

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ЧИСЛА КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ СМЕШИВАЮЩЕ-ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ МАШИНОЙ

В. Н. ЩЕЛКОНОВ, В. Г. ЛУКЬЯНОВ

(Представлена научным семинаром кафедры геодезии, горного и строительного дела)

Перемешивание — наиболее ответственная операция технологического цикла изготовления бетона. В результате этой операции достигается равномерное взаимное распределение компонентов бетонной смеси: вяжущего, заполнителей, воды и добавок. Усовершенствование процессов приготовления бетона и контроля за его качеством является важной задачей.

В практике исследований смешивающих устройств качество получаемой смеси оценивается различными критериями. Как правило, это — показатели однородности изготавливаемой смеси или бетона.

До недавнего времени основным показателем качества перемешивания бетонных смесей, имеющих сравнительно сложный состав, служила равномерность распределения компонентов по перемешиваемому объему [1]. Для определения консистенции отдельных компонентов в пробах используются методы взвешивания в воде и в воздухе, высушивания, промывания и отстаивания, химического анализа и другие. Эти методы оценки качества перемешивания дают количественную характеристику равномерности распределения компонентов в бетонных смесях по объему и не могут дать полного представления о качестве приготовленной бетонной смеси, поскольку не учитывают использования активных свойств вяжущего компонента — цемента.

В последнее время для оценки эффективности перемешивания строительных смесей широкое применение находит метод однородности прочности. Согласно этому методу однородность смеси характеризуется показателем изменчивости прочности контрольных образцов-кубов:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{R}} 100\%, \quad (1)$$

где  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (R - \bar{R})^2}{N-1}}$  — среднеквадратическое отклонение частных результатов испытаний от средней прочности бетона в  $кг/см^2$ ;

$$\bar{R} = \frac{\sum_1^N R}{N} \text{ — средний предел прочности бетона, } кг/см^2;$$

$R$  — временное сопротивление сжатию отдельного образца,  $кг/см^2$ ;  
 $N$  — число испытываемых образцов.

Метод оценки однородности смеси по прочности дает представление о прочностных свойствах бетона, являющихся важными показателями качества. Сравнивая прочностные характеристики бетонов одного состава, приготовленного различными смесителями, можно судить об эффективности используемых машин.

Во всех случаях качество перемешивания определяется на основе выборочного наблюдения, сущность которого заключается в том, что характеристика всего объема приготовленного бетона (генеральной совокупности) составляется по результатам обследования некоторой части (выборки), отобранной в случайном порядке [2]. Следует отметить, что на практике обычно наблюдаются отклонения между показателями признаков, полученных в результате исследования пробы бетонной смеси из тех же признаков всей массы бетона. Эти отклонения объясняются ошибками репрезентативности, которые свойственны выборочному методу. Как правило, значительные ошибки возникают в результате недостаточного числа наблюдений. Снижение ошибки в этом случае достигается путем увеличения численности пробы.

Однако при увеличении количества контрольных образцов-кубов отобранной пробы бетона отмечается повышение показателя изменчивости [3]. Это связано с рядом явлений и факторов, не зависящих от самого процесса приготовления бетонной смеси, но зависящих от условий отбора, формования, уплотнения и времени между приготовлением первого и последнего образцов. В результате чего возникает некоторое отклонение от среднего значения прочности у последних образцов и показатель изменчивости прочности, начиная приблизительно с 25-го образца, будет увеличиваться. Некоторое повышение  $C_v$  не характеризует работу данной бетоносмесительной машины. В общем случае «критическое» число образцов, после которого начинают сказываться условия отбора, формования, уплотнения т. д., может колебаться в широких пределах в зависимости от конкретных условий опыта, его материальной оснащенности.

В процессе экспериментальных исследований по определению качества приготовления бетона смешивающе-транспортирующей машиной была поставлена задача определения рационального количества образцов-кубов, необходимых для полной прочностной характеристики пробы бетона различных марок. Решение ее проводилось экспериментально-аналитическим путем [4].

Общее количество испытываемых образцов выбрано равным 30 для каждой из трех марок бетона, производимого машиной. В качестве компонентов бетонной смеси использовались шкелопортландцемент активностью 390 Актаусского цементного завода и песчано-гравийная смесь Чурубай-Нурийского карьера. Контрольные образцы размером  $15 \times 15 \times 15$  см изготавливались из бетонной смеси непосредственно после ее приготовления с последующим уплотнением на типовой лабораторной виброплощадке. Определение прочности бетонных образцов производилось согласно ГОСТу 10180-67 после 28-суточного выдерживания в металлическом шкафу с определенным термовлажностным режимом. Результаты испытаний обрабатывались методами математической статистики.

Теоретически при числе опытов  $N \gg 30$  свойства всякой генеральной совокупности закономерности будут проявляться достаточно точно и в исследуемой выборке, но практически мы имеем дело с ограниченным числом экспериментальных данных. В связи с этим, отмечая некоторую погрешность в данных и результатах обработки, необходимо установить устойчивые характеристики каждого ряда значений прочности бетонных образцов, выявить погрешности и на основе полученных данных определить количество образцов, обеспечивающих надежные выводы по контролю качества бетона.

Для предварительной оценки рядов с целью выявления закономерностей применим метод построения гистограмм, выражающих графически закон распределения случайных величин: плотность распределения, скошенность и т. д. Гистограммы тем точнее характеризуют распределение, чем большее число наблюдений (измерений, опытов) рассматривается. Но возможны случаи, когда явно выраженные признаки улавливаются и при меньшем количестве измерений. Это можно наблюдать, например, при построении гистограмм распределения прочности контрольных образцов для марок бетона 150 и 200 (рис. 1). В случае с бетоном марки 100, количество образцов, равное 30, не дает достаточно ясного представления о законе распределения. Для того, чтобы сделать выводы о законе распределения, необходимо произвести численные расчеты.

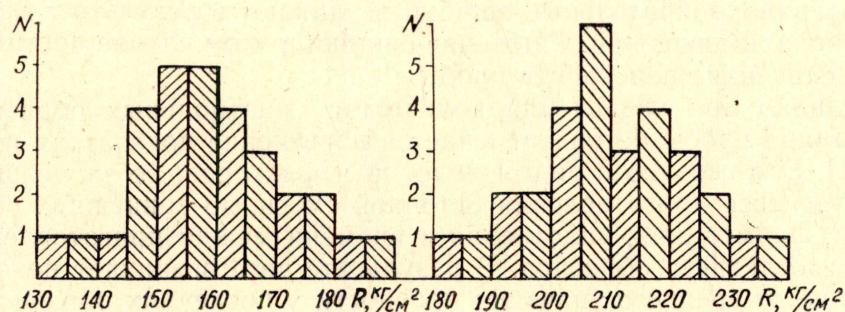


Рис. 1. Гистограммы распределения прочности контрольных образцов-кубов для бетонов марок 150 и 200

Анализ рядов с помощью гистограмм показывает, что распределения являются умеренно асимметричными (скошенными). В качестве числовой характеристики скошенности в случае асимметричного распределения принимаем показатель асимметрии  $S_k$ :

$$S_k = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \quad (2)$$

где  $\mu_3$  — третий центральный момент.

Среднеквадратическое отклонение показателя асимметрии вычисляется по формуле

$$\sigma_{S_k} = \sqrt{\frac{6}{N}}. \quad (3)$$

При выполнении условия  $|S_k| \leq \sigma_{S_k}$  эмпирическое распределение можно считать близким к симметричному с надежностью 67%.

Другим показателем, характеризующим закон распределения, является эксцесс  $E$ , определяющий положение кривой данного распределения относительно нормального и определяемый как

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad (4)$$

здесь  $\mu_4$  — четвертый центральный момент.

Допустимое значение эксцесса с надежностью 67% не должно превышать среднеквадратичное отклонение  $|E| \leq \sigma_E$ , определяемое для  $N < 50$  как

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24}{N}}. \quad (5)$$

Отсутствие промахов в результатах экспериментов выражается условием

$$|R - \bar{R}| \leq 3\sigma, \quad (6)$$

здесь  $\sigma = \sqrt{D}$  — среднеквадратичное отклонение.

Результаты подсчета центральных моментов  $\left( \mu_i = \frac{\sum_1^N (R - \bar{R})^i}{N} \right)$ , пока-

зателей асимметрии, эксцесса и среднеквадратичных отклонений по формулам (1) — (6) сведены в табл. 1, откуда видно, что показатели распределения трех статистических рядов значений прочности контрольных образцов для марок бетона 100, 150, 200 лежат в допустимых пределах.

Таблица 1

Параметры выборки из 30 контрольных образцов-кубов для различных марок бетона, производимого смешивающе-транспортирующей машиной

Марки бетона	$\bar{R}$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	$S_k$	$\sigma_{S_k}$	$E$	$\sigma_E$	$\sigma$
100	107	141	-159	46464	-0,054	0,447	-0,67	0,895	11,9
150	159	193	304,5	97156	0,11	0,447	-0,4	0,895	13,89
200	210	199	-86,8	99510	-0,034	0,447	-0,29	0,895	14,1

Следовательно, распределение для этих рядов можно считать близким к нормальному. Для проверки гипотезы нормальности могут быть также использованы критерии Пирсона ( $\chi^2$ ), Колмогорова и другие.

Ошибка при вычислении  $\bar{R}$  по выборочным данным, определяемая по формуле

$$\sigma(\bar{R}) = \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}, \quad (7)$$

для марок бетона 100, 150, 200 соответственно равна:

$$\begin{aligned} \sigma(\bar{R})^{100} &= \sqrt{\frac{141}{30}} = 2,17; \quad \sigma(\bar{R})^{150} = \sqrt{\frac{193}{30}} = \\ &= 2,54; \quad \sigma(\bar{R})^{200} = \sqrt{\frac{199}{30}} = 2,57. \end{aligned}$$

То, что генеральная средняя не выйдет за определенные пределы, можно утверждать не с абсолютной достоверностью, а лишь с определенной степенью вероятности. Вероятность можно повысить, увеличив кратность ошибки выборки от 1 до 3. При увеличении ошибки выборки в 3 раза вероятность, то есть надежность выводов, повысится до 0,9975. Практически для определения прочности бетона такая точность не требуется, поэтому воспользуемся вполне удовлетворительной надежностью 0,9.

Увеличенные пределы отклонений для надежности 0,9 определим по формуле

$$\Delta = t \sigma(\bar{R}), \quad (8)$$

где  $t=1,67$  (табл. 9,1 [2]) — коэффициент кратности ошибки или коэффициент доверия.

$$\Delta^{100} = 1,67 \cdot 2,17 = 3,63; \quad \Delta^{150} = 1,67 \cdot 2,54 = 4,23; \quad \Delta^{200} = 1,67 \cdot 2,57 = 4,29.$$

Численность неповторной выборки для обеспечения точности  $\Delta$  с надежностью 0,9 вычисляем по формуле

$$n = \frac{t^2 \sigma^2 N}{N \Delta^2 + t \sigma^2} : \quad (9)$$

для марки бетона 100

$$n^{100} = \frac{2,78 \cdot 141 \cdot 30}{30 \cdot 13,2 + 2,78 \cdot 141} = 14,9 \approx 15;$$

для марки бетона 150

$$n^{150} = \frac{2,78 \cdot 193 \cdot 30}{30 \cdot 17,9 + 2,78 \cdot 193} = 15,02 \approx 15;$$

для марки бетона 200

$$n^{200} = \frac{2,78 \cdot 199 \cdot 30}{30 \cdot 18,4 + 2,78 \cdot 199} = 15,03 \approx 15.$$

Таким образом, рациональным числом образцов-кубов в пробе бетона следует считать 15.

Расчетное значение численности выборки удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными по определению однородности перемешивания, оцениваемому показателем изменчивости по формуле (1). Результаты определения  $C_v$  для различного числа контрольных образцов и марок производимого бетона 100, 150, 200 представлены графически на рис. 2.

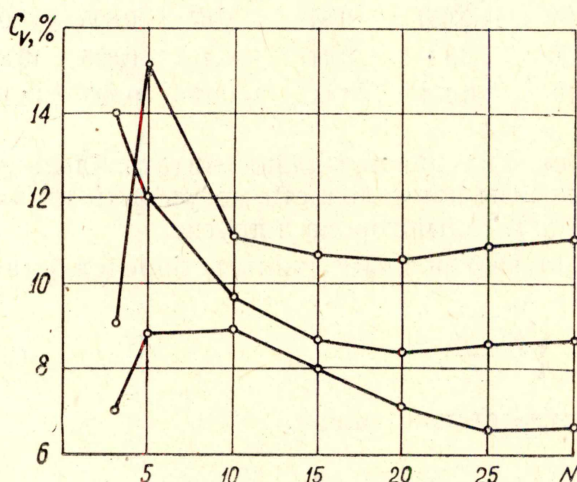


Рис. 2. Зависимость показателя изменчивости  $C_v$ , % от количества контрольных образцов: 1, 2, 3 — соответственно для марок бетона 100, 150, 200

Из графика видно, что снижение вариации прочности происходит при увеличении количества образцов до 15—20 для всех марок бетона. Дальнейшее повышение количества образцов приводит к возрастанию показателя изменчивости.

На основании полученных данных разработаны рекомендации по проведению постоянного контроля качества производимого бетона в период промышленных испытаний, смешивающе-транспортующих машин. Показатель изменчивости, определяемый по 15 образцам для бетонов марки 150 и 200, находился в пределах 5,7—8,1%. Для бетона марки 100, используемого при темпонажных работах,  $C_v$  колебался в пределах 6,7÷11%. Такие показатели для бетонов, полученных в производственных условиях, следует считать удовлетворительными.

### Выводы

В практике исследований бетоносмесителей широко используется метод оценки однородности смеси по прочности контрольных образцов-кубов, основанный на выборочном наблюдении. Данный метод дает пред-

ставление о прочностных свойствах производимого бетона, являющихся важными показателями качества.

С увеличением количества контрольных образцов в выборке отмечается закономерное повышение показателя изменчивости  $S_v$ , характеризующего однородность бетонной смеси. Возрастание показателя изменчивости объясняется длительностью процессов отбора, формования и уплотнения большого числа образцов.

С применением методов математической статистики установлено, что прочность контрольных образцов пробы бетона подчиняется нормальному закону распределения. Рациональным числом образцов бесповторной пробы следует считать 15.

На основе полученных данных разработана методика контроля качества бетона, использованная при проведении промышленных испытаний смешивающе-транспортующих машин. Предлагаемый метод определения численности выборки может быть также применен для других условий приготовления строительных смесей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Бунин. О критериях качества смесей. «Известия вузов. Строительство и архитектура», 1958, № 10.
2. Н. Н. Ряузов. Общая теория статистики. М., изд-во «Статистика», 1971.
3. В. Т. Богатырев, В. Н. Шмигальский. Испытание смесительных машин. Новосибирск, «Наука», 1966.
4. В. Н. Щелконогов, В. Г. Лукьянов. Механизация возведения монолитной бетонной крепи горизонтальных горных выработок с помощью смешивающе-транспортующих машин. Настоящий сборник.