ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1988
Seria: BUDOWNICTWO z. 68 Nr kol. 963

Michał Bołtryk
Politechnika Białostocka

Aleksander Pietrow
Woroszyłowgradskij Maszynostroitielnyj
Instytut (ZSRR)

ZASTOSOWANIE PRZEPŁYWÓW TURBULENTNYCH W PROCESIE AKTYWACJI CEMENTU

1. Wprowadzenie

Rozwój budownictwa betonowego wymaga wyprodukowania i wbudowania rocznie wielu milionów ton cementu. Wzrastające wciąż zapotrzebowanie na to spoiwo można zaspokoić trzema drogami. Pierwsza - poprzez rozbudowę przemysłu cementowego (co w obecnych warunkach jest niemożliwe), druga - poprzez podwyższenie stopnia miałkości cementu i poprawę składu mineralogicznego (powstają wtedy cementy wyższych marek). Zwiększenie jednakże powierzchni właściwej cementu powoduje zużycie energii niewspółmiernie do uzyskanego efektu. Cementy takie ulegają szybszej agregacji i wymagają krótkiego okresu ich składowania. Stąd też najbardziej celowe jest stosowanie aktywacji bezpośrednio w procesie przygotowania mieszanki betonowej.

Dla większego wykorzystania potencjalnych właściwości wiążących cementu w Politechnice Białostockiej opracowano dwie metody aktywacji zaczynów i zapraw cementowych [1],[2].

1. Wibracyjną, z wykorzystaniem niskoczęstotliwościowych i wysokoczęstotliwościowych wibrouderzeniowych parametrów drgań;
2. Hydrauliczną, z wykorzystaniem "zatopionych turbulentnych strumieni".

W niniejszym referacie zostanie przedstawiona druga metoda w aspekcie optymalizacji parametrów procesu aktywacji zaczynów cementowych.

2. Istota aktywacji turbulentnej

W intensyfikacji procesów chemicznych takich jak ekstrakcja, sorbcja, dysocjacja, solwatacja są stosowane urządzenia, które działają na zasadzie wytwarzania ograniczonej wysokości kipiącej warstwy sypkiego materiału w ośrodku ciekłym lub też wzbudzania dużej ilości strumieni pulsacyjnych w objętości cieczy znajdującej się w komorze urządzenia [3]. Schemat stanowiska do aktywacji turbulentnej stosowany w Politechnice Białostockiej przedstawiono na rys. 1.

Dla uzyskania strumieni pulsacyjnych w zaczynie cementowym wprowadza się do komory łok z dyskiem, lub dyskami, który wykonuje drgania (przemieszczenia) w kierunku pionowym. Dysk wykonany z superakrylu posiada otwory w kształcie

konchoidy o następującym równaniu:

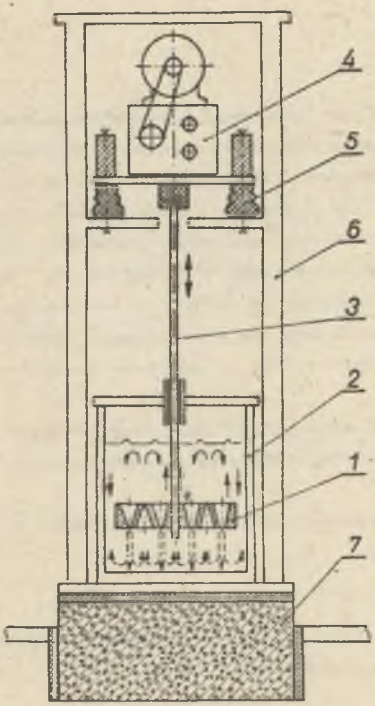
$$dy = D \sqrt[4]{\frac{1}{\left(\frac{l_x}{L_c}\right)^4 \left[\left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1\right] + 1}} \quad ,$$

gdzie:

D - średnica wlotowa zwężki,

d - średnica wylotowa zwężki (mniejsza),

L_c - długość całkowita zwężki.



Rys.1. Stanowisko laboratoryjne do aktywacji turbulentnej zaczynów cementowych. 1 - dysk ze zwężkami; 2 - komora z zaczynem cementowym, 3 - tłok, 4 - silnik elektryczny z wibratorem, 5 - amortyzatory, 6 - konstrukcja wsporcza, 7 - fundament z wibroizolacją

W danym przypadku wymiary zwężki były dobierane na zasadzie stałego gradientu ciśnienia ($\frac{dp}{ds}$ = const.) celem uzyskania kawitacji w aktywowanym ośrodku.

Kształt takich zwężek powoduje powstawanie zatopionych strumieni turbulentnych (w kierunku ich zwężenia) o stałej prędkości przepływu na odcinku x = 4,8 d . Efektywną względną długość strumienia l_x określa się na podstawie empirycznej zależności [3].

$$l_x = \frac{6,87}{\nu} - 2,07$$

gdzie:

$\nu = v_x/v_o$ - prędkości w osiach strumienia odpowiednio w odległości x od miejsca wypływu i w samym miejscu wypływu.

Jako napędu użyto wibratora typu VIEP - 3P1 (pomysłu prof. K. Eymana) osadzonego na układzie amortyzatorów o odpowiedniej charakterystyce.

Dla układu drgającego jak na rys. 1 uzyskano następujące parametry:

- przyspieszenie 30 - 40 g,
- amplituda 2,2 - 3,0 mm.

- amplituda prędkości - 0,56 - 0,8 m/s,
- częstotliwość - 35 Hz.

Mają one charakter impulsowy, powstały przez nałożenie trzech ukierunkowanych drgań harmonicznie zmiennych [4] .

3. Program badań

Badaniami laboratoryjnymi objęto zaczyny cementowe na cemencie portlandzkim P-35 bez dodatków, który spełnia wymagania normy PN - 80/B-04300. Wyliczony skład mineralny (wg BN - 62/7631 - 03) przedstawia się następująco: C_3S - 44,5%; C_2S - 34,9%; C_4AF - 5,5%; C_3A - 5,3%; $CaSO_4$ - 4%. Aktywowane zaczyny cementowe następnie były zastosowane w odpowiedniej ilości do zaprawy normowej i betonu zwykłego o W/C = 0,5 wg następującego składu (na 1 m^3):

kruszywo

0 - 2 mm - 558 kg
2 - 4 " - 196 "
4 - 8 " - 586 "
8 - 16 " - 528 "

woda zarobowa - 177, 5 dm^3
cement P35 - 355 kg/m^3

Zaprawa normowa była wykonywana zgodnie z p. 2.3. PN-80/B - 04300, a z mieszanki betonowej formowano kostki o wymiarach 10 x 10 x 10 cm, które następnie przechowywano w warunkach normowych wg PN-75/B - 06250. Dla podanych powyżej czynników o zmiennych w trakcie badań wartościach, przyjęto dziedzinę eksperymentu, którą określa tablica 1.

W toku badań mierzone były następujące wartości:

- parametry ruchu drgające za pomocą uniwersalnego miernika SM - 231,
- czas aktywacji (wg tabl. 1),
- wytrzymałość zaprawy (y_1) po 3 dniach i po 28 dniach (y_2),
- wytrzymałość betonu (y_3) po 28 dniach

Tablica 1

Dziedzina eksperymentu

Czynniki zmienne	Oznaczenie kodowe	Jednostka miary	Jednostkowy zakres zmienności				
			-2	-1	0	1	2
Czas aktywacji	x_1	minuty	1	2	3	4	5
% udział aktywowanego zaczynu w zaprawie lub betonie	x_2	%	10	20	30	40	50
W/C aktywowanego zaczynu cementowego	x_3	-	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

W celu analizy równoczesnego wpływu trzech wymienionych czynników na pięciu poziomach, przy programowaniu badań posłużono się techniką planowania eksperymentu, wykorzystano w tym celu następujące programy (współautor mgr J. Grycuk):

1. Wielomian - dla uzyskania statystycznych zależności wartości y od wielkości niezależnych - czynników zmiennych x i w formie algebraicznego wielomianu:
$y = a_o + a_1x_1 + \ldots\ldots a_kx_k + a_{11}x_1^2 + \ldots\ldots a_{ij}x_ix_j + \ldots\ldots a_{kk}x_k^2 + \ldots\ldots a_{111}x^3 + \ldots,$
$+a_{ij\ldots\ldots l}$, gdzie poszukiwane współczynniki $a_{ij\ldots\ldots l}$ występujące w algebraicznym wielomianie, w sposób liniowy, określa się wg metody najmniejszych kwadratów.
2. GRAF P - grafika do aproksymacji danych doświadczalnych.
3. IZO - do analizy dwóch zmiennych x_i na funkcję wyjścia y_i.
4. GRAF IZO - do ilustracji graficznej uzyskanych zależności.
5. OPTIMA - do szukania ekstremum funkcji.
6. ANALIZA DYSPERSYJNA - do analizy stopnia wpływu wszystkich czynników na funkcję wyjścia y_1.

Stosowne obliczenia przeprowadzono na IBM PC w Katedrze TiOB Politechniki Białostockiej. Uwzględniając opracowany program "Wielomian" i charakter eksperymentu postanowiono zastosować plan ortogonalny, który posłużył do opracowania programu badań (tablica 2).

Tablica 2

Nr serii	Program badań			Wyniki badań		
	x_1	x_2	x_3	y_1 (MPa)	y_2 (MPa)	y_3 (MPa)
1	3	30	0,8	15,40	45,37	32,6
2	3	50	0,8	15,28	43,35	27,04
3	4	20	0,8	14,15	40,90	28,02
4	5	20	0,7	14,95	40,40	25,40
5	5	50	0,9	15,10	39,60	29,10
6	5	30	0,6	18,28	44,90	23,40
7	4	10	1,0	15,18	34,82	23,23
8	3	40	0,6	15,74	38,87	27,60
9	2	40	1,0	15,50	42,45	26,00
10	1	30	1,0	12,77	37,40	27,20
11	1	30	1,0	14,42	40,25	28,35
12	1	50	0,7	13,11	39,20	33,85
13	2	10	0,9	14,46	37,18	25,00

4. Wyniki badań

Zależności między czynnikami zmiennymi x_i a wytrzymałością na ściskanie zaprawy normowej i betonu przedstawiono w postaci trzech równań regresji, (aproksymujących krzywą doświadczalną z określoną wariancją (W), błędem aproksymacji (ΔA) oraz współczynnikiem korelacji (R_k) (w tabl. 3).

Tablica 3

Równania regresji i ich oszacowanie

Funkcja regresji	Oszacowanie		
	W, %	ΔA	R_k
$y_1 = 14{,}8853 + 0{,}6584x_1 + 1{,}6055x_2 - 0{,}2771x_1x_3 - 0{,}4121x_2^3$	3,800	0,5681	0,9064
$y_2 = 44{,}4451 + 5{,}9056x_2 - 1{,}5260x_1x_3 - 2{,}0230x_3^2 - 0{,}9983x_1^3 - 1{,}2848x_1^2x_3 + 1{,}5542x_1x_2^2 - 1{,}4997\,x_2^3$	4,006	1,6191	0,8469
$y_3 = 32{,}6018 - 30{,}2276x_1 - 12{,}1172x_2 - 20{,}8305x_3 + 0{,}3394x_1^2 - 8{,}4629x_1x_2 + 1{,}6740x_1x_2 + 4{,}6148x_2^2 + 19{,}5213x_1x_3 + 11{,}5449x_1^2\,x_3 + 13{,}7747x_1x_2^2$	1,084	0,3009	0,9942

Na rys. 2,3,4 zobrazowano izolinie dla kolejnych dwóch zmiennych w przypadku wytrzymałości zaprawy po 3 dniach. Układ izolinii na rys.2 dla zależności $y_1 = f(x_1, x_2)$ pozwala ustalić wpływ czasu aktywacji (x_1) i % zawartości aktywowanego zaczynu na wytrzymałość wczesną zaprawy (y_1). W tym przypadku dla uzyskania optymalnej wytrzymałości zaprawy, czas aktywacji powinien wynosić od 4 do 5 minut a niezbędna ilość zaczynu w granicach 30 - 40 %. Maksymalną wytrzymałość zaprawy uzyska się dla czasu aktywacji 5' i 35% aktywowanego cementu (w stosunku do nieaktywowanego). Z rys. 3 dla $y = f(x_1, x_3)$ wynika z kolei, że najbardziej stabilne wyniki wytrzymałości uzyska się dla czasu aktywacji od 4 - 5 minut przy W/C (aktywowanego zaczynu), w przedziale 0,85 - 1,00. Na rys. 4 dla $y = f(x_2, x_3)$ układ izolinii wskazuje, że możliwe jest uzyskanie wartości ekstremalnych o W/C = 0,6 - 0,75 jeżeli ich zawartość w zaprawie będzie wynosiła 25-35%.

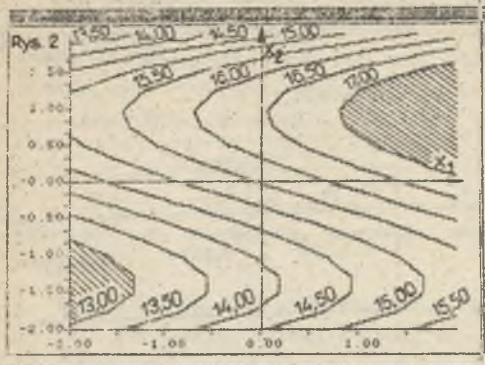
Reasumując należy stwierdzić, że na wytrzymałość wczesną zaprawy (y_1) na zaczynie aktywowanym równorzędny wpływ mają wszystkie rozpatrywane czynniki technologiczne. Optymalne ich wartości przedstawiają się w sposób następujący:

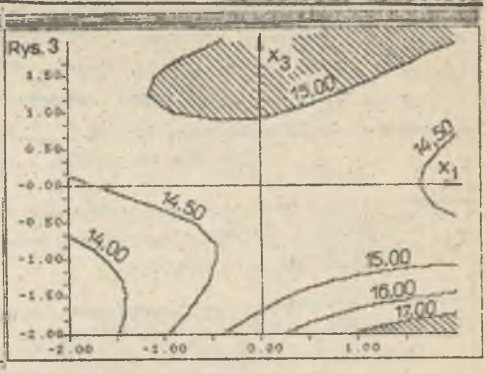
- czas aktywacji: $4' \leqslant x_1 \leqslant 5'$,
- % zawartości zaczynu: $25 \leqslant x_2 \leqslant 40$,
- W/C aktywowanego zaczynu: $0{,}8 \leqslant x_3 \leqslant 1{,}0$.

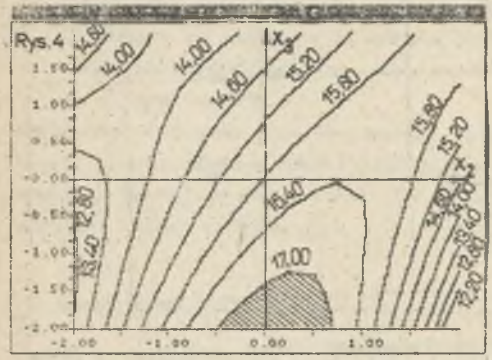
Podobny charakter zależności uzyskano w przypadku analizy wpływu zmiennych x_i na wytrzymałość zaprawy po 28 dniach naturalnego twardnienia.

$$y_2 = f(x_1, x_2, x_3)$$

Z kolei dla wytrzymałości betonu po 28 dniach uzyskano następujące zależności (z przyczyn edytorskich izolinu nie przedstawiono):







- czas aktywacji: $3' \leq x_1 \leq 4'$
- % zawartość zaczynu $20 \leq x_2 \leq 30$,
- W/C aktywowanego zaczynu $0,7 \leq x_3 \leq 0,9$.

5. Wnioski

1. Przeprowadzone badania potwierdzają celowość stosowania aktywowanych zaczynów cementowych do zapraw i betonów.
2. Optymalna zawartość aktywowanego zaczynu w zaprawach powinna wynosić 25 - 40%, a w betonach 20 - 30%.
3. Aktywacja turbulentna najbardziej jest skuteczna dla zaczynów cementowych o W/C = 0,7 - 1,0 przy czasie aktywacji 3 - 5 minut.

Literatura

1. Bołtryk M.: Korpuskularnofenomenologiczne ujęcie procesów komprymacji i aktywacji grubodyspersyjnych ośrodków ciągłych. XXXII Konferencja Naukowa KIL i W PAN i KN PZITB. Kraków - Krynica 1986, t.5, s. 23 - 29.
2. Gusiew B.:, Kowalczyk R., Bołtryk M, Tanajewski A.: Wibracyjna aktywacja cementu. Z. N. Politechniki Białostockiej. NT - Budownictwo N 2,1984 s. 109 - 121.
3. Baird M.H.J. Vibrations and pulsations-bane or blessing? British Chemical Engineering V.11, 1966, No 1, p. 20 - 25.
4. Eyman H.K. O podstawach wibracji betonu inaczej. Archiwum Inżynierii Lądowej Tom XXX, Z. 4/1984, s. 699 - 709.

APPLICATION OF TURBULENT FLOW IN ACTIVATION PROCESS OF CEMENT

S u m m a r y

In this paper are presented a conception of technology of activation cement paste W/C = 0,7 - 1,0 in utilization of turbulent flow. Ther are settled parameters of process of activation optimum contents of activiting cement paste in mortar and concret.

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ЗАТОПЛЕННЫХ СТРУЙ В ПРОЦЕССЕ АКТИВАЦИИ ЦЕМЕНТА

Резюме

В стати предложено технологию активации цементного теста с В/Ц = 0,7-1,0 с использованием турбулентных струй. Разработано параметры процесса и определено оптимальное количество активированного цементного теста в ростворах и бетонах.

Wpłynęło do Redakcji 20.03.1988 r.