

## ВЛИЯНИЕ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В БЕТОНЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ТВЕРДЕНИЯ

© Выровой В.Н., Воронов Ю.Н., Панасюк В.А., 2010

Наведено результати експериментальних досліджень впливу вологості на швидкість поширення ультразвуку в бетоні у віці 28 діб водного тверднення і 33 років нормально тверднення, дано якісні і кількісні оцінки цього впливу.

**Ключові слова:** бетон, ультразвук, швидкість, вологість.

The results of experimental researches of influence of humidity are resulted on speed of distribution of ultrasound in a concrete in age 28th of days of the water hardening and 33rd normally hardenings, the high-quality and quantitative estimations of this influence are given.

**Keywords:** concrete, ultrasound, speed, humidity.

**Введение.** С целью получения реальной информации о состоянии строительных объектов необходимо контролировать прочность в конструкциях зданий при их реконструкции, ремонте и восстановлении. Накопленный опыт показал, что к одним из наиболее информативных неразрушающих методов можно отнести метод ультразвукового контроля. Однако при использовании этого метода следует учитывать влажность бетона на момент испытания конструкций и структурные особенности бетона после его эксплуатации в течение длительного времени. Обзор сведений по установлению связи скорости прохождения ультразвука и прочности показал, что не во всех случаях можно установить между ними корреляционную связь. Изучение влияния влажности в момент испытания на скорость распространения ультразвука в бетоне представляет большой практический интерес при неразрушающем контроле качества бетона ультразвуковым импульсным методом. Одной из причин, обуславливающих неточность прогноза прочности при ультразвуковом методе контроля, является изменение влажности контролируемого бетона к моменту испытания по сравнению с влажностью бетона тарировочных образцов. Влажность затвердевшего бетона может колебаться в значительных пределах в зависимости от температуры и влажности окружающей среды, состава и возраста бетона, характера его пористости, условий эксплуатации и других факторов.

В ряде работ [1–6] показано, что с увеличением влагосодержания скорость продольных волн ультразвука в бетоне увеличивается. Это увеличение настолько велико, что без соответствующего учета влияния влажности может привести к ошибке в оценке прочности бетона более чем на 100 % [3].

Возрастание скорости ультразвука в бетоне при водонасыщении связано как с замещением менее плотного компонента – воздуха, скорость ультразвука в котором составляет 331 м/с, более плотным – водой ( $V=1430$  м/с), так и за счет уплотнения структуры бетона вследствие набухания геля.

Среди исследователей нет единого мнения в количественной и качественной оценке влияния влажности на скорость ультразвука в бетоне. Так, по данным, приведенным в [3], связь между скоростью ультразвука и влажностью бетона носит линейный характер. По данным, приведенным в [6], эта зависимость имеет нелинейный характер с выпуклостью вверх. В [6] отмечено, что для тяжелого бетона в диапазоне влагосодержания от 0 до 3 % наблюдается значительное приращение скорости с последующим умеренным ее ростом до полного насыщения. При этом достаточно четко фиксируется точка перелома кривой, что свидетельствует о качественно различном влиянии влаги в этих диапазонах на скорость продольных волн. Из данных работы [1] видно, что зависимость скорости ультразвука в цементных образцах от влажности носит криволинейный характер с выпуклостью вниз.

**Задача исследования.** Таким образом, стоит задача изучения влияния влажности бетонов различного возраста на скорость прохождения ультразвука.

В наших исследованиях для количественной и качественной оценки влияния водонасыщения на скорость ультразвука в бетоне разного возраста были испытаны бетоны в возрасте 28 суток водного твердения после тепловой обработки и в возрасте 33 лет, твердевшие при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности 90–100 %. Испытания велись на образцах – балочках размером 4·4·16 см из бетона на портландцементе М400 Одесского цементного завода, в качестве заполнителя использовался гранитный щебень с максимальной крупностью зерен 8 мм и морской песок с  $M_{кр}=1,9$ . Различная степень водонасыщения образцов перед испытанием на прочность достигалась путем их высушивания при температурах от  $55^\circ\text{C}$  до  $105^\circ\text{C}$ , погружения в воду, максимальная степень насыщения достигалась путем кипячения образцов.

Для испытания были приняты два состава бетонов с В/Ц = 0,4 и 0,7 одинаковой удобоукладываемости. Составы бетонов и характеристики бетонных смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Составы бетонов и характеристики бетонных смесей**

№ состава	Расход материалов, кг на 1 м <sup>3</sup> бетона				Характеристики составов			
	Ц	П	Щ	В	В/Ц	г	Ц/П	ОК, см
1	500	677	1015	200	0,4	0,4	0,738	4
2	280	745	1126	196	0,7	0,4	0,376	4

В качестве показателя изменения скорости ультразвука при колебаниях влажности бетона ( $W_6$ ) использовали коэффициенты “ $a_{V_6}$ ” и “ $a_{V_{p-pa}}$ ”, характеризующие изменение скорости прохождения ультразвука в образцах, приходящиеся на 1 % изменения влажности бетона и раствора, выраженное в процентах по отношению к скорости ультразвука в сухих образцах:

$$a_{V_6} = \frac{V_M - V_C}{V_C \cdot W_6}, \quad a_{V_{p-pa}} = \frac{V_M - V_C}{V_C \cdot W_{p-pa}} \quad (1)$$

где  $V_C$  и  $V_M$  – соответственно скорость прохождения ультразвука в сухих и увлажненных образцах, м/с;  $W_6$  и  $W_{p-pa}$  – соответственно влажность по массе бетона и растворной составляющей бетона, %.

Так как акустические и прочностные свойства бетона зависят в основном от структуры цементного камня в бетоне, представляло интерес проанализировать изменение скорости ультразвука при увлажнении и высушивании в зависимости от влажности цементного камня.

Для этого в дополнение к коэффициентам ( $a_{V_6}$ ) и ( $a_{V_{p-pa}}$ ) вычисляли коэффициент ( $a_{V_{цк}}$ ), характеризующий изменение скорости ультразвука на единицу влажности цементного камня в бетоне

$$a_{V_{цк}} = \frac{V_M - V_C}{V_C \cdot W_{цк}}, \quad (2)$$

где  $W_{цк}$  – влажность цементного камня в момент испытания, процентов.

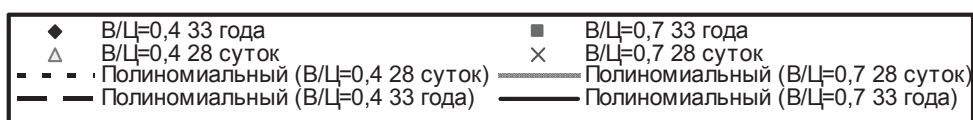
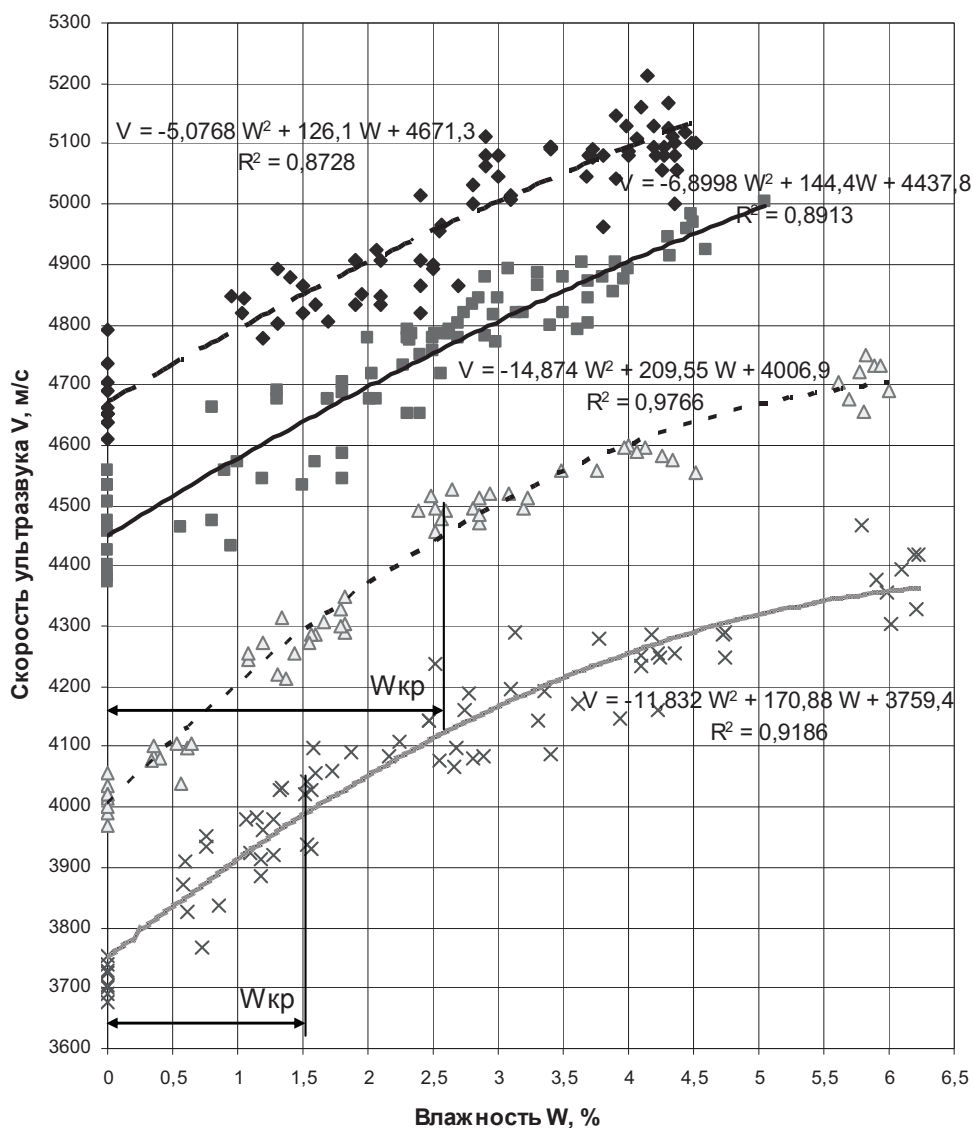
Влажность цементного камня  $W_{цк}$  в бетоне известного состава рассчитывали по формуле:

$$W_{цк} = W_6 \frac{\gamma_6^c}{Ц(1 + W_n)100}, \quad (3)$$

где  $\gamma_6^c$  – объемная масса сухого бетона, кг/м<sup>3</sup>; Ц – расход цемента, кг/м<sup>3</sup>;  $W_n$  – количество химически связанной воды в относительных единицах.

Величину  $W_n$  определяли путем прокаливания, а в ряде случаев значение принималось для бетона в возрасте 28 суток и после пропаривания – 0,15 (15 % от массы цемента), а при длительном хранении в воде и в нормально-влажностных условиях 0,2–0,22 (20–22 % от массы цемента).

В графическом виде зависимости между скоростью ультразвука и влажностью бетона в возрасте 28 суток и 33 лет представлены на рисунке.



*Влияние влажности бетона на изменение скорости ультразвука  
разного возраста и состава*

В аналитическом виде эти зависимости имеют такой вид:

в возрасте 28 суток:

а) для  $V/C = 0,4$   $V = 4006,9 - 14,874 W^2 + 209,55 W$ , при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9766$ ;

б) для  $V/C = 0,7$   $V = 3759,4 - 11,832 W^2 + 170,88 W$ , при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9186$ ;

в возрасте 33 лет:

в) для  $V/C = 0,4$   $V = 4671,3 - 5,0768 W^2 + 126,1 W$ , при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,8728$ ;

г) для  $V/C = 0,7$   $V = 4437,8 - 6,8998 W^2 + 144,4 W$ , при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,8913$ .

Как видно из рисунка, связь между скоростью прохождения ультразвука и влажностью бетона в возрасте 28 суток имеет криволинейный вид с характерной точкой перегиба, соответствующей некоторому критическому значению влажности, равному около 2,5 % для бетона с В/Ц=0,4 и 1,5% для бетона с В/Ц=0,7.

Для бетона с В/Ц=0,4 в диапазоне изменения влажности от 6 % до 2,5 % изменение скорости ультразвука на 1 % влажности составляет около 80 м/с, а при уменьшении влажности от 2,5 % до 0 изменение влажности на 1 % приводит к изменению скорости ультразвука в среднем на 200 м/с.

Для бетона с В/Ц=0,7 в диапазоне изменения влажности от 6 % до 1,5 % уменьшение влажности на 1 % приводит к уменьшению скорости ультразвука в среднем на 75 м/с. В то же время в диапазоне влажности от 1,5 % до 0 при изменении влажности на 1 % скорость ультразвука меняется на 200 м/с.

Для бетона в возрасте 33 лет связь между скоростью прохождения ультразвука и влажностью носит практически линейный характер и составляет 123 м/с для бетона с В/Ц=0,4 и 112 м/с для бетона с В/Ц=0,7 на один процент влажности.

Скорость ультразвука к возрасту 33 лет увеличилась по сравнению с возрастом 28 суток на 14 % в сухом состоянии и на 9 % в насыщенном водой состоянии для В/Ц=0,4 и соответственно на 17 % и 12 % для В/Ц=0,7. Прочность бетона к возрасту 33 лет по сравнению с возрастом 28 суток увеличилась на 127 % для В/Ц=0,7 в сухом состоянии и на 121 % при полном водонасыщении, а для В/Ц=0,4 на 64 % в сухом состоянии и 38 % в насыщенном водой состоянии. Влажность бетона к возрасту 33 лет уменьшилась в среднем на 2 %.

Количественные оценки изменения скорости ультразвука на единицу влажности бетона ( $a_{V_0}$ ), раствора ( $a_{V_{p-pa}}$ ) и цементного камня в бетоне ( $a_{V_{цк}}$ ) для бетонов с В/Ц=0,4 и 0,7 приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения коэффициентов относительного изменения скорости ультразвука**

№ состава	В/Ц	$a_{V_0} = \frac{V_M - V_C}{V_C \cdot W_0}$	$a_{V_{p-pa}} = \frac{V_M - V_C}{V_C \cdot W_{p-pa}}$	$a_{V_{цк}} = \frac{V_M - V_C}{V_C \cdot W_{цк}}$
в возрасте 28 суток до $W_{кр}$				
1	0,4	4,6	2,5	1,2
2	0,7	5,3	2,6	0,78
в возрасте 28 суток после $W_{кр}$				
1	0,4	1,65	0,90	0,45
2	0,7	1,61	0,80	0,24
в возрасте 33 лет				
3	0,4	2,86	1,55	0,77
4	0,7	3,06	1,50	0,43

Из табл. 2 видно, что наиболее информативной характеристикой изменения скорости ультразвука при колебании влажности является коэффициент ( $a_{V_{цк}}$ ) и что бетоны с повышенным Ц/В характеризуются большим (в 1,54–1,88 раза) изменением скорости на единицу влажности цементного камня как для бетона в возрасте 28 суток, так и для бетона длительного твердения (33 года).

**Выводы.**

1. Исследования влияния скорости ультразвука в зависимости от влажности бетона показали, что при контроле качества ультразвуковым методом с целью определения механических характеристик необходимо обязательно учитывать влажность бетона в конструкции.
2. Зависимость скорости ультразвука от влажности бетона при увеличении влажности от нуля до полного водонасыщения является нелинейной для бетона раннего возраста. Для бетона длительного твердения эта зависимость имеет практически прямолинейный характер.
3. Количественные показатели ( $a_{V_0}$ ) и ( $a_{V_{p-pa}}$ ) практически не зависят от состава бетона.

4. Наиболее информативной характеристикой изменения скорости ультразвука при колебании влажности является коэффициент ( $a_{v_{\text{кр}}}$ ), который четко зависит от В/Ц и увеличивается в 1,54 – 1,88 раза от В/Ц=0,7 до В/Ц=0,4.

5. Влажность бетона следует учитывать при ультразвуковом контроле прочности.

1. Вайниток И.С. Изменение скорости распространения ультразвука в цементных, цементно-песчаных и бетонных образцах в зависимости от их влажности / И.А. Смирнова // Труды ВНИИ железобетона, Вып. 19. – М.: Строиздат, 1972. 2. Галан А. Определение упругих и пластических свойств бетона ультразвуковым импульсным методом / Применение неразрушающих методов испытаний бетонов в строительной практике // Труды международной научно-технической конференции в г. Лейпциге. – М.: Строиздат, 1968. – С. 85–69. 3. Гензель Я. Влияние степени армирования и влажности на скорость распространения ультразвуковых импульсов в бетоне / Применение неразрушающих методов испытаний бетонов в строительной практике // Труды международной научно-технической конференции в г. Лейпциге. – М.: Строиздат, 1968. – С. 94–101. 4. Комаровский А.А. Неразрушающий контроль прочности легких бетонов с учетом возраста и влажности / В.А. Лемешко // Строительные материалы и изделия. Реферативная информация. Сер. УП. – Вып. № 5. – М., 1977. – С. 7–9. 5. Коротков С.Н. Изучение свойств железобетона ультразвуковым методом / Е.С. Коскин // Бетон и железобетон. – № 10. – 1965. – С. 35–38. 6. Морщихин В.Н. Оценка качества бетона с учетом его влажности / Н.Л. Рынин // Бетон и железобетон. – № 12. – 1970. – С. 14–15.

УДК 624.072.31:075.23

Є.І. Галагуря, А.О. Шевченко

Українська державна академія залізничного транспорту, м. Харків

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПО-РІЗНОМУ НАВАНТАЖЕНИХ КОЛОН

© Галагуря Є.І., Шевченко А.О., 2010

Наведено рішення, що описують у пружній стадії напружено-деформований стан таких розрахункових схем: колона, навантажена по торцях поздовжніми силами з рівними та в одну сторону спрямованими ексцентриситетами; колона, жорстко затиснена внизу, шарнірно закріплена вгорі, навантажена ексцентрично прикладеною поздовжньою силою на верхньому торці; колона, жорстко затиснена внизу, навантажена на вільному кінці ексцентрично прикладеною силою; колона, навантажена позацентрово прикладеною силою в прольоті.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, колона, ексцентриситет, поздовжня сила, позацентрова сила.

**In article are brought decision, which describe in springy stage tense-deformed condition of the following accounting schemes: column, loaded on butt longitudinal power with equal and in one side directed eccentric; column, hard jamming adown, joint bolted at the top, loaded eccentric attached by longitudinal power on upper butt end; column, hard jamming adown, loaded on free end eccentric attached by power; column, loaded eccentric attached by power in stairwell.**

**Keywords:** tense-deformed condition; column, eccentric, longitudinal power, eccentric power.

**Вступ.** Експериментальні і теоретичні дослідження напружено-деформованого стану центрально та позацентрово стиснутих колон та інших несучих конструкцій виконали в своїх роботах: Г.Л. Ватуля, Ю.В. Глазунов, І.А. Жакін, О.В. Опанасенко, Л.І. Стороженко, Е.Д. Чихладзе та інші вчені. Відзначені роботи сприяли вирішенню складної проблеми оцінки міцності та жорсткості колон. Однак не всі питання вирішені. Зокрема, недостатньо вивчена робота статично визначених і статично невизначених