Научная статья
УДК 658.567

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД

В.М. Федоров[1], Е.В. Васильева[2,*],

[1] Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Новочеркасск, Россия
[2] Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
[*]E-mail: karalenka5@yandex.ru

Аннотация. Побочным продуктом переработки горных пород в щебень являются отсевы дробления фракции 0-5 мм. На горных предприятиях основная масса отсевов является отходом, вывозится в отвалы и карьеры, что препятствует производству и развитию горных работ. На выход отсева дробления при производстве щебня влияют крупность и прочность горной породы, технология производства, тип дробильного оборудования, ассортимент выпускаемой продукции. Объемы отсевов дробления на предприятиях нерудных строительных материалов постоянно растут. При этом отсевы дробления, содержащие от 7 до 30 % пылевидных и глинистых частиц накапливаются в отвалах и карьерах. Ветровое воздействие содействует уносу этих частиц на немалые расстояния, что крайне неблагоприятно влияет на водоемы и условия проживания населения. Утилизация данных отходов положительным образом скажется на состоянии окружающей среды, качестве жизни населения, деятельности предприятий. Исследованиями обоснована целесообразность использования отходов переработки карбонатных пород в щебень в производстве элементов гидротехнических сооружений, объяснены причины их высокой эффективности.

Ключевые слова: *утилизация; отход переработки; пылевидные и глинистые частицы; формиатно-спиртовый компонент; разжижитель; бетонная смесь; заполнители, планирование эксперимента, математическая модель, геометрическая интерпретация.*

Для цитирования: Федоров В.М., Васильева Е.В. Производство бетонных и железобетонных элементов гидротехнических сооружений с использованием отходов переработки горных пород // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т.10, № 2. С.68-79.

Original article

PRODUCTION OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE ELEMENTS OF HYDRAULIC STRUCTURES USING WASTE FROM ROCK PROCESSING

V.M. Fedorov[1], E.V. Vasilieva[2,*]

[1] Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia
[2] South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia
[*]E-mail: karalenka5@yandex.ru

© Федоров В.М., Васильева Е.В. 2024

Abstract. The The crushing screenings of the 0-5 mm fraction are a by-product of the processing of rocks into crushed stone. The bulk of the dropouts at mining enterprises is waste, exported to dumps and quarries. This hinders the production and development of mining operations. The size and strength of the rock, the production technology, the type of crushing equipment, the range of products affect the yield of crushing screening in the production of crushed stone. The volume of crushing screenings at enterprises of non-metallic building materials is constantly growing. At the same time, crushing screenings containing from 7 to 30% of pulverized and clay particles accumulate in dumps and quarries. Wind action contributes to the removal of these particles over considerable distances. This has an extremely adverse effect on reservoirs and living conditions of the population. The disposal of these wastes will have a positive impact on the state of the environment, the quality of life of the population, and the activities of enterprises. The expediency of using waste from the processing of carbonate rocks into crushed stone in the production of elements of hydraulic structures has been justified by research. The reasons for their high efficiency have been explained.

Key words: *recycling; waste from processing; pulverized and clay particles; formate-alcohol component; diluent; concrete mixture; aggregates, experiment planning, mathematical model, geometric interpretation.*

For citation: Fedorov V.M., Vasilieva E.V. Production of concrete and reinforced concrete elements of hydraulic structures using waste from rock processing // Journal of Science and Education of North-West Russia. 2024. Vol. 10, No. 2, pp. 68-79.

Введение

Во многих региона страны имеются месторождения известняка, доломита, известняка-ракушечника и других карбонатных пород (таблица 1). Прочные разновидности известняков и доломитов довольно широко применяются в качестве заполнителей в производстве бетона и железобетона. Использование же местных карбонатных пород средней и низкой прочности пока еще ограничено, особенно в водохозяйственном строительстве.

Таблица 1 – Разведанные на территории России запасы карбонатных пород

Регионы России	Количество месторождений	Запасы, млн. $м^3$	В % к общему запасу каменных пород
Центральный	251	1731,3	99,9
Северо-Западный	37	177,7	37,2
Волго-Вятский	27	122,7	100,0
Центрально-Черноземный	38	439,9	98,5
Поволжский	106	663,7	93,0
Северо-Кавказский	49	279,0	40,8
Уральский	104	418,5	26,7
Западно-Сибирский	54	256,9	32,6
Восточно-Сибирский	81	597,4	38,6
Дальневосточный	11	20,3	5,2
ВСЕГО:	758	4707,4	57,3

Карбонатными породами в широком смысле называют осадочные горные породы, состоящие в основном из кальцита - $CaCO_3$, доломита – $CaMg(CO_3)_2$, магнезита - $MgCO_3$, сидерита – $FeCO_3$ и др.

Свойства карбонатных пород колеблются в широких пределах и зависят не только от их состава, но и от особенностей происхождения и строения.

Жирновское месторождение карбонатных пород в Ростовской области довольно широко используется для производства щебня. Вторичным продуктом переработки горных пород в щебень является отсев дробления фракции 0-5 мм. На горных предприятиях основная масса отсевов является отходом и складируется на складах готовой продукции, вывозится в отвалы и даже в карьеры, что препятствует производству и развитию горных работ. Основными параметрами, влияющими на выход отсева дробления при производстве щебня, являются крупность и прочность горной породы, технология производства и тип дробильного оборудования, ассортимент выпускаемой продукции. Объемы отсевов дробления на предприятиях нерудных строительных материалов постоянно растут. Только за счет повышения требований к форме зерен и увеличения производства мелких фракций щебня, текущий их выход возрастает ежегодно на 10-15 %. При этом отсевы дробления, содержащие от 7-10 до 25-30 % пылевидных и глинистых частиц накапливаются в отвалах и карьерах, ветровое воздействие на которые содействует уносу этих (загрязняющих) частиц на большие расстояния, что крайне отрицательно влияет на жилой комплекс, водоисточники, условия проживания и образ жизни населения [1-5].

В то же время дефицит качественных природных песков для приготовления бетонных смесей должен бы стимулировать строительные организации и заводы стройиндустрии использовать отсевы дробления горных пород в составе как обычного тяжелого, так и мелкозернистого бетона. Однако, неправильная форма зерен отсевов, рваная и шероховатая их поверхность, а также высокое содержание в них пылевидной фракции, увеличивают расход цемента в бетонах и строительных растворах, и сдерживают пока их широкое использование [6, 8-12]. Но, если улучшить форму зерен отсевов, уменьшить в них количество пыли и разделить на фракции, то можно обеспечить дополнительные объемы крупного и среднего песка, щебня и наполнителей для различных видов производства строительной индустрии. Вот только потребуются для этого дорогостоящее технологическое оборудование и значительные финансовые средства, что скажется на удорожании заполнителей и конкурентоспособности выпускаемой продукции. Логично, в этой связи, изыскать всё же возможность использовать отсевы дробления в составах смесей без дополнительного их «облагораживания». При положительном результате, не только снизятся затраты на доставку заполнителей местным строительным организациям и цена на бетонные (железобетонные) изделия, но, за счет утилизации отхода производства щебня улучшится состояние окружающей природной среды, повысится качество жизни населения, будут созданы нормальные условия для деятельности предприятий и организаций [3,5,7].

Ниже, на примере заполнителей (крупного – щебня, мелкого - отсева дробления) из карбонатных пород Жирновского месторождения, без применения в производственном процессе улучшающего качество заполнителей технологического оборудования, показана не только принципиальная возможность, но и высокая эффективность их (заполнителей) применения в составе тяжелого бетона, за счет использования в бетонной смеси побочного продукта производства спирта-пентаэритрита, в виде формиатно-спиртового компонента (разжижителя ФСР), представляющего собой водный раствор 50%-ной концентрации из формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов.

Материалы и методы

Для проведения экспериментальных исследований использовались следующие материалы:

1. Цемент М 500 Новороссийского завода «Октябрь».
2. Крупный заполнитель – щебень фракции 5-20 мм из карбонатных пород Жирновского месторождения с содержанием пылевидных и глинистых частиц свыше 2%, прочностью, определяемой сдавливанием в цилиндре М 800, морозостойкостью F 50, пустотностью 45% .

3. Мелкий заполнитель – отсев дробления фракции 0-5 мм из карбонатных пород Жирновского месторождения с содержанием пылевидных и глинистых частиц до 15%, модулем крупности 3,5.
4. Добавка - побочный продукт производства спирта-пентаэритрита в виде формиатно-спиртового компонента (разжижителя ФСР), представляющего собой водный раствор 50%-ной концентрации из формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов

Решение рецептурно-технологических задач опиралось на современные методы планирования эксперимента, регрессионного и статистического анализа с построением геометрического образа функции отклика способами линейной алгебры[13-15].

Условия кодирования и варьирования факторов планируемого экспериментального исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Кодирование и варьирование факторов

Факторы	Код X_i	Основной уровень, X_0, %	Интервал варьирования, ΔX_i	Нижний уровень, «–»	Верхний уровень, «+»
Цемент	X_1	450	250	200	700
ФСР	X_2	2,5	1,5	1,0	4,0

Графически план экспериментального исследования изображен на рисунке 1, а матрица планирования и условия проведения исследования представлены в таблице 3.

Согласно рис. 1 точки используемого плана экспериментального исследования имеют координаты вершин правильного шестиугольника, построенного в интервале варьирования факторов ± 1 в кодированном виде. Выбранный план удобен тем, что переход от кодированных факторов к натуральным значениям и наоборот легко произвести графически по соответственным осям (рис. 1).

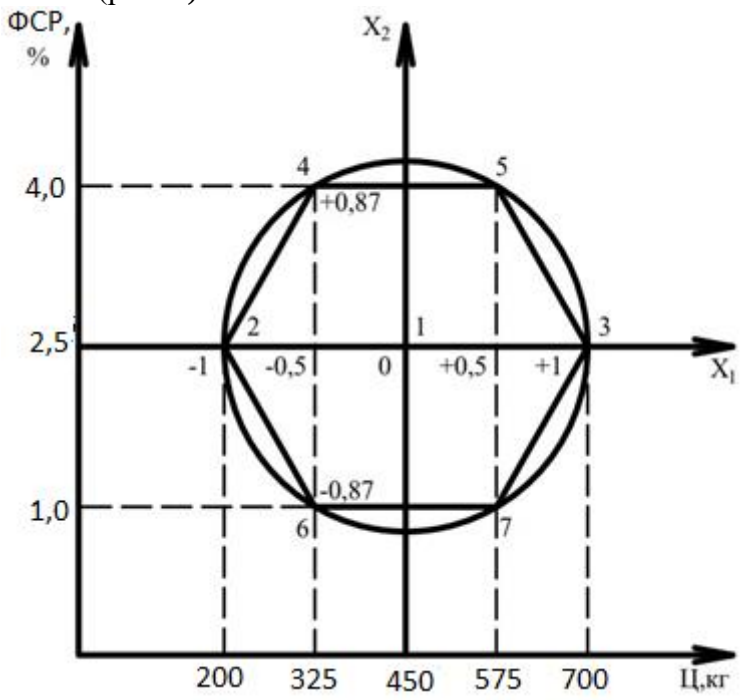


Рисунок 1 – План эксперимента на шестиугольнике

По результатам семи опытов (центр шестиугольника и шесть вершин) определяют

неизвестные коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка [14,15]:

$$\hat{y}_R = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2\ , \quad (1)$$

где:
$$b_0 = (0y) - \sum_{i=1}^{k}(iiy);\ \ b_i = 1/3(iy);\ \ b_{ij} = 4/3(ijy); \quad (2)$$
$$b_{ii} = 2/3(iiy) + 5/6\sum_{i=1}^{k}(iiy) - (0y)$$

Таблица 3 - Матрица планирования и условия эксперимента

Номер опыта	План		X_1^2	X_2^2	X_1X_2	Факторы	
	X_1	X_2				X_1 (Ц)	X_2 (ФСР)
1	0	0	0	0	0	450	2,5
2	-1	0	1	0	0	200	2,5
3	1	0	1	0	0	700	2,5
4	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	325	4,0
5	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	575	4,0
6	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	325	1,0
7	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	575	1,0

Результаты исследования

Используя формулы (2), подсчитывались коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка, расчётные значения которых приведены ниже:

b_0 = 302,4 – (121,68 + 128,63) = 52,09; b_1 = 76,95/3 = 25,65;

b_2 = 4,26/3 = 1,42; b_{12} = 4/3·(1,07) =1,43;

b_{11} = 2/3·(121,68) + 5/6·(121,68 + 128,63) – 302,4 = – 12,69;

b_{22} =2/3·(128,63) + 5/6·(121,68 + 128,63) – 302,4 = – 8,06.

Для прочности бетона на сжатие после тепловлажностной обработки было получено уравнение регрессии в приведённом ниже виде:

$$\hat{y}_R = 52{,}09 + 25{,}65X_1 + 1{,}42X_2 - 12{,}69X_1^2 - 8{,}06X_2^2 + 1{,}43X_1X_2. \quad (3)$$

Регрессионный анализ полученной математической модели (3) выполним после вычисления ошибки эксперимента и подсчёта ошибок коэффициентов регрессионного уравнения. Принимая во внимание трёхкратную повторность опытов, ошибка проведённого эксперимента по воспроизводимости составила $S_{эv} = \sqrt{S_{эv}^2} = 0{,}62$.

Таблица 4 – Расчёт ошибок коэффициентов

$b_м$	b_0	b_i	b_{ii}	b_{ij}
T_i	1,0	0,577	1,224	1,155
$T_i \cdot S_{эv}$	0,62	0,358	0,759	0,716
$t \cdot T_i \cdot S_{эv}$	1,092	0,630	1,336	1,261

Таблица 5 – Регрессионный анализ модели

$b_м$	Начальная модель	$b_{кр}$	Конечная модель	ijy	$b_{ij}(ijy)$
b_0	52,09	1,092	52,09	302,4	15752,02
b_1	25,65	0,630	25,65	76,95	1973,77
b_2	1,42	0,630	1,42	4,26	6,05
b_{11}	-12,69	1,336	-12,69	121,68	-1544,12
b_{22}	-8,06	1,336	-8,06	128,63	-1036,76
b_{12}	1,43	1,261	1,43	1,07	1,53

Сумма квадратов $SS_{мод}$ *и* SS: $SS_{мод}$ =15152,49; $SS_{эv}$ = 5,32.

$$SS = SS_{мод} + SS_{эv} = 15157,81.$$

Произведем проверку адекватности математической модели при риске α = 0,05, и числе степеней свободы $f_{на} = 7 - 6 = 1$ и $f_э = N(n-1) = 14$. Сумма квадратов $SS_{на}$:

$SS_{на} = (yy) - (SS_{мод} + SS_{эv})$ = 15158,94 – (15152,49 + 5,32) = 1,13.

Дисперсия неадекватности $S^2_{на}$ и критерий Фишера, соответственно:

$$S^2_{на} = SS_{на} / f_{на} = 1,13/(7–6) = 1,13,$$
$$F_a = 2,97 < F_T = 4,62.$$

Следовательно, можно допустить, что математическая модель (4)

$$\hat{y}_R = 52,09 + 25,65X_1 + 1,42X_2 - 12,69X_1^2 - 8,06X_2^2 + 1,43X_1X_2. \quad (4)$$

с риском α = 0,05 адекватно отражает результаты экспериментального исследования. Анализ математической модели (4) осуществим после выявления её типа и построения соответствующего ей геометрического образа. С этой целью воспользуемся общей теорией поверхностей второго порядка [14,15], принимая:

$$b_0 - y = a_0; \quad b_{ij} = 2a_{ij}; \quad b_i = 2a_i; \quad b_{ii} = a_{ii}.$$

Инварианты кривой второго порядка - сумма коэффициентов при квадратичных членах(s), определитель, составленный из коэффициентов при старших членах (δ), определитель третьего порядка, образованный из всех коэффициентов (Δ), составят:

$$S = b_{11} + b_{22} = -12,69 - 8,06 = -20.75; \quad (5)$$

:

$$\delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -12,69 & 0,72 \\ 0,72 & -8,06 \end{vmatrix} = 101,76; \quad (6)$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & 0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & b_{22} & 0,5b_2 \\ 0,5b_1 & 0,5b_2 & b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -12,69 & 0,72 & 12,83 \\ 0,72 & -8,06 & 0,71 \\ 12,83 & 0,71 & 52,09 \end{bmatrix} = 6647,21 \quad (7)$$

С учетом того обстоятельства, что $\delta > 0$, $\Delta \neq 0$, $S\Delta < 0$ уравнение (4) описывает

эллиптическую поверхность отклика.

Используя инварианты (5), (6) и (7), представим уравнение (4) в удобной для анализа и геометрической интерпретации канонической форме:

$$\lambda_1 \overline{X}_1^2 + \lambda_2 \overline{X}_2^2 + C = 0. \quad (8)$$

Коэффициенты канонической формы определим через инварианты:

$$C = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{6647{,}21}{101{,}76} = 65{,}32; \quad (9)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{S}{2} \pm \sqrt{\frac{S^2}{4} - \delta} = -10{,}38 \pm 2{,}43; \quad (10)$$

$$\lambda_1 = -12{,}81; \ \lambda_2 = -7{,}95.$$

С точки зрения геометрии, переход к уравнению (8) означает перемещение начала координат в центр кривой (поверхности) и поворот их на некоторый угол до совмещения с главными осями кривой (поверхностями) второго порядка.

С учётом (9) и (10) каноническая форма уравнения (4) примет вид:

$$-12{,}81\overline{X}_1^2 - 7{,}95\overline{X}_2^2 + 65{,}32 = R_{TBO}, \quad (11)$$

а координаты центра поверхности отклика определятся из формул:

$$\overline{X}_{01} = \frac{\begin{vmatrix} -0{,}5b_1 & 0{,}5b_{12} \\ -0{,}5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0{,}5b_{12} \\ 0{,}5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -12{,}83 & 0{,}72 \\ -0{,}71 & -8.06 \end{vmatrix}}{101{,}76} = \frac{103{,}92}{101{,}76} = 1{,}021,$$

$$\overline{X}_{02} = \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0{,}5b_1 \\ 0{,}5b_{12} & -0{,}5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0{,}5b_{12} \\ 0{,}5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -12{,}69 & -12{,}83 \\ 0{,}72 & -0{,}71 \end{vmatrix}}{101{,}76} = \frac{18{,}25}{101{,}76} = 0{,}179. \quad (12)$$

Тангенс угла поворота новых осей по отношению к первоначальным составит:

$$tg\,\alpha = \frac{\lambda_1 - b_{11}}{0{,}5b_{12}} = \frac{-12{,}81 + 12{,}69}{0{,}72} = -0{,}167.$$

.

По канонической форме (11) полуоси эллипсов определяются из следующих ниже соотношений:

$$a = \sqrt{\frac{65{,}32 - R_{\text{ТВО}}}{12{,}81}}; \qquad b = \sqrt{\frac{65{,}32 - R_{\text{ТВО}}}{7{,}95}}. \quad (13)$$

Для функции отклика, задаваясь шагом $\Delta\hat{y}_R$ = 8,0, получим семейство сечений, проекции которых на факторную плоскость будут эллипсами с полуосями, определяемыми по формулам (13).

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 65,0; $a = \sqrt{\frac{65{,}32 - 65{,}0}{12{,}81}} = 0{,}158$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32 - 65{,}0}{7{,}95}} = 0{,}201$;

Для $R_{\text{ТВО}} = 57{,}0$; $a = \sqrt{\frac{65{,}32-57{,}0}{12{,}81}} = 0{,}806$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32-57{,}0}{7{,}95}} = 1{,}023$;

Для $R_{\text{ТВО}} = 49{,}0$; $a = \sqrt{\frac{65{,}32-49{,}0}{12{,}81}} = 1{,}129$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32-49{,}0}{7{,}95}} = 1{,}433$;

Для $R_{\text{ТВО}} = 41{,}0$; $a = \sqrt{\frac{65{,}32-41{,}0}{12{,}81}} = 1{,}378$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32-41{,}0}{7{,}95}} = 1{,}750$;

Для $R_{\text{ТВО}} = 33{,}0$; $a = \sqrt{\frac{65{,}32-33{,}0}{12{,}81}} = 1{,}588$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32-33{,}0}{7{,}95}} = 2{,}016$;

Для $R_{\text{ТВО}} = 25{,}0$; $a = \sqrt{\frac{65{,}32-25{,}0}{12{,}81}} = 1{,}774$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32-25{,}0}{7{,}95}} = 2{,}252$;

Для $R_{\text{ТВО}} = 17{,}0$; $a = \sqrt{\frac{65{,}32-17{,}0}{12{,}81}} = 1{,}942$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32-17{,}0}{7{,}95}} = 2{,}465$;

Для $R_{\text{ТВО}} = 14{,}0$; $a = \sqrt{\frac{65{,}32-14{,}0}{12{,}81}} = 2{,}002$; $b = \sqrt{\frac{65{,}32-14{,}0}{7{,}95}} = 2{,}541$.

Геометрический образ модели $\hat{y}_R$ ($R_{\text{ТВО}}$) изображен на рисунке 2.

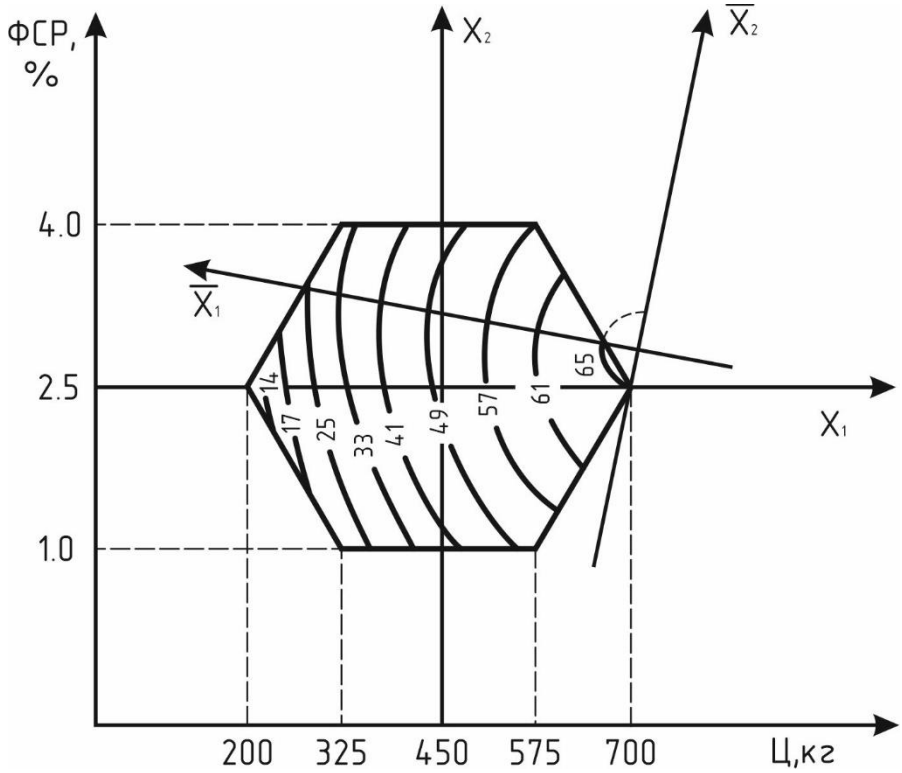


Рисунок 2 – Геометрическая интерпретация модели $\hat{y}_R$ прочности затвердевшей смеси (бетона) после тепловлажностной обработки

Из полученных данных следует, что не смотря на повышенное (до 15%) содержание загрязняющих пылевидных и глинистых частиц прочность бетона после тепловлажностной обработки составила 50-60 МПа. Исходя из общетеоретических представлений объяснить полученные результаты можно тем, что формиатно-спиртовой разжижитель, являясь высокоэффективным пластифицирующим компонентом, наряду с диспергированием коллоидной системы цементного теста, способствует и раздроблению пылевато-глинистой пленки на поверхности зерен заполнителей. При этом, не только повышается текучесть смеси и проявляется дефлокулирующее действие в гидратирующейся системе “цемент-вода”, но и пылевато-глинистая составляющая заполнителей из “пассивной” компоненты смеси

переходит в “активную ” - наиболее мелкие частицы, близкие по размерам к коллоидным, располагаясь между зернами цемента или вблизи них, образуют новые центры кристаллизации в контактной зоне цемента, дополнительно повышая прочность цементного камня в бетоне.

В условиях Новочеркасского завода СМ была изготовлена опытно-промышленная партия железобетонных плит на заполнителях Жирновского месторождения (рисунок 3) для облицовки каналов обводнительных систем. ФСР использовался в виде раствора рабочей концентрации (около 3% от массы цемента). Приготовление его отличалось большей длительностью перемешивания, контролем за процессами растворения и осаждения. Транспортировка и дозирование водного раствора ФСР осуществлялись обычными способами.

Учитывая повышенную текучесть смеси и проявление дефлокулирующего эффекта в гидратирующейся системе “цемент-вода”, в режим тепловлажностной обработки



Рисунок 3 – Партия плит на заполнителях Жирновского месторождения

изделий были внесены коррективы. Для восприятия бетоном плит теплового воздействия в нём следовало сформировать первичную структуру. Предварительная выдержка изделий в пропарочной камере как раз её и формирует. Но, в высокопластичных и высокоподвижных смесях формирование первичной структуры идет крайне медленно. Деформации бетона в зависимости от предварительной выдержки приведены на рисунке 4. Максимальные деформации соответствовали тепловлажностной обработки изделий без предварительной выдержки, минимальные – началу тепловлажностной обработки через 6-7 часов предварительной выдержки, обеспечившей появление первичной структуры, противодействующей расширению воды и газообразной фазы [9,10,13]. Поэтому, предварительное выдерживание изделий до начала тепловлажностной обработки было принято 6-7 часов (рисунок 4).

Подъём температуры в пропарочных камерах осуществляли в течение 4-х часов до 80 °С. Продолжительность изотермической теплообработки – 10 часов. С целью предовращения деструктивных процессов в бетоне и уменьшения деформаций элементов при перепаде температур снижение температуры в пропарочных камерах производили плавно −

скорость остывания элементов не более 25-30°С/час.

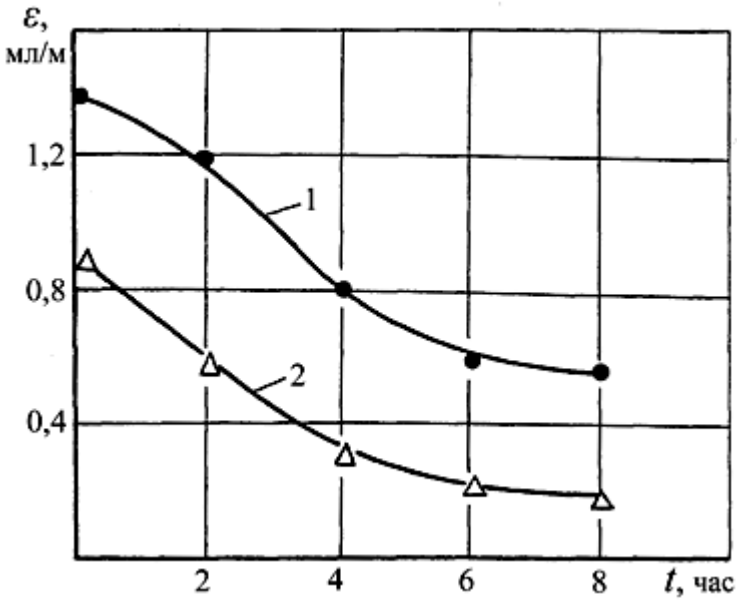


Рисунок 4 – Связь деформации бетона при нагреве с продолжительностью предварительной выдержки элементов:
1 − деформация во время изотермического прогрева;
2 − остаточная деформация

Испытания элементов проводили по стандартным методам. Результаты испытаний соответствовали, в основном, экспериментальным данным.

Результаты проведенных исследований имеют эколого-экономическое значение, поскольку наряду с утилизацией отхода производства щебня, благоприятно влияющей на жилую застройку, водоемы, источники и условия проживания населения, появляется возможность расширения сырьевой базы для производства бетонных и железобетонных элементов водохозяйственных систем за счет использования в бетоне недорогих местных заполнителей.

Заключение

Утилизация отходов переработки карбонатной породы в щебень – отсевов дробления, имеет наряду с экологическим важное и экономическое значение. Ветровое воздействие на накопленные в отвалах отсевы дробления сопровождается уносом мельчайших загрязняющих частиц на значительные расстояния, что негативно влияет на окружающую среду, жилую застройку, водоисточники, условия проживания людей. Использование отсевов дробления в бетонах элементов обводнительных систем не только уменьшит их вредное влияние на жизненные условия, но и расширит сырьевую базу для производства бетонных (железобетонных) элементов водохозяйственных систем, за счет использования в бетонах недорогих местных некондиционных заполнителей. Последнее, стало возможным благодаря добавлению в бетонную смесь формиатно-спиртового разжижителя, обеспечившим получение высокоподвижных с высокой степенью текучести смесей и образованием в них новых центров кристаллизации, дополнительно повышающих прочность цементного камня в бетоне элементов обводнительных систем. Прочность бетона после тепловлажностной обработки составила 50-60 МПа, несмотря на несоответствие карбонатных заполнителей установленным нормативным требованиям по ряду показателей, в том числе по количественному содержанию отрицательно влияющих на качество бетона пылевидных и глинистых части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экология и безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. 447 с.

2. Реймерс Н.Ф. Экология. Теория, законы, правила, принципы, гипотезы. Москва: Россия молодая, 1994. 367 с.

3. Резничеко Л.Т., Чехов А.П. Охрана окружающей среды и использование отходов промышленности: справочник. Днепропетровск: Промінь, 1979. 174 с.

4. Окружающая среда между прошлым и будущим: Мир и Россия / В.И. Данилов-Данильян, В.Г. Горшков, Ю.М. Арский, К.С. Лосев. Москва: ВИНИТИ, 1994. 133 с.

5. Промышленная экология: учебное пособие / В.Н. Азаров, А.И. Ажгиревич, В.Д. Бондаренко и др. Ростов-на-Дону: Издательский центр «Март», 2007. 412 с.

6. Несветаев Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 23-25.

7. Голованов А.И. Основы природообустройства: учебое пособие. Москва: Колос, 2001. 262 с.

8. Несветаев Г.В. Строительные материалы: учебно-справочное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. 608 с.

9. Комохов П.Г. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. 804 с.

10. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов: монография / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, А.П. Прошин и др. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2001. 275 с.

11. Розанов Н.П. Гидротехнические сооружения. Москва: Агропромиздат, 1985. 431 с.

12.Маилян Р.Л. Бетон на карбонатных заполнителях. Ростов-на-Дону, РГУ, 1967. 272 с.

13. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных сооружений. Москва: Стройиздат, 1984. 671 с.

14. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. Москва: Финансы и статистика, 1981. 262 с.

15.Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка результатов. Краснодар: КГАУ, 2004. 239 с.

REFERENCES

1. *Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: uchebnoe posobie* [Ecology and life safety: a textbook]. D.A. Krivoshein, L.A. Muravej, N.N. Roeva i dr. Moscow: YUNITI-DANA, 2000. 447 p.

2. Rejmers N.F. *Ekologiya. Teoriya, zakony, pravila, principy, gipotezy* [Theory, laws, rules, principles, hypotheses]. Moscow: Rossiya molodaya, 1994. 367 p.

3. Reznicheko L.T., Chekhov A.P. *Ohrana okruzhayushchej sredy i ispol'zovanie othodov promyshlennosti: cpravochnik* [Environmental protection and the use of industrial waste: handbook]. Dnepropetrovsk: Promin, 1979. 174 p.

4. *Okruzhayushchaya sreda mezhdu proshlym i budushchim: Mir i* Rossiya [The environment between the past and the future: The world and Russia]. V.I. Danilov-Danil'yan, V.G. Gorshkov, Yu.M. Arskij, K.S. Losev. Moscow: VINITI, 1994. 133 p.

5. *Promyshlennaya ekologiya: uchebnoe posobie* [Industrial ecology: a textbook]. V.N. Azarov, A.I. Azhgirevich, V.D. Bondarenko i dr. Rostov-na-Donu: Izdatel'skij centr “Mart”, 2007. 412 p.

6. Nesvetaev G.V. *Effektivnost' primeneniya superplastifikatorov v betonah* [The effectiveness of the use of superplasticizers in concrete]. *Stroitel'nye materialy*. 2006. No. 10. pp. 23-25.
7. Golovanov A.I. *Osnovy prirodoobustrojstva: ucheboe posobie* [Fundamentals of environmental management: study guide]. Moscow: Kolos, 2001. 262 p.
8. Nesvetaev G.V. *Stroitel'nye materialy: uchebno-spravochnoe posobie* [Building materials: an educational and reference manual]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2009. 608 p.
9. Komohov P.G. *Cementy, betony, stroitel'nye rastvory i suhie smesi* [Cements, concretes, mortars and dry mixes]. St. Petersburg: NPO "Professional", 2007. 804 p.
10. *Struktura, deformativnost', prochnost' i kriterii razrusheniya cementnyh kompozitov: monografiya* [Structure, deformability, strength and criteria of destruction of cement composites: monograph]. N.I. Makridin, I.N. Maksimova, A.P. Proshin i dr. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta, 2001. 275 p.
11. Rozanov N.P. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Hydraulic structures]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 431 p.
12. Mailyan R.L. *Beton na karbonatnyh zapolnitelyah* [Concrete on carbonate aggregates]. Rostov-on-Don: State University, 1967. 272 p.
13. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. *Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh sooruzhenij* [Technology of concrete and reinforced concrete structures]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 671 p.
14. Voznesenskij V. A. *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskih issledovaniyah* [Statistical methods of experiment planning in technical and economic research]. Moscow: Finance and Statistics, 1981. 262 p.
15. Yudin M.I. *Planirovanie eksperimenta i obrabotka rezul'tatov* [Experiment planning and results processing]. Krasnodar: KGAU, 2004. 239 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Федоров Виктор Матвеевич – профессор, доктор технических наук, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова, ФГБОУ ВО Донской ГАУ, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru.	*Viktor Fedorov* – Professor, Dr.Sci.(Eng), Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Donskoy GAU (346428, Russia, Pushskinskaya str., 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru.
Васильева Елена Викторовна – доцент, кандидат технических наук, Южно-Российский гос. политехнический университет им. М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru.	*Vasilyeva Elena Viktorovna* – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, M.I.Platov South Russian State Polytechnic University (346428, Russia, Novocherkassk, Prosvesheniya, 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 10.05.2024; одобрена после рецензирования 22.05.2024, принята к публикации 05.06.2024.
The article was submitted 10.05.2024; approved after reviewing 22.05.2024; accepted for publication 05.06.2024.