

Эти конструкции практически не стареют, не вредят окружающей среде и имеют крайне низкую себестоимость. Содержание железнодорожного пути при укладке таких шпал сокращается до 5 раз.

В транспортной администрации Чикаго подсчитали, что композитные шпалы позволили сохранить 25 тыс. деревьев, достигших промышленной зрелости (а это не меньше, чем 50-летние стволы).

Кстати, во многих странах мира до сих пор выпускают деревянные шпалы. Так вот, замена их на композитные сократит выбросы креозота на 453 тыс. т и на 12,7 тыс. т парниковых газов. Это сравнимо с уменьшением поездок легковых автомобилей на 160 млн км.

Подводя итог стоит задуматься – нужно ли производить замену традиционных железобетонных шпал на пластиковые. Жаль только, что не все так быстро делается, как хотелось бы. Но мы – оптимисты. И верим, что за пару десятков лет от железобетона под рельсами не останется и следа.

УДК 666.97:691.32

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ЗАВИСИМОСТИ НАЧАЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ПО СЕЧЕНИЮ ($L-KC_0$) БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{20}/_{25}$

Ю. К. КАБЫШЕВА, М. И. ТКАЧЕВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Начальная карбонизация определяет состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре уже сразу после его изготовления [1] .

Ранее, в [2] была получена регрессионная зависимость изменения показателя KC_0 (начальной карбонизации) по сечению для свежизготовленного бетона (после ТВО) класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$.

$$KC_0(l/t = 0) = 3,37 + 1000057e^{\left(-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}, \quad (1)$$

где l – значение глубины сечения, мм.

Для проверки возможности использования регрессионной зависимости (1) на практике была выполнена проверка её значимости.

Для получения начальных параметров карбонизации (показателя KC_0) исследовали кубики сечением $100 \times 100 \times 100$ мм, выполненные в заводских условиях с применением тепловлажностной обработки (ТВО) по следующему режиму: выдержка – 4 ч, подъем температуры до 60°C – 2 ч, изотермический прогрев (60°C) – 6 ч, остывание образцов – 3 ч.

Состав бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$ приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$

В/Ц	Осадка конуса, см	Состав смеси, кг/м ³			
		Ц	П	Щ	В
0,546	4	334	718	113	182
<i>Примечание</i> – В/Ц – водоцементное отношение; Ц, П, Щ, В – массы цемента, песка, щебня, воды, кг.					

Он определялся с использованием многофакторного метода проф. В. В. Бабицкого. При расчете компонентов бетонной смеси принимали портландцемент ПЦ 500 Д0 (ОАО «Белорусский цементный завод»), для которого: процентное содержание СаО в цементе – 0,66; активность цемента – 50,0 МПа; нормальная густота НГ = 26,5 %.

Исследовали три кубика. Отбор образцов бетона, приготовление проб и определение карбонатной составляющей (показателя KC_0) выполняли в соответствии с методиками [1].

Значения KC_0 определяли по сечению с шагом 2,5 мм. Поскольку в поверхностном слое бетона происходит разложение образовавшихся карбонатов под воздействием агрессивных кислых газов, что особенно сказывается при длительной эксплуатации ЖБЭ и должно быть учтено при моделировании карбонизации во времени, за начальное значение принимали отметку сечения 2,5 мм.

Был получен набор значений показателя KC_0 для каждого сечения (по 10 значений с учетом отбраковки с погрешностью более 8 %) (таблица 2), по которым была построена усредненная экспериментальная регрессионная зависимость $l-KC_0$ (рисунок 1).

Таблица 2 – Экспериментальные значения $KC_{0, \text{факт}}$, %, для различных сечений бетона

l, мм	KC_0 , %	$KC_{0, \text{факт}}$, %									
		5,35	5,55	5,68	5,79	5,80	5,80	5,82	5,91	6,07	6,12
2,5	5,81	5,35	5,55	5,68	5,79	5,80	5,80	5,82	5,91	6,07	6,12
5,0	5,24	4,98	5,10	5,14	5,23	5,24	5,24	5,26	5,32	5,40	5,51
7,5	4,80	4,50	4,68	4,75	4,77	4,83	4,83	4,88	4,94	5,01	5,10
10,0	4,47	4,09	4,36	4,39	4,45	4,47	4,50	4,53	4,63	4,66	4,72
12,5	4,21	3,95	4,08	4,11	4,18	4,20	4,25	4,29	4,35	4,36	4,49
15,0	4,02	3,80	3,85	3,86	3,94	3,94	4,00	4,01	4,04	4,21	4,30
17,5	3,87	3,64	3,70	3,72	3,80	3,84	3,91	3,98	4,03	4,08	4,17
20,0	3,75	3,56	3,62	3,65	3,70	3,71	3,77	3,77	3,83	3,89	4,01
22,5	3,67	3,48	3,51	3,52	3,59	3,65	3,66	3,70	3,76	3,76	3,81
25,0	3,60	3,40	3,42	3,47	3,55	3,58	3,62	3,62	3,68	3,69	3,77

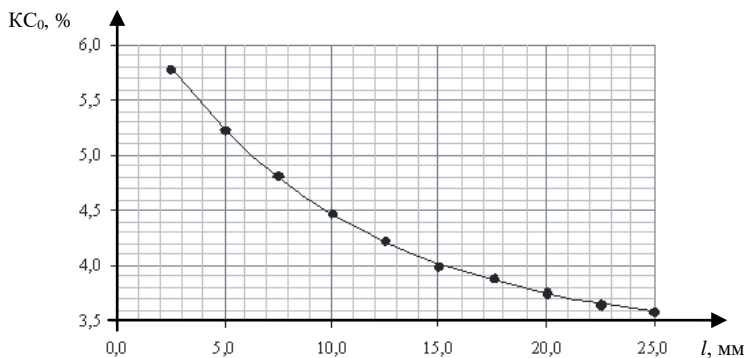


Рисунок 1 – Расчетно-экспериментальная зависимость l - KC_0 :

- – средневзвешенные значения KC_0 (таблица 2)
- – прогнозная зависимость l - KC_0

Проверка значимости регрессионной зависимости выполнялась методами математической статистики.

Для каждого сечения (2,5–25 мм) с шагом 2,5 мм строились гистограммы остатков. Для доказательства того, что неучитываемые в модели факторы взаимно компенсируются и среди них нет значимо влияющих (помимо уже учтенных), проверялась гипотеза о нормальном распределении остатков с нулевым математическим ожиданием.

В качестве примера, на рисунке 2 и в таблице 3 представлена оценка значимости регрессионной зависимости l - KC_0 для сечения 12,5 мм.

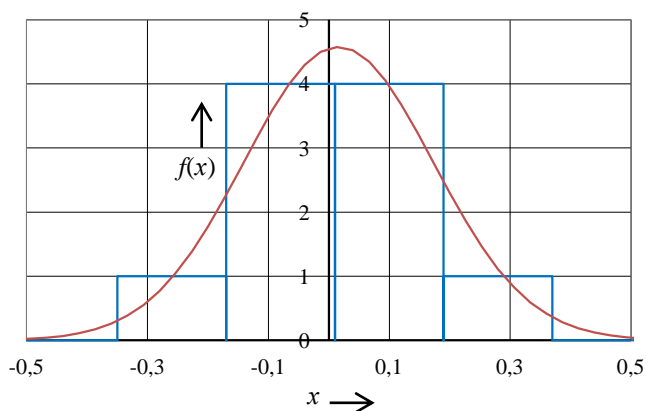


Рисунок 2 – Гистограмма остатков с нанесенной функцией плотности нормального распределения для сечения 12,5 мм

Таблица 3 – Статистическая проверка остатков регрессионной зависимости для сечения 2,5 мм

Параметр	«Нормальность» остатков		Отсутствие систематической ошибки	Попадание в 95 % интервал, % значе- ний КС ₀	Попадание в 50 % интервал, % значе- ний КС ₀
	Статистика Шапиро – Вилка, P-Value	Статистика Колмогорова – Смирнова, P-Value	t-статистика Стьюдента, P-Value		
Остаток	0,998806	0,999986	0,754394	10	4

Проверка «нормальности» остатков осуществлялась критериями Шапиро – Вилка, Колмогорова – Смирнова, реализованными в пакете «Statgraphics». Отсутствие систематической ошибки определялось критерием Стьюдента. Значимость регрессионной модели оценивалась критерием Фишера.

Статистическая проверка остатков регрессионной зависимости для бето- на класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$ состава с ОК = 4 см приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Статистическая проверка остатков регрессионной зависимости l-КС₀ для бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$ состава с ОК = 4 см

Статистическая проверка		«Нормальность» остатков		Отсутствие систематической ошибки	Адекватность	
Пара- метр	Сечение, мм	Статистика Шапиро – Вилка, P-Value	Статистика Колмогорова – Смирнова, P-Value	t-статистика Стьюдента, P-Value	Статистика Фишера	
					F-ratio	P-Value
Остаток	2,5	0,539606	0,769716	0,738286	758,66	<0,01000
	5,0	0,936929	0,940042	0,967294		
	7,5	0,975230	0,998479	0,603481		
	10,0	0,505072	0,974549	0,864295		
	12,5	0,998806	0,999986	0,754394		
	15,0	0,350309	0,871736	0,628959		
	17,5	0,897294	0,997992	0,726486		
	20,0	0,919043	0,986079	0,981681		
	22,5	0,559416	0,965130	0,496294		
25,0	0,790279	0,996206	0,614645			

Статистическая проверка остатков регрессионных зависимостей l-КС₀ показала, что по всем сечениям значения показателя P-value (критерии Шапи- ро – Вилка, Колмогорова – Смирнова и Стьюдента) значительно больше 0,05, что свидетельствует о том, что гипотезы о нормальном распределении остатков и нулевом математическом ожидании остатков согласуются с фак-

тическими данными. А поскольку для критерия Фишера значения показателя *P-Value* значительно меньше 0,05, то гипотеза о «неадекватности» модели отклоняется и с вероятностью, превышающей 0,95 (принятой в инженерной практике для оценки уровня значимости), можно утверждать, что полученная регрессионная модель адекватно описывает предложенную зависимость.

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.** Прогнозирование начальной карбонизации бетона различных классов по прочности на сжатие / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева, Н. А. Леонов // Современные научные знания : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение, 2023. – С. 21–24.

УДК 625.78.004.6

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

П. В. КОВТУН, М. Ю. НИКИТЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последние годы в строительной отрасли стали широко применять закрытые способы прокладки коммуникаций. Это обусловлено рядом причин. В условиях городской застройки и при восстановлении в послевоенное время предприятий, где в значительных объемах размещены подземные сооружения, прокладка новых и замена старых подземных сетей открытым способом затруднена. Закрытый способ позволяет уменьшить объем земляных работ на 60–80 % и осуществлять строительство в зимних условиях без больших удорожаний [1].

Технология горизонтального направленного бурения заключается в бурении пилотной скважины по трассе прокладываемого трубопровода с последующим ее расширением до необходимого диаметра и протаскиванием трубопровода к заданной точке бурения. Данная технология может быть применена при обустройстве любых коммуникационных магистралей в случае необходимости прокладки трассы под железнодорожными путями.

Наличие литологических границ на пути траектории скважины является одним из факторов, приводящих к нарушению пространственных размеров геометрии ее ствола и осложнению для протаскивания дюкера. Знания механизма образования уступов помогут при конструировании геометрических размеров расширителей, расположения породоразрушающих элементов на их