

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО АРБОЛИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРСЕЛИКАТНОЙ КОМПОЗИЦИИ

*А.К. Матыева* – инженер,

*В.М. Курдюмова* – докт. техн. наук  
КГУСТА

---

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований по оптимизации рецептуры и свойств поризованного арболита методом математического моделирования эксперимента.

Исследуемый поризованный арболит представляет собой новый композиционный материал многокомпонентного состава из местного сырья. В качестве органического наполнителя нами в работе были использованы солома злаковых (сечка) и добавка древесной стружки

(до 4%), как наиболее доступные и дешевые виды сырья. В качестве полимерсиликатной композиции с пластифицирующими добавками принят состав, состоящий из жидкого натриевого стекла, полиизоцианатной смолы РМДІ, пластификатора ЛСТМ-2.

На основе выполненных ранее исследований выбраны три фактора, варьируемые в эксперименте [1–3]. Для изучения и оценки свойств композиционного материала (ПСГК) был поставлен трехфакторный эксперимент по плану  $B_3$ , где представлены три рецептурных фактора: гипс  $X_1 - (40 \pm 2)\%$ ; сечка соломы  $X_2 - (25 \pm 2)\%$ ; и полимер-силикатная композиция  $X_3 - (6 \pm 2)\%$ .

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Уровень	Фактор, %		
	Гипс, $X_1$	Сечка соломы, $X_2$	Полимер-силикатная композиция, $X_3$
-1	38	23	4
0	40	25	6
+1	42	27	8

Содержание компонентов в сырьевой смеси в указанных границах, исходя из предварительных исследований, обеспечивает физико-механические характеристики конструкционно-теплоизоляционного арболита, соответствующие ГОСТ 19222-84.

Параметрами оптимизации служили: прочность на сжатие (28 сут.), МПа –  $R_{сж}$  ( $Y_1$ ); прочность на изгиб (28 сут), МПа –  $R_{изг}$  ( $Y_2$ ); плотность,  $кг/м^3$  –  $\rho$  ( $Y_3$ ). Критерием оптимизации была выбрана плотность –  $\rho(Y_3) \geq 400$   $кг/м^3$ .

По результатам эксперимента были рассчитаны коэффициенты математических моделей прочности на сжатие, изгиб и плотности полимерсиликатно-гипсовой композиции. С учетом ошибок эксперимента  $S\{R_{сж}\} = 0,13$ ;  $S\{R_{изг}\} = 0,1$  и расчета коэффициентов моделей они имеют вид:

Прочность на сжатие, МПа :

$$R_{сж} = 1,5 + 0,22 x_1 + 0,34 x_1^2 + 0,25 x_1 x_3 + 0,17 x_2 + 0,39 x_2^2 + 0,05 x_2 x_3 + 0,32 x_3 - 0,06 x_3^2. \quad (1)$$

Прочность при изгибе, МПа:

$$R_{изг} = 1,91 + 0,41 x_1 + 0,34 x_1^2 + 0,03 x_1 x_2 + 0,05 x_1 x_3 + 0,39 x_2 + 0,44 x_2^2 + 0,2 x_2 x_3 + 0,5 x_3 + 0,19 x_3^2. \quad (2)$$

Плотность,  $кг/м^3$

$$\rho = 349,8 + 13,6 x_1 + 14,4 x_1^2 + 1,4 x_1 x_2 - 0,4 x_1 x_3 + 15,3 x_2 + 15,9 x_2^2 - 0,4 x_2 x_3 + 1,5 x_3 + 9,9 x_3^2. \quad (3)$$

По моделям прочности ПСГК(1 и 2) предварительно можно отметить, что все три фактора оказывают положительное влияние на прочностные показатели, о чем свидетельствуют положительные линейные эффекты в модели прочности

Таблица 2

План и выходные значения эксперимента по  $B_3$ 

План эксперимента в переменных						$Y_1$ Рсж.(28 сут) МПа	$Y_2$ $R_{изг}$ .(28 сут) МПа	$Y_3$ – плотность, $кг/м^3$
нормализованных			натуральных					
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$			
+	+	+	42	27	8	2,9	4,2	430
+	+	–	42	27	4	2,4	3,6	425
+	–	+	42	23	8	2,7	3,8	420
–	+	+	38	27	8	2,6	3,7	422
–	–	–	38	23	4	1,6	1,8	352
–	–	+	38	23	8	1,8	2,0	360
–	+	–	38	27	4	1,6	1,9	358
+	–	–	42	23	4	1,8	2,0	356
+	0	0	42	25	6	1,9	2,2	362
–	0	0	38	25	6	1,9	2,3	365
0	+	0	40	27	6	2,0	2,4	368
0	–	0	40	23	6	1,9	2,3	362
0	0	+	40	25	8	1,8	2,4	366
0	0	–	40	25	4	1,2	1,8	352
0	0	0	40	25	6	1,3	1,9	353

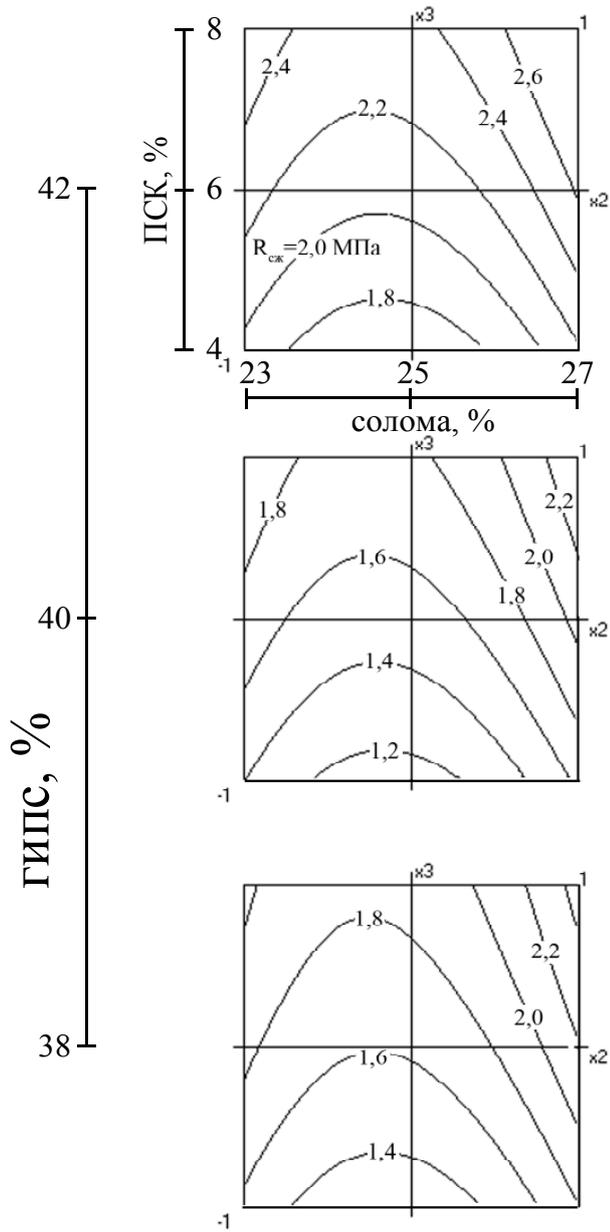


Рис. 1. Изолинии: прочности на сжатие, МПа,  $R_{сж} = f(x_2, x_3)$ ; при  $x_1 = -1; 0; +1$  (содержание гипса).

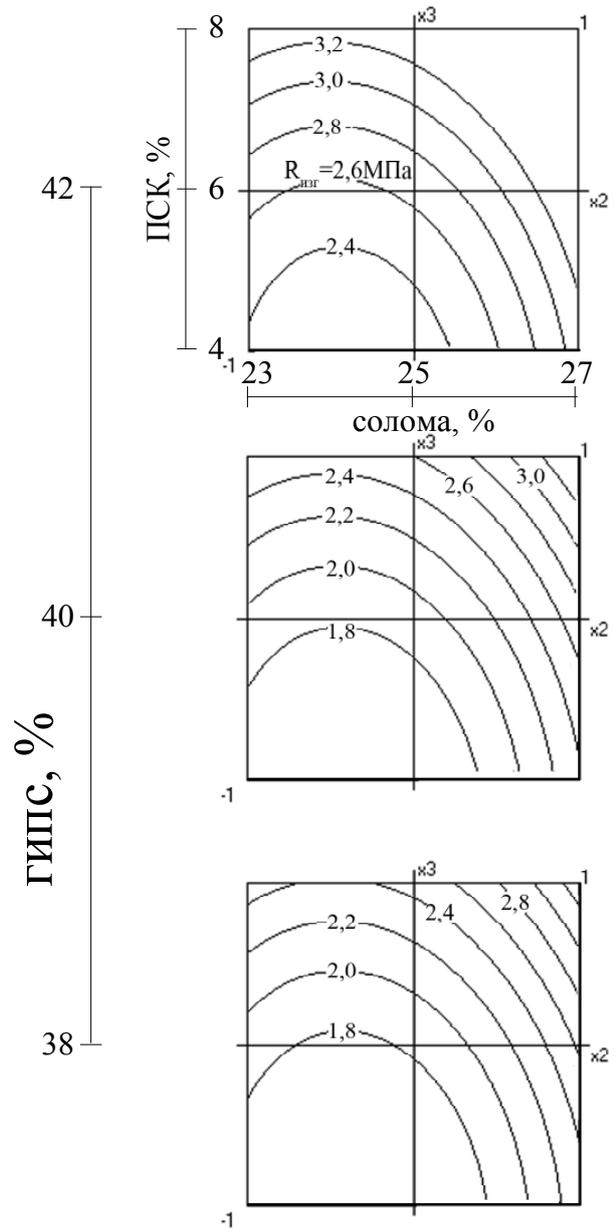


Рис. 2. Изолинии: прочности при изгибе, МПа,  $R_{изг} = f(x_2, x_3)$  при  $x_1 = -1; 0; +1$  (содержание гипса).

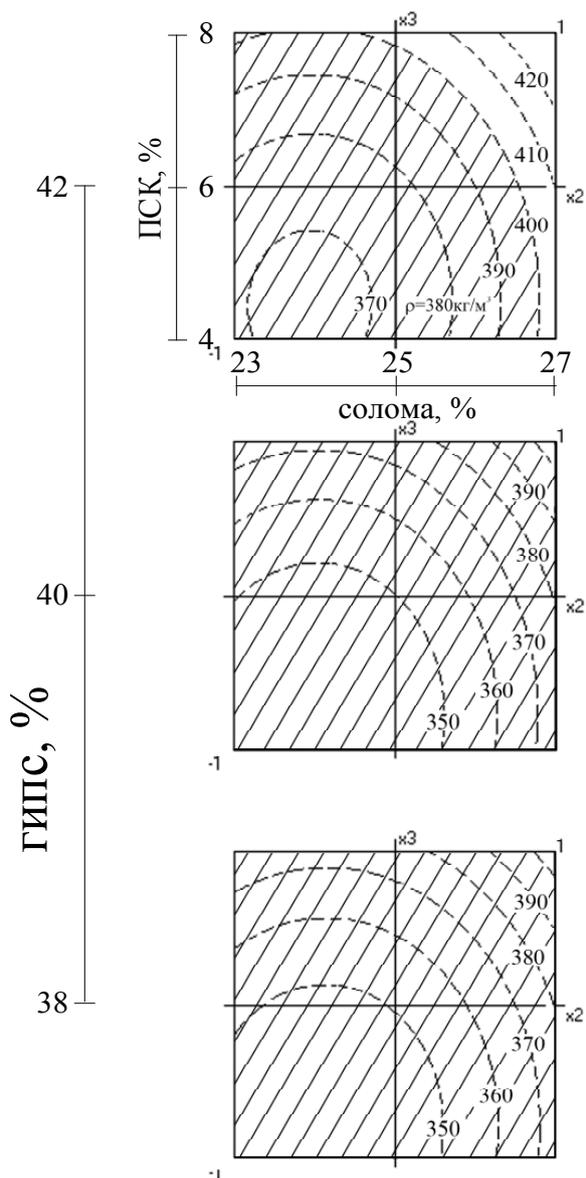


Рис. 3. Изолинии плотности ПСГК  $\rho = f(x_2, x_3)$  при  $x_1 = -1; 0; +1$  (содержание гипса).

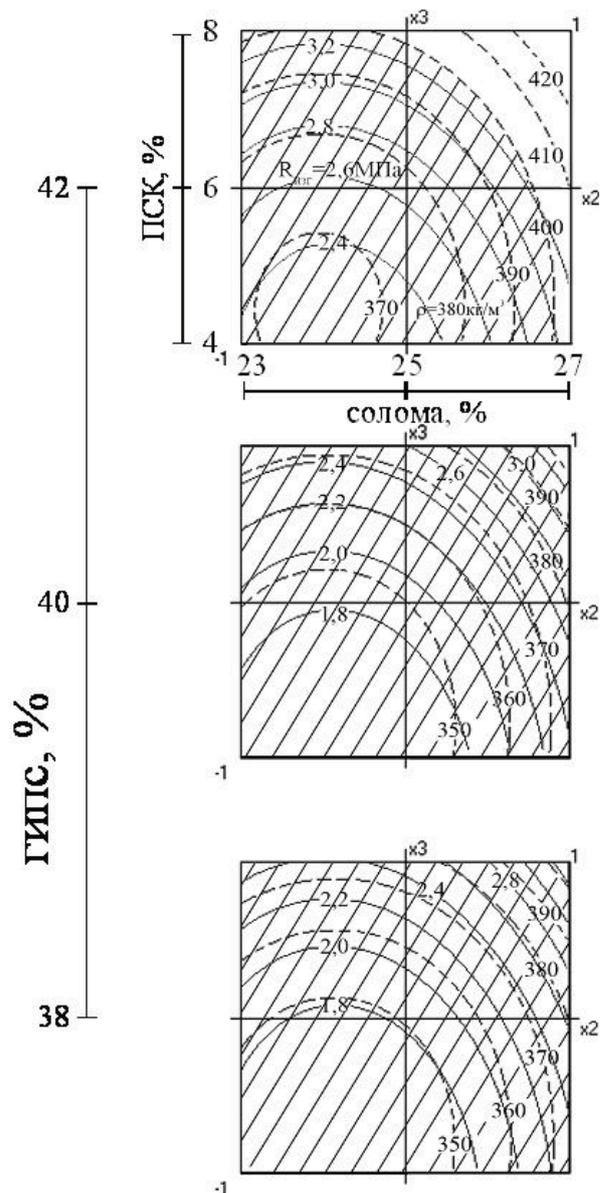


Рис.4. Оптимальная область рецептурных факторов  $x_1, x_2, x_3$  ПСГК (незаштрихованное поле).

на сжатие ( $\epsilon_1 = +0,22$ ;  $\epsilon_2 = +0,17$ ;  $\epsilon_3 = +0,32$ ) и изгиб ( $\epsilon_1 = +0,41$ ;  $\epsilon_2 = +0,39$ ;  $\epsilon_3 = +0,5$ ). Наибольшее влияние на прочностные характеристики ПСГК оказывает добавка гипса.

Однако содержание полимерсиликатной композиции (ПСК) должно быть оптимальным, на что указывает квадратичный эффект в модели прочности на сжатие ( $\epsilon_{33} = -0,06$ ). Превышение оптимального значения ПСК приводит к незначительному повышению прочности.

Плотность ПСГК увеличивается и зависит, в первую очередь, от содержания сечки соломы ( $\epsilon_2 = +15,3$ ) и при введении гипса ( $\epsilon_1 = +13,6$ ).

Более наглядно влияние трех факторов на свойства ПСГК можно наблюдать на образах этих моделей (рис. 1–3).

Анализ графического образа модели (рис. 1) показал, что изменение прочности на сжатие при минимальном содержании гипса 38% и ПСК 4% не значительно. Здесь этот показатель растет от 1,4 до 1,8 МПа при повышении содержания сечки соломы от 23 до 27%, т.е. максимальное наполнение даже несколько повышает прочность ПСГК. Из номограмм видно, что наблюдается тенденция повышения прочности на сжатие ПСГК при увеличении концентрации полимерсиликатной композиции от 4 до 8%. Так, при содержании гипса 38% ( $x_1 = -1$ ) прочность возрастает от 1,4 до 2,4 и более. Дальнейшее повышение содержания гипса до 40% ( $x_1 = 0$ ) существенного влияния не оказывает, а уже при 42% ( $x_1 = +1$ ) наблюдается рост прочности на сжатие до 2,9 МПа, но при максимальной концентрации полимерсиликатной композиции 8%. Таким образом, увеличение конструктивных прочностных свойств ПСГК происходит при одновременном увеличении содержания количества гипса до 42% и концентрации полимерсиликатной композиции 8%.

Тенденция увеличения прочности на изгиб при изменении уровней трех факторов сохраняется как и в случае с прочностью на сжатие (рис. 2). Однако показатель прочности на изгиб при равных уровнях трех факторов, т.е. одинаковой рецептуры, несколько выше.

При минимальном содержании гипса и полимерсиликатной композиции ( $x_1 = x_3 = -1$ ) прочность на изгиб  $R_{изг}$  составит 1,8% и максимальное  $R_{изг}$  достигает 4,2 МПа, но при максимальном содержании последних ( $x_1 = x_3 = +1$ ), т.е. прочность возрастает более чем в два раза за счет регулирования количества гипса и полимерсиликатной композиции.

На номограммах (рис. 3) изменяя плотности ПСГК видно, что плотность материала не изменяется практически при 38 и 40%-ном содержании гипса. Увеличение содержания сечки соломы во всех случаях приводит к уплотнению композиции на 30 кг/м<sup>3</sup>.

При содержании гипса 38% и минимальной концентрации ПСК 4% увеличение сечки соломы от 23 до 27 кг/м<sup>3</sup> вызывает рост плотности от 350 до 380 кг/м<sup>3</sup>, что соответственно не отвечает критерию оптимизации по плотности  $\rho(Y_3) \geq 400$  кг/м<sup>3</sup>. Только увеличение концентрации ПСК до 8% обеспечивает композиции плотность  $\rho$  равную 400 кг/м<sup>3</sup>. На нижней номограмме эта область незначительна и расположена в правом верхнем углу. При содержании гипса 40% эта область не увеличивается. Далее по мере увеличения содержания гипса до 42%, сечки соломы 25–27% и концентрации ПСК 6–8% область допустимых значений плотности значительно увеличивается (незаштрихованное поле).

Для принятия решения о составе ПСГК по информации в моделях и проанализированных полях использовали графические методы определения допустимых зон и компромиссных решений (1, 2).

На основании отмеченного выше установлена оптимальная область значений рецептур  $x_1, x_2, x_3$ , где плотность составляет 400 и более кг/м<sup>3</sup> и прочностные показатели имеют максимальное значение  $R_{сж} \geq 2,2$  МПа;  $R_{изг} \geq 3,0$  МПа (рис. 4). Здесь содержание гипса  $X_1$  должно составлять 42%, количество сечки соломы  $X_2 = 25$ –27% и концентрация полимерсиликатной композиции  $X_3 = 6$ –8%.

#### Литература

1. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Иванов Я.П. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов. – Кишинев: Будивельных, 1989. – 240 с.
2. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для анализа и оптимизации состава, технологии и свойств на основе щелочных вяжущих систем / Научн. ред. В.А. Вознесенский, П.В. Кривенко. – ОГАСА, НИИВМ им. В.Д. Глуховского. – Киев, 1996. – 105 с.
3. Абдыкалыков А.А., Вознесенский В.А. Моделирование и оптимизация свойств композиционных строительных материалов. – Фрунзе: ФПИ, 1988. – 109 с.