимость всей продукции была наименьшей.

Таблица 3 – Исходные данные к задаче 3

Варианты	Показатели на 1 м³ бетонной смеси I и II вида						Ресурсы		
	стоимость, руб		расходы				цемент, т	добавка, кг	объем выпуска, м³
			цемент, кг		добавка, кг				
	I	II	I	II	I	II			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18,5	16,0	310	400	0,50	0,30	300	400	1000
2	15,5	13,0	240	320	0,60	0,70	130	210	500
3	22,0	19,0	530	380	0,50	0,70	76	330	300
4	16,0	14,0	275	315	0,60	0,30	535	81	200
5	17,5	15,5	410	360	0,40	0,75	90	240	500
6	24,0	20,0	550	455	0,60	1,00	90	270	400
7	17,5	15,5	320	390	0,65	0,40	650	110	200
8	15,5	13,0	335	250	0,40	0,70	200	500	1000
9	18,0	15,5	290	380	0,50	0,30	300	400	1000
10	25,0	20,0	550	440	0,60	0,90	90	250	400
11	33,0	28,5	455	570	0,75	1,10	115	500	450

**Задача 4.** Для приготовления бетона и строительного раствора используется один и тот же песок и цемент. Количество получаемых РБУ материалов: цемента, песка и щебня — ограничено. Требуется определить объемы бетонной смеси и раствора, которые обеспечили бы максимальную производительность узла с учетом имеющихся ограничений.

Таблица 4 – Исходные данные к задаче 4

Варианты	Имеющиеся ресурсы			Расходы материалов на 1 м <sup>3</sup>				
	цемент, т	песок, м <sup>3</sup>	щебень, м <sup>3</sup>	раствора		бетона		
				Ц, кг	П, м <sup>3</sup>	Ц, кг	П, м <sup>3</sup>	Щ, м <sup>3</sup>
1	110	330	185	200	0,97	350	0,46	0,72
2	120	400	240	120	1,02	200	0,44	0,82
3	260	535	345	260	0,93	420	0,43	0,79
4	300	930	1200	150	1,00	200	0,45	0,84
5	120	456	415	140	0,97	200	0,41	0,83
6	250	965	650	180	0,93	300	0,47	0,83
7	250	565	450	250	0,90	400	0,37	0,83
8	280	500	400	280	1,02	450	0,44	0,92
9	120	400	465	120	0,97	200	0,45	0,82
10	340	985	650	170	1,02	280	0,43	0,82
11	145	430	550	120	1,01	200	0,44	0,84

**Задача 5.** Полигон производит два вида конструкций, на изготовление которых требуется различное количество бетонной смеси и пара. Трудоемкость этих конструкций также различна. Полигон располагает ограниченными возможностями потребления пара, бетонной смеси и ресурсами рабочей силы. Определить количество конструкций каждого вида для обеспечения максимального объема выпуска.

Таблица 5 – Исходные данные к задаче 5

Варианты	Показатели на одну конструкцию I и II вида						Имеющиеся ресурсы		
	расход бетона, м <sup>3</sup>		расход пара, кг		трудоемкость, чел.час		бетонной смеси, м <sup>3</sup>	пара, т	рабочей силы, чел.час
	I	II	I	II	I	II			
1	1,6	2,2	400	320	3,2	7,4	700	160	2000
2	2,5	3,5	640	500	2,6	6,0	1100	260	1600
3	1,4	2,0	380	300	4,5	9,5	320	70	1500
4	2,2	1,6	300	420	9,6	4,2	700	160	2600
5	3,2	2,4	270	380	9,9	4,6	1050	145	2850
6	2,0	2,8	600	500	7,0	14,5	560	120	2800
7	1,4	2,0	250	-	6,7	15,5	320	45	2250
8	4,0	5,6	1200	-	7,0	14,2	1120	200	2800
9	4,5	3,7	900	-	20,5	11,0	1000	110	3500
10	3,7	4,5	-	900	15,0	28,0	1000	110	4800
11	1,7	2,4	450	360	5,4	12,5	380	85	1800

**Задача 6.** Завод производит товарный бетон двух видов: на обычном песке и щебне и с использованием золошлаковой смеси. Энергозатраты на изготовление золошлакобетона больше, чем для обычного бетона. Ресурсы материалов – цемента, щебня и электроэнергии ограничены. Определить объем бетона каждого вида, при котором общий объем выпуска будет наибольшим.

Таблица 6 – Исходные данные к задаче 6

Варианты	Расход на 1 м <sup>3</sup>					Имеющиеся ресурсы		
	обычный бетон			золошлакобетон		цемент, т	щебень, м <sup>3</sup>	электроэнергия, кВт/ч
	Ц, кг	Щ, м <sup>3</sup>	эл.эн., кВт/ч	Ц, кг	эл.эн., кВт/ч			
1	500	0,86	0,55	500	0,75	300	380	412
2	350	0,8	0,5	320	0,6	300	310	300
3	330	0,9	0,45	260	0,55	210	470	360
4	400	0,83	0,5	360	0,6	360	520	525
5	250	0,85	0,45	250	0,6	100	300	200
6	280	0,86	0,5	230	0,65	70	170	150
7	220	0,83	0,45	200	0,55	100	330	225
8	200	0,9	0,45	200	0,6	120	470	315
9	220	0,9	0,55	200	0,5	110	390	240
10	380	0,9	0,55	415	0,75	225	460	350
11	250	0,8	0,5	470	0,7	235	520	400



**Задача 7.** Завод выпускает изделия из обычного бетона и керамзитобетона. Ресурсы цемента, керамзитового гравия и арматурной стали ограничены. Необходимо установить, какое количество изделий из каждого бетона нужно изготовить, чтобы общий выпуск продукции был наибольшим.

Таблица 7 - Исходные данные к задаче 7

Варианты	Расход материалов на одно изделие					Имеющиеся ресурсы		
	из обычного бетона		из керамзитобетона			цемент, т	сталь, т	гравий, м <sup>3</sup>
	цемент, т	сталь, кг	цемент, кг	сталь, кг	гравий, м <sup>3</sup>			
1	350	220	660	150	2,6	70	30	520
2	700	500	375	200	1,3	70	40	230
3	425	280	500	120	2,1	100	50	300
4	350	220	450	120	1,7	140	66	360
5	600	320	770	200	3,0	240	96	600
6	550	250	620	100	2,4	220	75	650
7	525	300	700	200	2,8	525	240	1400
8	250	120	330	75	1,3	250	96	650
9	325	180	550	150	2,2	325	120	1100
10	650	350	790	230	3,1	250	105	600
11	375	180	500	110	2,0	375	145	980

**Задача 8.** Завод автоклавных материалов выпускает изделия из газобетона и газозолобетона на смешанном известково-цементном вяжущем. В качестве кремнеземистого компонента в газобетоне используется молотый природный песок, а в газозолобетоне – зола-уноса. Газообразователь – алюминиевая пудра. Ресурсы цемента, газообразователя и молотого песка ограничены. Найти объемы материалов каждого вида, которые обеспечили бы максимальный выпуск продукции.

Таблица 8 – Исходные данные к задаче 8

Варианты	Расходы материалов на 1 м <sup>3</sup>					Имеющиеся ресурсы		
	газобетона			газозолобетона		цемент, т	пудра, кг	молотый песок, т
	цемент, кг	пудра, кг	молотый песок, кг	цемент	пудра			
1	180	0,32	250	60	0,52	90	400	110
2	160	0,36	225	40	0,6	120	550	130
3	200	0,3	275	50	0,56	100	500	110
4	215	0,25	300	65	0,5	50	220	50
5	145	0,4	220	45	0,66	90	500	220
6	110	0,48	150	60	0,52	55	300	67
7	150	0,42	200	55	0,58	150	600	120
8	105	0,5	160	50	0,5	70	400	80
9	160	0,36	240	60	0,5	120	500	240
10	175	0,35	230	75	0,5	80	300	80
11	120	0,45	165	65	0,5	60	280	74

