

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ**

*Работа посвящается к разработке и оптимизации основных технологических параметров безавтоклавного газобетона на основе композиционного вяжущего из отходов производства и некондиционного заполнителя из местного сырья.*

*Ключевые слова: газобетон, отходы производства, экспертиза строительных материалов, природные ресурсы.*

## **OPTIMIZATION OF BASIC TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF OBTAINING NON-AUTOCCLAVE AERATED CONCRETE ON THE BASIS OF COMPOSITE BINDING MATERIAL FROM LOCAL RAW MATERIALS**

*The work is dedicated to the development and optimization of the basic technological parameters of non-autoclave aerated concrete on the basis of the composite binder from the waste and off-spec production of aggregate from local raw materials.*

*Keywords: concrete, waste production, examination of construction materials, natural resources.*

Стеновые блоки из легкого энергосберегающего материала находят в строительстве возрастающее применение. Они позволяют улучшить теплотехнические и акустические свойства зданий, значительно снизить их массу, успешно решить проблему объемного и многоэтажного строительства, а также строительства в сейсмических условиях.

На кафедре «Производство и экспертиза строительных материалов и конструкций» КГУСТА им. Н. Исанова, проведены исследования, и оптимизация основных технологических параметров с целью получения безавтоклавного газобетона с применением композиционного вяжущего из отходов производства и некондиционного заполнителя из местных природных и техногенных кремнеземистых материалов.

Выполненная работа позволяет решить одновременно нескольких проблем: экологическую, сбережение энергоресурсов и рациональное использование природных ресурсов, снижение стоимости выпускаемых продукции.

Для композиционных вяжущих материалов были использованы: портландцемент М 400 Д 20 ГОСТ 10178-85; известь комовая негашеная II сорта: содержание активных СаО и MgO-82 %, количество непогасившихся частиц – 1,2 %; гипс строительный, ГОСТ 125-79 марки Г-5.

В качестве заполнителя использованы хвосты флотационного обогащения сурьмяных руд (ХОСР) АО «КСК», тонкозернистый глинистый песок (некондиционный песок) из песчаника Ошского месторождения.

ХОСР образован при производстве сурьмы из горных пород после их термической обработки при 1200 °С. Химический состав представлен содержанием, в %: : SiO<sub>2</sub> – 70,93; СаО – 12,67; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,73; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6,92; MgO – 0,03; SO<sub>3</sub> – 0,82; R<sub>2</sub>O – 0,67; П.П.П – 7; минералогический состав – содержанием β – кварца, кальцита (СаСО<sub>3</sub>) и незначительным количеством глинистых составляющих (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 6,92 %).

Химический состав песка, в (%):  $\text{SiO}_2$  – 73,74;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12,52;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,93;  $\text{CaO}$  – 0,86;  $\text{MgO}$  – 2,85;  $\text{SO}_3$  – 0,40;  $\text{R}_2\text{O}$  – 4,27; п.п.п. – 4,41. Минералогический состав, в %:  $\text{SiO}_2$  – 59,01;  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 31,67;  $\text{CaSO}_4$  – 0,68;  $\text{CaCO}_3$  – 1,03;  $\text{MgCO}_3$  – 5,98; П.П.П. – 4,41. При сухом помоле песчаника в течение 20-25 мин. Получается песок с гранулометрическим составом, (мм), %: менее 0,16-61,7; 0,16-22,4; 0,315-5,7; 0,63-4,5; 1,25-3,2; 2,5-2,5; 5,0-0; с высоким содержанием глины (31,67 %);  $M_k = 0,7$ , т.е тонкозернистый. Удельная поверхность по ПСХ-2  $S_1 = 2200-2250 \text{ см}^2/\text{г}$ . Газообразователем служит алюминиевая пудра марки ПАП-2, ГОСТ 5494-81.

Для получения безавтоклавного газобетона в качестве композиционного вяжущего были использованы оптимальные составы композитов с содержанием 20 % портландцемента, 18-20 % извести, 6 % гипса и до 54 % наполнителя ХОСР.

При получении безавтоклавного газобетона апробировались составы, содержащие в качестве заполнителя: ХОСР и некондиционный песок, полученный дроблением песчаника Ошского месторождения. Соотношение заполнителя и вяжущего (В/З) составляло в пределах 0,5-1,0 с учетом содержания наполнителя в составе вяжущего. Обеспечение щелочной среды достигается известью, содержащейся в составе композиционного вяжущего. Газообразование обеспечивалось введением в состав смеси газообразователя (алюминиевой пудры).

В составы газобетона из смеси мелкозернистых глинистых песков из Ошского песчаника для интенсификации газообразования и для активизации глинистой составляющей в некондиционном песке добавляли до 1 %  $\text{NaOH}$ .

На рабочем этапе по результатам исследования предварительно определены оптимальный состав и технологические параметры производства безавтоклавного газобетона на основе композиционных вяжущих с использованием ХОСР и мелкозернистых глинистых песков: температура формовочного шлама 37-44 °С; водотвердое отношение 0,44-0,6; соотношение заполнителя к вяжущему от 0,75 до 1,0.

Оптимальное количество алюминиевой пудры при этом составляет 400-500 г на 1 м<sup>3</sup> материала. Также найдено оптимальное значение отношения вяжущего к заполнителю  $V/Z = 0,75$ .

Отработка технологических режимов В/Т и температуры смеси проводилась на оптимальном составе газобетонной смеси, представленной в табл. 1.

Таблица 1.

Расчетный расход сырьевых материалов на 1 м<sup>3</sup> газобетона

Вид и марка	КВВ при $V/Z = 1,0$ , кг/м <sup>3</sup>	Кремнеземистый заполнитель	Al – пудра ПАП-1	NaOH	Водотвердое отношение, В/Т
ГБО	255	255	0,4	-	0,5
ГБП	255	255	0,5	5,1	0,6

Для более глубокого изучения влияния основных эксплуатационных свойств газобетона плотности и прочности от технологических параметров смеси был проведен 2-факторный эксперимент с 9 точками плана. В качестве варьируемых факторов были взяты технологические параметры:  $T_{см} - X_1$  и  $V/T - X_2$ . План и результаты экспериментов представлены в табл. 2 и 3.

Критериями оптимизации для составов на ХОСР были выбраны плотность  $\rho_{ср} = 600 \text{ кг/м}^3$ , прочность  $R_{сж} = 2,2 \text{ МПа}$ . Для составов на некондиционном песке  $\rho_{ср} = 700 \text{ кг/м}^3$ , прочность  $R_{сж} = 2,1 \text{ МПа}$ . Уровни варьирования факторов и результаты эксперимента на ХОСР представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2.

Уровни варьирования факторов

Параметры	-1	0	+1
$X_1 - T, ^\circ\text{C}$ ,	22	33	44
$X_2 - \text{В/Т}$	0,42	0,46	0,5

Таблица 3.

План и результаты 2-факторного эксперимента

№ п/п	План эксперимента				Плотность $\rho_{\text{ср}}$ , кг/м <sup>3</sup>	Прочность $R_{\text{сж}}$ , Мпа
	в нормализованных переменных		в натуральных переменных			
	$x_1$	$x_2$	$X_1$	$X_2$		
1	+	+	44	0,5	637	2,0
2	-	+	22	0,5	678	2,03
3	+	-	44	0,42	698	2,6
4	-	-	22	0,42	738	2,63
5	+	0	44	0,46	635	2,3
6	-	0	22	0,46	675	2,33
7	0	+	33	0,5	620	1,9
8	0	-	33	0,42	680	2,5
9	0	0	33	0,46	618	2,2

*Средняя плотность*

$$\rho_{\text{ср}} = 617.667 - 20.167 x_1 + 37.500 x_1^2 - 0.250 x_1 x_2 - 30.167 x_2 + 32.500 x_2^2 \quad (1)$$

Предварительный анализ модели плотности (1) безавтоклавного газобетона показал, что при повышении уровней технологических параметров В/Т и температуры смеси показатель плотности газобетона снижается ( $b_1 = -20,167$ ,  $b_2 = -30,167$ ). На рис. 1 наглядно показано, что при В/Т = 0,42 плотность газобетона в зависимости от температуры смеси (22...44 °С) изменяется в пределах 680...720 кг/м<sup>3</sup>. Область низких значений плотности  $\rho_{\text{ср}} = 600$  кг/м<sup>3</sup> находится при В/Т = 0,46...0,5 и температуре смеси 30...40 °С.

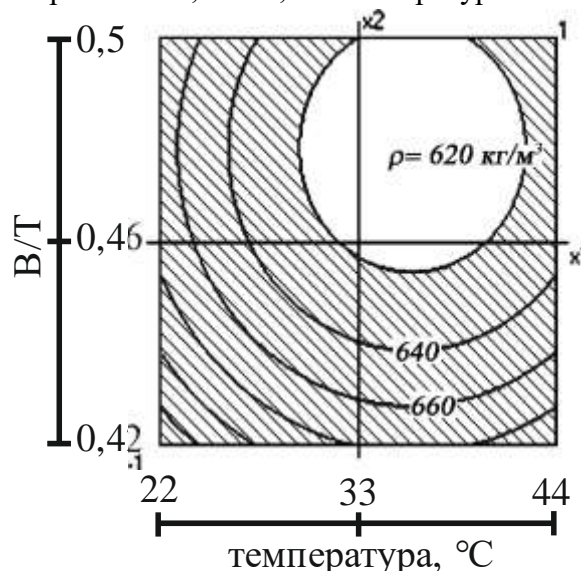


Рис.1. Изолинии плотности газобетона на основе ХОСР  $\rho_{\text{ср}} = f(x_1, x_2)$

*Прочность на сжатие, Мпа:*

$$R_{\text{сж}} = 2,200 - 0,015 x_1 + 0,115 x_1^2 - 0,300 x_2 \quad (2)$$

Что касается прочности газобетона, то по модели (2) можно сделать вывод, что повышение В/Т с нижнего до верхнего уровней от 0,42 до 0,5 приводит к снижению прочности от 2,5 до 2,0 МПа ( $b_2 = -0,3$ ). На рис.2 видно, что при В/Т = 0,42  $R_{сж} = 2,55$  МПа, а при В/Т = 0,5  $R_{сж} = 2,0$  МПа. Причем изменение температуры смеси при разных значениях В/Т к значительному изменению прочности газобетона не приводит. Так, например, прочность 2,2 МПа обеспечивается при В/Т = 0,46...0,48, и температура смеси при этом может быть в пределах 22...44 °С.

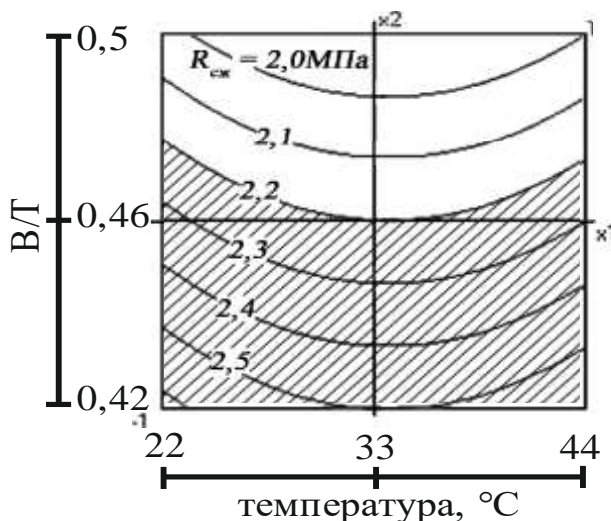


Рис.2. Изолинии прочности газобетона на основе ХОСР  $R_{сж} = f(x_1, x_2)$

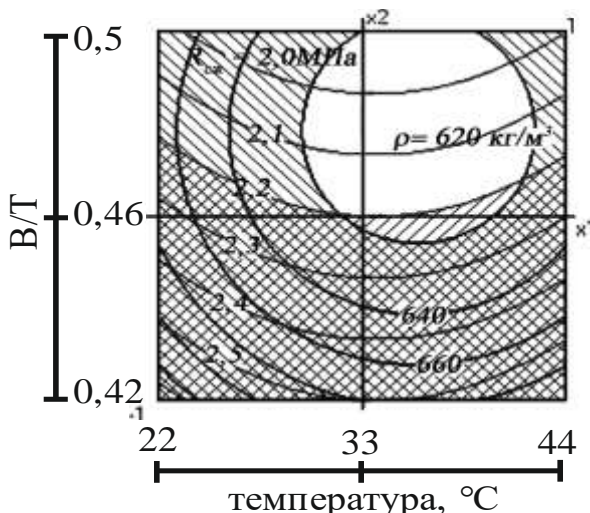


Рис.3. Зона компромисса свойств газобетона на ХОСР  $\rho_{ср}, R_{сж} = f(V/T, T_{см})$  (не заштрихованное поле);  $R_{сж} \geq 2,2$  МПа,  $\rho_{ср} \leq 600$  кг/м<sup>3</sup>

Для определения оптимальной зоны технологических параметров В/Т и температуры смеси, где обеспечиваются требования по критериям оптимизации  $\rho_{ср} = 600$  кг/м<sup>3</sup>, прочность  $R_{сж} = 2,2$  МПа, использовался метод наложения номограмм. На рис.3 показана зона компромисса свойств газобетона на ХОСР  $\rho_{ср}, R_{сж} = f(V/T, T_{см})$  (незаштрихованное поле).

Таким образом, установлено, что оптимальная зона, где удовлетворяются требования по плотности и прочности, находится при следующих технологических параметрах: В/Т = 0,48...0,5 и температура смеси 32...40 °С.

На некондиционном глинистом песке также проведена оптимизация свойств и технологических режимов получения безавтоклавного газобетона.

5. Результаты эксперимента и уровни варьирования факторов представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4.

Уровни варьирования факторов

Параметры	-1	0	+1
X <sub>1</sub> , T, °C	22	33	44
X <sub>2</sub> , В/Т	0,54	0,58	0,62

Таблица 5

План и результаты 2-факторного эксперимента

п/п	План эксперимента				ρ <sub>ср</sub> , кг/м <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа
	в нормализованных переменных		в натуральных переменных			
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>		
	+	+	44	0,6 2	740	2,05
	-	+	22	0,6 2	815	2,13
	+	-	44	0,5 4	775	2,17
	-	-	22	0,5 4	850	2,25
	+	0	44	0,5 8	710	2,07
	-	0	22	0,5 8	785	2,15
	0	+	33	0,6 2	785	1,98
	0	-	33	0,5 4	810	2,04
	0	0	33	0,5 8	745	2,0

*Средняя плотность*

$$\rho_{ср} = 747.222 - 37.500 x_1 - 0.833 x_1^2 - 15.833 x_2 + 49.167 x_2^2 \quad (3)$$

Предварительный анализ модели плотности газобетона на некондиционном песке (3) показал, что наибольшее влияние на плотность оказывает температура смеси ( $b_1 = -37,5$ ). Повышение В/Т также способствует снижению показателя плотности ( $b_2 = -15,833$ ). На рис.4 видно, что при повышении температуры от 22 до 44 °C наблюдается снижение показателя плотности от 840 до 760 кг/м<sup>3</sup> при В/Т = 0,54; при В/Т = 0,58 плотность снижается от 800 до 700 кг/м<sup>3</sup>; при В/Т = 0,62 плотность изменяется от 800 до 740 кг/м<sup>3</sup>. Наименьшая плотность газобетона обеспечивается  $\rho_{ср} = 700$  кг/м<sup>3</sup> при максимальных температурах смеси порядка 40...44 °C и при В/Т = 0,57...0,6.

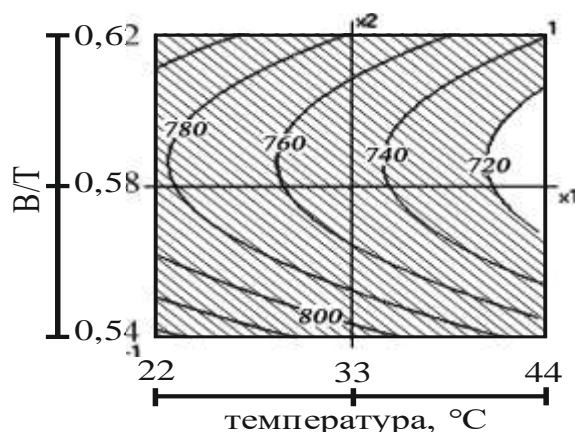


Рис.4. Изолинии плотности газобетона на некондиционном песке

$$\rho_{cp} = f(x_1, x_2)$$

Прочность на сжатие, Мпа:

$$R_{сж} = 1,987 - 0,040 x_1 + 0,130 x_1^2 - 0,050 x_2 + 0,030 x_2^2 \quad (4)$$

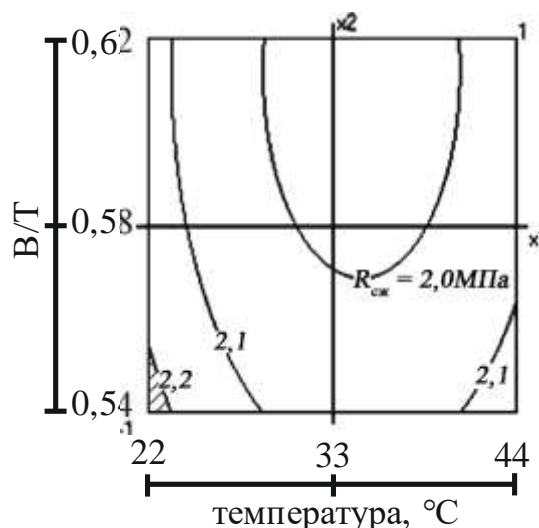


Рис.5. Изолинии прочности газобетона на некондиционном песке

$$R_{сж} = f(x_1, x_2)$$

По модели прочности газобетона (4) видно незначительное снижение этого показателя при повышенных значениях технологических параметров ( $b_1 = -0,04$  и  $b_2 = -0,05$ ). На рис. 5 видно, что максимальная прочность газобетона на некондиционном песке составляет  $R_{сж} = 2,2$  Мпа при  $V/T = 0,54$  и  $T_{см} = 22$  °С. Затем прочность несколько падает до 2,1 при  $T_{см} = 28...30$  °С, затем снова несколько повышается. Минимальная прочность  $R_{сж} = 2,0$  Мпа при  $V/T = 0,56...0,62$  и  $T_{см} = 28...38$  °С.

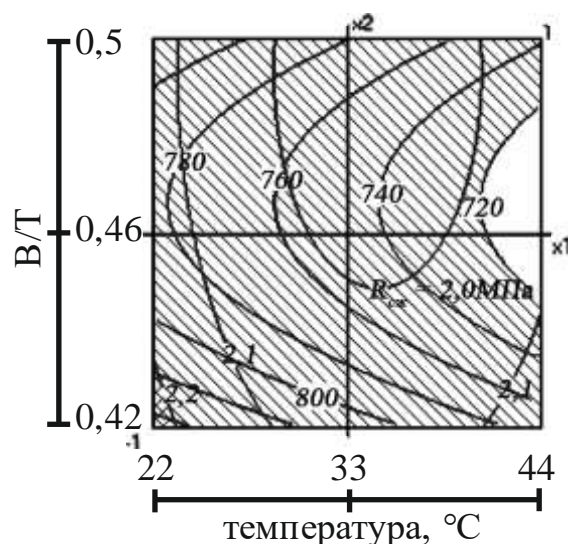


Рис.6. Зона компромисса газобетона на некондиционном песке  $\rho_{ср}$ ,  $R_{сж} = f(V/T, T_{см})$  (незаштрихованное поле);  $R_{сж} \geq 2,1$  МПа,  $\rho_{ср} \leq 700$  кг/м<sup>3</sup>

При наложении номограмм плотности (рис.4) и прочности (рис.5) найдена оптимальная зона (рис.6) технологических параметров  $V/T$  и  $T_{см}$ , где обеспечивается минимальная плотность  $\rho_{ср} = 700$  кг/м<sup>3</sup> и удовлетворительная прочность  $R_{сж} = 2,1$  МПа газобетона.

#### Вывод:

При сравнении рис.3 и рис.6 видно, что для газобетонных смесей на разных заполнителях оптимальные области свойств безавтоклавного газобетона значительно отличаются технологическими параметрами. Отметим, что при одинаковой прочности  $R_{сж} = 2,1...2,2$  МПа минимальная плотность  $\rho_{ср} = 600...620$  кг/м<sup>3</sup> обеспечивается только на составах с заполнителем ХОСР. Замена заполнителя ХОСР на некондиционный песок приводит к увеличению плотности газобетона до  $\rho_{ср} = 700$  кг/м<sup>3</sup>.

#### Литература:

1. Абдыкалыков, А.А. Экспериментально-теоретические основы оптимизации реологических и прочностных свойств наполненных композиционных строительных материалов / А.А. Абдыкалыков. – Б.: Технология, 2000. – 252 с.
2. Абдыкалыков А.А. Безавтоклавный газобетон на композиционном вяжущем из местного сырья. / А.А. Абдакалыков, Б.Т. Ассакунова, Ж. Абдыраймов С.Ж. Мелибаев // Материалы III международной научно-практической конференции. «Наука и образование XXI века» Рязань, 2009. С. 45-51.