

Таблица 7. Влияние значения модуля сдвига (G) на напряженно-деформированное состояние панели при двухпролетной расчетной схеме (рис. 4б)

Модули упругости		Модуль сдвига G, МПа	Максимальный прогиб панели, мм	Максимальные нормальные напряжения в обшивке в пролете, МПа	Нормальные напряжения в обшивке на средней опоре, МПа	Касательные напряжения в среднем слое на крайней опоре, кПа	Касательные напряжения в среднем слое на средней опоре, кПа
E ₁ , МПа	E ₂ , МПа						
3.07	1.49	0.5	24.1	20.0	5.1	14.08	15.41
		0.6	20.4	19.7	5.8	13.97	15.57
		0.7	17.7	19.4	6.5	13.86	15.72
		0.8	15.7	19.1	7.2	13.76	15.85
		0.9	14.1	18.8	7.8	13.67	15.97
		1.0	12.8	18.6	8.3	13.58	16.07
		1.2	10.9	18.2	9.3	13.43	16.27
		1.5	9.0	17.6	10.5	13.23	16.51
		1.7	8.0	17.3	11.2	13.12	16.65
		2.0	7.0	16.9	12.2	12.97	16.82
		2.5	5.8	16.4	13.4	12.77	17.06
		3.0	5.0	16.0	14.4	12.61	17.24
		3.5	4.4	15.7	15.2	12.49	17.39
		4.0	4.0	15.4	15.8	12.38	17.52
		4.5	3.7	15.2	16.4	12.29	17.63
		5.0	3.4	15.0	16.8	12.22	17.71
		7.0	2.7	14.4	18.2	12.00	18.05
		9.0	2.3	14.1	19.0	11.87	18.71
		11.0	2.0	13.9	19.6	11.78	19.17
		15.0	1.7	13.6	20.3	11.66	19.76
20.0	1.5	13.4	20.8	11.57	20.19		
25.0	1.4	13.3	21.2	11.52	20.44		
30.0	1.3	13.2	21.4	11.48	20.59		
40.0	1.2	13.1	21.7	11.43	20.75		
50.0	1.1	13.0	21.8	11.40	20.82		

2. При выполнении статических расчетов металлических панелей с утеплителем из минеральной ваты и пенопласта не требуется учитывать анизотропные свойства утеплителя.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. EN 14509. Self-supporting double skin metal faced insulating panels - Factory made products - Specifications / CEN. – Brussels: 2006. – 145 p.

- 2. Рекомендации по расчету трехслойных панелей с металлическими обшивками и заполнителем из пенопласта. М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1976. -26 с.
- 3. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия/Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.-35 с.
- 4. СТ СЭВ 5060-85. Надежность строительных конструкций и оснований. Конструкции пластмассовые. Основные положения по расчету.

Материал поступил в редакцию 10.01.08

LEVCHUK A.A. Computation model of double skin metal faced panels

Article contains comparison of various computation models of double skin metal faced panels. The results of computational investigations of double skin metal faced panels' anisotropic effects also added.

УДК 693

Снежков Д.Ю., Леонович С.Н.

ПРОФИЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ НЕРАВНОПРОЧНОСТИ МАССИВА БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Введение. В предлагаемой статье рассматривается аспект практического использования неразрушающих средств контроля для оценки прочностных параметров монолитного бетона на строительстве спортивного комплекса «Минск-Арена» в г. Минске. Представлены данные испытаний, рассматриваются возможности повышения информативности и достоверности контроля бетона монолитных изделий.

Существующие неразрушающие методы контроля бетона не являются равнозначными по своим оценкам упругих и прочностных характеристик бетона, что обусловлено, в первую очередь, различием физических основ методов. Это обстоятельство позволяет говорить о селективной чувствительности того или иного неразрушающего метода к контролируемым физико-механическим параметрам

бетона и открывает возможность для повышения точности и достоверности контроля бетона, особенно в условиях монолитного строительства. Повышение надежности оценок характеристик бетона и, в первую очередь, его параметров упругости и прочности на основе комплексного, взаимодополняющего учета оценок нескольких методов контроля отмечается рядом исследователей [1], но степень методической проработки данного вопроса пока остается недостаточной для практического использования.

Основой конструкции объекта (рис. 1) является монолитный железобетонный каркас, основные элементы которого – несущие колонны, балки и плиты перекрытий из бетона классов С35/45 и С32/40 с суперпластификатором «Стахеппласт – М».

Снежков Д.Ю., Белорусский национальный технический университет.

Леонович С.Н., доктор технических наук, профессор каф. технологии строительного производства Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.



Рис. 1. Минск - Арена

Так как бетонирование конструкций производилось в различных климатических условиях: диапазон температуры воздуха от -15°C до $+32^{\circ}\text{C}$, а влажность от 30 до 100%, то, безусловно, это могло косвенно отразиться на их качестве, и, в первую очередь, – прочности бетона.

Как показали выполненные ранее исследования, сложившаяся традиционная система контроля прочностных показателей бетона монолитных конструкций, основанная на прессовых испытаниях образцов из используемого бетона, не обеспечивает необходимой достоверности. Главной причиной этого является невозможность практически обеспечить такие же условия твердения для бетона контрольных образцов, какие имеют место для самих изделий. Использование технологии электропрогрева бетона в условиях низких температур, в ещё большей степени усиливает эту разницу. Данные, получаемые испытанием образцов, твердевших в нормальных условиях, могут рассматриваться лишь как оценки качества используемой бетонной смеси, а не готового бетона в изделии.

Для оценки прочности бетона непосредственно в самих изделиях авторами использовалась методика комплексного контроля, основанная на совместных испытаниях бетона различными неразрушающими методами. Физической основой методики является использование селективности параметров чувствительности используемых методов контроля к характеристикам упругости бетона и его прочности.

Среди неразрушающих методов широко используемых в практике строительства в республике Беларусь можно выделить группу методов индентирования, включающих в себя широко известный метод упругого отскока (молоток Шмидта) и метод ударного импульса, использующий более широкий перечень физических параметров ударного взаимодействия с бетоном для оценки его прочности. Новый этап в своем развитии претерпевает ультразвуковой импульсный метод, благодаря, в первую очередь, появлению на рынке измерительных средств нового поколения - ультразвуковых приборов контроля бетона с сухим точечным контактом.

Результаты и методика испытаний. В качестве взаимодополняющей пары методов были использованы метод упругого отскока (молоток Шмидта) и ультразвуковой импульсный метод, для реализации которого применялись приборы с сухим точечным акустическим контактом. Кроме указанных выше, дополнительными средствами контроля служил прибор «ПОС-30МГ4-Скол» - метода от-

рыва со скалыванием (рис. 2), - он служил в качестве «экспертного средства контроля», и прибор «ИПС-МГ4» - метода ударного импульса.

а)



б)



Рис. 2. Испытания бетона монолитных колонн методом отрыва со скалыванием
а – установленный анкер; б – лунка в бетоне после отрыва

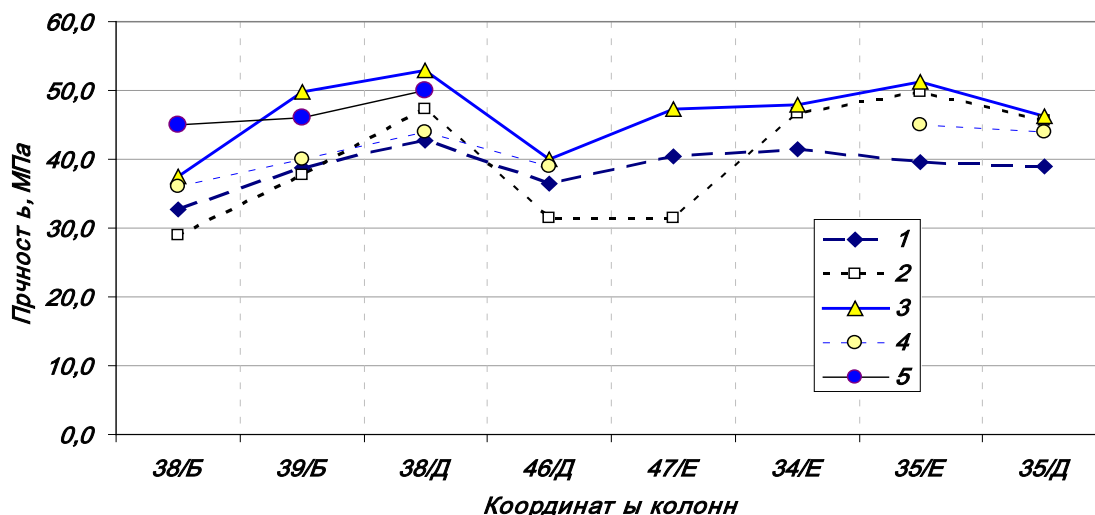


Рис. 3. Оценки прочности бетона монолитных колонн 500x500 мм («Минск – Арена») неразрушающими методами; срок твердения бетона – 140 сут., дата укладки бетона – ноябрь 2006 г.

1 – ОМШ-1; 2 – УК1401; 3 – «ИПС-МГ4»;

4 – «Скол» - метод отрыва со скальванием;

5 – данные прессовых испытаний образцов-кубов изготовленных непосредственно на бетоно-растворном узле, твердевшие в нормальных условиях

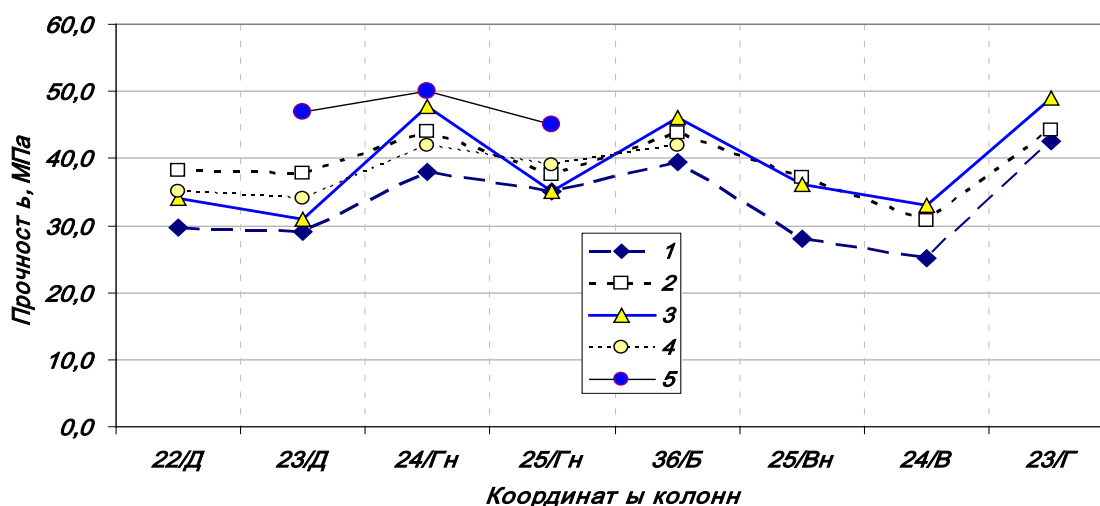


Рис. 4. Оценки прочности бетона монолитных колонн Ø500 мм («Минск – Арена») неразрушающими методами; срок твердения бетона – 105 сут., дата укладки бетона – декабрь 2006 г.

1 – ОМШ-1; 2 – УК1401; 3 – «ИПС-МГ4»;

4 – «Скол» - метод отрыва со скальванием;

5 – данные прессовых испытаний образцов-кубов, изготовленных непосредственно на бетоно-растворном узле, твердевшие в нормальных условиях

На рис. 3 и 4 приведены диаграммы распределения оценок прочности бетона групп колонн, имеющего приблизительно одинаковые сроки набора прочности. Данные метода ударного импульса (ИПС-МГ4) хорошо коррелируют с данными других методов и, в частности, - метода отрыва со скальванием, но показали большую подверженность влиянию технологических факторов. Систематическая составляющая погрешности измерения прочности составила для группы колонн (рис. 3) – 5...9 МПа, для второй группы (рис. 4) - 2..3 МПа.

Параметры используемых характеристик пересчета «косвенный параметр – прочность бетона» для ультразвуковых приборов и молотка Шмидта определялись по стандартной методике, путем совместных (рис. 5) с прессовыми испытаниями образцов-кубов 100x100x100 мм. Вариация прочности образцов достигалась вариацией количества цемента. Оценка прочности комплексом «молоток Шмидта – ультразвук» получалась усреднением результатов двух использованных методов.

Характерными моментами для диаграмм рис. 3 и 4 являются:

- значительное отличие (до 35%) прочности бетона в изделиях от прочности бетона образцов, твердевших в нормальных условиях;

- выраженная корреляция оценок прочности для всех использованных методов;
- наибольшей чувствительностью к факторам, влияющим на снижение прочности бетона, обладают ультразвуковой метод и метод ударного импульса; показатель влияния E , рассчитываемый по формуле:

$$E = \frac{\Delta R_i}{\Delta R_{\text{СКОЛ}}}$$

где ΔR – разница оценок прочности двух разных изделий, находилась в диапазоне 1,2 ...2,5. Для молотка Шмидта этот показатель составлял приблизительно 1,0.

Сравнение показателей точности контроля неразрушающих методов. В таблицах 1 и 2 приведены показатели статистического разброса оценок прочности бетона для каждого из неразрушающих методов и для комплекса «молоток Шмидта – ультразвук».

Таблица 1

Тип прибора	показатель, (МПа*МПа)	Колонны					
		38/Б	39/Б	38/Д	46/Д	35/Е	35/Д
ОМШ-1	Δ^2	11,3	1,4	1,7	6,6	29,3	24,8
	D	15,0					
УК1401	Δ^2	50,9	4,8	11,1	57,1	23,3	3,0
	D	30,0					
комплекс ОМШ+УК	Δ^2	27,5	2,9	1,0	25,6	0,1	2,6
	D	12,0					
ИПС-МГ4	Δ^2	2,0	97,8	81,0	1,0	38,4	4,9
	D	45,0					

Таблица 2

Тип прибора	показатель, (МПа*МПа)	Колонны				
		22/Д	23/Д	24/Гн	25/Гн	36/Б
ОМШ-1	Δ^2	29,0	24,0	16,0	16,0	6,8
	D	22,9				
УК1401	Δ^2	9,6	14,4	4,0	2,0	3,2
	D	8,3				
комплекс ОМШ+УК	Δ^2	1,3	0,3	1,0	7,3	0,2
	D	2,5				
ИПС-МГ4	Δ^2	1,0	9,3	32,7	16,0	16,0
	D	18,7				

а)



б)



Рис. 5. Испытания бетонных образцов-кубов для построения градуировочных зависимостей
а – ультразвуковые измерения образца; б – испытания молотком Шмидта

Дисперсия D для оценок прочности бетона неразрушающими методами для групп испытанных колонн рассчитывалась по формуле:

$$D = \frac{\sum_i \Delta^2}{N - 1},$$

где $\Delta = (R_{\text{скол}} - R_i)$; $R_{\text{скол}}$ – оценка прочности методом отрыва со скалыванием; R_i – оценка прочности неразрушающего метода; N – количество измерений.

Как видно из таблиц 1 и 2, наименьший разброс оценок обеспечивается методом совместного использования методов ударного импульса и ультразвукового импульсного.

Оценка неравнопрочности массива бетона монолитных колонн. Приведенные выше результаты получены испытанием поверхности изделий, что во многих случаях не может гарантировать достоверность оценки прочности бетона. Изготовление монолитных изделий при низких температурах, даже с использованием электродного прогрева или прогрева проводом, уложенным вдоль стержней арматурного каркаса, может приводить к заметным различиям температурного режима, а значит, - и прочности наружных и внутренних слоев бетона, особенно при использовании металлической опалубки с недостаточной теплоизоляцией. Аналогичный эффект может оказать раннее снятие опалубки, без принятия должных мер по удержанию в бетоне влаги и тепла.

В таблице 3 приведены результаты испытаний двух колонн, изготовленных в летний период, но не обеспечившие, по данным неразрушающих испытаний поверхностного слоя бетона, необходимых показателей прочности. Контрольные испытания прочности бетона методом отрыва со скалыванием, в целом, подтвердили оценки неразрушающих методов, обнаружив также и большой разброс отдельных результатов. Для уточнения картины было проведено несколько серий ультразвуковых испытаний, которые позволили вы-

явить различие упруго-прочностных характеристик бетона наружного слоя и внутренних областей одной из колонн.

Таблица 3

координаты	36/П-Р	36/Р
срок твердения, сут	24,0	24,0
Прочн. (ОМШ-1), МПа	17,4	18,9
Прочн. (ультразвук), МПа	17,2	16,3
Прочн. (ИПС-МГ4), МПа	22,5	23,2
Средн.прочн. НК, МПа	19,0	19,5
Прочн. ("Скол"), МПа	24	28,0
	22	18
	16	20

бетон С32/40, возраст – 45 сут.

Использование ультразвуковых приборов контроля бетона на основе электроакустических преобразователей (ЭАП) с сухим точечным акустическим контактом значительно повышает точность и оперативность контроля, снижает его трудоемкость. Но указанные их достоинства реализуются, как правило, на малых базах измерения. Используемые в республике Беларусь приборы УК1401 и «Пульсар-1.1» ориентированы главным образом для измерений на постоянной базе: 150 мм – для УК1401 и 120 мм – для прибора «Пульсар-1.1».

Выполнение ультразвукового контроля на больших и переменных базах по схемам рис.6 требует дополнительных мер для обеспечения принципа аддитивности измерений времени распространения акустического импульса. Сухой точечный акустический контакт практически устраняет влияние нестабильности пятна контакта. Но такой тип контакта значительно уменьшает механическую связь испытываемой среды – бетона с активным элементом преобразователя, что приводит, в итоге, к большей степени влияния физико-механических параметров среды на уровень и фазу колебаний контактной части преобразователя, а значит, и большей степени влияния на результат измерения времени распространения акустического импульса. Кроме того, значительное, в сравнении с вязким контактом, и нестабильное затухание акустического импульса в тракте излучатель – приемник, вследствие изменения базы измерения, силы контактного взаимодействия и ориентации преобразователей по отношению к поверхности бетона, приводит к появлению дополнительной систематической погрешности. Влияние указанных факторов приводит к тому, что оценки скорости распространения ультразвукового импульса полученные на различных базах измерения будут заметно различаться, причем, степень различия будет зависеть от физико-механических характеристик бетона.

В значительной степени уменьшить эту погрешность удается использованием методики профилирования. В этом случае, либо один из двух преобразователей, либо одновременно оба, последовательно сдвигаются по поверхности изделия с постоянным шагом. Скорость распространения акустического импульса в зоне контроля рассчитывается по формуле:

$$C_n = \Delta s_n / \Delta t_n, \quad (1)$$

где Δs – изменение базы измерения; s_i – шаг профилирования; Δt – изменение времени распространения волны $\Delta t_n = t_n - t_1$.

Профилирование поверхности бетонных изделий, например, колонн, в плоскости поперечного сечения позволяет достаточно простыми средствами выявить степень неравнопрочности бетона по сечению, - распространение акустического импульса по внутренним, как правило, более прочным областям сечения происходит с большей скоростью. Физической основой метода выявления неравнопрочности слоев бетона является зависимость средней скорости распространения ультразвукового импульса C от базы измерения B ,

когда часть пути акустический импульс проходит по участкам наружного слоя бетона с пониженной скоростью C_{Lo} , часть пути с большей скоростью C_{Hi} .

На рис. 7 представлена модель схемы распространения ультразвукового импульса в изделии прямоугольного сечения, массив бетона которого моделируется двухслойной структурой. Траектория, обеспечивающая минимальное время распространения между точками P1 и P2 (брахистохрона), представляет собой ломаную B смещенную, по отношению к прямой A , в направлении расположения участка бетона с большей прочностью. Очевидно, что и при обратном соотношении прочности внутренней и наружной областей бетонного массива, смещение траектории B будет происходить в сторону слоя с большей прочностью.

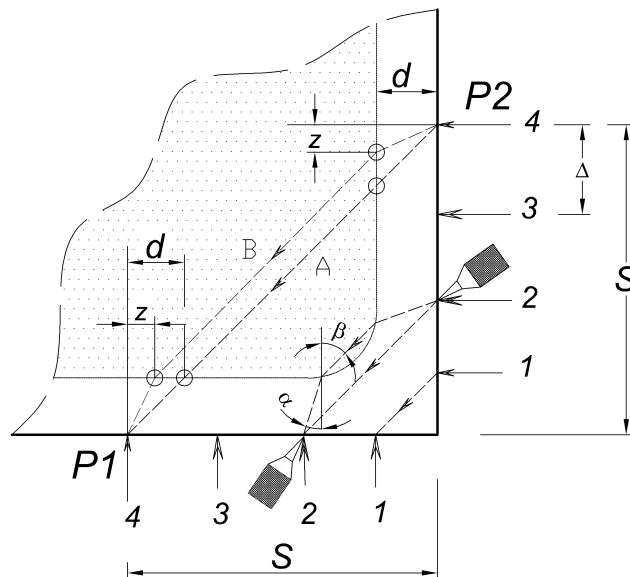


Рис. 6. Расчетная схема распространения ультразвукового импульса в зоне неравнопрочности бетона

Расчет геометрии траектории B – брахистохроны подробно рассмотрен в [2] и базируется на решении уравнения для средней скорости распространения:

$$\frac{dC_{cp}}{d\alpha} = 0. \quad (2)$$

Из уравнения (2) вытекают следующие соотношения:

$$Z(d) = \frac{d \cdot C_{Lo}}{\sqrt{2C_{Hi}^2 - C_{Lo}^2}};$$

$$\sin(\alpha) = \frac{C_{Lo}}{C_{Hi} \sqrt{2}},$$

где C_{Hi} - скорость ультразвука в области бетона с нормальной прочностью; C_{Lo} - скорость ультразвука в области бетона с пониженной прочностью.

Полученные выражения являют собой частный случай закона Снеллиуса:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{C_{Lo}}{C_{Hi}},$$

где α, β соответственно углы падения и преломления акустической волны на границе раздела областей бетона ($\beta=45^\circ$); они указывают на независимость характера преломления акустической волны на границе раздела слоев бетона с различными скоростями её распространения, от толщины наружного слоя.

Выражение для средней скорости распространения ультразвукового импульса между точками P1 и P2 принимает вид:

$$C = C_{Lo} \cdot \frac{1}{\frac{2 \cdot d_s}{\sqrt{2 - k^2}} + k \left(1 - d_s - d_s \frac{k}{\sqrt{2 - k^2}} \right)}, \quad (3)$$

где $d_s = d/S$; $k = C_{Lo}/C_{Hi}$.

Смещение точек контакта ЭАП с поверхностью бетона будет приводить к изменению скорости распространения ультразвукового импульса. Как и в случае профилирования одной грани изделия (1), дифференциальная скорость C_d :

$$C_d = \frac{\sqrt{2} \cdot \Delta}{\Delta T} \quad (4)$$

будет сохранять постоянное значение, равное C_{Hi} , претерпев скачок при $S=S_k$ (позиция 2 – рис.7) от значения C_{Lo} .

Преимуществом такого углового сканирования, в сравнении с плоским, является в первую очередь то, что фактически, для большинства железобетонных изделий с прямоугольным профилем сечения удается значительно уменьшить влияние армирования на оценку дифференциальной скорости распространения ультразвука.

На рис.8 приведена схема сканирования изделия круглого сечения.

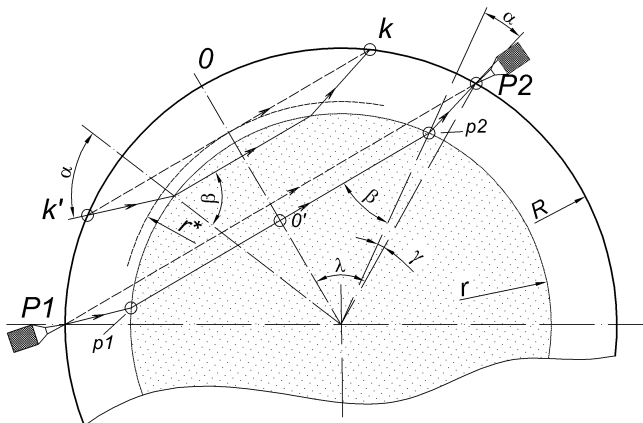


Рис. 7. Расчетная схема распространения ультразвукового импульса в зоне неравнопрочности массива бетона круглого сечения

Условия, определяющие геометрию критической траектории распространения ультразвукового импульса – между точками K' и K , когда имеет место равенство средней скорости распространения по брахистохроне и прямой $K'K$, можно выразить системой уравнений:

$$\begin{cases} S_{R,Hi} = r_R \cdot \cos \alpha \\ S_{R,Lo} = \sqrt{1 - (r_R \cdot \sin \alpha)^2} - r_R \cdot \cos \alpha \\ \sin(\pi/2 - \beta + \gamma) = k \cdot S_{R,Hi} + S_{R,Lo} \\ tg \alpha = \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma - 1} \\ \sin \alpha = k \cdot \sin \beta \end{cases}$$

где $r_R = r/R$; $S_{R,Lo} = S_{Lo}/R$; $S_{R,Hi} = S_{Hi}/R$, $k = C_{Lo}/C_{Hi}$.

Четыре верхних уравнения описывают геометрические соотношения в схеме, нижнее – закон Снеллиуса.

Профилирование круглого сечения не позволяет непосредственно, как для схемы рис. 6, определять скорости распространения ультразвука внутренней и внешней областей массива, так как с изменением позиций ЭАП (P1 и P2), изменяется длина пути распространения ультразвука и во внешней области – P1-p1 и p2-P2. Расчетную систему определения параметров r , R , S_{Lo} , S_{Hi} целесообразно привязать к двум позициям контроля, в которых различие в степени влияния внутренней и внешней областей массива на среднюю скорость распространения ультразвука будет максимальным. Например, одна - непосредственно за критической позицией $K'K$,

где влияние внутренней области массива еще не велико, вторая - на диаметрально расположенных точках, где влияние внешнего слоя минимально.

Определение радиуса внутренней области производится по «скачку» дифференциальной скорости распространения с учетом поправки $r^* - r$, где r^* - «кажущийся» радиус, r - фактический (рис. 7).

На рис. 8 приведены расчетные зависимости поправок оценки радиуса зоны неравнопрочности.

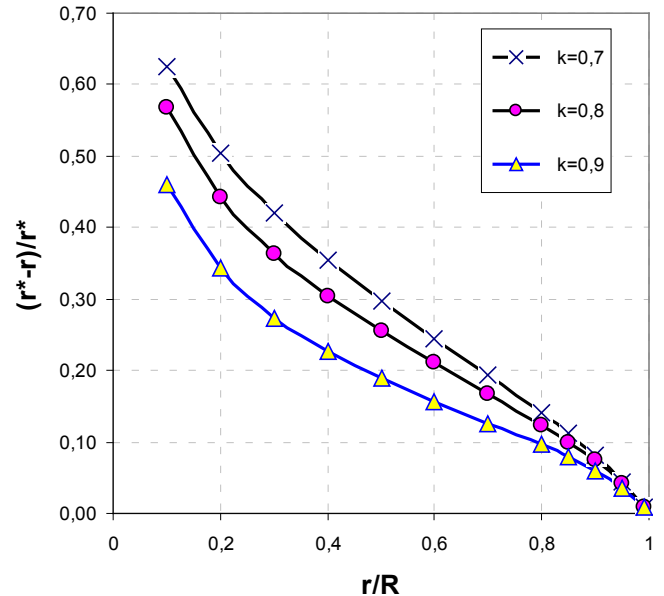


Рис. 8. Расчетные зависимости поправки радиуса внутренней зоны неравнопрочности массива бетона от отношения радиусов зон и отношения скоростей ультразвукового импульса

На рис. 9 приведены примеры расчетных зависимостей (2) для несимметричного варианта прозвучивания изделия прямоугольного сечения при различных значениях толщины периферийного слоя бетона d и позиции одного из преобразователей $S1$. Характеристическим элементом зависимостей является положение точки пересечения графиков кривых, построенных для двух значений $S1$. Изменение толщины наружного слоя приводит к смещению указанной точки вдоль вертикальной оси координат.

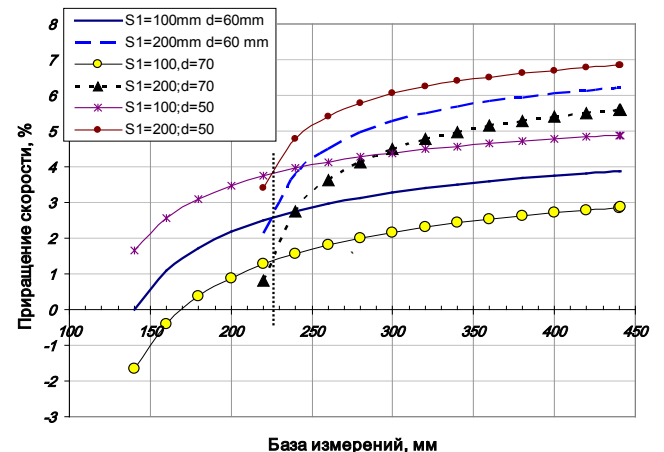


Рис. 9. Расчетные зависимости приращения скорости ультразвукового импульса от базы измерения $C_{Lo} = 3300$ м/с; $C_{Hi} = 3600$ м/с

В таблице 4 приведены данные натуральных испытаний монолитной колонны ультразвуковым методом по схеме (рис. 6) – несимметричный вариант установки преобразователей, а на рис.10 приведены экспериментальные зависимости $C(B)$, построенные по данным испытания колонны 36/P (табл. 4).

Таблица 4

	X, мм	Y, мм	T _{ис} , мкс	Трасч, мкс	Δ, мкс	база, мм	v, м/с	(V _{ср-V})/V _c , %	схема испытаний, (fig.2)
№ отсчетов	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	100	100	33,5	41,3	-7,8	141,4	3424,4	0,8	I
2	100	200	57,5	65,3	-7,8	223,6	3424,4	0,8	
3	100	300	85	93,2	-8,2	316,2	3394,3	-0,1	
4	100	400	113	121,0	-8,0	412,3	3407,4	0,3	
5	100	500	144	152,9	-8,9	509,9	3334,7	-1,8	
Средн. знач.					-8,1		3397,0	0,0	
1	200	100	58,2	67,2	-9,0	223,6	3327,3	0,0	I
2	200	200	75,2	83,4	-8,2	282,8	3391,4	1,9	
3	200	300	97,1	104,6	-7,5	360,6	3445,5	3,6	
4	200	400	122,2	129,7	-7,5	447,2	3447,5	3,6	
5	200	500	149,8	157,7	-7,9	538,5	3414,4	2,6	
Средн. знач.					-8,0		3405,2	2,3	
1	300	100	86,7	96,2	-9,5	316,2	3285,8	0,0	I
2	300	200	97,0	104,5	-7,5	360,6	3450,9	5,0	
3	300	300	113,6	120,2	-6,6	424,3	3531,1	7,5	
4	300	400	134,5	140,8	-6,3	500,0	3550,3	8,0	
5	300	500	159,3	158,0	1,3	583,1	3510,9	6,9	
Средн. знач.					-5,7		3465,8	5,5	

Характер зависимостей (рис. 10) – их подобие расчетным зависимостям (рис. 9), подтвердил предположения о неравнопрочности бетона испытанных колонн. Для сравнения, на рис. 11 приведены графики зависимости C(V) для трех колонн (38/Б, 38/Д, 39/Б) сечением 900х600 мм, прочность бетона которых была подтверждена испытаниями поверхностного слоя.

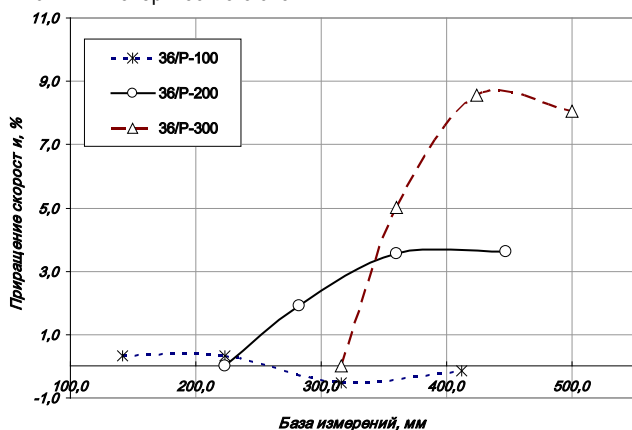


Рис. 10. Экспериментальная зависимость приращения скорости ультразвукового импульса в бетоне колонны 9/Г от базы измерений

Отклонение скорости распространения акустического импульса для испытанной группы колонн не превышает 4,8%, проявляя в статистике некоторую тенденцию (2% ...4%) к снижению, по мере увеличения базы измерений. Резкое снижение скорости акустического импульса для колонны 38/Д обусловлено влиянием усадочной трещины, проходящей вдоль оси большой грани колонны. Значение в точке экстремума, соответствующее базе 510 мм, получено при установке акустического преобразователя непосредственно за трещиной, на расстоянии 1...2 см от неё. При смещении преобразователя в сторону дальнейшего увеличения базы измерений, экраниру-

ющее влияние трещины на уровень сигнала уменьшается, что проявилось в увеличении средней скорости распространения импульса.

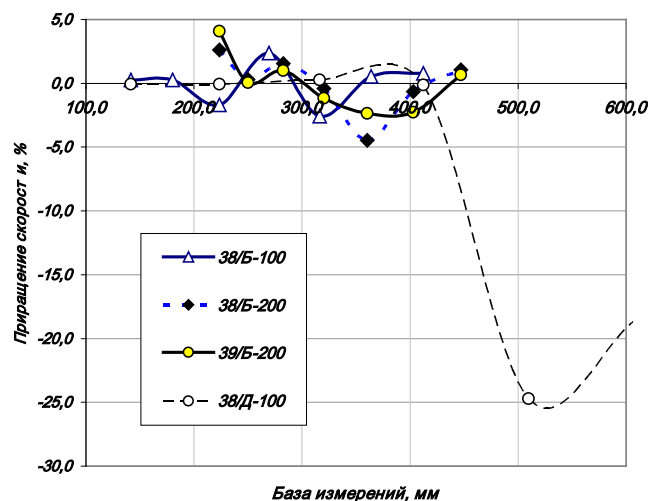


Рис. 11. Зависимость приращения скорости ультразвукового импульса в бетоне колонн 38/Б, 39/Б и 38/Д от базы измерений

Заключение

1. Контроль монолитных изделий выявил значительное (до 35%) отличие прочности бетона в изделиях от прочности бетона образцов, твердевших в нормальных условиях. В значительной степени это обусловлено неравнопрочностью массива бетона, - пониженной прочностью его наружного слоя.
2. Использование ультразвуковых приборов контроля с сухим точечным контактом на основе акустических концентраторов при измерении скорости распространения ультразвукового импульса на различных базах требует введения дополнительных поправок, компенсирующих дополнительную систематическую состав-

- ляющую погрешности. Использование метода профилирования и расчет дифференциального значения скорости распространения позволяет отказаться от использования поправок. Случайная составляющая погрешности измерений в этом случае не превосходит величину разброса оценок скорости распространения вследствие неоднородности структуры бетона.
- Объединение оценок прочности полученных методом упругого отскока и ультразвуковым импульсным методом позволяет снизить дисперсию объединенного результата в 2...3 раза, по сравнению с результатами измерений каждого из методов в отдельности.
 - Подтверждена эффективность ультразвукового импульсного метода для оценки степени неравнопрочности бетона наружных и внутренних областей монолитных колонн. Описанный методика профилирования сечения колонны прямоугольного сечения позволила оценить степень различия прочности бетона центральной и периферийной областей её сечения.

- R.Jones, I.Facaoru Incercareanedistructiva a betonului. Editura technical, Bucuresti.
- Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Неразрушающий контроль бетона в монолитном строительстве: совершенствование средств и методов. Монография. – Мн.: БНТУ, 2006.
- S.N.Leonovich, D.U. Snezhkov, D.Ju.Sobolevsky, O.V.Popov Complex method of the estimation of the foundation monolithic reinforced concrete mat's strength. - The international geotechnical symposium «PREVENTIVE GEOTECHNICAL MEASURES ON REDUCTION of NATURAL and TECHNOGENIC DISASTER, on July, 25-27th, 2007, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia.
- S.N.Leonovich, D.U. Snezhkov Complex metod of strength estimation of the monolithic reinforced concrete structures. - FIB conference «Concrete structures stimulators of development». Dubrovnik, 2007.

Материал поступил в редакцию 10.12.07

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

SNEZKOV D.J., LEONOVICH S.N. Structure, as a method of an estimation неравнопрочности of a file of concrete by not destroying methods

In offered clause the aspect of practical use of not destroying means of the control for an estimation прочностных of parameters of monolithic concrete on construction of a sports complex "Minsk-arena" in one @ is considered Minsk. The data of tests submitted, the opportunities of increase of the information and reliability of the control of concrete of monolithic products are considered.

УДК 693.547.32

Кривицкая Т.В., Голубев Н.М.

ПРОГРЕВ БЕТОНА В МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ, ВОЗВОДИМЫХ ЗИМОЙ

Введение. В современных условиях Республики Беларусь весьма важной является задача по совершенствованию и изысканию новых технологий проектирования и производства работ возведения монолитных железобетонных конструкций в направлении на сокращение сроков строительства, экономию энергетических затрат и улучшения качества.

Проблема увеличения объемов капитального строительства, выдвинутая программой социально-экономического развития Республики Беларусь, связана с задачами совершенствования и повышения интенсивности выполнения основных видов строительно-монтажных работ, которые особенно в зимних условиях существенно замедляются, из-за чего нарушается ритмичность производства и увеличивается общая продолжительность строительства [1, 2, 5, 6]. С наступлением холодов и морозов, перед строительными предприятиями, которые осуществляют производство работ по возведению монолитных бетонных и железобетонных конструкций, постоянно возникают задачи по выбору и назначению организационно-технологических методов термообработки бетона, обеспечивающих достижение его прочности в пределах 50 – 70 % от $f_{c, cube}^G$ [15, 16].

Помимо известных разработок ЦНИИОМТП, НИИЖБ и других [1], были проведены глубокие исследования по термообработке таких конструкций с использованием греющих изолированных электропроводов [2]. Экспериментально-практическая работа проводилась на объектах г. Минска и г. Бреста (бизнес-центр "Европа" по ул. Сурганова, общественно-административное здание по ул. Мясникова 6, жилой дом № 3 в квартале № 10 малоэтажной застройки в границах пр. Победителей – проезд Дрозды – река Свислочь в г. Минске, 90 и 55 –квартирные жилые дома в г. Бресте, МКР – 5).

В статье приводятся результаты исследований в этом направлении и применение их на практике.

Особенности и возможность применения зимой известных методов бетонирования. Известно, что при температуре среды ниже +5 °С твердение бетона замедляется, а при 0 °С и ниже совсем прекращается, и он замерзает [13, 10]. Поэтому необходимо принимать особые меры по утеплению опалубки и открытых бетонных поверхностей или использовать противоморозные и ускоряющие твердение добавки, выдерживая бетон по методу "термос" [12]. Здесь этот метод вне конкуренции среди других. Однако с понижением температуры среды ниже -5 °С ÷ -10 °С, требуемая технологи-

ческая прочность, при этом способе выдерживания не достигается, отсюда возникает необходимость прогрева бетона путем применения соответствующих методов термообработки, которые позволяют в зимнее время не снижать интенсивности производства работ [10].

Способ электродного прогрева доступен для самых различных конструкций и производственных условий [11, 5]. Однако в немассивных конструкциях, к которым относятся несущие каркасы и конструкции зданий, насыщенных арматурой (до 300 кг/м³), применение этого метода затрудняется из-за возможных электрических замыканий электродов на арматуру и образования деструктивных процессов в бетоне при термообработке.

Многие другие методы прогрева бетона из-за повышенных затрат на электроэнергию и увеличения стоимости, являются тоже мало приемлемыми. Поэтому при проведении ряда исследований и разработок, касающихся производства бетонных работ в зимний период было установлено, что есть возможность технологического совершенствования метода прогрева с использованием греющих электропроводов и метода прогрева с добавками, которые целесообразно применять и в условиях пониженных температур наружного воздуха от -5 °С до -25 °С в немассивных конструкциях, насыщенных арматурой [11, 12, 2].

Одним из важных технологических параметров при проектировании режимов прогрева является показатель требуемой мощности, что, безусловно, связано с предстоящими потерями тепла в период укладки и термообработки бетона в опалубке. С этой целью проведены многочисленные эксперименты в производственных условиях при возведении наиболее распространенных конструкций массивностью по модулю поверхности $M_n = 4 \div 16 \text{ м}^1$, предусматриваемых в проектах. Количественные значения исследуемых показателей определялись путем точных замеров современными измерительными приборами.

Проведены теоретические расчеты по потерям тепла бетонной смесью за технологические циклы укладки, выдерживания и 2⁻стадийного прогрева, $Q_{пр.}$ по известным научным положениям теплотехники и рекомендациям по зимнему бетонированию [3, 4, 1].

При этом учтены: потери на нагрев опалубки $Q_{оп.}$ Дж, потери на нагрев арматуры $Q_{ар.}$ Дж, потери на испарение влаги $Q_{вл.}$ Дж, потери на теплопередачу в окружающую среду $Q_{пот.}$ Дж, расход тепла на начальный подъем температуры в уложенном бетоне $Q_{нб.}$

Кривицкая Тамара Васильевна, инженер, аспирант Белорусского национального технического университета.

Голубев Николай Михайлович, кандидат технических наук, декан строительного факультета Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.