

создания искусственных каменных конгломератов, получившие наибольшее развитие для цементных бетонов и показавшие громадные возможности совершенствования структуры и свойств материалов за счет комплексных модификаторов и интенсивной технологии.

Дальнейшее развитие технологии цементных бетонов будет происходить в направлении применения все более тонких компонентов бетона и перехода к строительным композитам гидратационного твердения на основе ультрадисперсных компонентов и специальной технологии. В области модификаторов будет осуществляться переход к конкретному адресному созданию молекулярной структуры добавки в соответствии с ее предназначением.

УДК 620.18:666.7

*Керш В.Я., канд.техн.наук, проф.,
Холдаева М.И., ст. преп., Штец А.В., ассистент
Одесская государственная академия
строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ С ПОЛИСТИРОЛЬНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Возрастающие требования к теплозащите ограждающих конструкций требуют разработки и применения эффективных энергосберегающих материалов и изделий на их основе. К таким высокоэффективным строительным материалам относятся легкие бетоны на минеральных вяжущих с заполнителем в виде вспененных полистирольных гранул.

Достаточно распространенным в настоящее время является **полистиролбетон** – композиционный материал, в состав которого входят портландцемент, пористый заполнитель - гранулы пенополистирола и, как правило, кварцевый песок в качестве наполнителя. Полистиролбетон обладает рядом преимуществ перед другими конструктивно-теплоизоляционными материалами: пониженной теплопроводностью и сорбционной влажностью, водонепроницаемостью, улучшенными показателями по морозостойкости, устойчивостью к колебаниям рецептуры и технологии.

Наряду с легкими бетонами на цементных вяжущих, весьма перспективными представляются материалы и изделия на основе **гипсовых вяжущих**, которые характеризуются хорошей огнестойкостью, звукоизолирующей способностью, гигиеничностью, широким диапазоном прочностных характеристик и малой теплопроводностью. Применение в качестве легкого заполнителя гранул вспененного полистирола позволяет снизить плотность материала, улучшить теплозащитные и звукоизоляционные свойства, экономить вяжущее.

В отличие от минеральных заполнителей, дозировка пенополистирола задается не по массе, а по объему. Таким образом, можно точно задать объем пор и, благодаря этому, плотность полистиролбетона или гипсополистиролбетона.

Влияние рецептурно-технологических факторов (РТФ) на физико-механические характеристики таких сложных многокомпонентных систем как легкие бетоны с пенополи-

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

стирольным наполнителем наиболее продуктивно исследовать методами экспериментально-статистического моделирования на базе планированных экспериментов [1]. В данной работе рассматриваются вопросы моделирования и оптимизации свойств полистиролбетона (ПСБ).

Основной технологической проблемой при использовании полистиролбетона является расслаивание смеси. Эта проблема обычно решается введением в состав смеси кремнеземистого наполнителя. Повышение плотности материала при этом сопровождается ухудшением теплозащитных свойств.

При полной или частичной замене кварцевого наполнителя полыми зольными микросферами можно существенно снизить плотность и теплопроводность полистиролбетона [2]. Вместе с тем, введение микросфер повышает водопотребность смеси, поэтому для снижения расхода воды целесообразно использование пластифицирующих добавок.

Пластифицирующий эффект сопровождается уплотнением полистиролбетонной смеси. Уменьшение объема смеси может быть скомпенсировано воздухововлечением за счет использования воздухововлекающих добавок, что предпочтительно с точки зрения минимизации теплопроводности.

С целью анализа влияния РТФ на физико-механические характеристики конструкционно – теплоизоляционного ПСБ выполнен ряд экспериментов. Предварительными исследованиями установлены наиболее значимые факторы и пределы их варьирования.

В трехфакторном эксперименте по плану V_3 изменялись количество и гранулометрический состав наполнителя – микросфер, а также количество воздухововлекающей добавки при постоянном расходе пластификатора (0,15% от массы цемента). Объемное содержание пенополистирольного наполнителя принято 0,87. Факторы и уровни варьирования приведены в таблице 1.

Изготовлены 15 опытных образцов плотностью 500 – 700 кг/м³ и определены их прочностные свойства, теплопроводность, сорбционная влажность, водопоглощение и влажностная усадка.

Математические модели для ряда свойств: плотности, теплопроводности, прочности при сжатии, усадочной деформации, водопоглощению по массе и сорбционной влажности построены с применением программы “COMPEX”, разработанной на кафедре ПАТСМ ОГАСА и проанализировано влияние РТФ на конечные свойства полистиролбетона.

Таблица 1 – Факторы, уровни и интервалы варьирования переменных

ФАКТОРЫ	Ед. изм.	Уровни варьирования		
		-1	0	1
X_1 – содержание микросфер	%	5	15	25
X_2 – размеры микросфер	мм	мелкие – м (0÷0,07мм)	смесь м/к 1:1	крупные – к (0,15÷0,24мм)
X_3 – содержание воздухововл. добавки	%	0,5	1,0	1,5

Графические изображения изоповерхностей отклика моделей теплопроводности и прочности показаны на рис. 1 – 2.

Основное влияние на теплопроводность оказывает содержание микросфер, с увеличением которых теплопроводность уменьшается (рис. 1). Значительно меньшее влияние на теплопроводность в исследованном факторном пространстве оказывает содержание воздухововлекающей добавки. Эффект от учёта гранулометрии микросфер минимален.

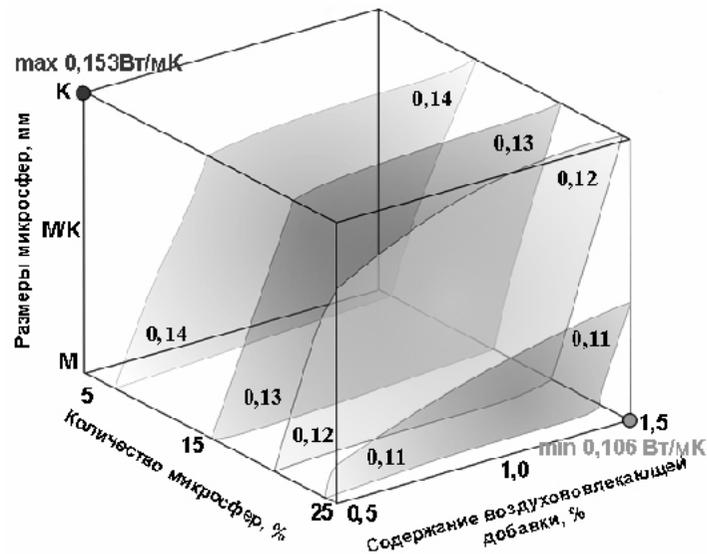


Рисунок 1 - Влияние варьируемых факторов на теплопроводность полистиролбетона

Наибольшее влияние на прочность при сжатии оказывает содержание микросфер, с увеличением которых прочность при сжатии уменьшается (рис. 2). Такое же, но в меньшей степени, влияние на прочность при сжатии в исследованном факторном пространстве оказывает содержание воздухововлекающей добавки. Изменение гранулометрического состава микросфер от мелких к крупным приводит к некоторому снижению прочности.

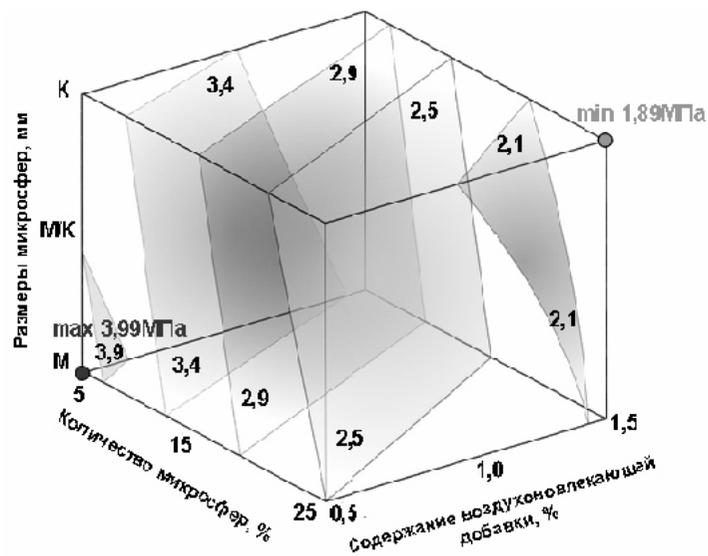


Рисунок 2 - Влияние варьируемых факторов на прочность при сжатии полистиролбетона

Теплопроводность и прочность полистиролбетона связаны между собой обратной зависимостью, что подтверждается анализом графиков на рис. 1 и 2, то есть снижение теплопроводности полистиролбетона за счет уменьшения плотности приводит к падению его прочности. Решить проблему можно путем компромиссной оптимизации, позволяющей получить полистиролбетон с минимально возможной в исследованном факторном пространстве теплопроводностью при допустимой прочности материала.

В настоящих исследованиях заданы следующие критерии качества полистиролбетона:

- прочность при сжатии $R_{сж} \geq 2,5$ МПа;
- коэффициент теплопроводности $\lambda \leq 0,13$ Вт/м·К.

Эта задача решается в результате наложения соответствующих трёхфакторных диаграмм (изоповерхностей свойств), отражающих зависимости свойств от рецептурных факторов (рис. 3).

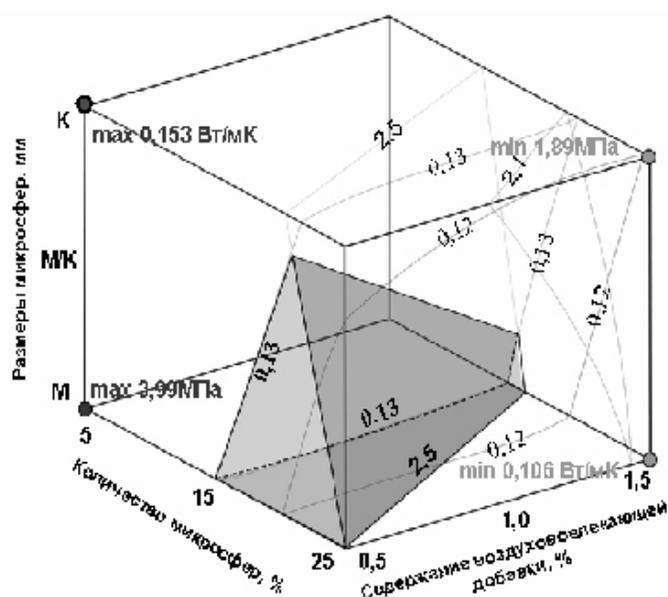


Рисунок 3 - Оптимизация теплопроводности и прочности полистиролбетона

На рисунке выделена область рецептурных решений, удовлетворяющая указанным параметрам полистиролбетона по прочности на сжатие и коэффициенту теплопроводности. Материал с заданными свойствами можно получить, вводя в полистиролбетонную смесь мелкие (или комбинацию мелких с крупными) микросферы в количестве от 15 до 25% при малых расходах воздухоовлекающей добавки, причем с повышением количества добавки до 1,5% область рациональных решений сужается.

В проведенном исследовании плотность опытных образцов изменялась в достаточно широком диапазоне. Влияние плотности на теплофизические и механические свойства полистиролбетона достаточно прогнозируемо, поэтому определенный интерес представляет анализ материалов одинаковой плотности. Поскольку в опытной партии количество равноплотных образцов недостаточно для проведения прямых измерений, принято решение применить предложенный проф. Вознесенским В.А. [3] метод компьютерного материаловедения – изопараметрический анализ.

В вычислительном эксперименте плотность полистиролбетона зафиксирована на уровне 550 ± 1 кг/м³. Анализ зависимости плотности полистиролбетона от рецептурных факторов показал, что наибольшее влияние на плотность оказывает количество наполнителя, поэтому количество микросфер застabilизировано на среднем уровне - ($X_1 = 17\%$). В результате изопараметрического анализа установлено влияние гранулометрического состава (X_2) и количества воздухоовлекающей добавки (X_3) на теплопроводность (рис. 4) и прочность при сжатии (рис.5) полистиролбетона.

Оба фактора X_2 и X_3 оказывают примерно одинаковое по величине, но различное по характеру влияние на теплопроводность и прочность полистиролбетона. Минимальное значение теплопроводности обеспечивается при введении в смесь комбинации мелких и крупных микросфер и воздухоовлекающей добавки в количестве - 1,5%.

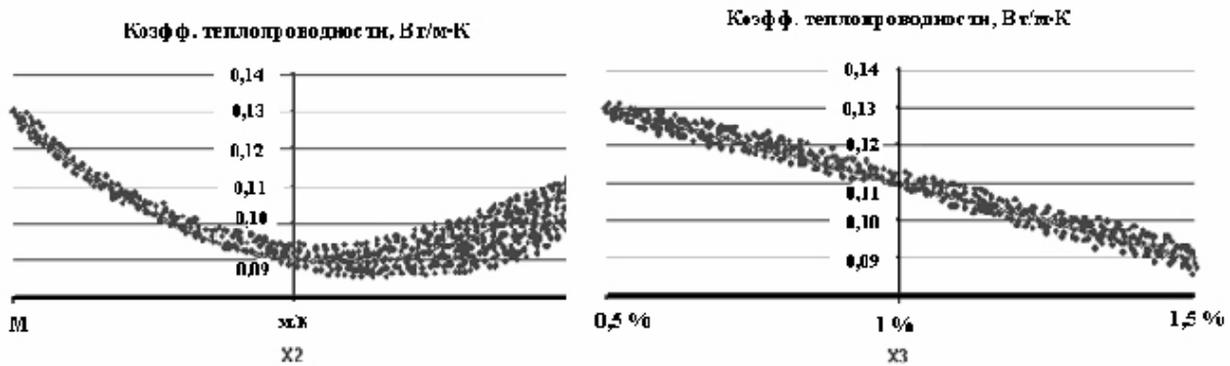


Рисунок 4 - Зависимость теплопроводности полистиролбетона от гранулометрического состава (X2) и количества воздухововлекающей добавки (X3).

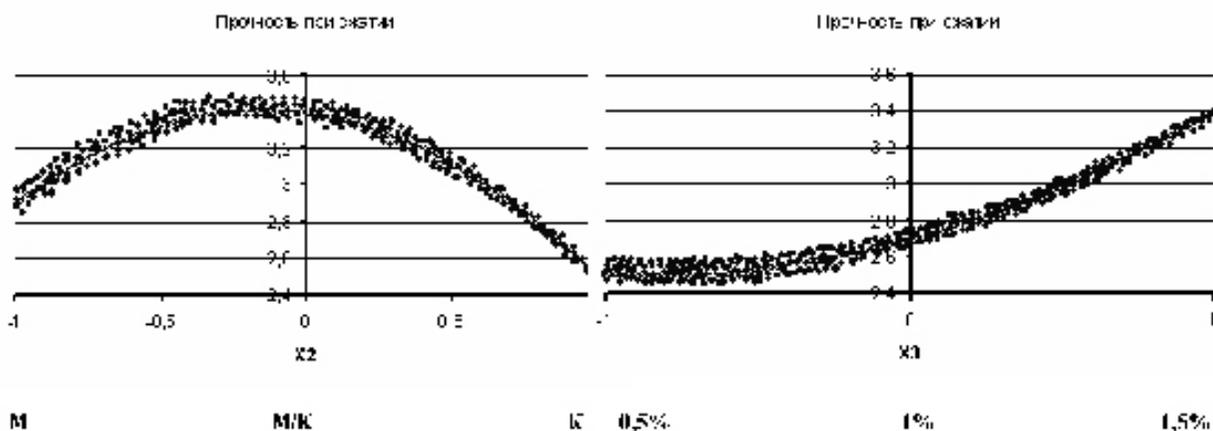


Рисунок 5 - Зависимость прочности при сжатии (МПа) полистиролбетона от гранулометрического состава микросфер (X2) и количества воздухововлекающей (X3) добавки

Предложенный состав полистиролбетона защищен патентом Украины [4] и применен при возведении стен двух двухэтажных зданий общей площадью 450м².

ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский В.А. Современные методы оптимизации композиционных материалов /Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я и др. - Киев: Будівельник, 1983. –144с.
2. В.Я. Керш Модификация твердой составляющей полистиролбетона / В.Я. Керш, Н.В. Дмитриева, М.И. Холдаева // Вісник ОДАБА. – Одеса: «Місто майстрів», 2006. - вип. №23. - С.100-104.
3. Вознесенский В.А. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов/ В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов// - К.: Будивельник, 1989.- С. 55-97.
4. Патент на корисну модель №39515 Україна, МПК (2009)УАС 04 В 14/02.Суміш для приготування полістиролбетону/ Дорожкін В.В., Керш В.Я., Керш Д.В., Холдаєва М.І., Бюл. № 4, 2009 р.