

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ГРАНИТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

А.С.Мамытов  
*E.mail. ksucta@elcat.kg*

*Гранит толуктагычтары хана чопо негизиндеги композитүү цемент чапташтыргычтарыдык курамы оптимизацияланган*

*Оптимизирован состав композиционных цементных вяжущих с гранитным наполнителем и глиной.*

*The structure composite cement knitting with granite fill and clay is optimised*

В связи с повышением темпов роста строительства весьма важным является расширение выпуска композиционных малоклинкерных и бесклинкерных вяжущих материалов, в которых часть клинкера заменяется добавкой из техногенных продуктов, что снижает энергозатраты на производство цемента. Техногенные продукты в качестве добавки придают вяжущим специфические свойства: улучшают кинетику роста прочности, повышают стойкость к воздействию агрессивных сред, уменьшают усадочные деформации и т.д.

Получение композиционных цементных вяжущих основано на изменении вещественного, химико-минералогического и гранулометрического состава компонентов с целью придания им специальных свойств.

Для глубокого изучения влияния основных рецептурных факторов композиционного вяжущего на основе местного сырья были проведены два 2-факторных эксперимента с 9 точками плана. В композиционно вяжущем (Цемент + Гранит + Глина) варьируемыми факторами служили:  $X_1$  – гранитная мука, %;  $X_2$  – глина, %; цемент – остальное (табл. 1).

План и результаты эксперимента представлены в табл.2.

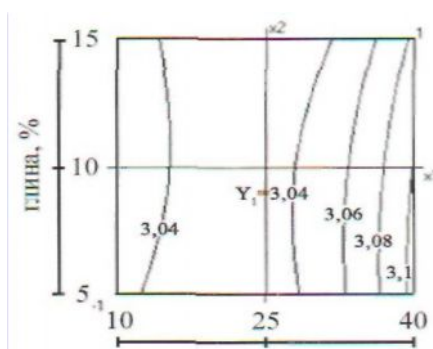
Контролируемые выходные параметры:

( $Y_1$ )  $\rho_{ист}$  – истинная плотность, г/см<sup>3</sup>; ( $Y_2$ )  $\rho_{нас}$  – насыпная плотность, г/см<sup>3</sup>; ( $Y_3$ )  $\rho_{обр}$ , г/см<sup>3</sup>; ( $Y_4$ ) – НГ, %; ( $Y_5$ ) – тонкость помола, %; ( $Y_6$ ) – начало схватывания; ( $Y_7$ ) – конец схватывания; ( $Y_8$ )  $R_{изг}$  – прочность при изгибе после ТВО; ( $Y_9$ )  $R_{сж}$  – прочность при сжатии после ТВО.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Уровни факторов	$X_1$ – гранитная мука, %	$X_2$ – глина, %
-1	10	5
0	25	10
+1	40	15



гранитная мука, %

Рис. 1. Изолинии истинной плотности композиционного вяжущего ( $Y_1$ )  $\rho_{ист} = f(x_1, x_2)$

Таблица 2

План и результаты двухфакторного эксперимента

№	План эксперимента		$\rho_{ист}$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{нас}$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{об}$ , г/см <sup>3</sup>	НГ, %	Тон- кость по- мола, %	Сроки схватывания, ч		Прочность после ТВО	
	$x_1$	$x_2$						начало	конец	$R_{изг}$ МПа	$R_{сж}$ МПа
1	+	+	3,1	1,04	2,25	21,0	95,6	3,45	4,21	3,27	15,93
2	+	-	3,1	1,022	2,24	22	94,0	3,65	4,33	3,19	12,96
3	-	+	3,07	1,08	2,2	22,8	91,8	3,33	5,17	4,8	27,8
4	-	-	3,037	1,09	2,19	22,5	96,4	3,75	5,33	5,1	27,1
5	+	0	3,095	1,095	2,22	23,0	93,0	4	5,83	2,5	11,8
6	-	0	3,06	1,105	2,2	22,5	93	2,83	4,58	4,96	23,8
7	+	+	3,0	1,095	2,25	23,0	96,6	2,08	4,35	2,5	12,05
8	-	-	3,05	1,025	2,23	23,5	93,4	1,25	6,5	3,2	14,6
9	0	0	3,04	1,02	2,26	23,5	97	1,83	5,33	2,74	12,67

По результатам эксперимента были получены экспериментально-статистические модели (ЭСМ) девяти свойств композиционного вяжущего ( $Y_1 \dots Y_9$ ).

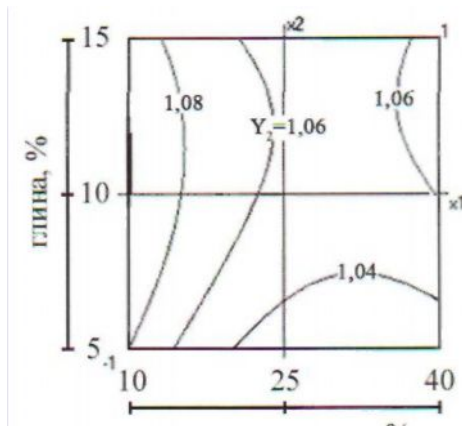
$$Y_1(\rho_{ист}) = 3,034 + 0,021x_1 + 0,047x_1^2 - 0,008x_1x_2 - 0,003x_2 - 0,006x_2 \quad (1)$$

Предварительный анализ модели плотности (1) композиционного вяжущего показал, что при повышении содержания в нем гранитной муки она повышается ( $b_1 = +0,021$ ).

На рис. 1 наглядно показано, что при постоянном содержании глины в вяжущем истинная плотность растет в зависимости от количества гранитной муки. При количестве 5...15 % глины в вяжущем с увеличением гранитной муки  $X_1 = 10-40$  % истинная плотность увеличивается от 3,04 до 3,1 г/см<sup>3</sup>.

$$Y_2(\rho_{нас}) = 1,056 - 0,020x_1 + 0,025x_1^2 + 0,007x_1x_2 + 0,013x_2 - 0,015x_2^2 \quad (2)$$

Анализ ЭСМ насыпной плотности ( $Y_2$ )  $\rho_{нас}$  вяжущего (2) показал некоторое снижение при увеличении содержания в нем гранитной муки. На рис. 2 видно, что при содержании глины  $X_1 = 10$  % насыпная плотность составляет  $\rho_{нас} = 1,08$  г/см<sup>3</sup>. При увеличении количества гранитной муки до 25 %  $\rho_{нас}$  снижается до 1,04 г/см<sup>3</sup> и остается на том же уровне даже при  $X_1 = 40$  %.



гранитная мука, %

Рис. 2. Изолинии насыпной плотности композиционного вяжущего  
( $Y_2$ )  $\rho_{нас}=f(x_1x_2)$

С увеличением количества глины до 10 % ( $x_2=0$ ) насыпная плотность максимальная  $\rho_{нас}=1,105 \text{ г/см}^3$  при количестве глины  $X_2=15 \%$  и увеличении гранитной муки  $X_1$  до 20 % снижается до  $1,06 \text{ г/см}^3$  и при  $X_1=40 \%$   $\rho_{нас}=1,08 \text{ г/см}^3$ .

$$Y_3(\rho_{обр})=2,247+0,020x_1-0,03x_1^2+0,013x_2 \quad (3)$$

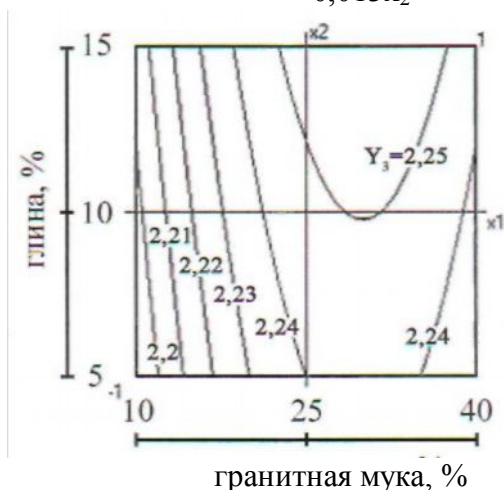


Рис. 3. Изолинии плотности образцов  
( $Y_3$ )  $\rho_{обр}=f(x_1x_2)$

На рис. 3 показана номограмма изменения плотности образцов из вяжущего. Так, при минимальном количестве глины в вяжущем  $X_2=5 \%$  и увеличении количества гранитной муки  $X_1$  до 20 ... 30 % плотность  $Y_3(\rho_{обр})$  растет от 2,19 до 2,24  $\text{г/см}^3$ .

Максимальная плотность образцов ( $\rho_{обр}=2,25 \text{ г/см}^3$ ) соответствует рецептуре  $X_1=22-23 \%$  и  $X_2$  до 10...15 %. В основном плотность образцов в большей степени зависит от количества гранитной муки в вяжущем.

Анализ модели (4) показал, что нормальная густота вяжущего изменяется незначительно в данной факторной плоскости ( $b_1=-0,03\%$ ;  $b_2=-0,02$ ). На рис. 4 видно, что основная область факторного пространства  $x_1$  и  $x_2$  соответствует НГ=22,4 %. А при одновременном увеличении в вяжущем количества глины и гранитной муки НГ снижается до 22,1 %.

$$Y_4(\text{НГ})=23,689-0,03x_1-1,033x_1^2+0,007x_1x_2-0,02x_2-0,325x_2^2 \quad (4)$$

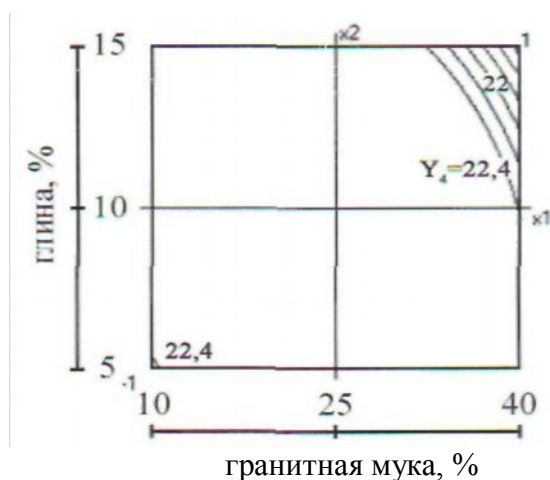


Рис. 4. Изолинии нормальной густоты композиционного вяжущего  
 $Y_4(\text{НГ}) = f(x_1x_2)$

По ЭСМ (5) видно, что тонкость помола ( $Y_5$ ) вяжущего в большей степени зависит от количества гранитной муки ( $b_1 = -0,233$ ). Однако ее содержание должно находиться на оптимальном уровне ( $b_{11} = -1,7$ ). На рис. 5 показано, что при наличии в вяжущем глины  $X_2 = 5\%$  и гранитной муки  $X_1 = 10 \dots 26\%$  тонкость помола составляет  $Y_5 = 95,5\%$ . При увеличении  $X_1$  до  $40\%$   $Y_5$  снижается и составляет  $93\%$ . При максимальном количестве глины  $X_2 = 15\%$  тонкость помола  $Y_5 = 93\%$ , а при  $X_2 = 40\%$  тонкость помола увеличивается до  $Y_5 = 96\%$ .

$$Y_5(\text{тонк.пом.}) = 95,467 + 0,223x_1 - 1,07x_1^2 + 1,550x_1x_2 - 0,02x_2 + 0,3x_2^2 \quad (5)$$

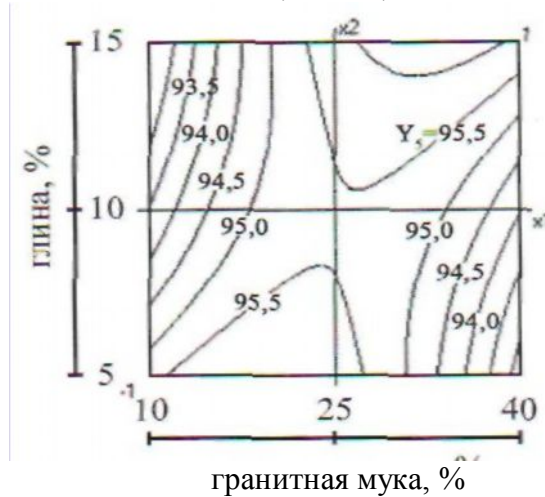


Рис. 5. Изолинии тонкости помола композиционного вяжущего  
 $Y_5(\text{тонк.пом.}) = f(x_1x_2)$

$$Y_6 = 1,699 + 0,198x_1 + 1,782x_1^2 + 0,11x_1x_2 + 0,035x_2 + 0,32x_2^2 \quad (6)$$

По ЭСМ (6) видно, что начало схватывания  $Y_6$  композиционного вяжущего существенно влияет количество гранитной муки ( $b_1 = 0,198$ ). На рис. 6 отражено изменение  $Y_6$  при увеличении  $X_1$  от  $10$  до  $40\%$ . Так, при  $5\%$ -ном содержании глины в вяжущем сроки начала схватывания снижаются от  $3,25$  до  $1,25$  часа при повышении количества гранитной муки от  $10$  до  $18\%$ . В пределах  $18 \dots 28\%$  гранитной муки в вяжущем сроки начала схватывания стабильны  $Y_6 = 1,75$  ч.



Рис. 6. Изолинии времени начала схватывания композиционного вяжущего  
 $Y_6(\text{нач.схват.}) = f(x_1x_2)$

Дальнейшее повышение содержание гранитной муки от 28 до 40 % приводит опять к удлинению срока начала схватывания вяжущего от 1,78 до 3,75 часа.

Та же тенденция изменения срока начала схватывания отмечается и при 10 % содержании глины. При 15 % содержании глины в вяжущем область с постоянным значением срока начала схватывания  $Y_6=2,25$  ч соответствует содержанию гранитной муки 15...35 %. При превышении концентрации  $X_1$  35 % сроки начала схватывания резко увеличиваются и составляют 3,45 часа.

Анализ модели (7) показал, что на конец схватывания вяжущего существенную роль играет количество глины ( $b_2= -0,405$ ), а затем количество гранитной муки ( $b_1= -0,118$ ). Для этих двух факторов существует зона оптимальных значений ( $b_{11}= -0,485$ ;  $b_{22}= -0,265$ ). На номограмме (рис. 7) четко прослеживается тенденция сокращения конца схватывания вяжущего при повышении количества глины 5...15 %. Здесь сроки  $Y_7$  изменяются от 5,7 ч до 4,5 ч. Максимальные сроки конца схватывания вяжущего соответствуют рецептуре  $x_1=20...25$  % (гранитная мука).

$$Y_7=5,570-0,118x_1-0,485x_1^2+0,01x_1x_2-0,405x_2-0,265x_2^2 \quad (7)$$



Рис. 7. Изолинии времени конца схватывания композиционного вяжущего  $Y_7(\text{нач.схват.})= f(x_1x_2)$

Анализ модели прочности на изгиб вяжущего (8) показал, что наличие гранитной муки в вяжущем существенно снижает этот показатель ( $b_1= -0,983$ ). Глина тоже снижает показатель прочности ( $b_2= -0,153$ ). Наиболее наглядно это показано на рис. 8, а. Так, при повышении количества гранитной муки  $X_1$  от 10 до 20 % прочность падает от 5,1 до 3,0 МПа, причем при разных значениях глины 5...15 %.

$$Y_8=2,629-0,983x_1+1,157x_1^2+0,095x_1x_2-0,153x_2-0,265x_2^2 \quad (8)$$

$$Y_9(R_{сж})=11,562-6,335x_1+6,792x_1^2+0,568x_1x_2+0,187x_2+2,317x_2^2 \quad (9)$$

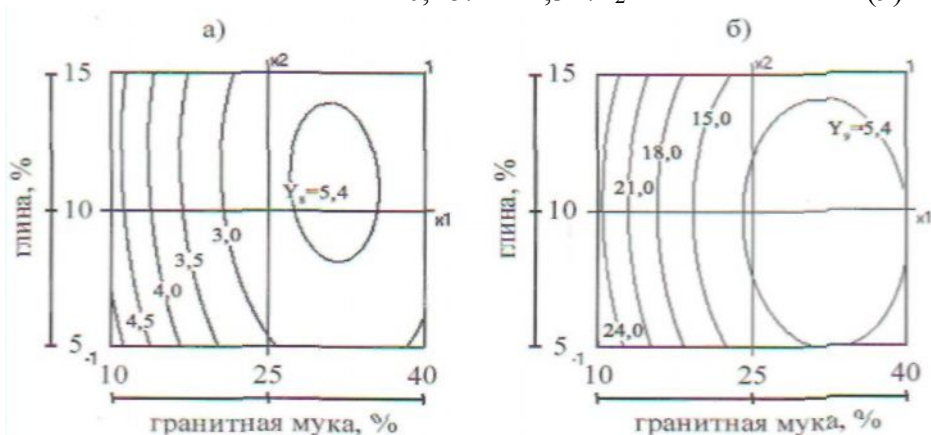


Рис. 8. Изолинии прочности на изгиб (а) и сжатие (б) композиционного вяжущего  $Y_8(R_{изг}), Y_9(R_{сж}), = f(x_1x_2)$

Анализ модели прочности при сжатии (9) показал, что гранитная мука значительно снижает прочность вяжущего ( $b_1 = -6,335$ ). На рис. 8, б также можно видеть падение прочности при сжатии  $Y_9$  от 27 до 12 МПа при повышении количества гранитной муки в вяжущем, т.е. в два раза.

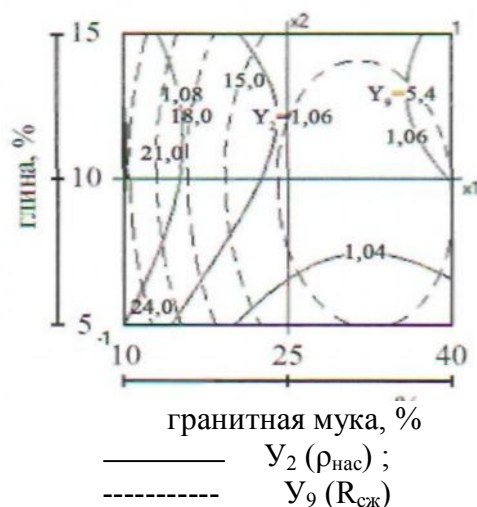


Рис. 9. Изолинии насыпной плотности и прочности на сжатие композиционного вяжущего с глиной ( $Y_2$ )  $\rho_{нас}$ ,  $Y_9$  ( $R_{сж}$ ) =  $f(x_1, x_2)$

При наложении номограмм ( $Y_2$ )  $\rho_{нас}$ , и  $Y_9$  ( $R_{сж}$ ) на факторной плоскости ( $x_1$ ,  $x_2$ ) можно видеть (рис. 9), как изменяется прочность вяжущего при изменении показателя насыпной плотности. При рецептуре гранитная мука  $X_1 = 10 \dots 12$  % и глина  $X_2 = 5-10-15$  % обеспечивается высокая прочность вяжущего  $Y_9(R_{сж}) = 24$  МПа, а насыпная плотность тоже высокая ( $Y_2$ )  $\rho_{нас} = 1,08 \dots 1,1$  г/см<sup>3</sup>. при низкой насыпной плотности, например, ( $Y_2$ )  $\rho_{нас} = 1,04$  прочность резко снижается до  $Y_9(R_{сж}) = 12$  МПа.

Таким образом, с использованием гранитной муки ( $X_1 = 10-12$  %) и глины ( $X_2 = 5-10-15$  %) можно получить композиционные вяжущие достаточно высокой прочности ( $R_{сж} = 24$  МПа). Это прочность после тепловлажностной обработки, что соответствует М 400.

Повышение количества гранитной муки свыше 12 % приводит к снижению прочности вяжущего вдвое (12 МПа).

### Список литературы

1. Абдыкалыков А.А., Вознесенский В.А., Мавлянов А.С., Лещенко Т.В. Моделирование и оптимизация свойств композиционных строительных материалов. – Фрунзе: ФПИ, 1988. – 109 с.