

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 30.09.2026 11:26:58  
Уникальный программный ключ:  
3beb265d5d589e7ff4c95494c0a091a371ac0

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Строительный институт

Кафедра строительных конструкций

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ И РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Методические указания по выполнению курсовой работы  
«Определение вероятностных характеристик  
и закона распределения случайной величины прочности бетона»  
для обучающихся направлений подготовки 08.04.01 «Строительство»  
программа «Теория и проектирование зданий и сооружений»  
(уровень магистратуры)  
и 08.03.01 «Строительство»  
профиль «Строительство уникальных зданий и сооружений»  
(уровень специалитета)

Составитель **Д. М. Ротштейн,**  
**кандидат технических наук, доцент**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 6FA44C50384686A8E7BD5E27735179BC  
Владелец: Ефремова Вероника Васильевна  
Действителен: с 14.06.2022 до 07.09.2023

Тюмень  
ТИУ  
2017

Вероятностные методы в строительной механике и расчеты надежности строительных конструкций: метод. указ. по выполнению курсовой работы «Определение вероятностных характеристик и закона распределения случайной величины прочности бетона» для обучающихся направлений подготовки 08.04.01 «Строительство» программа «Теория и проектирование зданий и сооружений» (уровень магистратуры) и 08.03.01 «Строительство» профиль «Строительство уникальных зданий и сооружений» (уровень специалитета) / сост. Ротштейн Д. М.; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень: Издательский центр БИК, ТИУ, 2017. – 24 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры «Строительные конструкции»  
«22» декабря 2016 года, протокол № 6

### **Аннотация**

В методических указаниях случайная величина прочности бетона рассмотрена с вероятностных позиций. Приведен порядок последовательных действий по статистической обработке результатов испытаний прочности на сжатие образцов-кубов бетона (на примере тяжелого бетона класса В25 по прочности на сжатие). На основе реальной статистической выборки результатов испытаний определены сводные статистические характеристики прочности бетона на сжатие, статистический (опытный) и теоретический законы распределения случайной величины прочности. Степень близости распределений проверена критерием согласия А. Н. Колмогорова. Представлено графическое сопровождение принятого распределения.

На конкретном примере рассмотрена так же процедура нормирования прочности на сжатие бетона, принятая в нормах проектирования, с определением нормативных и расчетных значений прочности и вероятностей принятия бетоном этих значений.

Основная цель методических указаний – содействие студентам и магистрантам в выполнении курсовой работы и в изучении дисциплин «Вероятностные методы в строительной механике и теория надежности строительных конструкций», «Методы расчета строительных конструкций и теория надежности».

Основание для выполнения курсовой работы – задание (форма в Приложении В).

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Введение.....                                                                                            | 4  |
| 2. Исходные данные.....                                                                                     | 5  |
| 3. Статистическая обработка результатов испытаний прочности<br>бетона на сжатие.....                        | 5  |
| 4. Определение сводных статистических характеристик случайной<br>величины прочности бетона.....             | 8  |
| 5. Определение закона распределения случайной величины<br>прочности бетона.....                             | 9  |
| 6. Нормирование сопротивления бетона по прочности на сжатие<br>по результатам статистической обработки..... | 11 |
| Библиографический список.....                                                                               | 12 |
| Приложение А. Значения функции $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$                     | 13 |
| Приложение Б. Значения вероятностей $P(\lambda)$ критерия согласия<br>А. Н. Колмогорова [2].....            | 14 |
| Приложение В. Задание на выполнение курсовой работы.....                                                    | 14 |
| Таблица В.1.....                                                                                            | 16 |
| Варианты исходных данных.....                                                                               | 19 |

## 1. Введение

Методические указания составлены на основании программы дисциплины **«Методы расчета строительных конструкций и теория надежности»** для обучающихся в магистратуре по направлению 08.04.01 «Строительство» с программой подготовки **«Теория и проектирование зданий и сооружений»**. Методические указания могут быть использованы так же студентами - специалистами направления 08.03.01 «Строительство», профиля **«Строительство уникальных зданий и сооружений»** при изучении дисциплины **«Вероятностные методы в строительной механике и теории надежности строительных конструкций»**.

Для строительных конструкций понятие «надежность» определяется как способность конструкции работать в течение определенного времени без отказа. При этом отказ определяется как случайное событие, реализуемое с той или иной степенью вероятности. Поэтому важным показателем надежности конструкции является вероятность ее безотказной работы в течение всего срока эксплуатации. Эта вероятность, в свою очередь, зависит от вероятности безотказной работы материалов строительных конструкций, в частности, бетона.

В курсовой работе в качестве вероятностной модели прочности бетона принята случайная величина, принимающая при каждом испытании различные значения.

Для изучения характера изменчивости прочности бетона, установления закона ее распределения и определения вероятностей появления тех или иных значений прочности в курсовой работе приняты к статистической обработке конкретные результаты испытаний на сжатие бетонных образцов-кубов, полученные в условиях заводской лаборатории.

При выполнении курсовой работы необходимо пользоваться действующими нормативными документами: ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»[1]\*, СП 63.13330.2012. «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [2], а так же справочными материалами настоящих методических указаний.

При выполнении работы необходимо: определить вероятностные характеристики и закон распределения случайной величины прочности бетона. Знание этого закона, в свою очередь, позволит определять вероятности появления тех или иных значений прочности, в том числе, вероятности появления значений, отражающих надежность конструкций, выполненных с применением этого бетона.

В составе методических указаний приведен практический пример выполнения курсовой работы, содержащий все необходимые вычисления статистических параметров случайной величины прочности бетона, опре-

деление закона распределения прочности, и соответствующее графическое сопровождение определяемых функций.

Цель методических указаний – содействие магистрантам и студентам в выполнении курсовой работы «Определение вероятностных характеристик и закона распределения случайной величины прочности бетона».

---

\* Библиографический список на стр.14 состоит из 2-х частей: основная литература и нормативно-справочная.

## **2 Исходные данные**

Для изучения характера изменчивости и установления закона распределения случайной величины **R** прочности на сжатие тяжелого бетона в нижеследующем примере приняты к статистической обработке конкретные результаты испытаний на сжатие бетонных образцов-кубов, полученные в условиях заводского производства (завод КПД Тюменской ДСК). Аналогичное происхождение исходных данных в вариантах индивидуальных заданий к курсовой работе (форма задания в Приложении В).

Бетонная смесь готовилась в соответствии с нормативными документами. К испытаниям были приняты образцы-кубы, изготовленные из бетонной смеси одного состава классов В7,5-В25 по прочности на сжатие. Бетонная смесь соответствовала ГОСТ 26633-91 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые». Размер граней кубов 100мм, возраст- 28 суток. Объем однородной выборки составил  $N=30$  шт.

## **3 Статистическая обработка результатов испытаний прочности бетона на сжатие**

Исходные данные результатов испытаний 30-ти образцов-кубов бетона класса В25 на сжатие до разрушения  $R_i$ , МПа ( $i=1.....30$ ) представляют собой непрерывный статистический ряд, состоящий из дискретных значений прочности на сжатие, расположенных в порядке возрастания этих значений. Все значения ряда здесь не приводим (они приведены в задании к курсовой работе в хаотическом порядке), а применяем метод разбиения ряда на интервалы, при котором все без исключения значения ряда попадают в определенные интервалы.

Основные параметры интервалов статистического ряда случайной величины **R** прочности на сжатие тяжелого бетона следующие:

$N=30$  –число наблюдений;

$R_{min}=27$  МПа- минимальное значение прочности;

$R_{max}=47$  МПа- максимальное значение прочности;

$R = R_{max} - R_{min} = 47-27=20$  МПа- размах вариации прочности;

$K = 1 + 3,332 \lg N = 1 + 3,332 \times 1,48 = 1 + 4,9 = 5,9 \approx 6$  – число интервалов ряда (формула для  $K$  рекомендована в [ 2 ]). Здесь  $\lg N = \lg 30 = 1,48$ ;  
 Ширина интервала ряда  $\delta R = R/K = 20/6 \approx 3,3$  МПа.  
 Систематизируем полученные первичные результаты в таблице.

Таблица № 1

Первичные данные статистического ряда случайной величины  
 прочности бетона  $R$

| N  | $R_{\min}$ , МПа | $R_{\max}$ , МПа | $R_r$ , МПа | K | $\delta R$ , МПа |
|----|------------------|------------------|-------------|---|------------------|
| 30 | 27               | 47               | 20          | 6 | 3,3              |

Для составления непрерывного статистического ряда примем следующие обозначения:

$i$  - номер интервала;

$R_i^I$  - левая граница интервала;

$R_i^{II}$  - правая граница интервала;

$R_{ic}$  - середина интервала;

$m_{i\vartheta}$  - статистическая (опытная) частота появлений значений  $R$  в  $i$ -ом интервале ряда;

Величины  $R_{ic}$  и  $m_{i\vartheta}$  позволяют построить гистограмму и полигон опытной функции плотности вероятностей распределения случайной величины прочности бетона.

$P_{i\vartheta}$  - накопленная частота в предыдущих интервалах ряда:  $P_{i\vartheta} = \sum m_{i\vartheta}$ ;

$F_{i\vartheta}$  - статистическая (опытная) функция распределения случайной величины прочности бетона, т.е. опытная интегральная функция распределения прочности  $R$ :  $F_{i\vartheta} = \frac{P_{i\vartheta}}{N} = \frac{\sum m_{i\vartheta}}{N}$ . Расчеты ведем в табличной форме.

Таблица № 2

Статистический ряд случайной величины прочности  
 на сжатие  $R$  бетона класса В25

| № интервала | Интервал $R_i^I - R_i^{II}$ , МПа | $R_{ic}$ , МПа | Частота статистическая $m_{i\vartheta}$ | Частота накоплен. $P_{i\vartheta} = \sum m_{i\vartheta}$ | Функция распред-я статистич. $F_{i\vartheta} = \frac{P_{i\vartheta}}{N}$ |
|-------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1           | 2                                 | 3              | 4                                       | 5                                                        | 6                                                                        |
| 1           | 27,0-30,3                         | 28,65          | 4                                       | 4                                                        | 0,133                                                                    |
| 2           | 30,3-33,6                         | 31,95          | 9                                       | 13                                                       | 0,433                                                                    |
| 3           | 33,6-36,9                         | 35,25          | 4                                       | 17                                                       | 0,567                                                                    |

|   |            |       |   |    |       |
|---|------------|-------|---|----|-------|
| 4 | 36,9-40,2  | 38,55 | 7 | 24 | 0,800 |
| 5 | 40,2-43,5  | 41,85 | 3 | 27 | 0,900 |
| 6 | 43,5-46,8* | 45,15 | 3 | 30 | 1,000 |

$\sum 30$

\*46,8<47, т.к. ширина интервала принята  $\approx 3,3$  МПа.

Ниже, на рис.1,2 следует построение гистограммы и полигона опытной плотности распределения случайной величины  $R$ , а так же ее опытной функции распределения.

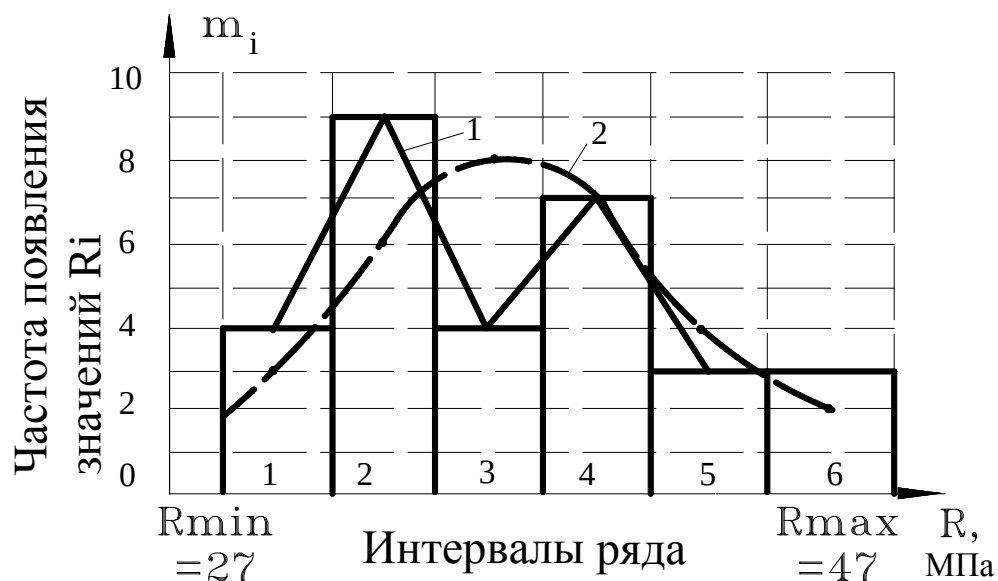


Рисунок 1. Опытная 1 и теоретическая 2 функции плотности вероятностей распределения прочности на сжатие бетона

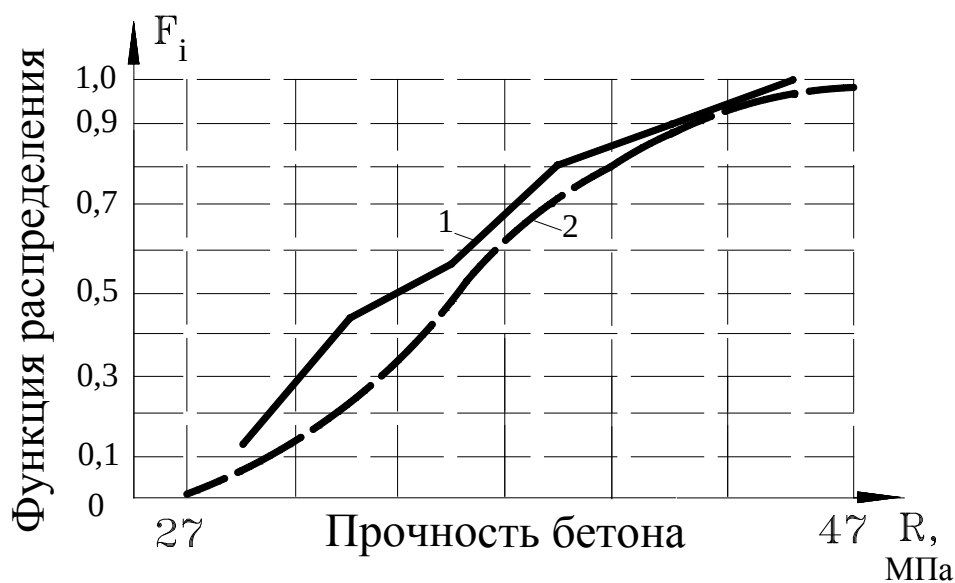


Рисунок 2. Опытная 1 и теоретическая 2 функции распределения прочности на сжатие бетона

#### 4. Определение сводных статистических характеристик случайной величины прочности бетона

Из полученных опытных данных результатов испытаний прочности бетона на сжатие определим сводные характеристики статистического ряда:

1) Математическое ожидание:

$$Mr = \frac{\sum_{i=1}^k R_{ic} m_{i3}}{N} = \frac{28,65 \times 4 + 31,95 \times 9 + 35,25 \times 4 + 38,55 \times 7 + 41,85 \times 3 + 45,15 \times 3}{30} = \frac{114,6 + 288,55 + 141 + 269,85 + 125,5 + 135,45}{30} = \frac{1073,95}{30} = 35,8 \text{ МПа}.$$

2) Дисперсия:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k (R_{ic} - Mr)^2 m_{i3}}{N} = \frac{(28,65 - 35,8)^2 \times 4 + (31,95 - 35,8)^2 \times 9 + (35,25 - 35,8)^2 \times 4 + (38,55 - 35,8)^2 \times 7 + (41,85 - 35,8)^2 \times 3 + (45,15 - 35,8)^2 \times 3}{30} = \frac{204,5 + 133,4 + 1,21 + 52,9 + 109,8 + 262,3}{30} = \frac{764,11}{30} = 25,5 \text{ МПа}^2.$$

3) Среднее квадратичное отклонение (стандарт):

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{25,5} = 5,05 \text{ МПа}.$$

4) Коэффициент вариации:  $V = \frac{\sigma}{Mr} = \frac{5,05}{35,8} = 0,141$  (14,1%).

Полученные результаты объединим в таблицу.

Таблица № 3

Сводные статистические характеристики случайной величины R прочности на сжатие бетона класса В25

| $Mr, \text{МПа}$ | $D, \text{МПа}^2$ | $\sigma, \text{МПа}$ | $V$   |
|------------------|-------------------|----------------------|-------|
| 35,8             | 25,5              | 5,05                 | 0,141 |

## 5 Определение закона распределения случайной величины прочности бетона

Для математического описания полученного опытного распределения ряда значений прочности бетона  $R$ , и с учетом статистических характеристик опытной выборки, примем широко рекомендованный в литературе [5,3] нормальный закон распределения, плотность вероятностей которого (дифференциальная функция распределения) имеет вид:

$$f(R) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(R_i - Mr)^2}{2\sigma^2}\right].$$

Интегральная функция распределения:  $F(R) = \int_{-\infty}^R f(R)dR$ ,

определяет вероятность того, что текущее значение прочности  $R$  окажется  $<$  принятого  $R_n$ , ( $R < R_n$ ).

Для того, чтобы воспользоваться табличными значениями функции  $F(R)$  необходимо перейти к нормированному виду функции  $f(R) = \frac{1}{\sigma} f_0(Z)$ , где новая переменная  $Z = \frac{R - Mr}{\sigma}$  - нормированное значение случайной величины  $R$ . Здесь  $Mr = 35,8 \text{ МПа}$ ,  $\sigma = 5,05 \text{ МПа}$ .

Тогда

$f_0(z) = f_0\left(\frac{R - Mr}{\sigma_r}\right) = f(R)\sigma = \frac{\sigma}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(R - Mr)^2}{2\sigma^2}\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$  - нормированная плотность распределения новой переменной  $z = \frac{R - Mr}{\sigma_r}$ , а

$$f(R) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right).$$

Для интегральной функции распределения прочности бетона [2]:

$$F(R) = \int_{-\infty}^R f(R)dR = \frac{1}{2} [1 + \Phi(z)] = 0,5 [1 + \Phi\left(\frac{R - Mr}{\sigma_r}\right)].$$

В нашем случае  $F(R) = 0,5 [1 + \Phi\left(\frac{R - 35,8}{5,05}\right)]$ , где

$$\Phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ - \text{табличное значение интеграла вероятности [4],}$$

(см. таблицу в Приложении А). Здесь  $R = R_{ic}$  - середина каждого интервала.

Теоретическую частоту (вероятность)  $P_{it}$  появления значений  $R_i$  в каждом интервале с учетом полученных выражений для  $f(R), F(R)$ , определим по формуле

$$P_{it} = [\Phi(Z_2) - \Phi(Z_1)] 0,5.$$

Здесь  $Z_1, Z_2$  вычисляем для левой и правой границ каждого интервала. Теоретические частоты  $m_{it}$  появления значений  $R_i$  в каждом интервале вычислим по формуле  $m_{it} = P_{it}N$ , где  $N = 30$  - количество испытаний. Расчеты ведем в табличной форме:

Таблица № 4

Теоретические значения функции распределения случайной величины  $R$  прочности на сжатие бетона класса В25

| № интервала   | $Z_1 = \frac{R_i^I - Mr}{\sigma}$ | $Z_2 = \frac{R_i^{II} - Mr}{\sigma}$ | $P_{it}$ | $m_{it}$    | $R_{ic}$ , МПа | $F(R)$ |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------|-------------|----------------|--------|
| 1             | 2                                 | 3                                    | 4        | 5           | 6              | 7      |
| 1             | -1,74                             | -1,09                                | 0,10     | 3           | 28,65          | 0,08   |
| 2             | -1,09                             | -0,44                                | 0,19     | 6           | 31,95          | 0,22   |
| 3             | -0,44                             | 0,21                                 | 0,25     | 8           | 35,25          | 0,46   |
| 4             | 0,21                              | 0,87                                 | 0,22     | 7           | 38,55          | 0,70   |
| 5             | 0,87                              | 1,40                                 | 0,11     | 4           | 41,85          | 0,88   |
| 6             | 1,40                              | 2,17                                 | 0,065    | 2           | 45,15          | 0,96   |
| $\approx 1,0$ |                                   |                                      |          | $\Sigma 30$ |                |        |

По полученным значениям  $m_{it}, F(R)$  строим графики на рис. 1,2 (пунктирные линии). Кривые 2 на графиках функций показывают близкое совпадение опытных и теоретических параметров. Однако, для оценки степени согласованности статистического и теоретического распределений случайной величины  $R$  воспользуемся наиболее простым и часто используемым в технических приложениях критерием согласия А.Н.Колмогорова [2]. Условием применения этого критерия являются случаи, когда гипотетическое распределение  $F(R)$  известно и известны все входящие в него параметры.

При применении критерия согласия А.Н.Колмогорова в качестве меры расхождения между теоретическим и статистическим распределениями рассматривается максимальное значение модуля разности между статистической функцией распределения  $F_{is}$  и соответствующей теоретической функцией распределения  $F(R)$ . В нашем случае:

$$D = \max |F_{is} - F(R)| = |0,433 - 0,22| = 0,21.$$

А. Н. Колмогоровым показано, что при любой функции распределения с возрастанием числа наблюдений  $N$  вероятность неравенства  $D\sqrt{N} \geq \lambda$  стремится к пределу

$$P(\lambda) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k \exp(-2k^2 \lambda^2).$$

Значения вероятности  $P(\lambda)$  приведены в таблице 7.6.1[2] и в Приложении Б настоящих методических указаний. В рассматриваемом примере:

$$\lambda = D\sqrt{N} = 0,21\sqrt{30} = 0,21 \times 5,48 = 1,15. \quad P(\lambda) = P(1,15) \approx 0,145.$$

Вероятность  $P(\lambda) = 0,145$  занимает среднее положение в таблице вероятностей критерия А.Н. Колмогорова, что позволяет гипотезу о нормальном распределении прочности бетона  $R$  считать совместимой с опытными данными.

## **6 Нормирование сопротивления бетона по прочности на сжатие по результатам статистической обработки**

В нормах проектирования [2] значение нормативного сопротивления бетона по прочности на сжатие  $R_{bn}$  принято большим наименьшего контролируемого значения с обеспеченностью (доверительной вероятностью) 0,95. Т.е. вероятность того, что прочность бетона на сжатие  $R$  окажется  $< R_{bn}$  равна  $1 - 0,95 = 0,05$ .

С учетом полученного в рассмотренном выше конкретном примере выражения  $F(R)$  для функции распределения прочности на сжатие бетона класса В25:  $F(R < R_{bn}) = 1 - 0,95 = 0,05$ .

Из этого условия определим  $R_{bn}$  для нашей исходной выборки. С одной стороны  $F(R < R_{bn}) = 0,05$ , с другой - как получено ранее в п.5,  $F(R < R_{bn}) = 0,5[1 + \Phi(Z)]$ . Значит  $0,5[1 + \Phi(Z)] = 0,05$ . Тогда  $1 + \Phi(Z) = 0,05 / 0,5 = 0,1$ , или  $\Phi(Z) = 0,1 - 1,0 = -0,9$ .

По таблице Приложения А при  $\Phi(Z) = -0,9$ ,  $Z = -1,65$ . Но  $Z = \frac{R_{bn} - Mr}{\sigma} = \frac{R_{bn} - 35,8}{5,05} = -1,65$ , или  $R_{bn} - 35,8 = 5,05(-1,65) = -8,33$ , тогда  $R_{bn} = 35,8 - 8,33 = 27,47 \text{ МПа}$ . В нормах [2] для тяжелого бетона кл.В25  $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа} < 27,47 \text{ МПа}$ .

Высокое значение  $R_{bn} = 27,47 \text{ МПа}$  получено из-за высокого  $Mr = 35,8 \text{ МПа}$  исходной выборки из  $N=30$  испытаний.

Расчетное сопротивление бетона сжатию в нашем случае  $R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_b} = \frac{27,47}{1,3} = 21,13 \text{ МПа}$  - вводится в расчеты прочности ж/б конструкций.

Для примера определим вероятность того, что прочность бетона на сжатие примет значение  $<$  расчетного. Эта вероятность:

$$F(R < R_b) = F(R < 21,13 \text{ МПа}) = 0,5[1 + \Phi(Z)] = 0,5[1 + \Phi(\frac{21,13 - 35,8}{5,05})] = 0,5[1 + \Phi(-2,90)] = 0,5[1 - 0,9963] = 0,5 \times 0,0037 = 0,00185.$$

Значит, вероятность того, что прочность бетона на сжатие примет значение  $>$  расчетного ( $R > R_b = 21,13 \text{ МПа}$ ) будет равна:  $1 - F(R < R_b) = 1 - 0,00185 = 0,99815$ . Это и есть характеристика надежности ж/бетонной или бетонной конструкции из данного бетона.

## Библиографический список

### *Основная литература:*

1. Болотин В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. - М.: Стройиздат, 1982.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. - М.: КНОРУС, 2016.
3. Лычев А. С. Надежность строительных конструкций. - М.: Изд-во АСВ, 2008.
4. Митропольский А. К. Интеграл вероятностей. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1972.
5. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. - М.: Стройиздат, 1978.

### *Нормативная и справочная литература*

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. - М., 2015.
2. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. - М., 2012.
3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М., «Наука», 1980.

Значения функции  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$

| $x$ | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,0 | 00000 | 00798 | 01596 | 02393 | 03191 | 03988 | 04784 | 05581 | 06376 | 07171 |
| 0,1 | 07966 | 08759 | 09552 | 10343 | 11134 | 11924 | 12712 | 13499 | 14285 | 15069 |
| 0,2 | 15852 | 16633 | 17413 | 18191 | 18967 | 19741 | 20514 | 21284 | 22052 | 22818 |
| 0,3 | 23582 | 24344 | 25103 | 25860 | 26614 | 27366 | 28115 | 28862 | 29605 | 30346 |
| 0,4 | 31084 | 31819 | 32551 | 33280 | 34006 | 34729 | 35448 | 36164 | 36877 | 37587 |
| 0,5 | 38292 | 38995 | 39694 | 40389 | 41080 | 41768 | 42452 | 43132 | 43809 | 44481 |
| 0,6 | 45149 | 45814 | 46474 | 47131 | 47783 | 48431 | 49075 | 49714 | 50350 | 50981 |
| 0,7 | 51607 | 52230 | 52848 | 53461 | 54070 | 54675 | 55275 | 55870 | 56461 | 57047 |
| 0,8 | 57629 | 58206 | 58778 | 59346 | 59909 | 60468 | 61021 | 61570 | 62114 | 62653 |
| 0,9 | 63188 | 63718 | 64243 | 64763 | 65278 | 65789 | 66294 | 66795 | 67291 | 66783 |
| 1,0 | 68269 | 68750 | 69227 | 69699 | 70166 | 70628 | 71086 | 71538 | 71986 | 72429 |
| 1,1 | 72867 | 73300 | 73729 | 74152 | 74571 | 74986 | 75395 | 75800 | 76200 | 76595 |
| 1,2 | 76986 | 77372 | 77754 | 78130 | 78502 | 78870 | 79233 | 79592 | 79945 | 80295 |
| 1,3 | 80640 | 80980 | 81316 | 81648 | 81975 | 82298 | 82617 | 82931 | 83241 | 83547 |
| 1,4 | 83849 | 84146 | 84439 | 84728 | 85013 | 85294 | 85571 | 85844 | 86113 | 86378 |
| 1,5 | 86639 | 86896 | 87149 | 87398 | 87644 | 87886 | 88124 | 88358 | 88589 | 88817 |
| 1,6 | 89040 | 89260 | 89477 | 89690 | 89899 | 90106 | 90309 | 90508 | 90704 | 90897 |
| 1,7 | 91087 | 91273 | 91457 | 91637 | 91814 | 91988 | 92159 | 92327 | 92492 | 92655 |
| 1,8 | 92814 | 92970 | 93124 | 93275 | 93423 | 93569 | 93711 | 93852 | 93989 | 94124 |
| 1,9 | 94257 | 94387 | 94514 | 94639 | 94762 | 94882 | 95000 | 95116 | 95230 | 95341 |
| 2,0 | 95450 | 95557 | 95662 | 95764 | 95865 | 95964 | 96060 | 96155 | 96247 | 96338 |
| 2,1 | 96427 | 96514 | 96599 | 96683 | 96765 | 96844 | 96923 | 96999 | 97074 | 97148 |
| 2,2 | 97219 | 97289 | 97358 | 97425 | 97491 | 97555 | 97618 | 97679 | 97739 | 97798 |
| 2,3 | 97855 | 97911 | 97966 | 98019 | 98072 | 98123 | 98172 | 98221 | 98269 | 98315 |
| 2,4 | 98360 | 98405 | 98448 | 98490 | 98531 | 98571 | 98611 | 98649 | 98686 | 98723 |
| 2,5 | 98758 | 98793 | 98826 | 98859 | 98891 | 98923 | 98953 | 98983 | 99012 | 99040 |
| 2,6 | 99068 | 99095 | 99121 | 99146 | 99171 | 99195 | 99219 | 99241 | 99264 | 99285 |
| 2,7 | 99307 | 99327 | 99347 | 99367 | 99386 | 99404 | 99422 | 99439 | 99456 | 99473 |
| 2,8 | 99489 | 99505 | 99520 | 99535 | 99549 | 99563 | 99576 | 99590 | 99602 | 99615 |
| 2,9 | 99627 | 99639 | 99650 | 99661 | 99672 | 99682 | 99692 | 99702 | 99712 | 99721 |
| 3,0 | 99730 | 99739 | 99747 | 99755 | 99763 | 99771 | 99779 | 99786 | 99793 | 99800 |
| 3,1 | 99806 | 99813 | 99819 | 99825 | 99831 | 99837 | 99842 | 99848 | 99853 | 99858 |
| 3,2 | 99863 | 99867 | 99872 | 99876 | 99880 | 99885 | 99889 | 99892 | 99896 | 99900 |
| 3,3 | 99903 | 99907 | 99910 | 99913 | 99916 | 99919 | 99922 | 99925 | 99928 | 99930 |
| 3,4 | 99933 | 99935 | 99937 | 99940 | 99942 | 99944 | 99946 | 99948 | 99950 | 99952 |
| 3,5 | 99953 | 99955 | 99957 | 99958 | 99960 | 99961 | 99963 | 99964 | 99966 | 99967 |
| 3,6 | 99968 | 99969 | 99971 | 99972 | 99973 | 99974 | 99975 | 99976 | 99977 | 99978 |
| 3,7 | 99978 | 99979 | 99980 | 99981 | 99982 | 99982 | 99983 | 99984 | 99984 | 99985 |
| 3,8 | 99986 | 99986 | 99987 | 99987 | 99988 | 99988 | 99989 | 99989 | 99990 | 99990 |
| 3,9 | 99990 | 99991 | 99991 | 99992 | 99992 | 99992 | 99992 | 99993 | 99993 | 99993 |
| 4,  | 99994 | 99996 | 99997 | 99998 | 99999 | 99999 | —     | —     | —     | —     |

## Приложение Б

Значения вероятностей  $P(\lambda)$  критерия согласия А. Н. Колмогорова [2]

| $\lambda$ | $P(\lambda)$ | $\lambda$ | $P(\lambda)$ | $\lambda$ | $P(\lambda)$ |
|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 0,0       | 1,000        | 0,7       | 0,711        | 1,4       | 0,040        |
| 0,1       | 1,000        | 0,8       | 0,544        | 1,5       | 0,022        |
| 0,2       | 1,000        | 0,9       | 0,393        | 1,6       | 0,012        |
| 0,3       | 1,000        | 1,0       | 0,270        | 1,7       | 0,006        |
| 0,4       | 0,997        | 1,1       | 0,178        | 1,8       | 0,003        |
| 0,5       | 0,964        | 1,2       | 0,112        | 1,9       | 0,002        |
| 0,6       | 0,864        | 1,3       | 0,068        | 2,0       | 0,001        |

**Задание (вариант №\_\_\_)**

Магистранту (студенту) группы \_\_\_\_\_ на выполнение курсовой работы **«Определение вероятностных характеристик и закона распределения случайной величины прочности бетона»**

\*№ варианта исходных данных выбрать из таблицы В.1 согласно шифру зачетной книжки. Исходные данные варианта приведены на стр. 19-25.

Исходными данными для статистической обработки являются представленные результаты испытаний на сжатие образцов-кубов размерами граней 100/100/100 мм из тяжелого бетона класса по прочности на сжатий В7,5-В25, прошедших тепловую обработку. Объем выборки в каждом варианте **N=30шт.**

**Состав курсовой работы:**

- построение вариационного ряда случайной величины прочности бетона  $R$ ;
- построение гистограммы и полигона опытного распределения  $R$ ;
- определение сводных статистических характеристик вариационного ряда и параметров нормального распределения случайной величины прочности бетона  $R$ ;
- проверка согласия опытного и принятого распределений критерием А. Н. Колмогорова;
- нормирование сопротивления бетона по прочности на сжатие по результатам статистической обработки.

## Выбор варианта исходных данных для курсовой работы

| Предпо-<br>следняя<br>цифра<br>шифра | Последняя цифра шифра |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------------|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                      | 0                     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 0                                    | 1                     | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| 1                                    | 11                    | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 2                                    | 21                    | 22 | 23 | 24 | 25 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 3                                    | 6                     | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 4                                    | 16                    | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 5                                    | 1                     | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| 6                                    | 11                    | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 7                                    | 21                    | 22 | 23 | 24 | 25 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 8                                    | 6                     | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 9                                    | 16                    | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |

Вариант № 1

| Класс бетона по прочности на сжатие В7,5<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                    | 9,2                                                 |
| 2                                                    | 11,5                                                |
| 3                                                    | 10,8                                                |
| 4                                                    | 10,8                                                |
| 5                                                    | 11,8                                                |
| 6                                                    | 9,4                                                 |
| 7                                                    | 8,4                                                 |
| 8                                                    | 8,9                                                 |
| 9                                                    | 11,7                                                |
| 10                                                   | 12,6                                                |
| 11                                                   | 8,6                                                 |
| 12                                                   | 7,4                                                 |
| 13                                                   | 13,0                                                |
| 14                                                   | 10,2                                                |
| 15                                                   | 8,8                                                 |
| 16                                                   | 13,5                                                |
| 17                                                   | 13,5                                                |
| 18                                                   | 13,6                                                |
| 19                                                   | 7,8                                                 |
| 20                                                   | 12,2                                                |
| 21                                                   | 8,8                                                 |
| 22                                                   | 9,5                                                 |
| 23                                                   | 12,1                                                |
| 24                                                   | 9,5                                                 |
| 25                                                   | 12,6                                                |
| 26                                                   | 13,6                                                |
| 27                                                   | 11,8                                                |
| 28                                                   | 12,3                                                |
| 29                                                   | 8,4                                                 |
| 30                                                   | 9,6                                                 |

Вариант № 2

| Класс бетона по прочности на сжатие В7,5<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                    | 9,6                                                 |
| 2                                                    | 11,5                                                |
| 3                                                    | 10,6                                                |
| 4                                                    | 10,8                                                |
| 5                                                    | 11,0                                                |
| 6                                                    | 9,4                                                 |
| 7                                                    | 8,4                                                 |
| 8                                                    | 8,0                                                 |
| 9                                                    | 11,7                                                |
| 10                                                   | 12,6                                                |
| 11                                                   | 8,6                                                 |
| 12                                                   | 7,4                                                 |
| 13                                                   | 13,4                                                |
| 14                                                   | 10,2                                                |
| 15                                                   | 8,2                                                 |
| 16                                                   | 13,5                                                |
| 17                                                   | 13,9                                                |
| 18                                                   | 13,6                                                |
| 19                                                   | 7,8                                                 |
| 20                                                   | 12,0                                                |
| 21                                                   | 8,8                                                 |
| 22                                                   | 9,5                                                 |
| 23                                                   | 12,8                                                |
| 24                                                   | 9,5                                                 |
| 25                                                   | 12,0                                                |
| 26                                                   | 13,6                                                |
| 27                                                   | 11,8                                                |
| 28                                                   | 12,5                                                |
| 29                                                   | 8,4                                                 |
| 30                                                   | 9,0                                                 |

Вариант № 3

| Класс бетона по прочности на сжатие В7,5<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                    | 8,9                                                 |
| 2                                                    | 10,5                                                |
| 3                                                    | 11,8                                                |
| 4                                                    | 10,8                                                |
| 5                                                    | 11,5                                                |
| 6                                                    | 9,0                                                 |
| 7                                                    | 8,0                                                 |
| 8                                                    | 8,9                                                 |
| 9                                                    | 11,3                                                |
| 10                                                   | 12,3                                                |
| 11                                                   | 8,9                                                 |
| 12                                                   | 7,4                                                 |
| 13                                                   | 13,9                                                |
| 14                                                   | 10,5                                                |
| 15                                                   | 8,0                                                 |
| 16                                                   | 13,5                                                |
| 17                                                   | 13,5                                                |
| 18                                                   | 13,1                                                |
| 19                                                   | 7,8                                                 |
| 20                                                   | 12,6                                                |
| 21                                                   | 8,8                                                 |
| 22                                                   | 9,4                                                 |
| 23                                                   | 12,9                                                |
| 24                                                   | 9,5                                                 |
| 25                                                   | 12,2                                                |
| 26                                                   | 13,6                                                |
| 27                                                   | 11,8                                                |
| 28                                                   | 12,3                                                |
| 29                                                   | 8,9                                                 |
| 30                                                   | 9,1                                                 |

Вариант № 4

| Класс бетона по прочности на сжатие В7,5<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                    | 9,8                                                 |
| 2                                                    | 11,0                                                |
| 3                                                    | 10,8                                                |
| 4                                                    | 10,0                                                |
| 5                                                    | 11,0                                                |
| 6                                                    | 9,0                                                 |
| 7                                                    | 8,0                                                 |
| 8                                                    | 8,8                                                 |
| 9                                                    | 11,4                                                |
| 10                                                   | 12,2                                                |
| 11                                                   | 8,1                                                 |
| 12                                                   | 7,4                                                 |
| 13                                                   | 13,0                                                |
| 14                                                   | 10,8                                                |
| 15                                                   | 8,7                                                 |
| 16                                                   | 13,3                                                |
| 17                                                   | 13,1                                                |
| 18                                                   | 13,9                                                |
| 19                                                   | 7,1                                                 |
| 20                                                   | 12,2                                                |
| 21                                                   | 8,0                                                 |
| 22                                                   | 9,0                                                 |
| 23                                                   | 12,1                                                |
| 24                                                   | 9,5                                                 |
| 25                                                   | 11,6                                                |
| 26                                                   | 12,6                                                |
| 27                                                   | 10,8                                                |
| 28                                                   | 12,3                                                |
| 29                                                   | 8,4                                                 |
| 30                                                   | 9,9                                                 |

Вариант № 5

| Класс бетона по прочности на сжатие В7,5<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                    | 10,2                                                |
| 2                                                    | 11,6                                                |
| 3                                                    | 10,7                                                |
| 4                                                    | 10,0                                                |
| 5                                                    | 11,5                                                |
| 6                                                    | 9,7                                                 |
| 7                                                    | 8,1                                                 |
| 8                                                    | 9,0                                                 |
| 9                                                    | 11,6                                                |
| 10                                                   | 12,4                                                |
| 11                                                   | 8,5                                                 |
| 12                                                   | 7,9                                                 |
| 13                                                   | 13,8                                                |
| 14                                                   | 10,0                                                |
| 15                                                   | 8,6                                                 |
| 16                                                   | 13,2                                                |
| 17                                                   | 13,2                                                |
| 18                                                   | 13,8                                                |
| 19                                                   | 9,0                                                 |
| 20                                                   | 12,0                                                |
| 21                                                   | 8,9                                                 |
| 22                                                   | 9,5                                                 |
| 23                                                   | 12,1                                                |
| 24                                                   | 9,5                                                 |
| 25                                                   | 12,6                                                |
| 26                                                   | 13,6                                                |
| 27                                                   | 11,8                                                |
| 28                                                   | 12,3                                                |
| 29                                                   | 8,4                                                 |
| 30                                                   | 9,6                                                 |

Вариант № 6

| Класс бетона по прочности на сжатие В10<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 13,8                                                |
| 2                                                   | 13,3                                                |
| 3                                                   | 19,4                                                |
| 4                                                   | 16,2                                                |
| 5                                                   | 19,9                                                |
| 6                                                   | 19,2                                                |
| 7                                                   | 15,2                                                |
| 8                                                   | 15,2                                                |
| 9                                                   | 15,0                                                |
| 10                                                  | 15,1                                                |
| 11                                                  | 16,3                                                |
| 12                                                  | 17,4                                                |
| 13                                                  | 19,0                                                |
| 14                                                  | 19,9                                                |
| 15                                                  | 16,2                                                |
| 16                                                  | 18,0                                                |
| 17                                                  | 15,7                                                |
| 18                                                  | 14,7                                                |
| 19                                                  | 14,3                                                |
| 20                                                  | 11,6                                                |
| 21                                                  | 12,7                                                |
| 22                                                  | 12,9                                                |
| 23                                                  | 10,9                                                |
| 24                                                  | 13,9                                                |
| 25                                                  | 13,2                                                |
| 26                                                  | 13,9                                                |
| 27                                                  | 14,0                                                |
| 28                                                  | 14,0                                                |
| 29                                                  | 13,6                                                |
| 30                                                  | 14,0                                                |

Вариант № 7

| Класс бетона по прочности на сжатие В10<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 12,8                                                |
| 2                                                   | 12,3                                                |
| 3                                                   | 17,4                                                |
| 4                                                   | 15,2                                                |
| 5                                                   | 18,9                                                |
| 6                                                   | 18,2                                                |
| 7                                                   | 15,8                                                |
| 8                                                   | 15,9                                                |
| 9                                                   | 15,5                                                |
| 10                                                  | 15,4                                                |
| 11                                                  | 16,7                                                |
| 12                                                  | 17,8                                                |
| 13                                                  | 19,2                                                |
| 14                                                  | 19,3                                                |
| 15                                                  | 16,7                                                |
| 16                                                  | 18,5                                                |
| 17                                                  | 15,6                                                |
| 18                                                  | 14,8                                                |
| 19                                                  | 14,4                                                |
| 20                                                  | 11,5                                                |
| 21                                                  | 11,7                                                |
| 22                                                  | 12,9                                                |
| 23                                                  | 12,9                                                |
| 24                                                  | 14,9                                                |
| 25                                                  | 13,2                                                |
| 26                                                  | 13,1                                                |
| 27                                                  | 14,6                                                |
| 28                                                  | 14,1                                                |
| 29                                                  | 13,9                                                |
| 30                                                  | 14,4                                                |

Вариант № 8

| Класс бетона по прочности на сжатие В10<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 13,0                                                |
| 2                                                   | 13,3                                                |
| 3                                                   | 18,4                                                |
| 4                                                   | 15,2                                                |
| 5                                                   | 19,0                                                |
| 6                                                   | 17,0                                                |
| 7                                                   | 15,2                                                |
| 8                                                   | 15,8                                                |
| 9                                                   | 15,7                                                |
| 10                                                  | 15,9                                                |
| 11                                                  | 16,0                                                |
| 12                                                  | 17,7                                                |
| 13                                                  | 17,0                                                |
| 14                                                  | 18,9                                                |
| 15                                                  | 16,0                                                |
| 16                                                  | 17,0                                                |
| 17                                                  | 16,7                                                |
| 18                                                  | 14,7                                                |
| 19                                                  | 14,3                                                |
| 20                                                  | 13,6                                                |
| 21                                                  | 12,7                                                |
| 22                                                  | 13,0                                                |
| 23                                                  | 10,9                                                |
| 24                                                  | 13,9                                                |
| 25                                                  | 13,2                                                |
| 26                                                  | 13,1                                                |
| 27                                                  | 14,4                                                |
| 28                                                  | 14,3                                                |
| 29                                                  | 13,1                                                |
| 30                                                  | 14,5                                                |

Вариант № 9

| Класс бетона по прочности на сжатие B10<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 12,8                                                |
| 2                                                   | 12,3                                                |
| 3                                                   | 18,4                                                |
| 4                                                   | 17,2                                                |
| 5                                                   | 19,0                                                |
| 6                                                   | 19,8                                                |
| 7                                                   | 15,9                                                |
| 8                                                   | 15,2                                                |
| 9                                                   | 15,7                                                |
| 10                                                  | 15,1                                                |
| 11                                                  | 16,3                                                |
| 12                                                  | 17,0                                                |
| 13                                                  | 19,0                                                |
| 14                                                  | 19,9                                                |
| 15                                                  | 16,2                                                |
| 16                                                  | 18,7                                                |
| 17                                                  | 15,7                                                |
| 18                                                  | 14,7                                                |
| 19                                                  | 14,4                                                |
| 20                                                  | 11,1                                                |
| 21                                                  | 12,0                                                |
| 22                                                  | 13,9                                                |
| 23                                                  | 11,9                                                |
| 24                                                  | 13,0                                                |
| 25                                                  | 13,8                                                |
| 26                                                  | 13,5                                                |
| 27                                                  | 14,6                                                |
| 28                                                  | 14,1                                                |
| 29                                                  | 13,6                                                |
| 30                                                  | 14,6                                                |

Вариант № 10

| Класс бетона по прочности на сжатие B10<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 13,7                                                |
| 2                                                   | 13,7                                                |
| 3                                                   | 19,7                                                |
| 4                                                   | 16,4                                                |
| 5                                                   | 19,0                                                |
| 6                                                   | 19,1                                                |
| 7                                                   | 14,2                                                |
| 8                                                   | 16,2                                                |
| 9                                                   | 14,0                                                |
| 10                                                  | 16,1                                                |
| 11                                                  | 15,3                                                |
| 12                                                  | 16,4                                                |
| 13                                                  | 17,0                                                |
| 14                                                  | 20,9                                                |
| 15                                                  | 15,2                                                |
| 16                                                  | 19,0                                                |
| 17                                                  | 15,7                                                |
| 18                                                  | 14,0                                                |
| 19                                                  | 14,3                                                |
| 20                                                  | 11,0                                                |
| 21                                                  | 12,7                                                |
| 22                                                  | 12,7                                                |
| 23                                                  | 10,8                                                |
| 24                                                  | 13,9                                                |
| 25                                                  | 13,2                                                |
| 26                                                  | 13,9                                                |
| 27                                                  | 15,0                                                |
| 28                                                  | 13,0                                                |
| 29                                                  | 14,6                                                |
| 30                                                  | 15,0                                                |

Вариант № 11

| Класс бетона по прочности на сжатие B15<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 21,6                                                |
| 2                                                   | 22,2                                                |
| 3                                                   | 19,7                                                |
| 4                                                   | 17,9                                                |
| 5                                                   | 18,5                                                |
| 6                                                   | 17,5                                                |
| 7                                                   | 21,9                                                |
| 8                                                   | 15,9                                                |
| 9                                                   | 21,8                                                |
| 10                                                  | 20,5                                                |
| 11                                                  | 21,2                                                |
| 12                                                  | 15,2                                                |
| 13                                                  | 14,6                                                |
| 14                                                  | 15,7                                                |
| 15                                                  | 18,3                                                |
| 16                                                  | 22,3                                                |
| 17                                                  | 16,5                                                |
| 18                                                  | 15,5                                                |
| 19                                                  | 18,3                                                |
| 20                                                  | 21,1                                                |
| 21                                                  | 20,3                                                |
| 22                                                  | 24,2                                                |
| 23                                                  | 26,5                                                |
| 24                                                  | 22,0                                                |
| 25                                                  | 20,3                                                |
| 26                                                  | 21,9                                                |
| 27                                                  | 19,0                                                |
| 28                                                  | 16,2                                                |
| 29                                                  | 21,2                                                |
| 30                                                  | 20,8                                                |

Вариант № 12

| Класс бетона по прочности на сжатие B15<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 20,6                                                |
| 2                                                   | 20,2                                                |
| 3                                                   | 17,7                                                |
| 4                                                   | 17,8                                                |
| 5                                                   | 18,5                                                |
| 6                                                   | 17,5                                                |
| 7                                                   | 21,8                                                |
| 8                                                   | 16,9                                                |
| 9                                                   | 22,8                                                |
| 10                                                  | 20,9                                                |
| 11                                                  | 21,4                                                |
| 12                                                  | 15,8                                                |
| 13                                                  | 14,4                                                |
| 14                                                  | 15,8                                                |
| 15                                                  | 18,0                                                |
| 16                                                  | 21,3                                                |
| 17                                                  | 17,5                                                |
| 18                                                  | 15,5                                                |
| 19                                                  | 18,3                                                |
| 20                                                  | 21,6                                                |
| 21                                                  | 20,4                                                |
| 22                                                  | 24,9                                                |
| 23                                                  | 25,5                                                |
| 24                                                  | 21,0                                                |
| 25                                                  | 22,3                                                |
| 26                                                  | 21,7                                                |
| 27                                                  | 18,0                                                |
| 28                                                  | 16,9                                                |
| 29                                                  | 21,5                                                |
| 30                                                  | 20,0                                                |

Вариант № 13

| Класс бетона по прочности на сжатие B15<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 21,0                                                |
| 2                                                   | 22,0                                                |
| 3                                                   | 19,9                                                |
| 4                                                   | 17,2                                                |
| 5                                                   | 18,6                                                |
| 6                                                   | 17,4                                                |
| 7                                                   | 21,6                                                |
| 8                                                   | 15,5                                                |
| 9                                                   | 21,0                                                |
| 10                                                  | 20,5                                                |
| 11                                                  | 21,2                                                |
| 12                                                  | 17,2                                                |
| 13                                                  | 13,6                                                |
| 14                                                  | 14,7                                                |
| 15                                                  | 19,3                                                |
| 16                                                  | 21,3                                                |
| 17                                                  | 16,5                                                |
| 18                                                  | 14,5                                                |
| 19                                                  | 17,3                                                |
| 20                                                  | 22,1                                                |
| 21                                                  | 20,7                                                |
| 22                                                  | 24,0                                                |
| 23                                                  | 26,0                                                |
| 24                                                  | 22,8                                                |
| 25                                                  | 20,5                                                |
| 26                                                  | 21,7                                                |
| 27                                                  | 19,1                                                |
| 28                                                  | 16,5                                                |
| 29                                                  | 21,3                                                |
| 30                                                  | 21,8                                                |

Вариант № 14

| Класс бетона по прочности на сжатие B15<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 22,6                                                |
| 2                                                   | 20,2                                                |
| 3                                                   | 19,0                                                |
| 4                                                   | 17,8                                                |
| 5                                                   | 18,0                                                |
| 6                                                   | 17,0                                                |
| 7                                                   | 21,1                                                |
| 8                                                   | 15,8                                                |
| 9                                                   | 21,0                                                |
| 10                                                  | 20,5                                                |
| 11                                                  | 21,2                                                |
| 12                                                  | 15,2                                                |
| 13                                                  | 14,5                                                |
| 14                                                  | 15,0                                                |
| 15                                                  | 18,8                                                |
| 16                                                  | 22,0                                                |
| 17                                                  | 16,2                                                |
| 18                                                  | 15,9                                                |
| 19                                                  | 18,9                                                |
| 20                                                  | 21,0                                                |
| 21                                                  | 20,5                                                |
| 22                                                  | 24,7                                                |
| 23                                                  | 26,1                                                |
| 24                                                  | 22,7                                                |
| 25                                                  | 20,4                                                |
| 26                                                  | 21,0                                                |
| 27                                                  | 19,8                                                |
| 28                                                  | 16,8                                                |
| 29                                                  | 21,9                                                |
| 30                                                  | 20,9                                                |

Вариант № 15

| Класс бетона по прочности на сжатие B15<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 21,0                                                |
| 2                                                   | 22,5                                                |
| 3                                                   | 19,5                                                |
| 4                                                   | 17,5                                                |
| 5                                                   | 18,9                                                |
| 6                                                   | 17,9                                                |
| 7                                                   | 21,0                                                |
| 8                                                   | 15,8                                                |
| 9                                                   | 21,8                                                |
| 10                                                  | 20,9                                                |
| 11                                                  | 21,9                                                |
| 12                                                  | 15,8                                                |
| 13                                                  | 14,7                                                |
| 14                                                  | 15,5                                                |
| 15                                                  | 18,1                                                |
| 16                                                  | 22,1                                                |
| 17                                                  | 16,2                                                |
| 18                                                  | 15,6                                                |
| 19                                                  | 18,3                                                |
| 20                                                  | 21,3                                                |
| 21                                                  | 20,3                                                |
| 22                                                  | 24,7                                                |
| 23                                                  | 26,7                                                |
| 24                                                  | 22,7                                                |
| 25                                                  | 18,3                                                |
| 26                                                  | 21,0                                                |
| 27                                                  | 19,7                                                |
| 28                                                  | 16,8                                                |
| 29                                                  | 21,0                                                |
| 30                                                  | 20,9                                                |

Вариант №16

| Класс бетона по прочности на сжатие B20<br>№образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                   | 25,1                                                |
| 2                                                   | 28,4                                                |
| 3                                                   | 30,0                                                |
| 4                                                   | 28,0                                                |
| 5                                                   | 27,0                                                |
| 6                                                   | 17,3                                                |
| 7                                                   | 25,0                                                |
| 8                                                   | 27,1                                                |
| 9                                                   | 25,4                                                |
| 10                                                  | 24,7                                                |
| 11                                                  | 20,4                                                |
| 12                                                  | 23,8                                                |
| 13                                                  | 25,0                                                |
| 14                                                  | 24,7                                                |
| 15                                                  | 25,6                                                |
| 16                                                  | 19,0                                                |
| 17                                                  | 27,7                                                |
| 18                                                  | 28,0                                                |
| 19                                                  | 22,9                                                |
| 20                                                  | 23,0                                                |
| 21                                                  | 22,0                                                |
| 22                                                  | 21,1                                                |
| 23                                                  | 21,8                                                |
| 24                                                  | 22,3                                                |
| 25                                                  | 20,5                                                |
| 26                                                  | 19,9                                                |
| 27                                                  | 20,6                                                |
| 28                                                  | 31,6                                                |
| 29                                                  | 24,1                                                |
| 30                                                  | 23,8                                                |

Вариант № 17

| Класс бетона по прочности на сжатие В20 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 25,9                                                |
| 2                                                | 28,8                                                |
| 3                                                | 30,2                                                |
| 4                                                | 28,2                                                |
| 5                                                | 27,1                                                |
| 6                                                | 17,8                                                |
| 7                                                | 25,0                                                |
| 8                                                | 27,1                                                |
| 9                                                | 25,6                                                |
| 10                                               | 24,7                                                |
| 11                                               | 20,4                                                |
| 12                                               | 23,2                                                |
| 13                                               | 25,0                                                |
| 14                                               | 24,7                                                |
| 15                                               | 25,3                                                |
| 16                                               | 19,0                                                |
| 17                                               | 27,7                                                |
| 18                                               | 28,0                                                |
| 19                                               | 22,9                                                |
| 20                                               | 23,7                                                |
| 21                                               | 22,0                                                |
| 22                                               | 21,9                                                |
| 23                                               | 21,8                                                |
| 24                                               | 22,2                                                |
| 25                                               | 19,5                                                |
| 26                                               | 18,9                                                |
| 27                                               | 20,6                                                |
| 28                                               | 32,6                                                |
| 29                                               | 25,1                                                |
| 30                                               | 24,8                                                |

Вариант № 18

| Класс бетона по прочности на сжатие В20 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 26,1                                                |
| 2                                                | 28,4                                                |
| 3                                                | 30,9                                                |
| 4                                                | 28,0                                                |
| 5                                                | 27,0                                                |
| 6                                                | 17,3                                                |
| 7                                                | 25,3                                                |
| 8                                                | 26,1                                                |
| 9                                                | 25,4                                                |
| 10                                               | 24,0                                                |
| 11                                               | 22,9                                                |
| 12                                               | 23,9                                                |
| 13                                               | 25,9                                                |
| 14                                               | 24,4                                                |
| 15                                               | 25,0                                                |
| 16                                               | 17,0                                                |
| 17                                               | 23,7                                                |
| 18                                               | 28,5                                                |
| 19                                               | 22,0                                                |
| 20                                               | 23,0                                                |
| 21                                               | 22,0                                                |
| 22                                               | 21,1                                                |
| 23                                               | 22,8                                                |
| 24                                               | 22,5                                                |
| 25                                               | 20,0                                                |
| 26                                               | 19,9                                                |
| 27                                               | 20,6                                                |
| 28                                               | 31,6                                                |
| 29                                               | 24,1                                                |
| 30                                               | 23,9                                                |

Вариант № 19

| Класс бетона по прочности на сжатие В20 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 24,1                                                |
| 2                                                | 28,7                                                |
| 3                                                | 30,8                                                |
| 4                                                | 27,0                                                |
| 5                                                | 27,3                                                |
| 6                                                | 19,3                                                |
| 7                                                | 25,2                                                |
| 8                                                | 27,0                                                |
| 9                                                | 25,7                                                |
| 10                                               | 24,9                                                |
| 11                                               | 20,4                                                |
| 12                                               | 23,8                                                |
| 13                                               | 25,0                                                |
| 14                                               | 24,7                                                |
| 15                                               | 25,6                                                |
| 16                                               | 18,0                                                |
| 17                                               | 27,7                                                |
| 18                                               | 28,2                                                |
| 19                                               | 22,3                                                |
| 20                                               | 23,4                                                |
| 21                                               | 22,5                                                |
| 22                                               | 21,6                                                |
| 23                                               | 21,6                                                |
| 24                                               | 22,7                                                |
| 25                                               | 20,8                                                |
| 26                                               | 19,7                                                |
| 27                                               | 22,6                                                |
| 28                                               | 31,0                                                |
| 29                                               | 24,9                                                |
| 30                                               | 23,4                                                |

Вариант №20

| Класс бетона по прочности на сжатие В20 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 25,1                                                |
| 2                                                | 29,4                                                |
| 3                                                | 31,0                                                |
| 4                                                | 27,0                                                |
| 5                                                | 26,0                                                |
| 6                                                | 18,3                                                |
| 7                                                | 24,0                                                |
| 8                                                | 28,1                                                |
| 9                                                | 24,4                                                |
| 10                                               | 23,7                                                |
| 11                                               | 21,4                                                |
| 12                                               | 26,8                                                |
| 13                                               | 25,0                                                |
| 14                                               | 24,7                                                |
| 15                                               | 25,6                                                |
| 16                                               | 19,0                                                |
| 17                                               | 27,7                                                |
| 18                                               | 28,0                                                |
| 19                                               | 22,0                                                |
| 20                                               | 23,2                                                |
| 21                                               | 22,7                                                |
| 22                                               | 21,4                                                |
| 23                                               | 21,9                                                |
| 24                                               | 23,3                                                |
| 25                                               | 20,0                                                |
| 26                                               | 19,0                                                |
| 27                                               | 20,9                                                |
| 28                                               | 31,1                                                |
| 29                                               | 24,9                                                |
| 30                                               | 23,4                                                |

Вариант № 21

| Класс бетона по прочности на сжатие В25 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 40,1                                                |
| 2                                                | 35,0                                                |
| 3                                                | 46,6                                                |
| 4                                                | 44,0                                                |
| 5                                                | 39,0                                                |
| 6                                                | 30,1                                                |
| 7                                                | 31,4                                                |
| 8                                                | 33,7                                                |
| 9                                                | 37,8                                                |
| 10                                               | 33,0                                                |
| 11                                               | 27,5                                                |
| 12                                               | 28,0                                                |
| 13                                               | 31,0                                                |
| 14                                               | 31,3                                                |
| 15                                               | 32,9                                                |
| 16                                               | 32,8                                                |
| 17                                               | 38,9                                                |
| 18                                               | 40,3                                                |
| 19                                               | 41,0                                                |
| 20                                               | 40,6                                                |
| 21                                               | 38,0                                                |
| 22                                               | 35,6                                                |
| 23                                               | 31,8                                                |
| 24                                               | 39,8                                                |
| 25                                               | 41,6                                                |
| 26                                               | 42,0                                                |
| 27                                               | 30,0                                                |
| 28                                               | 29,9                                                |
| 29                                               | 37,5                                                |
| 30                                               | 33,0                                                |

Вариант № 22

| Класс бетона по прочности на сжатие В25 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 40,8                                                |
| 2                                                | 35,6                                                |
| 3                                                | 44,6                                                |
| 4                                                | 43,0                                                |
| 5                                                | 38,0                                                |
| 6                                                | 33,1                                                |
| 7                                                | 31,0                                                |
| 8                                                | 33,9                                                |
| 9                                                | 34,8                                                |
| 10                                               | 33,6                                                |
| 11                                               | 28,5                                                |
| 12                                               | 30,0                                                |
| 13                                               | 31,3                                                |
| 14                                               | 31,2                                                |
| 15                                               | 32,1                                                |
| 16                                               | 32,2                                                |
| 17                                               | 38,0                                                |
| 18                                               | 41,3                                                |
| 19                                               | 42,0                                                |
| 20                                               | 41,6                                                |
| 21                                               | 37,0                                                |
| 22                                               | 35,6                                                |
| 23                                               | 31,9                                                |
| 24                                               | 39,8                                                |
| 25                                               | 41,0                                                |
| 26                                               | 40,0                                                |
| 27                                               | 29,0                                                |
| 28                                               | 29,0                                                |
| 29                                               | 37,9                                                |
| 30                                               | 33,8                                                |

Вариант № 23

| Класс бетона по прочности на сжатие В25 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 41,1                                                |
| 2                                                | 35,8                                                |
| 3                                                | 46,0                                                |
| 4                                                | 44,5                                                |
| 5                                                | 36,0                                                |
| 6                                                | 31,1                                                |
| 7                                                | 33,4                                                |
| 8                                                | 33,7                                                |
| 9                                                | 37,8                                                |
| 10                                               | 33,0                                                |
| 11                                               | 27,5                                                |
| 12                                               | 28,8                                                |
| 13                                               | 32,0                                                |
| 14                                               | 31,3                                                |
| 15                                               | 32,0                                                |
| 16                                               | 33,8                                                |
| 17                                               | 38,9                                                |
| 18                                               | 40,0                                                |
| 19                                               | 41,1                                                |
| 20                                               | 40,0                                                |
| 21                                               | 37,0                                                |
| 22                                               | 35,6                                                |
| 23                                               | 31,0                                                |
| 24                                               | 39,3                                                |
| 25                                               | 41,0                                                |
| 26                                               | 42,4                                                |
| 27                                               | 30,5                                                |
| 28                                               | 29,5                                                |
| 29                                               | 37,9                                                |
| 30                                               | 31,0                                                |

Вариант №24

| Класс бетона по прочности на сжатие В25 №образца | Прочность, МПа по результатам испытаний на сжатие R |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                | 38,1                                                |
| 2                                                | 35,2                                                |
| 3                                                | 46,8                                                |
| 4                                                | 44,6                                                |
| 5                                                | 38,0                                                |
| 6                                                | 30,9                                                |
| 7                                                | 31,6                                                |
| 8                                                | 32,6                                                |
| 9                                                | 37,8                                                |
| 10                                               | 33,0                                                |
| 11                                               | 27,5                                                |
| 12                                               | 28,4                                                |
| 13                                               | 31,6                                                |
| 14                                               | 31,0                                                |
| 15                                               | 31,8                                                |
| 16                                               | 31,8                                                |
| 17                                               | 38,5                                                |
| 18                                               | 41,3                                                |
| 19                                               | 41,7                                                |
| 20                                               | 40,1                                                |
| 21                                               | 36,0                                                |
| 22                                               | 35,6                                                |
| 23                                               | 31,1                                                |
| 24                                               | 39,0                                                |
| 25                                               | 40,6                                                |
| 26                                               | 41,0                                                |
| 27                                               | 30,1                                                |
| 28                                               | 29,0                                                |
| 29                                               | 37,0                                                |
| 30                                               | 34,0                                                |

# Вариант №25

| Класс<br>бетона<br>по<br>прочности на<br>сжатие<br>В25<br>№образца | Прочность,<br>МПа<br>по результатам<br>испытаний<br>на<br>сжатие<br>R |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                  | 40,4                                                                  |
| 2                                                                  | 35,3                                                                  |
| 3                                                                  | 46,0                                                                  |
| 4                                                                  | 44,6                                                                  |
| 5                                                                  | 38,0                                                                  |
| 6                                                                  | 31,1                                                                  |
| 7                                                                  | 33,4                                                                  |
| 8                                                                  | 32,7                                                                  |
| 9                                                                  | 37,9                                                                  |
| 10                                                                 | 33,6                                                                  |
| 11                                                                 | 28,5                                                                  |
| 12                                                                 | 27,0                                                                  |
| 13                                                                 | 31,2                                                                  |
| 14                                                                 | 31,9                                                                  |
| 15                                                                 | 32,0                                                                  |
| 16                                                                 | 32,0                                                                  |
| 17                                                                 | 38,9                                                                  |
| 18                                                                 | 39,3                                                                  |
| 19                                                                 | 41,3                                                                  |
| 20                                                                 | 40,9                                                                  |
| 21                                                                 | 38,8                                                                  |
| 22                                                                 | 35,8                                                                  |
| 23                                                                 | 31,7                                                                  |
| 24                                                                 | 38,8                                                                  |
| 25                                                                 | 40,6                                                                  |
| 26                                                                 | 43,0                                                                  |
| 27                                                                 | 32,0                                                                  |
| 28                                                                 | 29,0                                                                  |
| 29                                                                 | 37,9                                                                  |
| 30                                                                 | 33,8                                                                  |

Учебное издание

**ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ  
И РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Методические указания по выполнению курсовой работы  
«Определение вероятностных характеристик  
и закона распределения случайной величины прочности бетона»

Составитель  
РОТШТЕЙН Дмитрий Моисеевич

*В авторской редакции*

Подписано в печать 04.05.2017. Формат 60х90 1/16. Печ. л. 1,5.  
Тираж 300 экз. Заказ № 17-76.

Библиотечно-издательский комплекс  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Тюменский индустриальный университет».  
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.  
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.