

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.

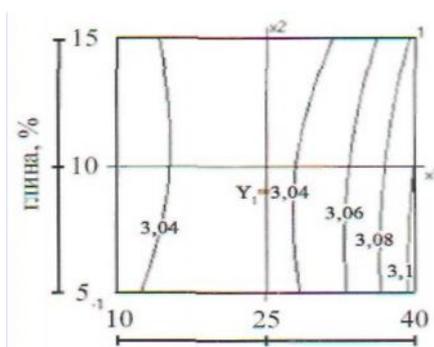
Контролируемые выходные параметры:

(Y_1) $\rho_{ист}$ – истинная плотность, г/см³; (Y_2) $\rho_{нас}$ – насыпная плотность, г/см³; (Y_3) $\rho_{обр}$, г/см³; (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 ³	$\rho_{нас}$, г/см ³	$\rho_{об}$, г/см ³	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 ($Y_1 \dots Y_9$).

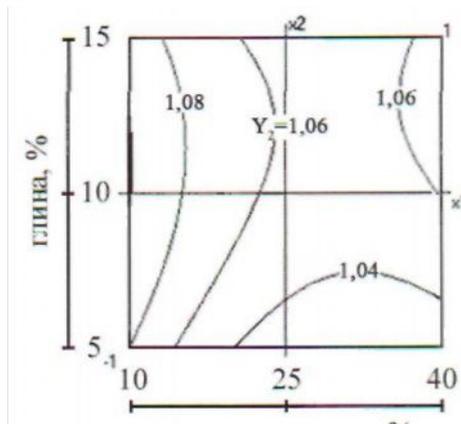
$$Y_1(\rho_{ист}) = 3,034 + 0,021x_1 + 0,047x_1^2 - 0,008x_1x_2 - 0,003x_2 - 0,006x_2 \quad (1)$$

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/см³.

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

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/см³. При увеличении количества гранитной муки до 25 % $\rho_{нас}$ снижается до 1,04 г/см³ 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 $X_1=40$ % $\rho_{нас}=1,08 \text{ г/см}^3$.

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

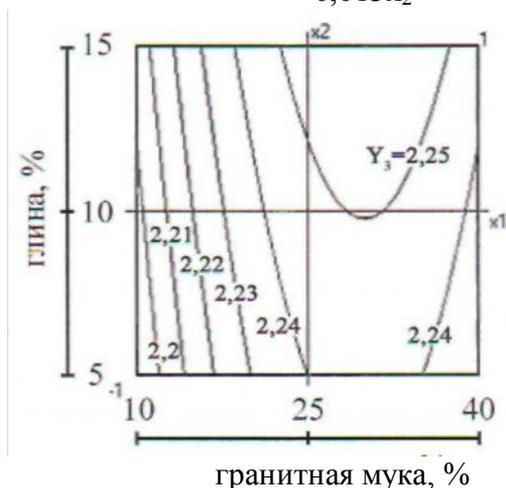


Рис. 3. Изолинии плотности образцов
(Y_3) $\rho_{обр}=f(x_1x_2)$

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 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 %.

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

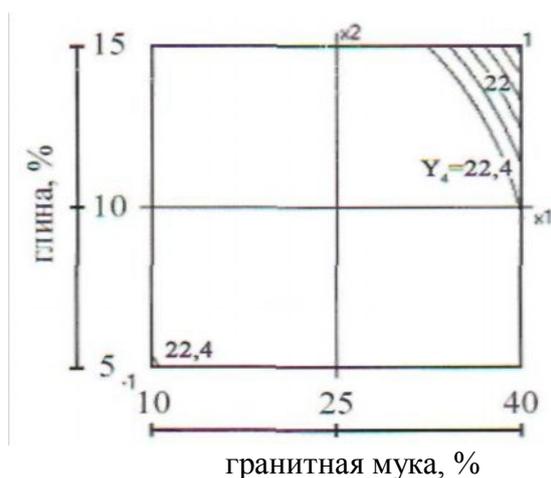


Рис. 4. Изолинии нормальной густоты композиционного вяжущего

$$Y_4(\text{НГ}) = f(x_1x_2)$$

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 $Y_5 = 96\%$.

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

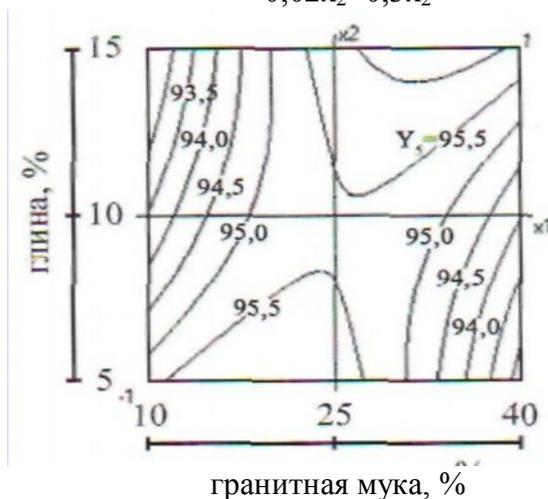


Рис. 5. Изолинии тонкости помола композиционного вяжущего

$$Y_5(\text{тонк.пом.}) = f(x_1x_2)$$

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

По ЭСМ (6) видно, что начало схватывания Y_6 композиционного вяжущего существенно влияет количество гранитной муки X_1 ($b_1 = 0,198$). 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...28% гранитной муки в вяжущем сроки начала схватывания стабильны $Y_6 = 1,75$ ч.

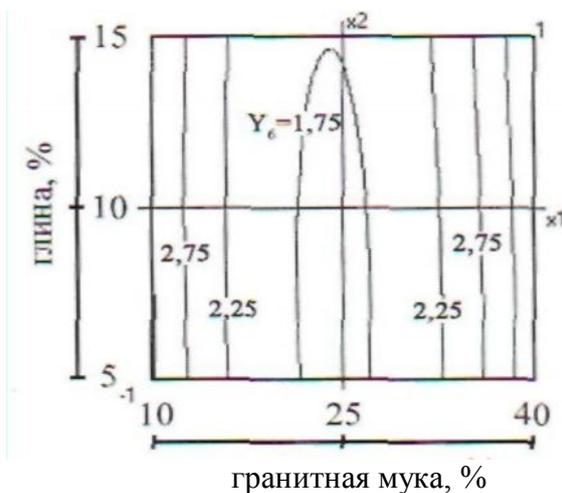


Рис. 6. Изолинии времени начала схватывания композиционного вяжущего

$$Y_6(\text{нач.схват.}) = f(x_1x_2)$$

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 %.

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

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

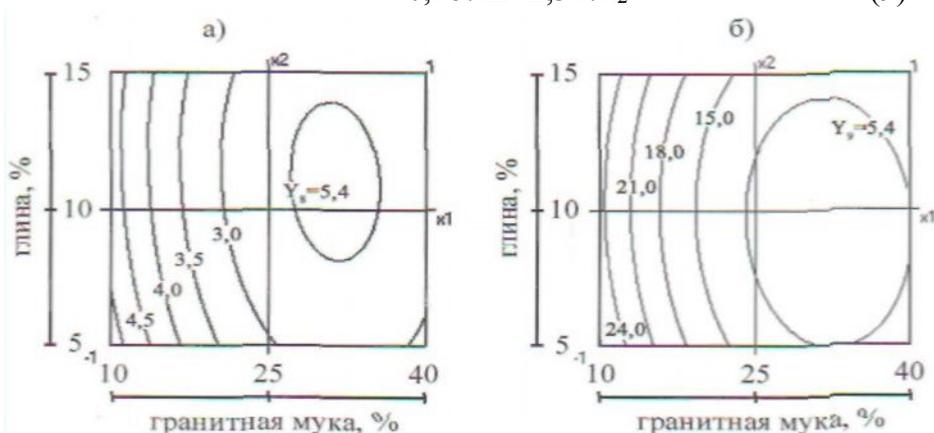


Рис. 8. Изолинии прочности на изгиб (а) и сжатие (б) композиционного вяжущего $Y_8(R_{изг}), Y_9(R_{сж}), = f(x_1x_2)$

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.

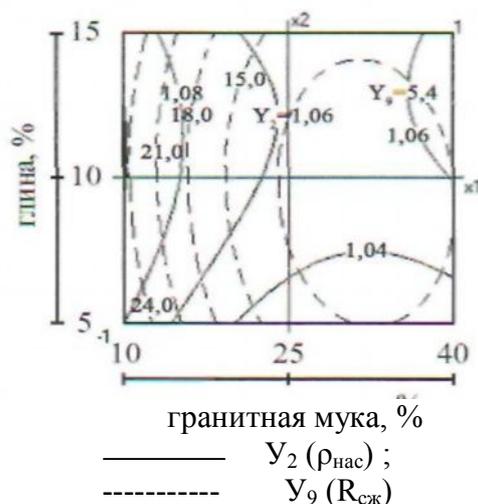


Рис. 9. Изолинии насыпной плотности и прочности на сжатие композиционного вяжущего с глиной (Y_2) $\rho_{нас}$, Y_9 ($R_{сж}$) = $f(x_1, x_2)$

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/см³. 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.