

О.Д. Дятлов

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСІВ ТВЕРДІННЯ ВАПНЯНО-КРЕМНЕЗЕМИСТОГО В'ЯЖУЧОГО НА ОСНОВІ КАРБОНАТНО-КРЕМНЕЗЕМИСТИХ ПОРІД ПРИДНІСТРОВ'Я

*Наведені результати експериментальних досліджень кінетики процесів твердіння вапняно-кремнеземистого в'язучого на основі карбонатно-кремнеземистих порід Придністров'я, а також результати лабораторних досліджень кінетики процесу зв'язування при твердінні щільного силікатного бетону на названому в'язучому.*

В літературі наводиться ряд даних, які показують, що в нормальних температурах ( $T = 20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) проходить гідросилікатне твердіння вапняно-кремнеземистого в'язучого, яке протікає протягом тривалого часу.

Дослідження, проведені в нашій країні за останні роки, свідчать про те, що хімічна взаємодія між вапном і піском при нормальній температурі посилюється при подрібненні піску тим більше, чим більша дисперсність кремнеземистих часток [1–9]. Але значно ефективніші хімічні реакції між вапном і кремнеземом проходять в автоклаві при високій температурі в середовищі насиченої водяної пари, яка є теплоносієм і учасником цих реакцій [2].

На процеси твердіння вапняно-кремнеземистого в'язучого суттєво впливають склад і степінь дисперсності в'язучого, склад і крупність заповнювача, активність і вологість шихти, щільність упаковки часток в'язучого і заповнювача у виробі, умови гідrataції в'язучого та інші фактори.

Проведені комплексні дослідження кінетики процесів твердіння вапняно-кремнеземистого в'язучого, які мають важливе значення при визначенні оптимальних технологічних режимів виробництва безцементних виробів, включають:

1. Вивчення степеня і швидкості гідrataції в'язучого.
2. Вивчення кінетики процесу зв'язування  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$  при твердінні щільного силікатного бетону.
3. Вивчення кінетики зміни деяких фізико-механічних властивостей (об'ємної маси та границі міцності при стиску) щільного силікатного бетону в процесі його твердіння.

Дані досліджень показують, що степінь гідrataції (табл. 1, рис. 1) вапняно-кремнеземистого в'язучого при зберіганні зразків щільного силікатного бетону в нормальних умовах безперервно зростає протягом часу.

Так, степінь гідrataції даного в'язучого в досліджених зразках 7-добового зберігання (віку) складає 67,15 % (I-й склад в'язучого) і 72,66 % (V-й склад в'язучого), а в зразках річного віку відповідно 80,60 % і 83,82 %.

Степінь гідrataції в'язучого зразків щільного силікатного бетону, пропареного за режимом 2+8+2 год. при температурі  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , дорівнює 70,65 % (I-й склад в'язучого) і 75,75 % (V-й склад в'язучого). При автоклавній обробці даних зразків за таким же режимом при тиску 8 атм. степінь гідrataції в'язучого відповідно складає 86,63 % і 88,62 % (табл. 1, рис. 2).

На степінь гідrataції вапняно-кремнеземистого в'язучого значно впливають температурні умови твердіння досліджуваних зразків (табл. 1, рис. 1 та рис. 2). З підвищенням температури тепловологої обробки виробів з  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  степінь гідrataції в'язучого збільшується на 7,70 % (I-й склад в'язучого) і на 6,60 % (V-й склад в'язучого), а при підвищенні температури з  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  степінь гідrataції в'язучого зростає відповідно на 23,68 % і 19,47 %.

Результати досліджень (табл. 1, рис. 3) показують, що швидкість гідrataції вапняно-кремнеземистого в'язучого безперервно зменшується протягом часу при зберіганні зразків щільного силікатного бетону в нормальних умовах. Так, швидкість гідrataції даного в'язучого в досліджених зразках 7-добового віку складає 9,60 %/доба (I-й склад в'язучого) і 10,38 %/доба (V-й склад в'язучого), а в зразках річного віку відповідно 0,22 %/доба і 0,23 %/доба.

Підвищення температури тепловологої обробки зразків щільного силікатного бетону допомагає росту швидкості гідrataції вапняно-кремнеземистого в'язучого (табл. 1, рис. 4).

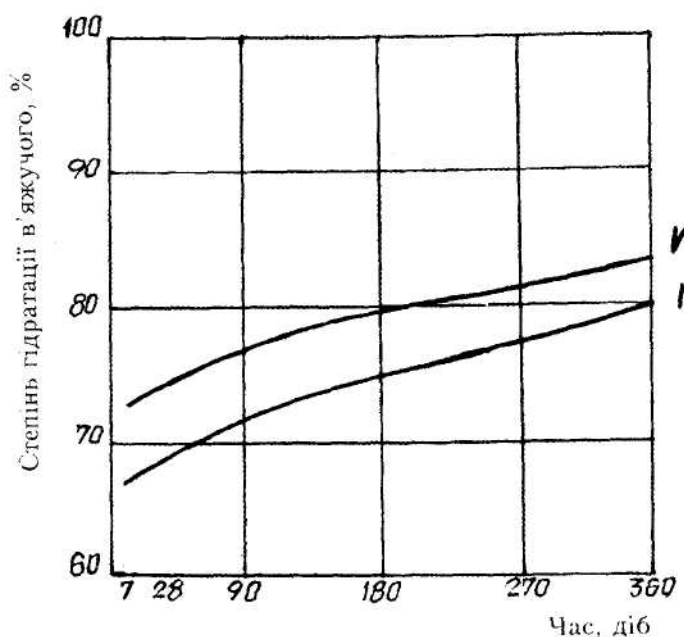


Рис. 1. Зміна степеня гідратації вапняно-кремнеземистого в'язучого протягом часу при зберіганні зразків щільного силікатного бетону в нормальних умовах (I, V – склади в'язучого)

Таблиця 1  
Вплив складу і умов гідратації вапняно-кремнеземистого в'язучого на ступінь і швидкість його гідратації

№ п/п	Склад в'язучого	Умови гідратації в'язучого	Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	Границя міцності при стиску, кгс/см <sup>2</sup>	Степень гідратації в'язучого, %	Швидкість гідратації в'язучого	
						%/доба	%/год.
1	I	Нормальні, 7 діб	1752,90	11,6	67,15	9,60	
2	V	Нормальні, 7 діб	1771,50	18,4	72,66	10,38	
3	I	Нормальні, 28 діб	1753,10	33,5	68,65	2,45	
4	V	Нормальні, 28 діб	1771,70	59,9	73,82	2,64	
5	I	Нормальні, 90 діб	1753,60	47,7	72,80	0,81	
6	V	Нормальні, 90 діб	1772,50	74,5	77,71	0,86	
7	I	Нормальні, 180 діб	1753,80	63,6	74,60	0,41	
8	V	Нормальні, 180 діб	1772,80	106,2	78,64	0,44	
9	I	Нормальні, 270 діб	1754,20	81,3	77,35	0,29	
10	V	Нормальні, 270 діб	1773,40	131,1	81,24	0,30	
11	I	Нормальні, 360 діб	1754,50	92,2	80,60	0,22	
12	V	Нормальні, 360 діб	1774,00	157,3	83,82	0,23	
13	I	Пропарка за режимом 2+8+2 год. при тиску 8 атм.	1753,30	37,8	70,65		4,42
14	V	Пропарка за режимом 2+8+2 год. при тиску 8 атм.	1772,20	63,2	75,75		4,74
15	I	Автоклавна обробка за режимом 2+8+2 год. при тиску 8 атм.	1755,30	168,7	86,62		5,41
16	V	Автоклавна обробка за режимом 2+8+2 год. при тиску 8 атм.	1775,10	244,2	88,62		5,54

При автоклавній обробці досліджуваних зразків за режимом 2+8+2 год. при тиску 8 атм. швидкість гідратації даного в'язучого складає 5,41 %/год. (I-й склад в'язучого) і 5,54 %/год. (V-й склад в'язучого). При пропарці зразків за таким же режимом при температурі 90 °С швидкість гідратації в'язучого дорівнює відповідно 4,42 %/год. і 4,47 %/год. При зберіганні зразків в нормальних умовах (температура 20–25 °С, відносна вологість 80 %) швидкість гідратації в'язучого складає відповідно 3,93 %/год. і 4,32 %/год.

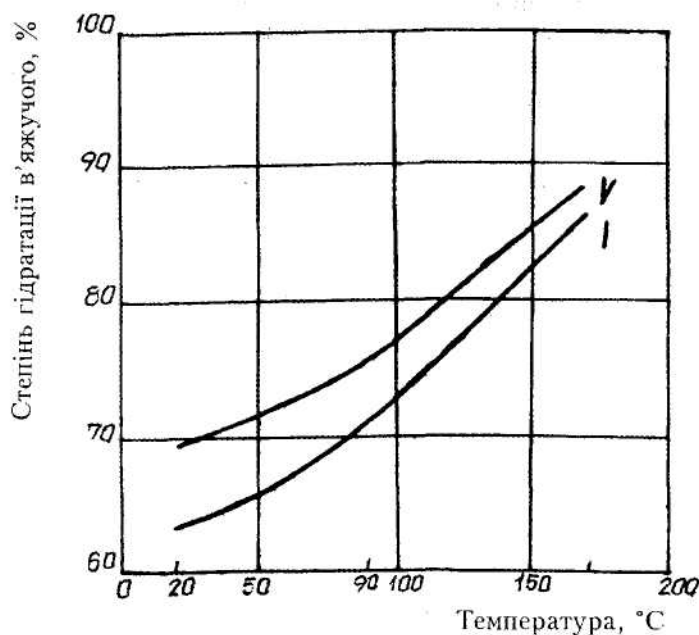


Рис. 2. Залежність між ступенем і температурою гідратації вапняно-кремнеземистого в'язучого (I, V – склади в'язучого)

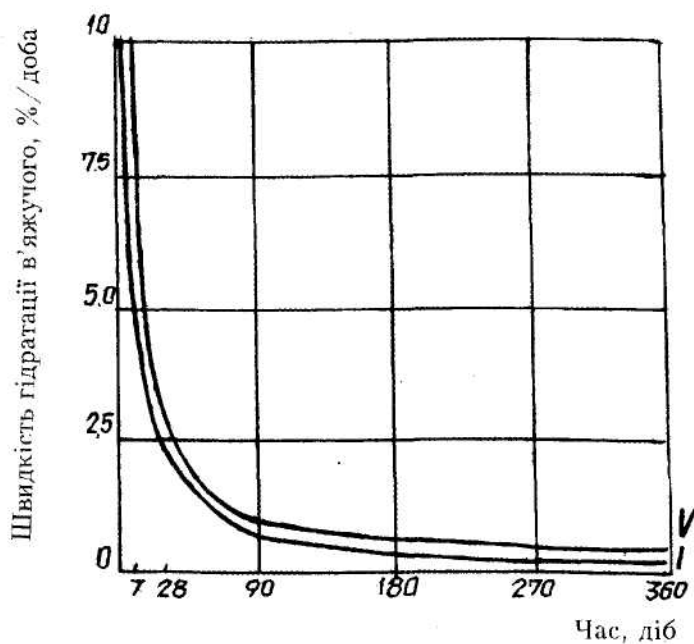


Рис. 3. Зміна швидкості гідратації вапняно-кремнеземистого в'язучого в часі при зберіганні зразків щільного силікатного бетону в нормальних умовах (I, V – склади в'язучого)

Результати експериментальних досліджень кінетики процесу зв'язування  $CaO + MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $CO_2$  і  $H_2O$  складає відповідно 0,46; 0,39; 1,23 і 1,90 % (I-й склад в'язучого), 1,68; 1,44; 3,27 і 3,74 % (V-й склад в'язучого), а при зберіганні досліджуваних зразків при таких же умовах протягом року – 3,34; 2,63; 2,32 і 2,28 % (I-й склад в'язучого), 5,92; 4,78; 5,82 і 4,31 % (V-й склад в'язучого).

Наведені дані свідчать про те, що кількість зв'язаних  $CaO + MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $CO_2$  і  $H_2O$  в зразках щільного силікатного бетону значно збільшується в часі. Особливо інтенсивно прохо-

дить процес зв'язування компонентів в'язучого, заповнювача і води протягом перших 28 діб зберігання зразків в нормальних умовах, що пояснюється присутністю деякої кількості (16,97 % і 24,03 %) клінкерних мінералів в досліджуваних складах вапняно-кремнеземистого в'язучого, які значною мірою гідратуються за цей період часу.

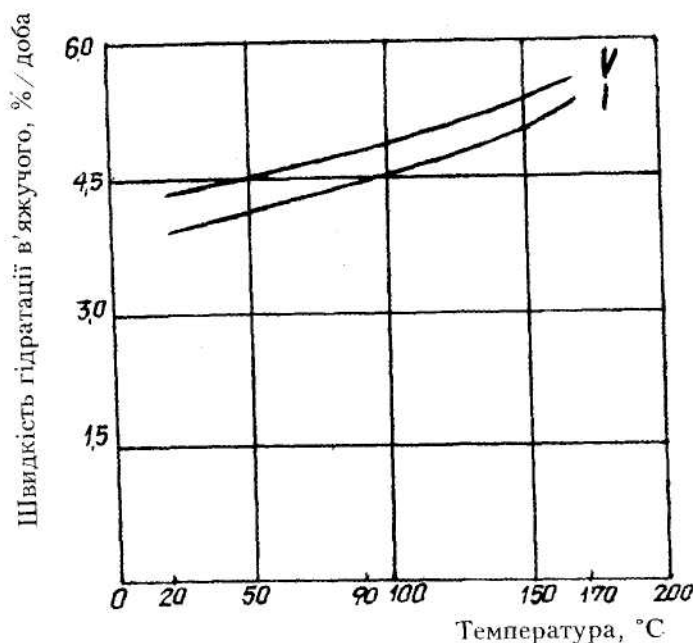


Рис. 4. Залежність між швидкістю і температурою гідратації вапняно-кремнеземистого в'язучого (I, V – склади в'язучого)

Таблиця 2

Вплив складу і умов гідратації вапняно-кремнеземистого в'язучого на ступінь зв'язування компонентів щільного силікатного бетону

№ п/п	Склад в'язучого	Умови гідратації в'язучого	Вміст, %							
			CaO + MgO заг.	CaO + MgO вільні	CaO + MgO зв'яз.	SiO <sub>2</sub> заг.	SiO <sub>2</sub> вільні	SiO <sub>2</sub> зв'яз.	CO <sub>2</sub> зв'яз.	H <sub>2</sub> O зв'яз.
1	I	Нормальні,	5,60	5,14	0,46	84,93	84,54	0,39	1,23	1,90
2	V	7 діб	11,10	9,42	1,68	73,51	72,07	1,44	3,27	3,74
3	I	Нормальні,	5,60	4,39	1,21	84,93	83,99	0,94	1,47	1,94
4	V	28 діб	11,10	8,74	2,36	73,51	71,54	1,97	3,88	3,80
5	I	Нормальні,	5,60	3,90	1,70	84,93	83,64	1,29	1,64	2,06
6	V	90 діб	11,10	7,83	3,26	73,51	71,03	2,48	4,39	3,98
7	I	Нормальні,	5,60	3,44	2,16	84,93	83,16	1,77	1,89	2,11
8	V	180 діб	11,10	6,84	4,26	73,51	70,17	3,34	5,08	4,05
9	I	Нормальні,	5,60	2,84	2,76	84,93	82,69	2,24	2,15	2,19
10	V	270 діб	11,10	8,14	4,96	73,51	69,29	4,22	5,55	4,18
11	I	Нормальні,	5,60	2,26	3,34	84,93	82,30	2,63	2,32	2,28
12	V	360 діб	11,10	5,18	5,92	73,51	68,73	4,78	5,82	4,31
13	I	Пропарка за режимом 2+8+2 год. при тиску 8 атм.	5,60	4,02	1,58	84,93	83,72	1,21	1,19	2,00
14	V		11,10	8,08	3,02	73,51	71,27	2,24	2,99	3,90
15	I	Автоклавна обробка за режимом 2+8+2 год. при тиску 8 атм.	5,60	0,49	5,11	84,93	80,65	4,28	1,27	2,45
16	V		11,10	2,05	9,05	73,51	66,09	7,42	3,18	4,56

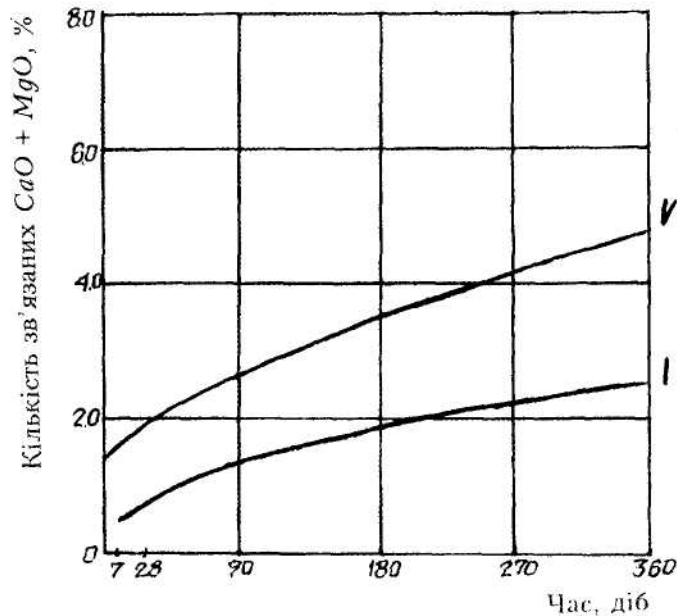


Рис. 5. Вплив терміну зберігання зразків в нормальних умовах на степінь зв'язування компонентів  $\text{CaO} + \text{MgO}$  щільного силікатного бетону (I, V – склади в'язучого)

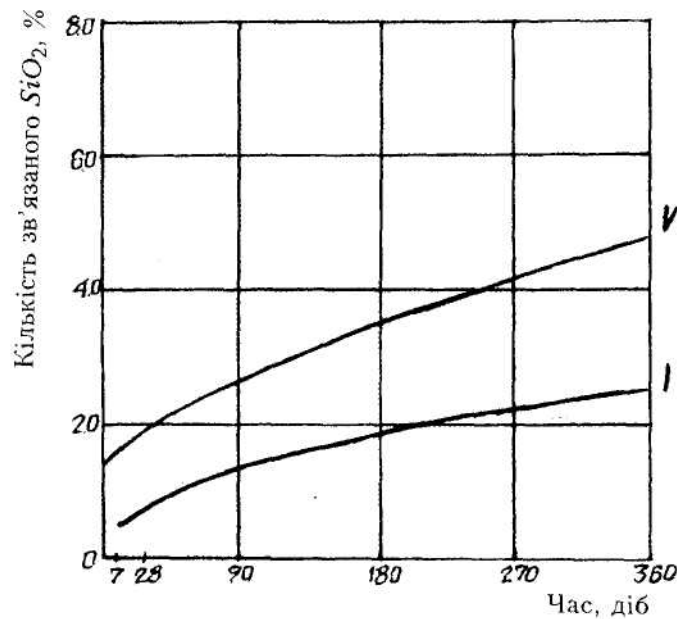


Рис. 6. Вплив терміну зберігання зразків в нормальних умовах на степінь зв'язування компонентів  $\text{SiO}_2$  щільного силікатного бетону (I, V – склади в'язучого)

Крім того, в силікатній шихті після її затворення і перемішування значна кількість вапна переходить в рідинний стан; з розчином  $\text{CaO}$  концентрація рідинної фази дуже швидко зростає, що допомагає збільшенню розчинності кремнезему, який в певній кількості починає переходити в розчин, і вступають в реакцію з вапном. В міру з'єднання вапна з кремнеземом концентрація вапняного розчину падає, внаслідок чого розчинність кремнезему знижується і процес зв'язування  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  уповільнюється.

Кількість зв'язаних  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  в зразках щільного силікатного бетону, пропарених за режимом 2+8+2 год. при температурі  $90^\circ\text{C}$  складає відповідно 1,58; 1,21; 1,19 та 200 % (I-й склад в'язучого), 3,02; 2,24; 2,99 і 3,90 % (V-й склад в'язучого), а при автоклавній обробці досліджуваних зразків за таким же режимом при тиску 8 атм. – 5,11; 4,28; 1,27 і 2,45 % (I-й склад в'язучого).

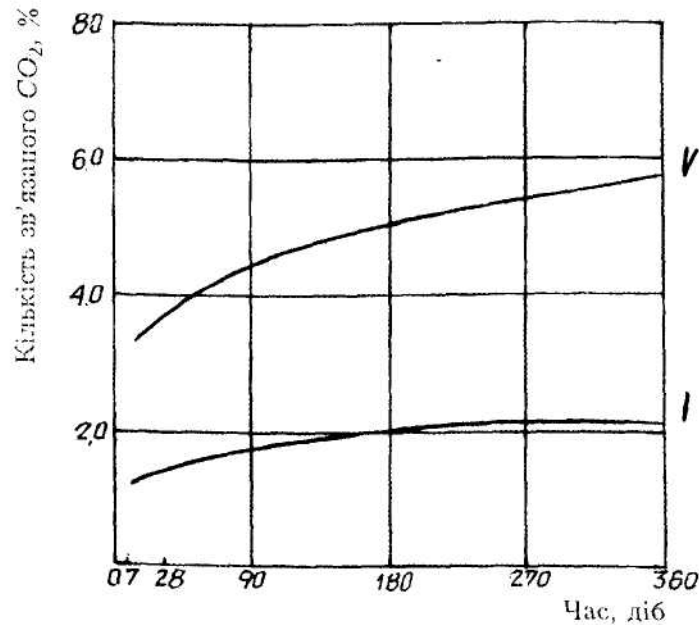


Рис. 7. Вплив терміну зберігання зразків в нормальних умовах на кількість зв'язаних  $\text{CO}_2$  в щільному силікатному бетоні даних виробів (I, V – склади в'язучого)

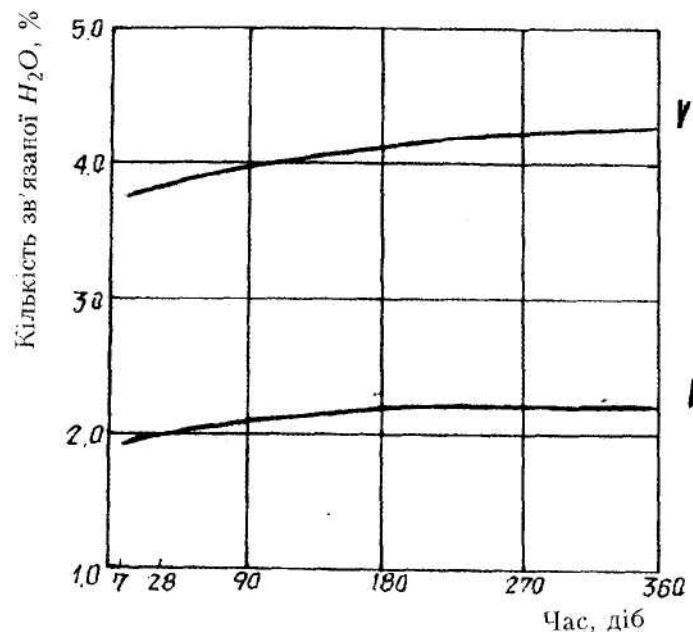


Рис. 8. Вплив терміну зберігання зразків в нормальних умовах на кількість зв'язаних  $\text{H}_2\text{O}$  в щільному силікатному бетоні даних виробів (I, V – склади в'язучого)

Як показали проведені дослідження, автоклавна обробка виробів із щільного силікатного бетону при тиску 8 атм. за режимом 2+8+2 год. допомагає одержанню найбільшої кількості зв'язаних  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  порівняно з пропаркою їх при температурі  $90^\circ\text{C}$  за таким же режимом і зберіганням в нормальних умовах протягом року.

Найбільша кількість зв'язаного  $\text{CO}_2$  одержана в досліджених зразках нормального твердіння через 360 діб (табл. 1, рис. 7).

Дослідженнями встановлено, що при зберіганні зразків щільного силікатного бетону в нормальних умовах один рік в результаті карбонізації вільних  $\text{CaO} + \text{MgO}$  зв'язується 1,57 % (I-й склад в'язучого) і 3,33 % (V-й склад в'язучого) вуглекислоти, яка міститься в повітрі.



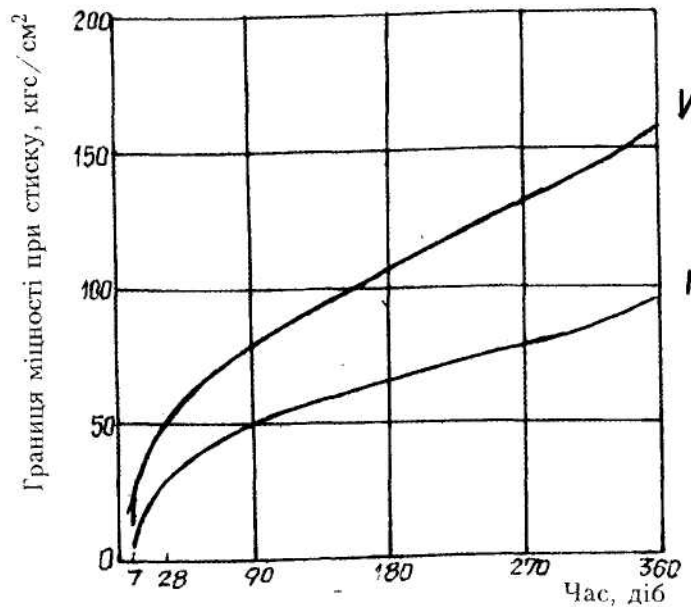


Рис. 9. Зміна границі міцності при стиску зразків щільного силікатного бетону протягом зберігання їх в нормальних умовах (I, V – склади в'язучого)

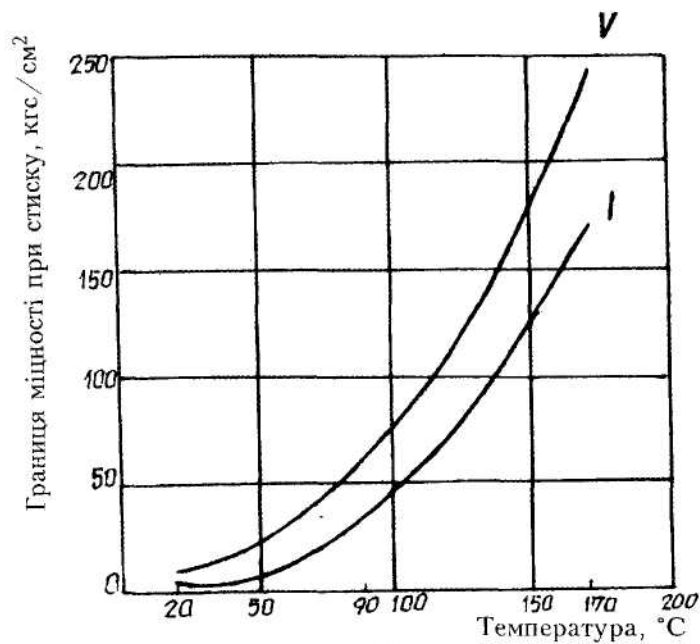


Рис. 10. Вплив температурних умов твердіння зразків щільного силікатного бетону на їх міцність при стиску (I, V – склади в'язучого)

Утворення гідросилікатів кальцію і магнію різної основності за рахунок зв'язування компонентів  $CaO + MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $CO_2$  і  $H_2O$  силікатної шихти в процесі твердіння досліджуваних зразків, а також карбонізація вільних окислів кальцію і магнію обумовлюють ріст міцності при стиску даних виробів (табл. 1, рис. 9 та рис. 10). Так, границя міцності при стиску зразків щільного бетону, які зберігались в нормальних умовах 7 діб, складає 11,6 кгс/см<sup>2</sup> (I-й склад в'язучого) і 18,4 кгс/см<sup>2</sup> (V-й склад в'язучого), а при зберіганні даних виробів в тих же умовах 360 діб – відповідно 92,2 кгс/см<sup>2</sup> і 157,3 кгс/см<sup>2</sup>. При пропарці досліджуваних зразків за режимом 2+8+2 год. при температурі 90 °C границя міцності при стиску їх дорівнює 37,8 кгс/см<sup>2</sup> (I-й склад в'язучого) і 63,2 кгс/см<sup>2</sup> (V-й склад в'язучого), а при автоклавній

обробці даних зразків за таким же режимом при стиску 8 атм. – відповідно 168 кгс/см<sup>2</sup> і 244,2 кгс/см<sup>2</sup>.

Кінетика зміни границі міцності при стиску зразків щільного силікатного бетону значною мірою залежить від температурних умов твердіння даних виробів (табл. 1, рис. 9 та рис. 10). З підвищенням температури тепловологої обробки досліджуваних виробів з 20 °С до 90 °С границя міцності при стиску їх збільшується в 7,0 (І-й склад в'язучого) і в 6,9 разів (V-й склад в'язучого), а при підвищенні температури з 20 °С до 170 °С границя міцності при стиску даних зразків зростає відповідно в 31,0 і 27,0 разів.

Об'ємна маса зразків щільного силікатного бетону незначно збільшується із збільшенням кількості зв'язаних CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O у складі даних виробів (табл. 1).

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бутт Ю.М., Куатбаев К.К. Долговечность автоклавных силикатных бетонов. – М.: Стройиздат, 1960.
2. Дятлов О.Д. Цінна сировина для безцементних виробів. – Вид-во “Будівельник”, Ж., “Сільське будівництво”. – № 6. – К., 1973.
3. Дятлов А.Д. Бесцементные стеновые блоки на основе автоклавного вяжущего из карбонатно-кремнеземистых пород Приднестровья. – Изд-во “Вища шк.” / Сб. “Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР”, Вып. 7. – К., 1973.
4. Дятлов А.Д. Новое вяжущее для бесцементных бетонов / Сб. “Новое в технологии бетона” (тезисы докладов). VI Всесоюзная конференция молодых ученых и специалистов. – М., 1974.
5. Дятлов А.Д. Минерало-петрографические исследования карбонатно-кремнеземистых пород Приднестровья / Сб. “Наука и техника” / Материалы научно-технической конференции. – Житомир, 1975. – Вып. 2.
6. Пашков И.А., Дятлов А.Д. Перспективы применения автоклавного вяжущего из карбонатно-кремнеземистых пород Приднестровья и силикатных бетонов на его основе / Сб. “Материалы республиканской научной конференции по прогнозу развития строительной индустрии, промышленности строительных материалов и их сырьевой базы. – К.: СОПС, 1973.
7. Саталкин А.В., Комолов П.Г., Ломунов К.Ф., Федин А.А., Яворский А.К. Технология изделий из силикатных бетонов. – М.: Стройиздат, 1972.
8. Слободяник И.Я., Дятлов А.Д. Исследование карбонатно-кремнеземистых пород Приднестровья как сырья для получения бесцементных бетонов. – Изд-во ВНИЦентра / Сб. рефератов НИР, серия 18, № 27–28 – М., 1972.
9. Слободяник И.Я., Дятлов А.Д. Силикатный кирпич на основе автоклавного вяжущего из отходов карбонатно-кремнеземистых пород Приднестровья / Сб. “Строительные материалы, детали и изделия”. – К.: Будівельник, 1973. – Вып. 17.

ДЯТЛОВ Александр Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий машиностроения Житомирского инженерно-технологического института.

Научные интересы:

– вивчення властивостей карбонатно-кремнеземистих порід Придністров'я і будівельних матеріалів на їх основі.