

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ОТ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ

Б.Е.ХАМЗИНА

E.mail. ksucta@elcat.kg

Армоцементтик конструкцияларды даярдоодо колдонулуучу майда бөлүкчөлүү бетондун көбүктүү структурасынын параметрлерин аныктоого арналган. Эксперименталдык маалыматтарды иштеп чыгуудан алынган регрессиялык теңдемелер келтирилген. Майда көңдөйлүү бетондун бекемдигине көңдөйлөрдүн структурасынын дифференциалдык жана интегралдык көрсөткүчтөрүнүн чогуу таасирин баалоого мүмкүнчүлүк берүүчү көңдөйлүүлүктүн көрсөткүчү $K_{стр}$ жана ошондой эле бул көрсөткүчтөрдүн үлгүлөрдүн кысууга болгон бекемдигине болгон көз карандуулугу табылган.

Приводятся сведения по изучению параметров поровой структуры мелкозернистого бетона, применяемого при изготовлении армоцементных конструкций. Приведены уравнения регрессии, полученные в результате обработки экспериментальных данных. Найдены критерии пористости $K_{стр}$, применение которых позволило оценить совместное влияние дифференциальных и интегральных показателей структуры пор на прочность мелкозернистого бетона, а также функциональные зависимости этих критериев от предела прочности образцов при сжатии.

The paper is dedicated to the determination of porous structural parameters of fine concrete used in production of reinforced cement structures. The regression equations, received after processing of the experimental data, are given. The porosity criteria K_{str} , which use allowed the assessment the joint impact of differential and integral parameters of the pore structures to the strength of fine concrete, and functional dependences of these criteria from the ultimate pressing strength of samples, are found.

В современном строительстве достаточно широкое распространение получили мелкозернистые бетоны, в частности, с применением этого вида бетона изготавливают армоцементные конструкции, тротуарную плитку, бордюрные камни, бетонную черепицу и др.

Поэтому изучение вопроса о взаимосвязи параметров, характеризующих структуру порового пространства бетона с его прочностными свойствами, имеет большое научное и практическое значение. В научной литературе этот вопрос достаточно полно освещен применительно к интегральным показателям структуры пор – относительной плотности и общей пористости [1-3].

Однако эти характеристики не позволяют выяснить влияние дифференциальных параметров пор на прочность бетона. В связи с этим нам представилось целесообразным исследовать взаимосвязь прочности при сжатии мелкозернистого бетона с интегральными и дифференциальными параметрами структуры его порового пространства.

С целью исключения технологических факторов на результаты испытания исследования проводились на образцах-кубах с ребром 7 см, выпиленных из тротуарной плиты ТПП-7 размером 500x500x70 мм, отформованной из цементно-песчаной смеси состава (Ц:П) 1 : 2,5 (по массе) с В/Ц = 0,3.

Значения предела прочности при сжатии и показатели структуры порового пространства образцов приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что изменение отдельных параметров структуры пор в большей или меньшей мере влияет на прочность мелкозернистого бетона. Корреляционный анализ полученных данных показал, что зависимость предела прочности при сжатии мелкозернистого бетона от параметров поровой структуры подчиняется линейному и параболическому законам и аппроксимируется, соответственно, уравнениями регрессии вида:

$$R_{сж} = a + bП; \quad (1)$$

$$R_{сж} = a + \lg П, \quad (2)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности образцов при сжатии, МПа; $П$ – параметры поровой структуры; a и b – коэффициенты регрессии.

Таблица 1

Параметры поровой структуры и предел прочности при сжатии образцов мелкозернистого бетона

№ образца	Предел прочности при сжатии, МПа	Параметры поровой структуры				
		общая пористость $П_{общ}, \%$	объем макропор $П_{мак}, \%$	коэффициент микропористости	показатель среднего размера пор, λ	показатель однородности пор по размерам, α
1	37,7	21,54	16,31	0,243	3,00	0,41
2	43,2	24,83	13,10	0,472	1,70	0,40
3	48,4	26,14	13,20	0,595	1,98	0,70
4	48,5	22,43	12,10	0,461	1,43	0,61
5	57,2	20,54	7,35	0,641	1,40	0,60
6	58,0	22,29	15,08	0,396	1,21	0,53
7	62,5	20,95	12,00	0,427	1,05	0,59
8	63,0	15,96	9,40	0,411	1,00	0,45
9	63,1	16,00	9,44	0,416	1,22	0,50
10	63,8	21,72	8,97	0,582	1,17	0,62
11	64,4	18,14	11,07	0,389	1,11	0,60
12	66,0	19,30	11,78	0,925	0,925	0,54
13	70,0	17,34	9,40	0,458	1,10	0,65

В табл. 2 приведены уравнения регрессии, полученные в результате обработки экспериментальных данных.

Таблица 2

Уравнения зависимости прочности при сжатии мелкозернистого бетона от параметров поровой структуры

Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
$R_{сж} = 63,6 - 54,705 \lg \lambda$	0,779
$R_{сж} = 250,69 - 146,07 \lg П_{общ}$	0,496
$R_{сж} = 115,4 - 4,835 П_{мак}$	0,470
$R_{сж} = 18,5 + 78,33 K_{мик}$	0,335

Сравнение коэффициентов корреляции этих уравнений позволяет утверждать, что наиболее чувствительным к изменению прочности является показатель среднего размера пор, наименее чувствительным – коэффициент микропористости. Однако абсолютные значения коэффициентов корреляции указывают на ненадежность установленной

зависимости между пределом прочности и этими параметрами поровой структуры. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на изыскание других достоверных показателей, позволяющих установить более тесную корреляционную взаимосвязь прочности с поровой структурой.

В качестве таких показателей использовали так называемые критерии пористости $K_{стр}$, применение которых позволило оценить совместное влияние дифференциальных и интегральных показателей структуры пор на прочность мелкозернистого бетона. Расчетные формулы и рассчитанные по ним значения, а также функциональные зависимости этих критериев от предела прочности при сжатии образцов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Критерии поровой структуры образцов мелкозернистого бетона

№ образца	Критерии поровой структуры			
	$K_{стр}^I = \lambda_{Побщ}$	$K_{спр}^{II} = \frac{\alpha}{\lambda_{Побщ}} \cdot 10^2$	$K_{стр}^{III} = \frac{K_{мик}}{\lambda_{Побщ}} \cdot 10^2$	$K_{стр}^{IV} = \frac{K_{мин\alpha}}{\lambda_{Побщ}} \cdot 10^2$
8	15,96	2,82	2,57	1,16
12	17,91	2,79	1,49	1,17
13	19,07	3,36	2,41	1,56
9	19,20	2,60	2,47	1,05
11	20,13	2,97	1,93	1,16
7	22,00	2,68	1,89	1,12
10	24,98	2,46	2,33	1,44
6	26,81	2,15	1,49	0,79
5	28,75	1,08	2,23	1,34
2	42,21	0,95	1,18	0,47
4	45,45	1,36	1,07	0,65
3	51,45	1,34	1,15	0,68
1	64,50	0,64	0,38	0,15

Полученные данные подтверждают, что и в этом случае взаимосвязь между пределом прочности при сжатии и параметрами структуры порового пространства мелкозернистого бетона описываются линейным и параболическим законами. Однако, как показал корреляционный анализ, установленные зависимости оказались более тесными, чем в случае применения отдельных параметров структуры пор (табл. 4). Учет показателей размеров пор и их однородности позволил повысить коэффициент корреляции до 0,899 (критерий $K_{стр}^{II}$).

Таблица 4

Уравнение зависимости прочности при сжатии мелкозернистого бетона от критерия структуры пор

Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
$\lg R_{сж} = 2,641 + 0,38653 \lg K_{стр}^{II}$	0,899
$R_{сж} = 128,4 - 49,23 \lg K_{стр}^I$	0,841
$R_{сж} = 33,8 + 23,14 K_{стр}^{IV}$	0,747
$R_{сж} = 31,5 + 15,416 K_{стр}^{III}$	0,721

При сравнении коэффициентов корреляции наиболее слабая взаимосвязь наблюдается между прочностью и критериями $K_{стр}^{III}$ и $K_{стр}^{IV}$. Это указывает на то, что коэффициент микропористости в меньшей степени информирует о прочности

мелкозернистого бетона, чем показатель однородности пор. Достаточно тесная взаимосвязь наблюдается также между прочностью и критерием $K_{стр}^1$.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что корреляционная связь между прочностью и параметрами структуры пор мелкозернистого бетона оказывается более тесной, если используются не отдельные параметры, а показатели, объединяющие эти параметры – критерии поровой структуры.

Далее мы исследовали зависимость морозостойкости мелкозернистого бетона от параметров его поровой структуры.

Исследования проводились на образцах-кубах с ребром 7,07 см, изготовленных из мелкозернистого бетона нормального твердения. При этом объемная концентрация цементного теста варьировалась в следующих пределах: 0,35; 0,40; 0,60 и 1,0, а водоцементное отношение 0,25; 0,3; 0,35; 0,4 и 0,45.

Одновременно на идентичных образцах определяли общий объем пор, объем открытых пор $\Pi_{отк}$, показатель среднего размера пор λ и показатель однородности пор по размерам α .

Кроме того, для оценки объема «резервных» пор нами был использован так называемый коэффициент замкнутости пор $K_{зп}$, который определяется как отношение объема открытой пористости к объему общей пористости. Значения его изменяются в пределах

$$0 \leq K_{зп} \leq 1.$$

Показатели структуры пор мелкозернистых бетонов исследуемых составов представлены в табл. 1 и 3.

В табл. 5 представлены результаты испытаний мелкозернистых бетонов на морозостойкость при циклическом замораживании и оттаивании, которые согласуются с теорией профессора Г.И.Горчакова о зависимости морозостойкости бетона от его структуры /4/.

Таблица 5

Влияние объемной концентрации цементного теста и водоцементного отношения на морозостойкость мелкозернистого бетона

$C_{цт}$	Число циклов замораживания и оттаивания с учетом 15%-ной потери прочности при В/Ц				
	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
0,35	-	-	110	450	350
0,40	-	470	430	480	460
0,60	-	630	640	570	520
1,00	940	880	835	800	-

Математическая обработка полученных зависимостей методом наименьших квадратов /5/ показала, что связь между морозостойкостью и параметрами поровой структуры подчиняется линейным и параболическим закономерностям и аппроксимируется уравнениями типа:

$$M_{рз} = a + bC_{цт} - (C + dC_{цт}) \cdot \Pi_1, \quad (3)$$

$$M_{рз} = C_{цт} \cdot 10^{alg\Pi_2 + b - (C + d\Pi_3) \cdot \Pi_4}, \quad (4)$$

где a, b, c, d – коэффициент регрессии; $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ – параметры поровой структуры; $C_{цт}$ – объемная концентрация цементного теста в бетонной смеси.

Полученные результаты хорошо согласуются с теориями профессоров Г.И.Горчакова /5/ и О.В.Кунцевича /7/, в которых подчеркивается значение объемной концентрации цементного камня, условно-замкнутой пористости, размера и однородности

капиллярных пор как важных структурных параметров при оценке морозостойкости бетона.

Выявленная тесная корреляционная связь между морозостойкостью и показателями λ , α и $K_{зп}$, а также объемной концентрацией цементного теста дает возможность достаточно точно прогнозировать морозостойкость мелкозернистого бетона.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что прочность мелкозернистого бетона при сжатии зависит не только от общего объема пор, но и от их размера и однородности, причем корреляционная связь между прочностью и параметрами структуры пор оказывается более тесной, если используются не отдельные параметры, а показатели, объединяющие эти параметры – критерии поровой структуры мелкозернистого бетона.

2. Выявлено, что наиболее чувствительными параметрами, оказывающими влияние на морозостойкость бетона, являются показатели среднего размера пор и его однородности, условно-замкнутая пористость, а также объемная концентрация цементного камня, наименее чувствительными – общая и открытая пористость.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
2. Горчаков Г.И. Морозостойкость бетона в зависимости от его капиллярной пористости // Бетон и железобетон. – 1974. – № 7. – С.10-13.
3. Меркин А.П., Дикун А.Д., Князева В.П., Бруссер М.И. Структурные изменения ячеистых бетонов при испытании на морозостойкость // Бетон и железобетон. – 1974. – № 11. – С.11-12.
4. Лореттова Р.Н. Исследование макропористости и микропористости реальных бетонов: Автореф. ... канд. техн. наук. – М.: ВЗИСИ, 1976. – 23 с.
5. Горчаков Г.И. и др. Состав, структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1976. – 145 с.
6. Плаченов Т.Г. Порометрия. – Л.: Химия, 1988. – 210 с.
7. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. – Л.: Стройиздат, 1983. – 131 с.