

07.08.2019 // Министерство образования Республики Беларусь. – URL: <https://edu.gov.by/...525.RTF> (дата обращения: 11.09.2025).

2 Цвет в образовательной среде: влияние на психологическое состояние учащихся // EduDesign. – URL: https://edudesign.ru/color_part_1 (дата обращения: 11.09.2025).

3 Гусев, П. А. Энергоэффективные технологии в проектировании школьных зданий / П. А. Гусев // Строительство и архитектура. – 2020. – № 7. – С. 33–39.

4 Рекомендации по выбору материалов и технологий для школы с акцентом на использование местных материалов и современных технологий // Электронная библиотека КиберЛенинка. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekomendatsii-po-vyboru-materialov-i-tehnologiy-dlya-shkoly-s-aktsentom-na-ispolzovanie-mestnyh-materialov-i-sovremennyh-tehnologiy> (дата обращения: 11.09.2025).

УДК 691.32:624.012.45/46

ЗАВИСИМОСТЬ СТЕПЕНИ ФАКТИЧЕСКОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЯ ЩЕЛОЧНОСТИ ПОРОВОЙ ЖИДКОСТИ БЕТОНА

М. И. ТКАЧЕВА, А. Ю. КРУПОДЕРОВ, А. А. ВАСИЛЬЕВ, Е. В. МЕДВЕДЕВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В ходе установления взаимосвязи степени фактической карбонизации бетона и состояния его защитных свойств по отношению к стальной арматуре в [1] были произведены детальные обследования, на основании которых получены 600 проб бетона для дальнейших исследований, отобранные из различных железобетонных элементов (ЖБЭ), эксплуатируемых в течение разного времени и различных условий эксплуатации. Для повышения качества проводимых изысканий выборка проб была увеличена до 1000 исследуемых образцов. Полученная область значений параметров рН (величина показателя щелочности поровой жидкости бетона) и СФК (степень фактической карбонизации) приведена на рисунке 1.

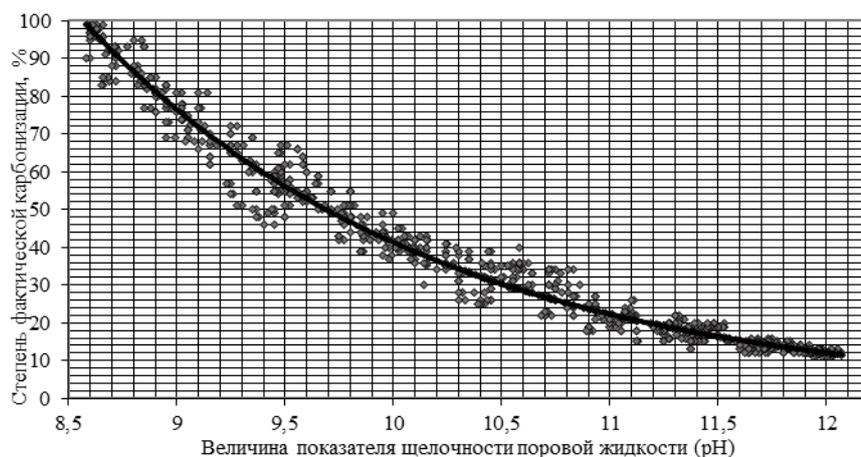


Рисунок 1 – Область значений параметров рН и СФК

Путем обработки полученных данных в пакете MS «Excel» была получена зависимость регрессионного вида степени фактической карбонизации от показателя рН СФК = $f(\text{pH})$:

$$\text{СФК} = 19787e^{(-0,617\text{pH})} \quad (1)$$

Проверка значимости регрессионной зависимости (1) производилась в программе «Statgraphics» методами математической статистики в соответствии с методикой [2].

Для принятия полученной зависимости как адекватной руководствовались следующими положениями:

– отличие экспериментальных данных (т. е. фактических значений СФК, полученных в результате проведенных обследований) от полученных значений СФК не более чем на 20 %, что соответствует погрешности измерения степени карбонизации ФФТ;

– значимо отличное от нулевого значение коэффициента детерминации (в соответствии со статистическим критерием F-Фишера), показывающее, что полученная зависимость в значительной степени описывает реально существующую;

– полученные остатки (отклонения) фактических и полученных в результате расчета значений СФК соответствуют определению взаимно независимых случайных величин. Для установки «независимости» остатков проверка проводилась по критериям «серий»;

– полученные остатки являются случайными величинами с одинаковым распределением (по нормальному закону), постоянной дисперсией и математическим ожиданием. Проверка отклонений на «нормальность» проводилась по критериям χ^2 -Пирсона, λ -Колмогорова и Шапиро – Вилка. Проверка равенства математического ожидания отклонений (остатков) нулю, а также отсутствия «систематической ошибки» определялась на основе статистического критерия t -Стьюдента.

Все вышеуказанные проверки выполнялись для уровня значимости $\alpha = 0,05$, принятого в инженерной практике. Итоги проверки адекватности регрессионной зависимости (1) по указанным критериям приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Проверка адекватности регрессионной зависимости степени фактической карбонизации СФК = $f(\text{pH})$

Параметр	«Нормальность» остатков			«Независимость» остатков			Отсутствие систематической ошибки	Значимость коэффициента детерминации
	Статистика Шапиро – Вилка, P-Value	Критерий χ^2 -Пирсона, P-Value	Критерий λ -Колмогорова, P-Value	Критерий пересечений медианы, P-Value	Критерий спадов и возрастных, P-Value	Критерий Бокса – Пирса, P-Value	t -статистика Стьюдента, P-Value	Статистика Фишера
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Остатки	0,113405	0,722467	0,396752	0,145058	0,875388	0,113486	0,409662	1754,3922

Проведенная проверка полученной регрессионной зависимости показала, что:

– «нормальность» распределения отклонений (остатков) (критерии χ^2 -Пирсона, P-Value = 0,722467; Шапиро – Вилка, P-Value = 0,113405; Колмогорова – Смирнова, P-Value = 0,396752) показала, что по данному критерию гипотеза о нормальном распределении отклонений согласуется с экспериментальными данными. Проверяемые критерии показали результаты выше уровня значимости $\alpha = 0,05$;

– взаимная «независимость» отклонений (остатков) (критерии спадов и возрастных, P-Value = 0,875388; Бокса – Пирса, P-Value = 0,113486; пересечений медианы, P-Value = 0,145058) показала, что гипотеза о независимости отклонений согласуется с экспериментальными данными. Проверяемые критерии показали результаты выше уровня значимости $\alpha = 0,05$;

– равенство математического ожидания отклонений (остатков) нулю (t -статистика Стьюдента; P-Value = 0,409662) показывает отсутствие «систематической ошибки», что соответствует экспериментальным данным. Проверяемый критерий показал результат выше уровня значимости $\alpha = 0,05$;

– уравнение регрессионной зависимости, полученное путем обработки данных в пакете MS «Excel», имеет коэффициент детерминации $R^2 = 0,9951$, значительно отличающийся от нуля. Статистический критерий F-Фишера $F = 1754,3922$ выше критического. Полученные данные показывают, что проверяемая зависимость описывает реально существующую;

– полученные в результате расчета значения степени фактической карбонизации отличаются от полученных в ходе забора проб менее чем на 10 %.

Проверка адекватности регрессионной зависимости степени фактической карбонизации от pH (величины показателя щелочности поровой жидкости) показала, что предлагаемая зависимость в значительной степени описывает существующие физические процессы карбонизации бетона. Регрессионная зависимость может быть использована в дальнейшей работе для прогнозирования степени карбонизации бетона и диагностики технического состояния эксплуатируемых строительных конструкций.

Список литературы

1 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : монография / А. А. Васильев. – Гомель: БелГУТ, 2019. – 215 с.

2 Васильев, А. А. Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.