

О ПРАВИЛАХ ПОСТРОЕНИЯ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ ПО СТБ EN 13791 И СТБ 2264 (часть 2)

Тур В.В., д-р техн. наук, профессор,
Дереченник С.С., канд. техн. наук, доцент, **Колевчук В.В.**, магистрант
(Брестский государственный технический университет)

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы теоретические основы и правила построения градуировочных зависимостей, применяемых для оценивания прочности бетона на сжатие в конструкциях по стандартам, действующим в Республике Беларусь. Показано, что стандарты имеют различные подходы к построению градуировочных зависимостей и различные уровни обеспеченности результатов, которые следует учитывать при оценивании прочности бетона неразрушающими методами.

Правила построения градуировочных зависимостей по СТБ 2264

По данному стандарту для получения градуировочной зависимости выполняют регрессионный анализ принятого линейного уравнения «косвенная характеристика-прочность»:

$$f_{c,cube,F} = a_0 + a_1 H, \quad (6)$$

где a_0 и a_1 - коэффициенты линейной регрессии;

H - единичное значение косвенной характеристики прочности;

Коэффициенты a_0 и a_1 вычисляют по формулам:

$$a_0 = \overline{f_{c,\Phi}} - a_1 \overline{H}, \quad (7)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \overline{H}) \cdot (f_{ci,\Phi} - \overline{f_{c,\Phi}})}{\sum_{i=1}^N (H_i - \overline{H})^2}, \quad (8)$$

где \overline{H} - среднее значение косвенной характеристики прочности;

$f_{ci,\Phi}$ и H_i - единичные значения прочности бетона и косвенной характеристики соответственно для серий образцов (отдельных образцов)

После установления градуировочной зависимости (6), производят её корректировку, путём отбраковки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию

$$\left| \frac{f_{ci,H} - f_{ci,\Phi}}{S_T} \right| \leq 2, \quad (9)$$

где S_T - остаточное среднее квадратическое отклонение, определяемое по формуле

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_{ci,\phi} - f_{ci,H})^2}{N-2}}; \quad (10)$$

$f_{ci,H}$ - прочность бетона по результатам на сжатие в i -той серии образцов (i -том образце) определённая по градуировочной зависимости:

$$f_{ci,H} = a_0 - a_1 H. \quad (11)$$

После отбраковки единичных результатов испытаний градуировочную зависимость устанавливают заново (по формулам 6-8) по оставшимся результатам испытаний.

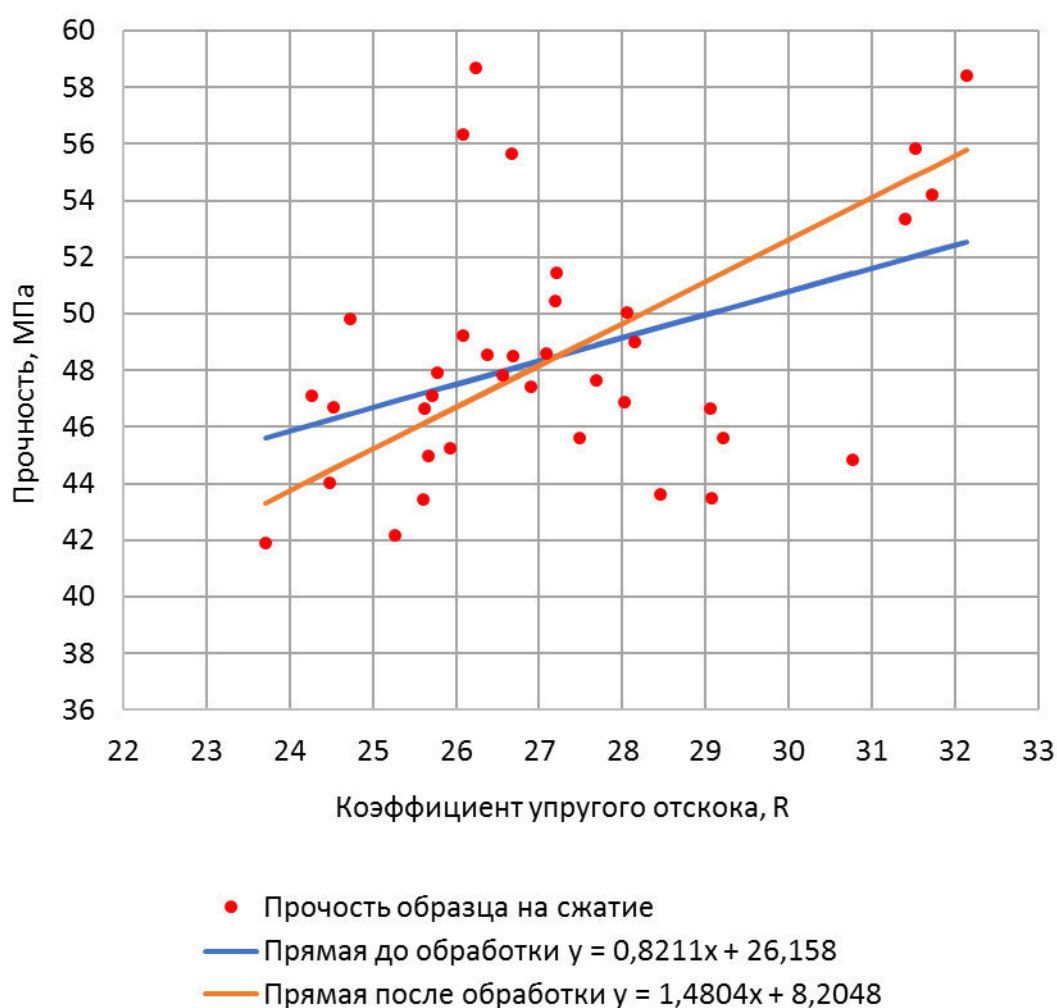


Рисунок 1 – К построению градуировочной зависимости по СТБ 2264 (молоток Шмидта)

Контроль прочности бетона косвенными неразрушающими методами в соответствии с ГОСТ 18105 [3] проводят с обязательным использованием градуировочных зависимостей, предварительно установленными в соответствии с требованиями СТБ 2264 [2] и ГОСТ 17624 [9].

Сравнение градуировочных зависимостей, полученных по различным стандартам

Для сравнения представленных подходов, включённых в СТБ EN 13791 [1] и СТБ 2264 [2] были выполнены построения градуировочных зависимостей для 37 пар результатов испытаний прочности бетона на сжатие для бетонов двух классов.

Пары результатов включали значения косвенной характеристики прочности для молотка Шмидта (коэффициент упругого отскока – *англ. Rebound number*) и соответствующие им значения прочности бетона при сжатии, полученные при испытании в прессе стандартных кубов по [3, 4].

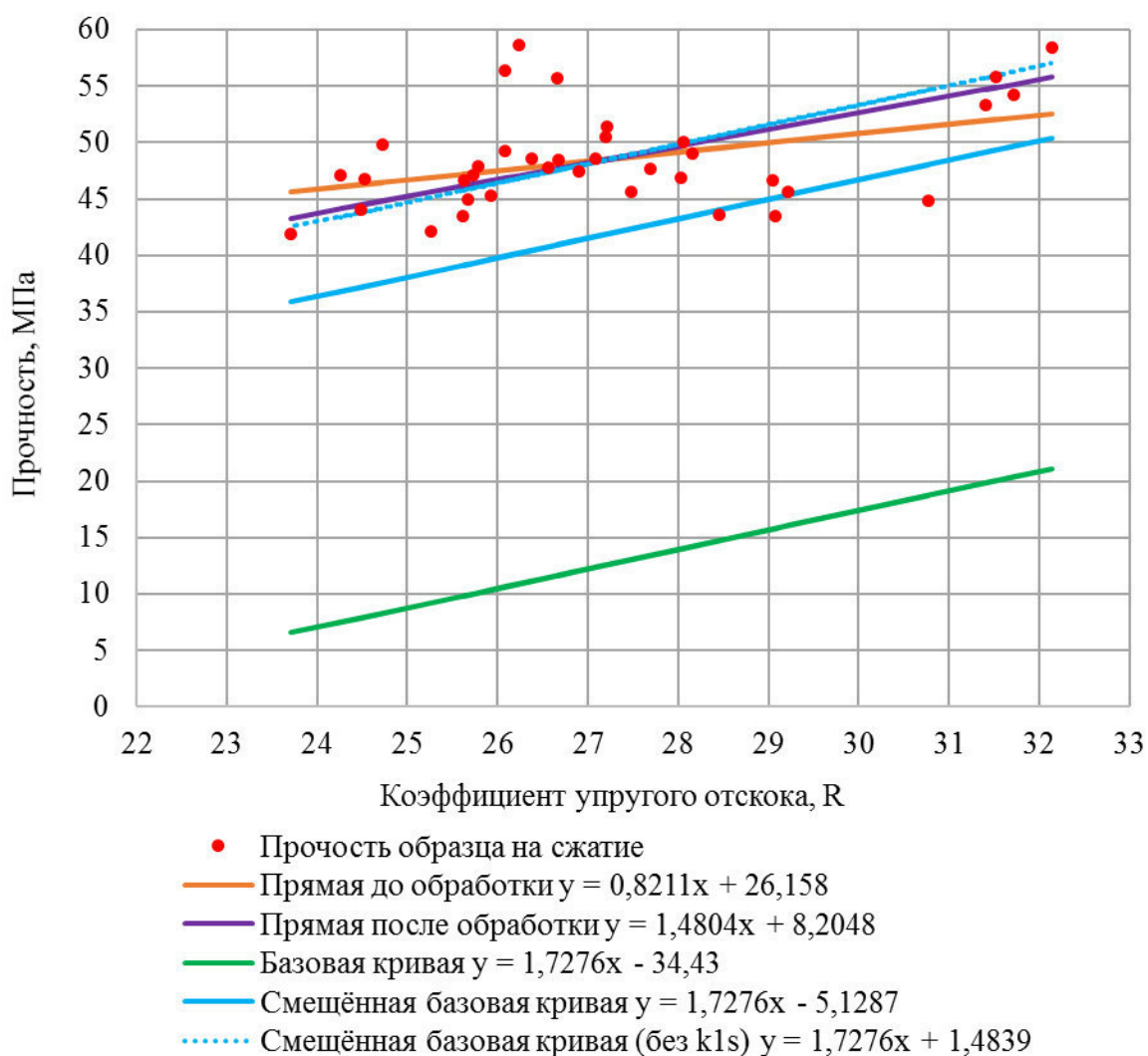


Рисунок 2 – К сравнению градуировочных зависимостей, построенных по правилам СТБ EN 13791 и СТБ 2264 для 37 результатов испытаний прочности бетона на сжатие (по молотку Шмидта)

При сравнении следует обратить внимание на следующее обстоятельство. Градуировочная зависимость по СТБ 2264 [2] (и соответственно ГОСТ 18105 [3]) представляет собой уравнение линейной регрессии с доверительным интервалом равным двойному стандартному отклонению по $\Phi.(9)$ с учётом отбраковки результатов за пределами этого интервала. Несложно заме-

туть, что выше градуировочной зависимости располагается около 50% всех результатов испытаний, в то время как смещённая градуировочная зависимость по СТБ EN 13791 [1] составлена так, что покрывает 90% всех результатов с обеспеченностью 0,95. Безусловно, что среднее значение оцениваемой прочности по СТБ EN 13791 [1] несколько ниже, чем по СТБ 2264 [2] в силу более высокой обеспеченности результатов оценивания. При этом следует отметить, что для несмещённой линейной функции по СТБ EN 13791 [1] средние значения близки с средним СТБ 2264 [2] и полученным по прессу (табл. 1). Это связано с тем, что результаты распределены почти равномерно по длине интервала для полученных значений косвенной характеристики R.

Одним из важных элементов анализа является сравнение углов наклона градуировочных зависимостей, в силу того, что они характеризуют среднеквадратичные отклонения при оценивании. Как видно из рис.3, Градуировочные зависимости по СТБ EN 13791 [1] имеют больший наклон, чем зависимости по СТБ 2264 [2]. Это приводит к тому, что градуировочные зависимости по СТБ EN 13791 [1] устанавливают более жёсткие требования к оцениванию прочности в области низких значений коэффициента упругого отскока R (*англ. Rebound number*) и несколько ослабляют их при высоких значениях R.

Градуировочная зависимость по СТБ 2264 имеет меньший наклон, а, соответственно и меньшее среднеквадратичное отклонение (табл. 1), меньшую дискриминационную способность. Вместе с тем, как следует из рисунка 3, в области больших значений R обе градуировочные кривые располагаются довольно близко (при R= 32, см. рисунок 2).

Таблица 1 - Сравнение параметров градуировочных зависимостей

Стандарт	Минимальное значение, f_{low} МПа	Среднее значение, $f_{m(n)}$ МПа	Среднеквадратичное отклонение, s МПа	Оценённое значение прочности, f_{is} МПа
Линейная ALR по СТБ, ГОСТ	43,30	48,22	3,34	43,3
Базовая AL2 по СТБ EN	35,94	41,90	3,79	-
Базовая AL2 по СТБ EN (без k_{1s})	42,55	48,51	3,79	
Испытание стандартных образцов в прессе	41,90	48,51	4,39	42,01

Указания ACI 228.1R, разработанные для оценивания прочности бетона в конструкциях (*Stone and Reeve*), несмотря на различия в методологических подходах, позволяют оценить стандартное отклонение прочности бетона в конструкции, опираясь на допущение о том, что отношение стандартного отклонения прочности по результатам испытаний в прессе и стандартного отклонения для косвенной характеристики R сохраняется в процессе оценивания. В рассматриваемом случае имеет место общее стандартное отклонение равное 4.39 МПа, независимо от способа оценивания.

Тем не менее, следует иметь в виду, что результаты испытаний, полученные по молотку менее чувствительны к вариациям прочности бетона, чем результаты прямых испытаний в прессе. (Так, коэффициент вариаций для косвенной характеристики R практически всегда меньше, чем для кубов или выпиленных кернов). Сравнивая средние значения для представленных градуировочных зависимостей и испытаний кубов можно заключить, что наибольшее отличие или потеря для зависимости AL2 по СТБ EN 13791 [1] в размере 6,6 МПа объясняется действиями, направленными на выявление и учёт неопределённостей исходной регрессионной модели. Другая часть потерь вытекает из факта введения доверительного предела на уровне k_{1S} в отличие от подхода, принятого при прямом испытании образцов (кубов, кернов). Следует отметить, что подобным образом поступает и СТБ 2264 [2] при формировании исходной выборки для последующего оценивания прочности бетона на сжатие согласно критериям, содержащимся в стандарте.

Выводы. 1. Действующие в настоящее время на территории Республики Беларусь стандарты, относящиеся к неразрушающим методам определения прочности бетона в конструкции (СТБ, СТБ EN) имеют различную теоретическую и методологическую основу построения градуировочных зависимостей. СТБ EN 13791 [1] допускает в качестве альтернативы как построение с использованием регрессионного анализа пар опытных данных, так и градуировки с применением т.н. базовых кривых, внесённых в стандарт. В общем случае предполагается, что базовые кривые охватывают широкий диапазон прочностей бетонов, их композиций, виды заполнителей, условия испытаний и т.д., являясь некоторыми универсальными функциями. Поэтому для исключения неопределённостей оценивание прочности выполняют по смещённой функции с учётом доверительного предела, покрывающего 90% результатов с доверительной вероятностью 0,95.

Градуировочная зависимость по СТБ 2264 [2] не содержит никаких дополнительных параметров обеспеченности функции, покрывая около 50% всех результатов испытаний. При этом средние значения довольно близки к тем, что получены при испытаниях в прессе. Безусловно такое оценивание даёт более высокие значения прочности бетона при меньшей (а точнее говоря 50%) обеспеченности.

2. Градуировочные зависимости по СТБ EN 13791 [1], имея больший наклон, обладают большей дискриминационной способностью при малых значениях косвенной характеристики R (*rebound number*), снижая влияние при высоких значениях R . Зависимость по СТБ 2264 [2] не оказывает столь заметного влияния, оставаясь с незначительным наклоном независимо от показателя косвенной характеристики. Это связано с принятым методом отбраковки результатов по ф.(9).

3. Результаты градуировок следует рассмотреть совместно с критериями оценивания прочности бетона на сжатие.

Литература. 1. СТБ EN 13791 «Оценка прочности на сжатие бетона в конструкциях и сборных элементах конструкций». 2. СТБ 2264 «Испытание

бетона. Неразрушающий контроль прочности». 3. ГОСТ 18105 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». 4. СТБ EN 206 «Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие». 5. Monteiro.,A., Goncalves.,A., Assessment of characteristic compressive strength in structures by rebound hammer test according to EN 13791:2007-NDTCE'09, Nantes, France, june, 2009. 6. De Gryze D, ect., Using the correct intervals for prediction: A tutorial of tolerance intervals for ordinary least-squared regression-Chemometric and intelligent laboratory system, vol. 87.,#2, March 2007, p.p. 147-154.