

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ РАСТВОРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПЕНОБЕТОНА НА ЕГО СТРУКТУРНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Мартынов В.И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры), **Мартынова Е.Б.** (Одесский государственный аграрный университет), **Кушнерук В.И.** (г.Одесса)

Проведен анализ эксперимента по изучению влияния механохимической активации растворной составляющей пенобетона на кинетику изменения пластической прочности, а также производных от нее – скорости и интенсивности изменения пластической прочности пенобетона.

Одним из основных недостатков неавтоклавного пенобетона является медленный набор структурной прочности в ранние сроки твердения. Это происходит, в основном, из-за адсорбции на частицах вяжущего вещества молекул поверхностно-активного вещества пенообразователя. Медленному набору структурной прочности пенобетона также способствуют высокие значения водозатворения. Пути решения этой проблемы видятся в: применении высокомарочных цементов, применении быстротвердеющих вяжущих, активации процесса гидратации вяжущих веществ за счет введения добавок ускорителей твердения, применение механической активации вяжущих веществ, снижение водотвердого отношения (В/Т) за счет введения пластифицирующих добавок, снижение концентрации ПАВ за счет более высокой эффективности использования пенообразователя, интенсификации твердения за счет тепловой обработки.

С целью повышения структурной прочности пенобетона был проведен трехфакторный эксперимент с применением математических методов планирования эксперимента. В качестве независимых переменных в эксперименте были приняты: X_1 – содержание цемента в его смеси с инертным наполнителем, X_2 – содержание добавки – ускорителя твердения, X_3 – режим механохимической активации растворной составляющей. Выбор факторов обусловлен следующими соображениями. Введение в состав растворной смеси инертного наполнителя позволяет понизить значения В/Т, а также себестоимость готового продукта. Изменением фактора X_2 изучалась эффективность действия добавки ускорителя твердения вяжущего. В качестве добавки – ускорителя твердения применялась добавка “Релаксол – Универсал В”. Эта добавка является продуктом отечественных производителей, и

стоимость ее гораздо ниже идентичных импортных добавок [1]. Из данных, приведенных в [2,3], известно, что механохимическая активация вяжущего за счет применения скоростных смесителей значительно повышает степень гидратации вяжущего вещества и ускоряет набор прочности в ранние сроки твердения вяжущих. Поэтому третьим фактором в эксперименте было принято время обработки растворной составляющей в реакторе скоростного лабораторного смесителя. Уровни изменения факторов были приняты таким образом, что сочетание нижних уровней соответствовало контрольной точке в сравнении, с которой определялась эффективность действия изучаемых факторов (первая строка плана). Уровни изменения факторов: X_1 - содержание наполнителя в % - 15 ± 15 ; X_2 - содержание добавки, в % к массе вяжущего по сухому веществу - $1,5 \pm 1,5$; X_3 - время активации растворной смеси, с - 20 ± 20 .

Сырьевые материалы, применяемые в эксперименте: вяжущее - портландский цемент ПЦ II/A-III- 500 Одесского цементного завода. Наполнитель - карбонатный песок фракции менее 0,63 мм, отход добычи известняка-ракушечника. Пенообразователь - синтетический пенообразователь - ПБ-2000.

Постоянные факторы: плотность пенобетонной смеси - 760 ± 10 г/л, диаметр расплыва раствора по вискозиметру Сутгарда 270 ± 10 мм.

Изучение влияния принятых в эксперименте факторов на величину структурной прочности пенобетона изучалось путем измерения пластической прочности пенобетонной смеси при помощи конического пластометра МГУ. Измерения пластической прочности пенобетона начинали производить через 6 часов с момента приготовления пенобетона и заканчивали через 24 часа с промежутками измерений через каждые 2 часа. Величину пластической прочности рассчитывали как среднее арифметическое от пяти замеров. Матрица планирования эксперимента и пластическая прочность пенобетона (кПа) приведены в таблице 1. По результатам экспериментальных данных построены графики кинетики пластической прочности пенобетона в каждой строке плана. Кинетика пластической прочности пенобетона приведена на рисунке 1.

После получения семейства линий каждая была аппроксимирована полиномом третьей степени пластической прочности пенобетона по времени, что позволило впоследствии определить производные: первую производную - скорость нарастания пластической прочности и вторую производную - интенсивность нарастания пластической прочности. Уравнения пластической прочности, скорости и интенсивности нарастания пластической прочности пенобетона приведены в таблице 2.

Таблица 1. Пластическая прочность пенобетона

№ п/п	Факторы			Пластическая прочность пенобетонной смеси, КПа, через часов после приготовления:									
	X ₁	X ₂	X ₃	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	Н	Д	А										
1	-	-	-	49	62	230	387	538	755	1083	1293	2067	2868
2	+	-	-	49	62	105	210	306	545	925	984	1444	2002
3	-	+	-	49	59	98	295	505	788	1142	1785	1903	2704
4	+	+	-	56	75	144	289	500	920	1020	1280	2180	2430
5	-	-	+	46	105	200	500	690	870	1140	1750	1970	2100
6	+	-	+	49	110	145	310	455	820	1260	2015	2200	2300
7	-	+	+	50	150	270	590	780	1280	1640	2230	2430	3280
8	+	+	+	120	203	455	585	1070	1405	1575	2560	3610	4070
9	-	0	0	70	225	340	700	1135	1510	2690	4595	5021	5120
10	+	0	0	70	160	245	440	761	1313	1378	1445	1542	2460
11	0	-	0	72	120	275	473	920	1345	1510	1675	2430	3030
12	0	+	0	180	340	660	1215	1615	2560	3215	4005	4700	5565
13	0	0	-	62	92	210	340	620	900	1030	1640	2270	2530
14	0	0	+	90	140	360	565	1115	1380	1675	2120	2620	3050
15	0	0	0	100	230	410	755	950	1247	1320	1509	2625	3315

После этого по полученным уравнениям была построена матрица четырехфакторного плана второго порядка типа В-4, где в качестве четвертого фактора (X₄) было принято время выдержки пенобетона с момента его приготовления с уровнями варьирования 8, 16 и 24 часа. В результате математической обработки построены математические модели логарифма пластической прочности, скорости и интенсивности набора пластической прочности. Например, математическая модель логарифма пластической прочности с учетом незначимых коэффициентов имеет вид:

$$\text{Ln}(\eta) = 7,403 + 0,162X_2 + 0,222X_3 + 0,163X_4 + 0,055X_1X_2 + 0,55X_1X_3 - 0,047X_3X_4 - 0,159X_1^2 - 0,394X_3^2 - 0,638X_4^2;$$

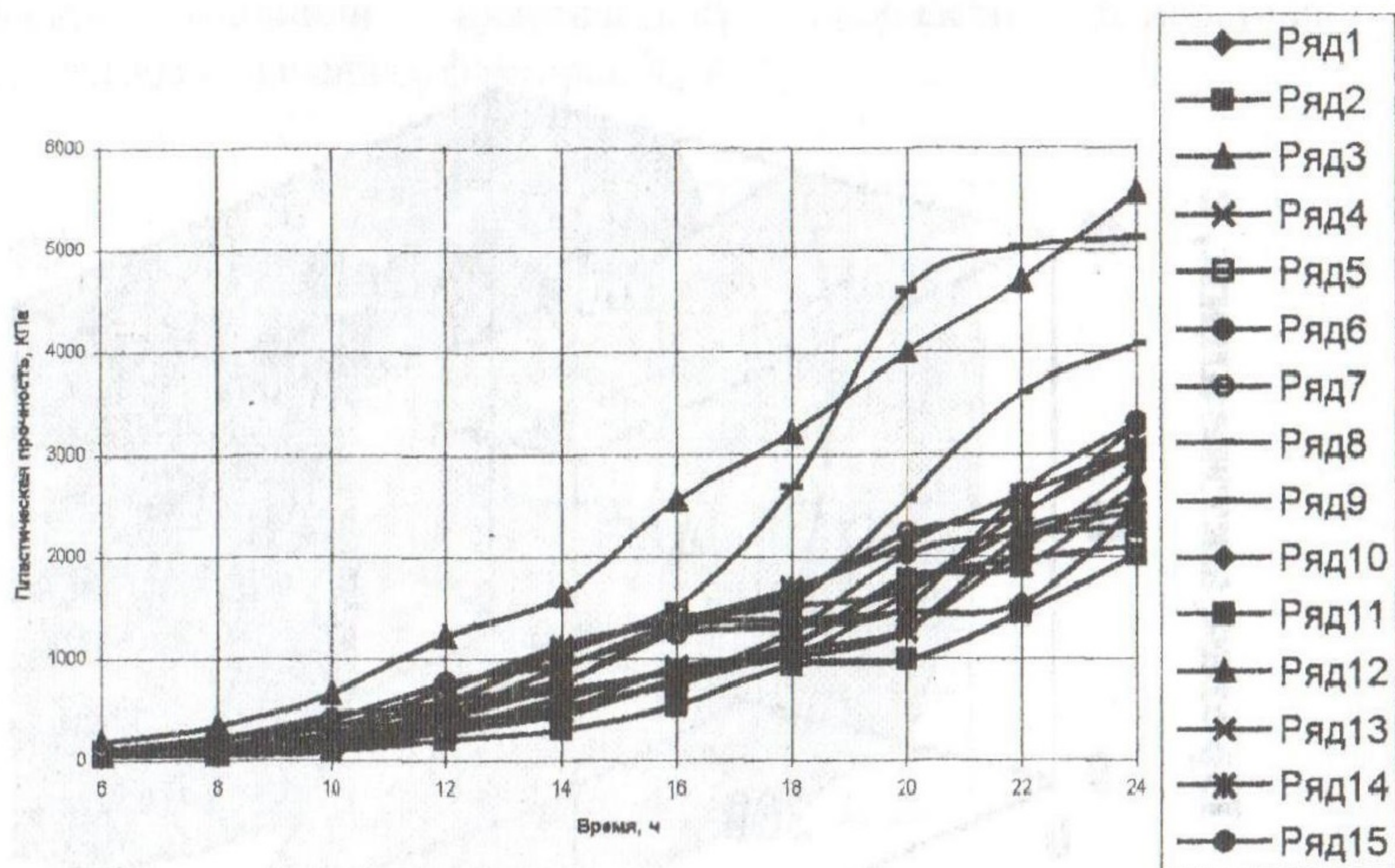


Рис. 1. Кинетика структурной прочности пенобетона

Таблица 2

№ строки плана	Пластическая прочность, кПа	Скорость нарастания пластической прочности, кПа/ч	Интенсивность нарастания пластической прочности, кПа/ч ²	Коэффициент аппроксимации
1.	$0,35t^3 - 5,24t^2 + 40,1t - 29,3$	$1,05t^2 - 10,4t + 40,1$	$2,1t - 10,4$	0,99
2.	$0,19t^3 - 1,4t^2 + 6,2t + 16$	$0,57t^2 - 2,8t + 6,2$	$1,04t - 2,8$	0,99
3.	$0,13t^3 + 2,28t^2 - 24,8t + 47,2$	$0,39t^2 + 4,6t - 24,8$	$0,78t + 4,6$	0,99
4.	$0,16t^3 + 0,99t^2 - 10,06t + 30,8$	$0,48t^2 + 2t - 10,06$	$0,96t + 2$	0,98
5.	$-0,12t^3 + 8,9t^2 - 57,3t + 70$	$-0,36t^2 + 17,8t - 57,3$	$-0,72t + 17,8$	0,987
6.	$-0,06t^3 + 9,6t^2 - 79,6t + 110,9$	$-0,27t^2 + 19,2t - 19,6$	$-0,54t + 19,2$	0,97
7.	$0,01t^3 + 7,04t^2 - 42,5t + 48,4$	$0,03t^2 + 14t - 42,5$	$0,06t + 14$	0,99
8.	$0,29t^3 + 0,88t^2 + 4,2t + 7,1$	$0,78t^2 + 1,7t + 4,2$	$1,56t + 1,7$	0,99
9.	$-0,15t^3 + 20t^2 - 167t + 227$	$-0,42t^2 + 14,2t - 167$	$0,84t + 14,2$	0,96
10.	$-0,07t^3 + 6,6t^2 - 27,7t + 31,2$	$-0,21t^2 + 13,2t - 27,7$	$-0,42t + 13,2$	0,96
11.	$0,04t^3 + 5,3t^2 - 25,1t + 29,5$	$0,12t^2 + 10,6t - 25,1$	$0,24t + 10,6$	0,99
12.	$-0,22t^3 + 19t^2 - 105t + 102$	$-0,66t^2 + 38t - 105$	$-1,32t + 38$	0,99
13.	$0,12t^3 + 2,4t^2 - 17,7t + 40,4$	$0,38t^2 + 4,8t - 17,7$	$0,72t + 4,8$	0,99
14.	$-0,12t^3 + 10,5t^2 - 58t + 58$	$-0,36t^2 + 38t - 105$	$-0,72t + 21$	0,99
15.	$0,32t^3 - 4,6t^2 + 62,8t - 64,4$	$0,96t^2 - 8,2t + 62,8$	$1,92t - 8,2$	0,98

На основании полученных математических моделей в системе "COMPEX" построены изоповерхности этих свойств. Изоповерхность пластической прочности приведена на рисунке 2.

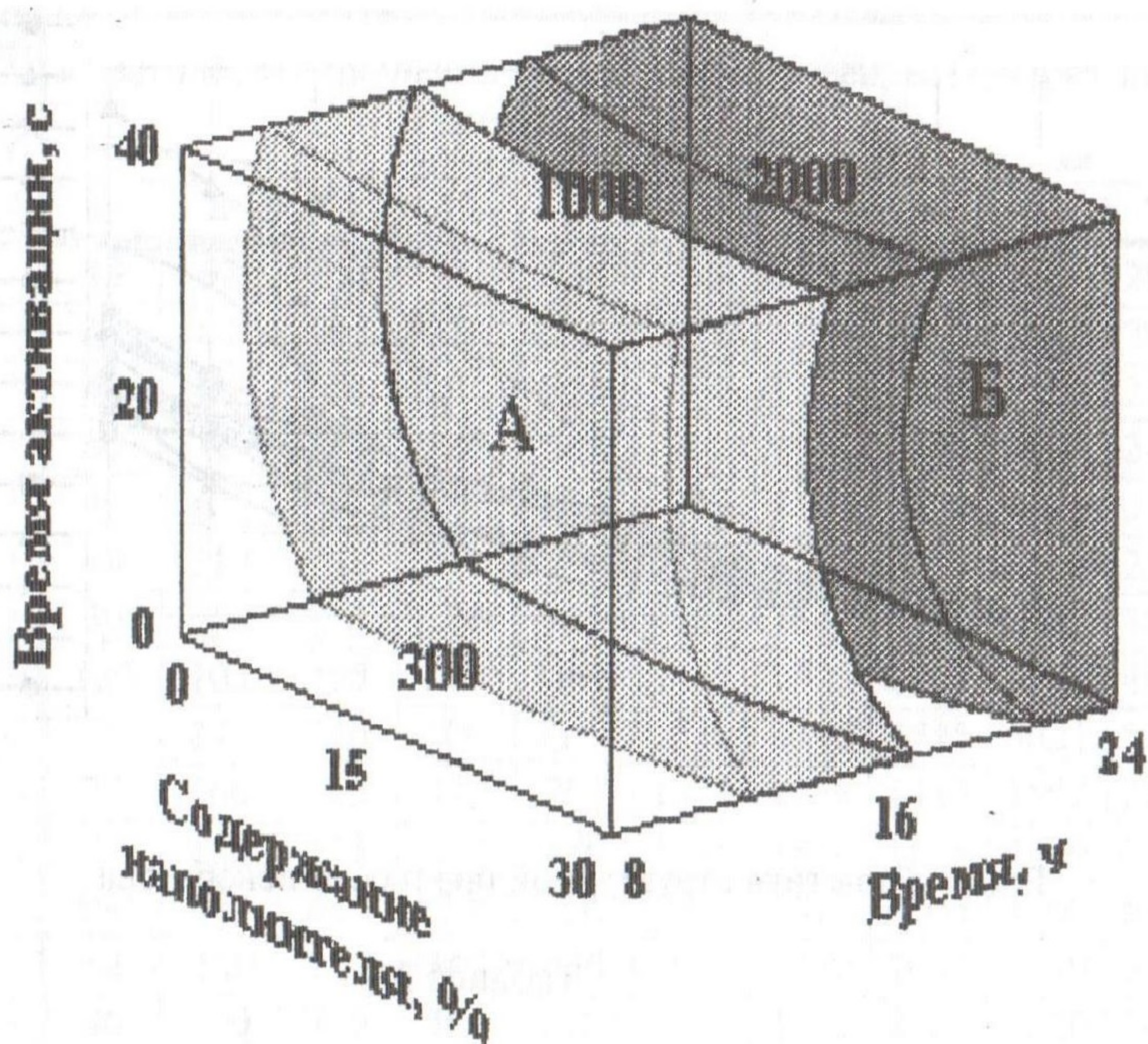


Рис. 2. Изоповерхности пластической прочности (кПа) пенобетона при содержании добавки ускорителя твердения 1,5%.

На рисунке выделены две области А и Б. Область А ограничивается значениями пластической прочности, при которой целесообразно производить разрезку пенобетонного массива на отдельные изделия. Нижняя граница (300 кПа) - минимальная пластическая прочность, регламентируемая СН-277-80 "Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона", при которой можно производить разрезку массива. Верхняя граница (1000 кПа) назначена из следующих соображений: при такой структурной прочности сырца не происходит отрывов частей массива в конечных точках движения струны и соблюдается правильность геометрических форм изделий и точность их размеров. Область соответствует прочности пенобетона, при которой возможна ручная разопалубка изделий, изготовленных в индивидуальных формах.

Для наглядной демонстрации влияния выбранных в эксперименте переменных факторов изоповерхности пластической прочности спроецированы на плоскость факторов X_3 и X_4 , и в двухмерном измерении

построены изолинии пластической прочности пенобетона при фиксированных значениях факторов X_1 и X_2 .

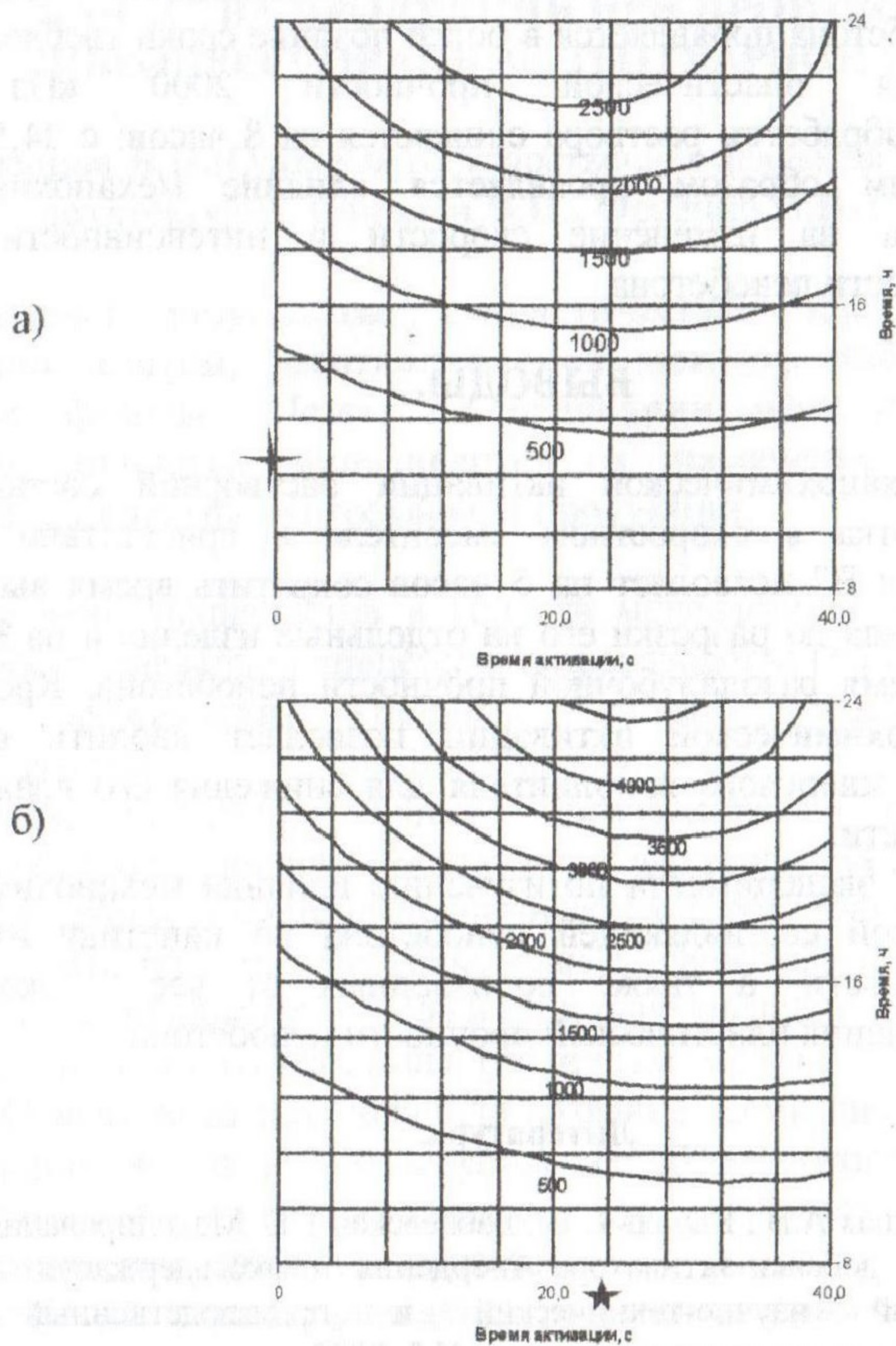


Рис.3. Изолинии пластической прочности пенобетона: а - при содержании наполнителя 30% и содержании добавки 0%; б - при содержании наполнителя 30% и содержании добавки 3%.

На рисунке 3а звездочкой обозначено расположение состава пенобетона в контрольной точке, при котором достигается прочность в 300 кПа. Такая прочность достигается через 13 часов после приготовления пенобетона. Передвигаясь вдоль изолинии 300, на рис. 3б можно определить, что для достижения пластической прочности пенобетоном в 300 кПа достаточно 8 часов выдержки. Для этого необходимо вводить в состав смеси до 3%

добавки ускорителя твердения “Релаксол-Универсал В” и активировать растворную составляющую в скоростном смесителе в течение 20 с. Еще большая эффективность механохимической активации растворной составляющей пенобетона проявляется в более поздние сроки твердения. Так, время достижения пластической прочности 2000 кПа после механохимической обработки раствора снижается на 8 часов: с 24,5 до 16,5 часов. Аналогичным образом проявляется влияние механохимической активации раствора на изменение скорости и интенсивности набора пластической прочности пенобетона.

ВЫВОДЫ.

Применение механохимической активации растворной составляющей пенобетона (обработка в скоростном смесителе в присутствии добавки “Релаксол-Универсал В” позволяет на 5 часов сократить время вызревания пенобетонного массива до разрезки его на отдельные изделия и на 8 и более часов сократить время разопалубочной прочности пенобетона. Кроме того, применение механохимической активации позволяет вводить в состав пенобетона до 30% инертного наполнителя для снижения его влажностной усадки и себестоимости.

Проведен анализ эксперимента по изучению влияния механохимической активации растворной составляющей пенобетона на кинетику изменения пластической прочности, а также производных от нее – скорости и интенсивности изменения пластической прочности пенобетона.

Литература.

1. Ушеров-Маршак А.В., Коваль С.В., Бабаевская Т.В. Моделирование влияния комплексной добавки-активатора твердения шлакосодержащего цемента. Всеукраинский научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы и изделия», №5, 2002.
2. Барабаш Т.И., Выровой В.Н., Барабаш И.В. Свойства твердеющих механоактивированных цементных композиций // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: РДТУ, 2001, - с. 3-7.