

НЕАВТОКЛАВНЫЙ ПЕНОБЕТОН С АКТИВИРОВАННОЙ РАСТВОРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

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

На основании экспериментальных данных показано, что при использовании механохимической активации растворной составляющей пенобетона в скоростном смесителе и за счет перераспределения характера изменений твердой составляющей возможно в широких пределах регулировать его свойства.

Введение

Опыт промышленного производства неавтоклавного пенобетона накопленный за последние годы позволил выявить определённые недостатки этого материала. По-прежнему остаются нерешёнными вопросы прочности и трещиностойкости. При изготовлении изделий в индивидуальных формах остро стоит вопрос отклонения геометрических размеров от требуемых показателей. Вследствие неравномерности размеров блоков не представляется возможным их монтаж на клеевых составах. Другим недостатком блочного пенобетона является гладкость боковых поверхностей, что ухудшает адгезию штукатурного раствора к поверхности блока и требует дополнительных затрат на устройство арматурных сеток. Кроме того, при производстве неавтоклавного пенобетона на стационарных установках из-за медленного набора прочности снижается оборачиваемость форм, что приводит к удорожанию продукции.

Вместе с тем, несомненные достоинства пенобетона, такие, как возможность получения в неавтоклавном варианте, неизменность объёма в процессе поризации, доступность сырьевой базы, простота технологии и оборудования оставляет за этим материалом право на будущее. В особенности перспективным видится применение пенобетона, получающим широкое применение в современном строительстве монолитно-каркасном домостроении, в качестве ограждающего материала. Для этого необходимо разработка технологий, направленных на улучшение физико-механических свойств пенобетона.

Цель эксперимента

Повышение прочностных свойств пенобетона путем изменения характера и механических свойств твердой фазы за счет активации растворной составляющей.

Особенности постановки эксперимента

Для достижения цели, был реализован трехфакторный эксперимент с применением математических методов планирования эксперимента. Эксперимент проводили согласно стандартному плану Бокса-Бенкина типа В-3.

Выбор переменных факторов, а также уровней их варьирования базировался на основании априорной информации. Из множества рецептурно-технологических факторов, оказывающих влияние на качество пенобетона, были выбраны факторы, с одной стороны, оказывающие влияние на кинетику роста пластической прочности и на конечную прочность пенобетона, а, с другой стороны, повышающие эффективность вяжущего вещества, ускоряющие и повышающие степень гидратации цемента. Выбор факторов с такими качественными характеристиками в конечном итоге позволяет из множества рецептурно-технологических сочетаний подобрать такие, которые обеспечивали бы получение пенобетона не только с требуемыми физико-механическими показателями, но и наиболее приемлемые по экономическим параметрам.

В качестве таких факторов были выбраны: X_1 – содержание наполнителя в смеси с цементом (долях единиц), (Ц); X_2 – содержание добавки ускорителя твердения цемента (в % к массе цемента по сухому веществу) (Д); X_3 – время активации растворной смеси в реакторе быстросходного смесителя (А), с.

При выборе факторов и назначении уровней варьирования руководствовались следующими предпосылками.

Фактор X_1 – содержание наполнителя в смеси с цементом. Известно, что с повышением количества вяжущего прочность поризованных композиционных строительных материалов повышается. Однако, в ячеистых бетонах содержание твердых составляющих, в том числе и вяжущего, ограничивается обеспечением требуемой средней плотности материала. С другой стороны, вяжущее как компонент сырьевой смеси является наиболее дорогостоящим, и его вклад в себестоимость материала наиболее значим. Еще одним аргумент в сторону ограничения

расхода цемента объясняется спецификой пенобетона неавтоклавного твердения.

Процесс твердения и затвердевания пенобетона неавтоклавного твердения сопровождается значительными объемными изменениями, что в конечном итоге приводит к образованию трещин и снижению его физико-механических свойств. Основными источниками объемных изменений являются химические реакции гидратации цемента (контракционная усадка) и влажностная усадка. Оба вида объемных изменений напрямую связаны с расходом цемента. С увеличением расхода цемента и в процессе его гидратации увеличивается количество гидратных новообразований, объем которых меньше объема исходных реагентов – причина контракции. С другой стороны, с увеличением количества цемента возрастает количество цементного геля. Впоследствии, после дегидратации жидкости, возникают усадочные трещины. Увеличению усадочных деформаций в результате потери влаги в материале способствует повышенное начальное количество воды затворения. Количество воды затворения также напрямую связано с расходом цемента – компонентом сырьевой смеси, обладающим наибольшей водопотребностью. Для снижения расхода цемента в состав сырьевой смеси в соответствии с планом эксперимента вводили определенное количество наполнителя. На верхнем уровне фактора X_1 содержание наполнителя ограничено 30% от массы твердых составляющих. Это связано с тем, что, как показали предыдущие эксперименты, увеличение содержания наполнителя более 30% в составе сухих компонентов для пенобетона средней плотностью 600 кг/м^3 приводит к значительному снижению прочности.

Фактор X_2 – содержание химической добавки ускорителя твердения. Современные композиционные строительные материалы невозможно представить без применения химических добавок. Химические добавки вводят для придания строительным растворам соответствующих качеств, в готовых материалах – усиления функциональных показателей, снижению энергоемкости процесса производства.

Выбор химических добавок производят, как правило, по следующим критериям: достижению требуемого эффекта, доступности, стоимости, соответствию санитарно-гигиеническим требованиям.

В эксперименте применялась добавка ускоритель твердения цемента “Релаксол - Универсал” компонент Б производства ООО “Будиндустрия” г. Запорожье (Украина) [1].

Ускорение набора прочности для пенобетона является весьма актуальной проблемой. Необходимость применения растворной смеси с повышенными значениями водоцементного отношения, вызванные

технологическими особенностями производства, а также влиянием пенообразователей на процесс гидратации цемента в значительной мере замедляют время твердения пенобетона, что негативно сказывается на производительности технологических линий.

Фактор X_3 – время активации растворной смеси в скоростном смесителе. Кроме химических добавок в технологии строительных материалов применяют другие способы активации. К таким способам относятся активация, как исходных сырьевых материалов, так и полуфабрикатов. Все они связаны с дополнительным подводом энергии на определенных этапах изготовления материала. Вид, место подвода энергии и длительность воздействия определяется поставленной целью, технологическими особенностями производства, экономическими параметрами. В технологии строительных материалов наиболее широко применяется тепловое воздействие, электрическое, магнитное, электромагнитное, механическое. Тепловая обработка бетонов паром или электричеством используется для ускорения набора прочности [2]. На стадии активации бетонных и растворных смесей применяют электро-разогрев и пароразогрев [3]. Известны также способы управления свойствами материалов за счет активации жидкости затворения – омагничивание воды [4]. Однако наиболее широкое применение в производстве строительных материалов получила механохимическая активация. Вопрос механохимической активации сырьевых материалов особенно актуален в технологии ячеистых бетонов. Это вызвано условиями обеспечения устойчивости поризованной структуры, ускоренного набора структурной прочности, обеспечения создания достаточного количества цементирующих новообразований. Для этого производят помол как отдельных сырьевых материалов (помол песка), так и совместный помол песка с вяжущими в различных помольных агрегатах (шаровые мельницы, вибромельницы, стержневые, струйные мельницы). А.Хинтом предложен способ активации известково-кремнеземной смеси в механических устройствах-дезинтеграторах [5]. Известны также способы активации вяжущего или растворной составляющей в быстросходных смесителях. При этом способе увеличивается степень гидратации вяжущих веществ, что приводит к ускоренному росту структурной прочности и повышению марочной прочности. В эксперименте был применен именно этот способ. Растворную смесь активировали в лабораторном скоростном смесителе, разработанном И.В. Барабашом [6].

Выбор факторов и интервалов их варьирования произведен таким образом, что позволяет сравнить различные способы приготовления пенобетона. Первая точка плана эксперимента (все факторы находятся

на нижнем уровне варьирования) принята как контрольная. Движение вдоль оси фактора X_1 позволяет определить влияние количества наполнителя на свойства пенобетона. Движение вдоль оси фактора X_2 или X_3 позволяет определить степень влияния способов активации (условно названных химической или механической) на изменение свойств пенобетона. В остальных точках рецептурно-технологического поля сказывается корпоративное воздействие принятых в эксперименте переменных факторов (механохимическая активация).

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

Таким образом, особенность постановки эксперимента заключается в том, что его результаты позволяют проанализировать и сравнить различные технологии получения пенобетона.

Физико-механические свойства, а также деформативные характеристики ячеистых бетонов во многом определяются температурно-влажностными условиями среды, в которой происходит формирование первоначальной структуры, а также набора последующей прочности.

Как отмечает П.А.Ребинедер, «... при равной степени гидратации и равном объеме и составе гидратных новообразований теоретическая прочность цементных ячеистых бетонов нормального твердения будет всегда выше прочности тех же бетонов автоклавного твердения» [7].

Вследствие этого, одной из задач эксперимента была задача изучения условий твердения на прочность пенобетона. Для этого часть образцов хранилась в камере нормального твердения и испытывалась на 28-е сутки хранения (марочная прочность), часть образцов хранилась в естественных условиях (условиях окружающей среды). Также часть образцов подвергали тепловой обработке в герметичной камере, оснащенной электрическими нагревателями (температура изотермического прогрева 50°C , время – 8 часов). После этого одни образцы испытывали непосредственно после тепловой обработки, а другие помещали в камеру нормального твердения и испытывали на 28-е сутки твердения.

Результаты эксперимента и их интерпретация

В таблице приведены результаты прочности пенобетона, твердеющего в нормально-влажностных условиях в течение 28-ми суток (марочная прочность) в МПа, а также относительная прочность пенобетона при различных условиях твердения в процентах к марочной.

Таблица. Матрица планирования эксперимента и прочностные характеристики пенобетона

№ п/п	Факторы			Марочная прочность пенобетона, МПа	Прочность, в % к марочной		
	X ₁	X ₂	X ₃		после ТВО	28-е сутки естественного твердения	28-е сутки после ТВО
	Н	Д	А				
1	-	-	-	1,2	58	83	108
2	+	-	-	1,1	45	73	100
3	-	+	-	3,4	47	62	82
4	+	+	-	1,9	37	47	63
5	-	-	+	2,7	52	81	89
6	+	-	+	2,6	58	69	100
7	-	+	+	4,1	63	80	100
8	+	+	+	2,4	63	75	79
9	-	0	0	3,7	62	81	97
10	+	0	0	2,7	59	78	111
11	0	-	0	1,8	50	72	100
12	0	+	0	2,9	48	79	86
13	0	0	-	1,7	47	65	76
14	0	0	+	3,0	47	80	97
15	0	0	0	2,7	48	74	89

Анализ изменения прочностных характеристик пенобетона неавтоклавно-го твердения проведен, приняв за основу пенобетон, твердевший в нормально влажностных условиях в течение 28-ми суток (марочная прочность). В соответствии с ДСТУ 2.7-45-96 “Бетони нiздрюватi. Технiчнi вимоги” минимальная прочность для пенобетона неавтоклавно-го твердения средней плотности в сухом состоянии 600 кг/м^3 составляет 1,5 МПа, максимальная – 2,5 МПа. На рисунке изображены изо-поверхности прочности пенобетона. В контрольной точке (все переменные факторы находятся на нижнем уровне варьирования) прочность составляет 1,4 МПа, что ниже регламентируемой стандартом. При этом необходимо отметить, что в этой строке пенобетон изготовлен из 100% цемента, т.е. без наполнителя, что приводит, с одной стороны, к повышенной стоимости, а с другой стороны, к другим отрицательным последствиям, охарактеризованным выше. Получение пенобетона с требуемыми показателями возможно только за счет интенсификации процесса гидратации портландцемента.

Графики свидетельствуют, что наибольшее приращение прочности (до 325%) происходит при максимальном содержании добавки (3%), содержании цемента 100% и времени активации раствора в скоростном смесителе в пределах 20-30 с. На этих графиках также наглядно проявляются синергетические эффекты взаимного влияния факторов. Так, в пенобетоне, полученном без введения добавки «Релаксол», прочность возрастает в прямо пропорциональной линейной зависимости от времени активации раствора. Введение и последующее повышение содержания наполнителя в растворной смеси несущественно влияет на изменение прочности. Применение только активации раствора в скоростном смесителе приводит к увеличению прочности более чем на 150% по сравнению с контрольным составом.

Введение добавки «Релаксол-Универсал» приводит к трансформации характера зависимостей и превращает их из линейной в параболу, что также свидетельствует о значительном взаимодействии факторов X_2 и X_3 . При этом также существенно повышается и прочность пенобетона. Даже в области факторного пространства с максимальным содержанием наполнителя, по сравнению с контрольным составом, прочность пенобетона возрастает на 125 – 200%.

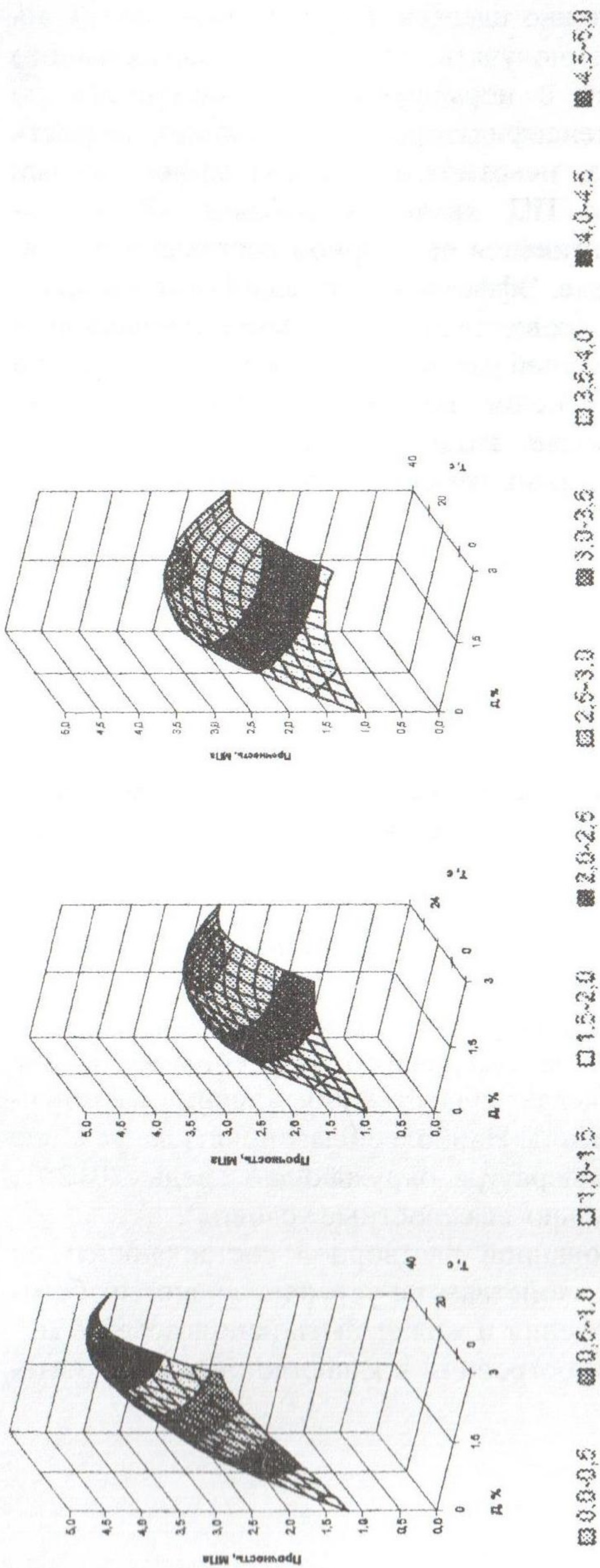


Рисунок. Изоповерхности прочности пенобетона при содержании наполнителя:
 а – 0%; б – 15%; в – 30%.

Главный вывод, который можно сделать после анализа изменения прочности пенобетона, таков: получать пенобетон неавтоклавного твердения на портландцементе с нормируемыми показателями по прочности без применения интенсификаторов, повышающих скорость и степень гидратации цемента, невозможно. Весьма эффективными интенсификаторами твердения ПЦ являются добавка «Релаксол-Универсал» (компонент Б) и активация растворной составляющей пенобетона в скоростном смесителе. Эффективность еще более увеличивается при их взаимодействии (совместном применении добавки «Релаксол» с одновременной активацией раствора), т.е. механохимической активацией. Кроме того, применение механохимической активации растворной составляющей позволяет вводить до 30% и более наполнителя взамен дорогостоящего портландцемента, что приводит к снижению себестоимости продукции.

Выводы

1. В рецептурно-технологическое поле эксперимента прочность пенобетона твердеющего в нормально-влажностных условиях изменяется от 1,1 до 4,4 МПа. При этом активация растворной смеси в зависимости от уровня других факторов приводит к повышению прочности до 325% по сравнению с контрольной точкой плана эксперимента.
2. Температурно-влажностные условия, в которых формируется прочность пенобетона неавтоклавного твердения на основе портландцемента, оказывает существенное влияние на конечную прочность пенобетона. Наиболее благоприятные условия набора прочности: температура окружающей среды $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, влажность 98% (нормально-влажностные условия).
3. Пенобетон с активированной растворной составляющей по физико-механическим свойствам не уступает ячеистым бетонам автоклавного твердения и может быть использован в монолитно-каркасном домостроении в качестве стенового материала.

Литература

1. Коваль С.В., Бабаевская Т.В., Рябых С.В., Савченко С.В. Планирование технико-экономического эффекта от применения добавки «Релаксол». – Химические и минеральные добавки в цементы и бетоны: Сб. докл. межд. науч.-практ. конф. – Запорожье. – 2002. – с. 168-172.
2. Волженский А.В., Чистов Ю.Д., Грибаков В.Н., Высоцкий С.А. Теплогазовая обработка ячеистого бетона // Строительные материалы. – 1972. – № 11. – С. 31-32.
3. Долговечность конструкций из автоклавных бетонов // Тез. докл. П респ. конф. – Таллинн, 1975. – 304 с.
4. Опекун В.В. Конструкційно-теплоізоляційні будівельні матеріали на основі активованих сировинних компонентів. К.: Видавництво „Академперіодика”. – 2001. – 215 с.
5. Хинт А.И., Кузьминов В.А. Производство силикальцита и его применение в жилищном строительстве. – Таллинн: ГНТК СМ Эстонской ССР. – 1958. – 216 с.
6. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин. – Одеса: „Астропринт”. – 2002. – 99 с.
7. Материалы четвертой конференции по ячеистым бетонам. Саратов-Пенза: Приволжское книжное издательство. – 1969. -598 с.