УДК 691.327:620.179

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ БЕТОНА В МОМЕНТ ИСПЫТАНИЯ НА СВЯЗЬ МЕЖДУ ЕГО ПРОЧНОСТЬЮ И СКОРОСТЬЮ ПРОХОЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА.

Порхов Ю. Н. *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)*

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния водонасыщения на прочность бетона и скорость распространения ультразвука в нём. Показана необходимость учёта влияния влажности как при традиционном, так и при ультразвуковом контроле прочности бетона.

Взаимосвязь между скоростью ультразвука и физико-механическими свойствами материала определяется одним из основных уравнений акустики [1]:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \qquad (1)$$

где V – скорость ультразвука;

E – модуль упругости;

ρ – плотность материала (бетона).

Модуль упругости не всегда однозначно определяет прочность бетона и одной и той же скорости ультразвука, в зависимости от состава, может соответствовать различная прочность бетона.

Практика ультразвукового контроля прочности бетона пошла по пути использования корреляционных связей «скорость-прочность» для бетона определённого состава и построения эмпирических зависимостей между скоростью ультразвука и прочностью бетона.

Различными исследователями [2, 3, 4, 5, 6] предлагаются различные формулы, связывающие прочность бетона и скорость прохождения ультразвука. Наиболее приемлемой является зависимость вида

$$R_б = A \cdot e^{bV}, \qquad (2)$$

где $R_б$ – прочность бетона;

A и b – эмпирические коэффициенты, которые определяют на основе экспериментальных данных;

e – основание натурального логарифма.

Путём логарифмирования выражение (2) приводится к виду

$$\ln R_б = a + bV, \qquad (3)$$

где a – эмпирический коэффициент ($a=lnA$).

С помощью формул (2) и (3) достигается удовлетворительная аппроксимация связи между прочностью бетона и скоростью ультразвука в широком диапазоне изменения прочности различных видов бетона. Значение коэффициентов в формуле (3) меняются в широких пределах в зависимости от состава бетона, свойств материалов и условий твердения. Однако в литературных источниках практически не приводятся данные об изменениях коэффициентов «a» и «b» в зависимости от влажности ($И$) бетона в момент испытания, хотя можно ожидать существенного изменения параметров градуировочной зависимости «скорость-прочность», т. е. изменения коэффициентов «a» и «b» при испытании бетона различной влажности. Это вызвано тем, что колебание влажности бетона существенно изменяет скорость ультразвука и прочность бетона. При этом скорость ультразвука увеличивается, а прочность бетона уменьшается.

Для проверки возможности использования формулы (2) для прогноза прочности бетона по скорости ультразвука в случае изменения влажности бетона, была выполнена серия экспериментов, в которых использовались образцы бетона с Ц/В=1,5…2,5. Образцы, твердевшие в течение 40 суток в нормальных условиях после пропаривания по стандартному режиму, испытывали при естественной влажности, в сухом и водонасыщенном состоянии. Результаты испытаний приведены в табл. 1. На основе экспериментальных данных методом наименьших квадратов получены следующие выражения, описывающие связь между прочностью бетона и скоростью ультразвука:

а) для сухого бетона

$$lnR_c = -0{,}12 + 1{,}47V \qquad (4)$$

б) для бетона при естественной влажности (W_e=3,8…4,1 %)

$$lnR_e = -2{,}1 + 1{,}8V \qquad (5)$$

в) для бетона, насыщенного водой ($W_м$=5,8…6,2 %)

$$lnR_м = -1{,}39 + 1{,}58V, \qquad (6)$$

где lnR_c, lnR_e, $lnR_м$ – соответственно, натуральный логарифм прочности бетона в сухом, увлажнённом ($W_м$) при естественной влажности состоянии (W_e)

В формулах (4…6) прочность выражена в кгс/см^2, а скорость ультразвука – в км/сек.

Коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту линейной связи между $lnR_б$ и V составляют 0,95…0,98, т. е. связь очень близка к

линейной и является почти функциональной.

Таблица 1.

Результаты испытаний скорости ультразвука и прочности при различной влажности бетона.

№ п/п	Влажность, W, в %	Скорость ультразвука, V, км/сек	Прочность $R_{сж}$, кгс/см^2	Натуральный логарифм прочности, $y=lnR_{сж}$	Расчётное значение $lnR_{сж}$ по уравнениям (4…6)	Расчётное значение прочности $R_{сж}$, кгс/см^2
1	0,0	3,46	153	5,03	4,97	144
2	0,0	3,65	191	5,25	5,24	190
3	0,0	3,89	245	5,50	5,60	271
4	0,0	4,00	331	5,80	5,76	319
5	0,0	4,13	374	5,92	5,95	384
6	0,0	4,33	545	6,30	6,24	515
7	0,0	4,48	603	6,41	6,46	639
8	4,2	3,85	148	5,00	4,83	126
9	4,1	4,02	173	5,15	5,14	171
10	3,8	4,19	226	5,42	5,44	231
11	3,9	4,34	302	5,71	5,71	302
12	3,9	4,47	376	5,93	5,95	384
13	3,9	4,55	404	6,00	6,09	442
14	4,1	4,69	528	6,27	6,34	567
15	5,9	4,07	140	4,94	5,04	155
16	5,8	4,14	172	5,15	5,15	173
17	5,8	4,30	221	5,40	5,40	222
18	5,8	4,38	257	5,55	5,53	258
19	6,0	4,50	299	5,70	5,72	305
20	6,2	4,64	366	5,90	5,94	380
21	5,9	4,75	451	6,11	6,12	455

Примечания:

1. Образцы №№ 1…7 испытаны после высушивания до постоянной массы при температуре 105-110°С.
2. Образцы №№ 8…14 испытаны при естественной влажности, установившейся после хранения образцов.
3. Образцы №№ 15…21 испытаны после насыщения водой в течение 48 часов.

Результаты экспериментов и теоретические линии регрессии по полученным уравнениям приведены на рис. 1 и 2. Как видно из рис. 1, линейность связи логарифма прочности и скорости ультразвука наблюдается как для сухих образцов, так и для образцов при естественной влажности бетона. Отклонения экспериментальных значений от теоретических линий регрессии лежат в пределах ошибки измерений.

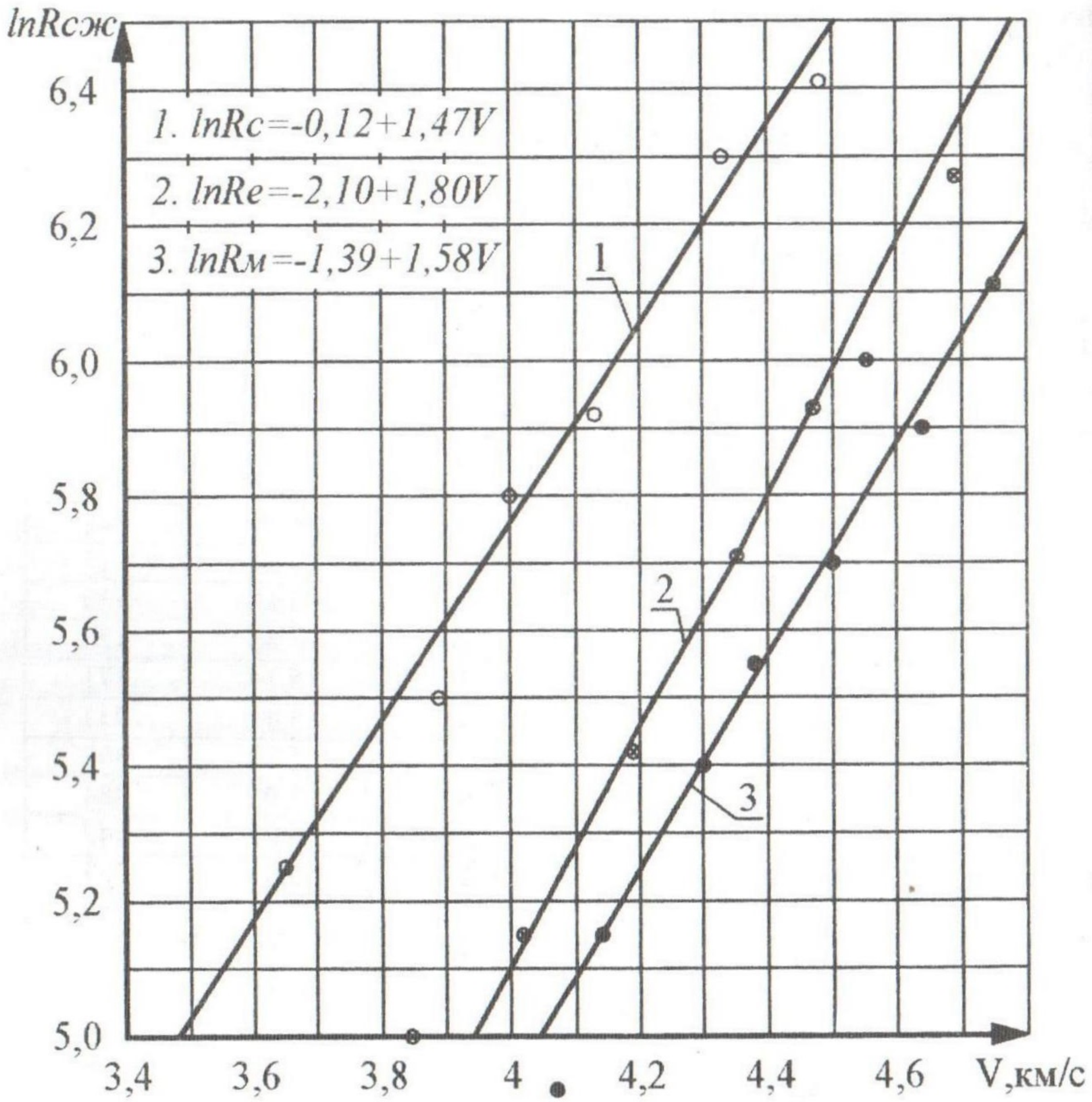


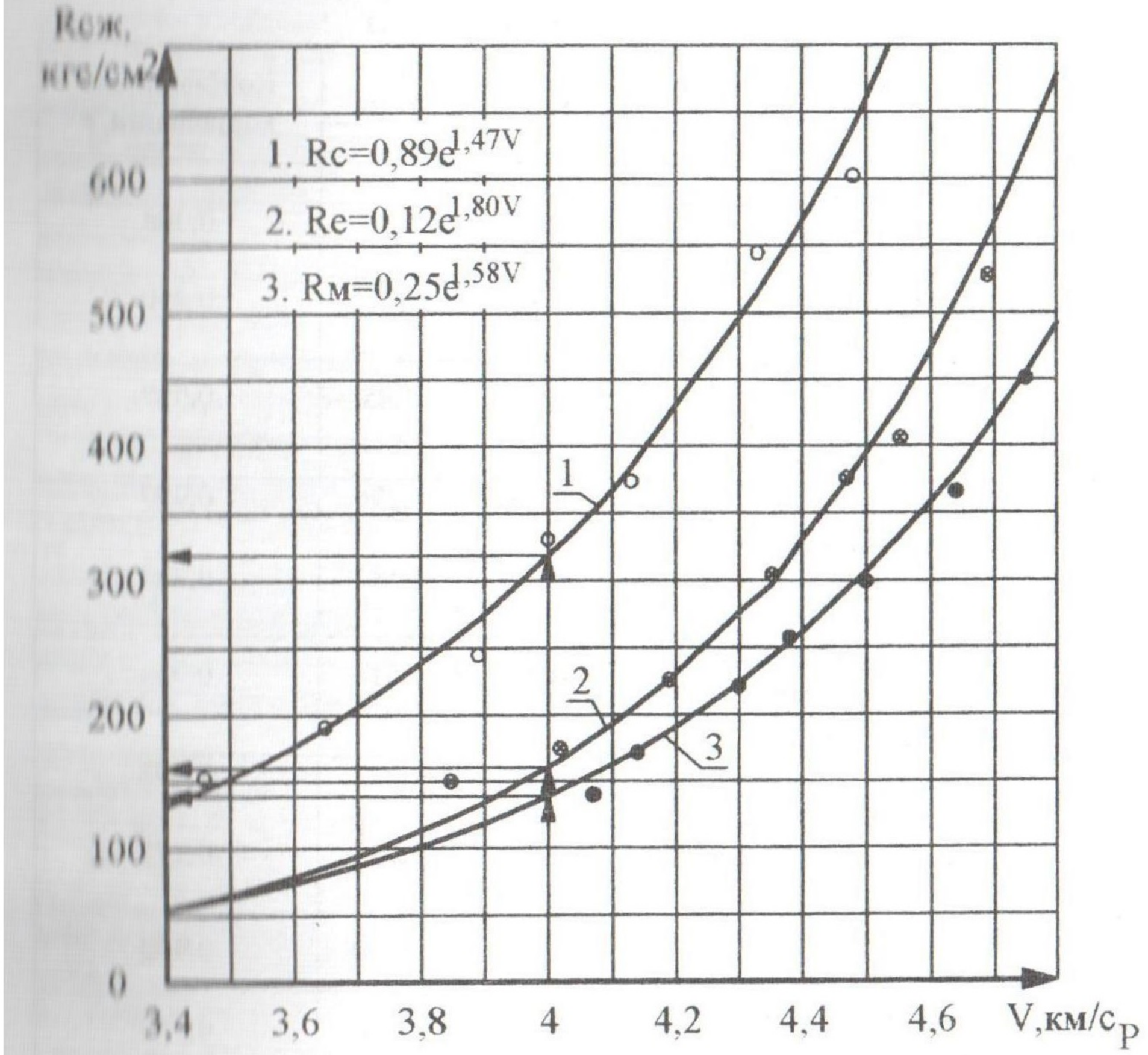
Рис. 1. Связь между логарифмом прочности и скоростью ультразвука при разной влажности бетона: ○ - сухие образцы; ⊗ - образцы при естественной влажности; ● - образцы, насыщенные водой.

Аналогичные результаты получены не только для пропаренного бетона, но и для бетона тех же составов, твердевшего в других условиях – в воде, на воздухе и в камере нормального твердения. Значения коэффициентов «*а*» и «*б*» уравнения (3), а также величины коэффициентов корреляции для различных условий твердения бетона приведены в табл. 2.

Следует отметить, что отклонения от линейной зависимости $lnR=f(V)$ могут быть вызваны как изменением состава бетона (различным содержанием крупного заполнителя), так и колебаниями влажности бетона. Если объёмная концентрация крупного заполнителя ($\varphi_{щ}$) при изменении Ц/В и условий твердения остаётся постоянной, то

связь между прочностью и скоростью ультразвука при постоянной влажности оказывается еще более тесной, вплоть до очень высоких значений прочности бетона – до 1000 и более кгс/см^2.

Анализ результатов многочисленных экспериментов, в которых исследовалась зависимость между прочностью бетона и скоростью ультразвука при различной влажности, позволяет сделать следующие обобщения.



ис. 2. Связь между прочностью и скоростью ультразвука при разной влажности бетона: ○ - сухие образцы; ⊗ - образцы при естественной влажности; ● - образцы, насыщенные водой.

Связь между прочностью бетона и скоростью ультразвука достаточно надёжно описывается зависимостью (2) или (3) при условии постоянства влажности бетона в момент испытания, а также при постоянном объёмном содержании мелкого и крупного заполнителя в бетоне. Линейная связь между логарифмом прочности и скоростью ультразвука сохраняется для сухих образцов, образцов при

естественной влажности и водонасыщенных образцов в случаях, когда колебания влажности незначительны. Одной и той же скорости ультразвука при неизменном составе бетона и одинаковых условиях твердения соответствуют различные значения прочности бетона в зависимости от его влажности.

Таблица 2.

Значения коэффициентов в уравнении (3) при разных условиях твердения и испытания бетона

№№ пп	Условия твердения и влажность образцов в момент испытания	Значения коэффициентов		Коэффициент корреляции, r
		a	$б$	
I	Нормальное твердение			
	а) сухие	1,20	1,30	0,994
	б) при естественной влажности (W_e=2,2…3,1 %)	-0,9	1,6	0,990
	в) насыщенных водой ($W_м$=4,7…6,7 %)	-2,53	1,85	0,987
II	Воздушно-сухое твердение			
	а) сухие	1,134	1,296	0,987
	б) при естественной влажности (W_e=0,5…1,0 %)	-0,241	1,531	0,993
	в) насыщенных водой ($W_м$=6,5…6,8 %)	-1,121	1,518	0,984
III	Водное твердение			
	а) сухие	1,295	1,232	0,998
	б) при естественной влажности (W_e=2,6…4,8 %)	1,705	1,727	0,978
	в) насыщенных водой ($W_м$=5,2…7,1 %)	-3,971	2,130	0,962
IV	По всем образцам в сухом состоянии	1,24	1,28	0,980
V	По всем образцам при естественной влажности	0,44	1,28	0,960

В связи с этим градуировочная зависимость «скорость-прочность» для сухих образцов располагается значительно выше (см. рис. 2), чем для образцов при естественной влажности и водонасыщенных образцов. Если не учитывать влажность бетона в момент испытания и пользоваться градуировочной зависимостью, построенной для образцов при естественной влажности, то ошибка прогноза прочности

бетона в водонасыщенном состоянии может достичь 50-70 % в сторону занышения фактической прочности и 150-200 % - для сухого бетона (в сторону занижения его прочности). Так например, по данным, приведенным на рис. 2 при скорости ультразвука 4000 м/сек. Прочность при естественной влажности составляет около 175 кгс/см^2, а для сухих образцов при той же скорости ультразвука прогноз прочности составляет около 320 кгс/см^2. Водонасыщение образцов при скорости ультразвука 4000 м/сек характеризуются прочностью 130 кгс/см^2, т. е. почти на 25 % ниже, чем образцы при естественной влажности.

В связи с изложенным объективный прогноз прочности бетона по скорости ультразвука без учёта влажности бетона практически невозможен, если влажность бетона в контролируемых конструкциях изменится по сравнению с влажностью градуировочных образцов. Отклонения влажности на ±1 % от значений влажности при построении градуировочной зависимости могут привести к ошибке прогноза прочности на 20-30 и более процентов.

Учёт влияния влажности на скорость ультразвука и прочность бетона при построении градуировочных зависимостей и при контроле прочности позволяет в ряде случаев повысить точность ультразвукового контроля в 1,5…2 раза по сравнению с использованием градуировочных зависимостей, не учитывающих влияние влажности, а также по сравнению с методами, учитывающими влияние влажности только на скорость ультразвука.

Литература:

1. Горелик Г. С. Колебания и волны. Изд. Второе, М., 1959.
2. Вайншток И. С. И др. Оценка погрешности в определении прочности бетона ультразвуковым методом. «Экспериментальные исследования инженерных сооружений» (материалы по второму симпозиуму), вып. 6, М., 1969.
3. Вайншток И. С. И др. Новое в методике определения прочности бетона ультразвуковым импульсным методом. «Бетон и железобетон». № 7, 1972.
4. Дурасов А. С. Крылов Н. А. Физические методы контроля качества бетона. Госстройиздат, 1959.
5. Иванов А. Л. Исследование принципов ультразвукового контроля прочности бетона во взаимодействии с его структурой. Автореферат, Днепропетровск, 1978.
6. Путилин А. К. Физико-механические методы контроля бетона в конструкциях. Стройиздат, 1971.