

М.М. АБДИБАТТАЕВА, А.К. БЕКЕТОВА, А.А. РЫСМАГАМБЕТОВА, А.Н. САТАЕВА

(КазНУ им. аль – Фараби, г. Алматы)

МЕТОД РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА
ГРУНТОБЕТОНА
НА ОСНОВЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Аннотация

Приведены результаты математического планирования эксперимента при разработке нового технологического процесса изготовления грунтобетона. Исследования оптимального условия изготовления грунтобетона проводились при помощи матрицы планирования экспериментов, основанного на нелинейной множественной корреляции.

Дана оценка воздействия различных факторов на физико-механические свойства грунтобетона.

Ключевые слова: нефтезагрязненный топырак; нефтешлам; матрица; нелинейная множественная корреляция.

Кілт сөздер: мұнаймен ластанған грунт; мұнай қойыртпағы; матрица; сызықты емес жиынтық корреляция.

Keywords: oil-contaminated soil, oil sludge, matrix, non-linear multiple correlation.

При разработке новых технологических процессов был применен метод планирования эксперимента с целью выбора оптимальной стратегии проведения исследования. Это приводит к значительному сокращению объёма экспериментальных работ, так как позволяет извлечь максимум информации при минимальном числе опытов [1].

Для того чтобы увязать все параметры процесса изготовления и получения физико-механических свойств грунтобетона с участием нефтяных отходов в единую систему и на этой основе найти оптимальные условия его изготовления, был использован метод математического планирования, в основу которого положена нелинейная множественная корреляция. Применение данного метода позволяет оценить одновременное влияние количества нефтезагрязненного грунта или нефтешлама (X_1 , %), песка (X_2 , %), воды (X_3 , %), температуры (X_4 , °C), продолжительности изотермической выдержки (X_5 , час) и количества добавки (X_6 , %) на прочности при сжатии и растяжении при изгибе, а также на

коэффициент морозостойкости грунтобетона. Одновременное воздействие всех факторов при определенном их значении дает некоторый конкретный и практически воспроизводимый результат, что говорит о существовании объективной фундаментальной многофакторной зависимости. Исследования проводились при помощи матрицы планирования экспериментов. Матрица – это множество чисел, представленное в виде прямоугольной таблицы из m столбцов и n строк, применительно к рациональному планированию эксперимента число столбцов соответствует числу изучаемых факторов, а число строк равно числу экспериментов. Число экспериментов n определяется числом p уровней или значений, задаваемых каждому фактору, по формуле $n = p^2$. Обычно число уровней выбирается равным 5, в этом случае число экспериментов составит 25.

Для обработки статистических данных применялась эмпирическая формула множественной нелинейной корреляции М.М. Протодяконова [2]:

$$Y_n = \frac{\Pi Y_1}{Y_{cp}^{n-1}}, \quad (1)$$

где Y_n - обобщенная функция от факторов $X_1, X_2 \dots$; Y_1 – частная функция; n – число частных функций (факторов); Π – произведение всех частных функции; Y_{cp} – общее среднее всех учитываемых значений обобщенной функции в степени на единицу меньшей числа частных функций.

Матрица планирования эксперимента, выбранные интервалы и уровни изменения факторов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Уровни изучаемых факторов (на основе нефтезагрязненного грунта)

Наименование фактора	Уровни				
	1	2	3	4	5
Состав 1					
X1 - нефтезагрязненный грунт, %	52	54	56	58	60
X2 – песок, %	19	21	23	25	27
X3 – вода, %	5	5,5	6	6,5	7
X4 – температура, °C	50	55	60	65	70
X5 – время, час	3	3,5	4	4,5	5
Состав 2					
X1 - нефтезагрязненный грунт, %	52	54	56	58	60
X2 – песок, %	19	21	23	25	27

X3 – вода, %	5	5,5	6	6,5	7
X4 – температура, °С	50	55	60	65	70
X5 – время, час	3	3,5	4	4,5	5
X6 – бетонная добавка, %	0,002	0,004	0,006	0,008	0,01

Таблица 2 - Уровни изучаемых факторов (на основе нефтешлама)

Наименование фактора	Уровни				
	1	2	3	4	5
Состав 3					
X1 - нефтешлам, %	52	54	56	58	60
X2 – песок, %	19	21	23	25	27
X3 – вода, %	5	5,5	6	6,5	7
X4 – температура, °С	50	55	60	65	70
X5 – время, час	3	3,5	4	4,5	5
Состав 4					
X1 - нефтешлам, %	52	54	56	58	60
X2 – песок, %	19	21	23	25	27
X3 – вода, %	5	5,5	6	6,5	7
X4 – температура, °С	50	55	60	65	70
X5 – время, час	3	3,5	4	4,5	5
X6 – бетонная добавка, %	0,002	0,004	0,006	0,008	0,01

Согласно заданным условиям каждого опыта предварительно получено 25 опытных значений (табл. 3).

Таблица 3 - Матрица планирования эксперимента

№	X1	X2	X3	X4	X5	X1	X2	X3	X4	X5	X6
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

опыта											
1	52	19	5	50	3	52	19	5	50	3	0,002
2	52	23	6	60	4	52	23	6	60	4	0,006
3	52	21	5,5	55	3,5	52	21	5,5	55	3,5	0,004
4	52	27	7	70	5	52	27	7	70	5	0,01
Продолжение таблицы											
№ опыта	X1	X2	X3	X4	X5	X1	X2	X3	X4	X5	X6
5	52	25	6,5	65	4,5	52	25	6,5	65	4,5	0,008
6	56	19	6	55	5	56	19	6	55	5	0,008
7	56	23	5,5	70	4,5	56	23	5,5	70	4,5	0,002
8	56	21	7	65	3	56	21	7	65	3	0,006
9	56	27	6,5	50	4	56	27	6,5	50	4	0,004
10	56	25	5	60	3,5	56	25	5	60	3,5	0,01
11	54	19	5,5	65	4	54	19	5,5	65	4	0,002
12	54	23	7	50	3,5	54	23	7	50	3,5	0,008
13	54	21	6,5	60	5	54	21	6,5	60	5	0,01
14	54	27	5	55	4,5	54	27	5	55	4,5	0,006
15	54	25	6	70	3	54	25	6	70	3	0,004
16	60	19	7	60	4,5	60	19	7	60	4,5	0,004
17	60	23	6,5	55	3	60	23	6,5	55	3	0,002
18	60	21	5	70	4	60	21	5	70	4	0,008
19	60	27	6	65	3,5	60	27	6	65	3,5	0,01
20	60	25	5,5	50	5	60	25	5,5	50	5	0,006
21	58	19	6,5	70	3,5	58	19	6,5	70	3,5	0,006
22	58	23	5	65	5	58	23	5	65	5	0,004
23	58	21	6	50	4,5	58	21	6	50	4,5	0,002
24	58	27	5,5	60	3	58	27	5,5	60	3	0,008
25	58	25	7	55	4	58	25	7	55	4	0,01

В соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [3], была проведена выборка по уровням факторов из экспериментальных массивов и найдены средние значения частных функций (табл. 4 и 5)

Таблица 4 - Экспериментальные и расчетные значения частных функций
(нефтезагрязненный грунт)

Функция	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Состав 1 - Прочность при сжатии R _{сж}						
Y1э/ Y1р	2,88/2,85	3,35/3,34	3,80/3,88	4,43/4,38	4,87/4,88	3,87/3,87
Y2э/ Y2р	3,75/3,78	3,88/3,82	3,87/3,88	3,90/3,90	3,94/3,96	3,87/3,87
Y3э/ Y3р	3,92/3,96	3,94/3,92	3,86/3,88	3,86/3,83	3,76/3,76	3,87/3,87
Y4э/ Y4р	3,81/3,83	3,86/3,84	3,89/3,88	3,87/3,87	3,90/3,91	3,87/3,97
Y5э/ Y5р	3,85/3,84	3,86/3,86	3,86/3,88	3,89/3,87	3,87/3,89	3,87/3,87
Прочность на растяжение при изгибе						
Y1э/ Y1р	1,34/1,34	1,39/1,40	1,44/1,44	1,49/1,49	1,54/1,54	1,44/1,44
Y2э/ Y2р	1,43/1,43	1,44/1,44	1,44/1,44	1,45/1,45	1,45/1,45	1,44/1,44
Y3э/ Y3р	1,45/1,45	1,45/1,45	1,44/1,44	1,44/1,43	1,43/1,43	1,44/1,44
Y4э/ Y4р	1,44/1,44	1,44/1,44	1,44/1,44	1,45/1,45	1,44/1,45	1,44/1,44
Y5э/ Y5р	1,44/1,44	1,44/1,44	1,44/1,44	1,44/1,44	1,44/1,44	1,44/1,44
Коэффициент морозостойкости						
Y1э/ Y1р	0,48/0,47	0,53/0,53	0,57/0,58	0,63/0,64	0,71/0,70	0,58/0,58
Y2э/ Y2р	0,56/0,56	0,58/0,58	0,59/0,59	0,59/0,59	0,60/0,60	0,58/0,58
Y3э/ Y3р	0,59/0,60	0,59/0,59	0,60/0,58	0,58/0,58	0,56/0,57	0,58/0,58
Y4э/ Y4р	0,58/0,58	0,58/0,58	0,58/0,58	0,59/0,59	0,59/0,59	0,58/0,58
Y5э/ Y5р	0,57/0,58	0,58/0,58	0,58/0,58	0,59/0,59	0,59/0,59	0,58/0,58
Состав 2 - Прочность при сжатии R _{сж}						

Y1э/ Y1p	3,44/3,44	3,96/3,98	4,58/4,54	5,24/5,06	5,45/5,61	4,53/4,53
Y2э/ Y2p	4,20/4,22	4,46/4,40	4,48/4,54	4,68/4,66	4,85/4,83	4,53/4,53
Y3э/ Y3p	4,80/4,70	4,46/4,60	4,51/4,55	4,50/4,44	4,40/4,36	4,53/4,53
Y4э/ Y4p	4,32/4,40	4,52/4,46	4,60/4,52	4,61/4,61	4,62/4,66	4,53/4,53
Y5э/ Y5p	4,48/4,50	4,47/4,53	4,50/4,54	4,50/4,54	4,72/4,54	4,53/4,53
Y6э/ Y6p	4,28/4,40	4,44/4,50	4,54/4,54	4,54/4,54	4,79/4,67	4,53/4,53
Продолжение таблицы 4						
Функция	Уровень					
	1	2	3	4	5	Среднее значение
Прочность на растяжение при изгибе						
Y1э/ Y1p	1,37/1,38	1,43/1,43	1,48/1,48	1,53/1,53	1,58/1,58	1,48/1,48
Y2э/ Y2p	1,46/1,46	1,47/1,47	1,48/1,48	1,49/1,49	1,50/1,50	1,48/1,48
Y3э/ Y3p	1,49/1,49	1,48/1,48	1,48/1,48	1,48/1,48	1,47/1,47	1,48/1,48
Y4э/ Y4p	1,46/1,47	1,47/1,47	1,49/1,48	1,48/1,49	1,49/1,49	1,48/1,48
Y5э/ Y5p	1,48/1,48	1,48/1,48	1,48/1,48	1,48/1,48	1,48/1,48	1,48/1,48
Y6э/ Y6p	1,46/1,47	1,48/1,48	1,48/1,48	1,48/1,48	1,49/1,49	1,48/1,48
Коэффициент морозостойкости						
Y1э/ Y1p	0,58/0,58	0,64/0,63	0,69/0,69	0,74/0,74	0,79/0,79	0,69/0,69
Y2э/ Y2p	0,67/0,67	0,68/0,68	0,68/0,68	0,69/0,69	0,70/0,70	0,69/0,69
Y3э/ Y3p	0,69/0,69	0,69/0,69	0,69/0,69	0,68/0,68	0,68/0,68	0,69/0,69
Y4э/ Y4p	0,66/0,67	0,68/0,69	0,69/0,69	0,69/0,70	0,70/0,70	0,69/0,69
Y5э/ Y5p	0,68/0,68	0,68/0,69	0,68/0,68	0,68/0,69	0,69/0,69	0,69/0,69
Y6э/ Y6p	0,67/0,67	0,68/0,69	0,69/0,68	0,69/0,68	0,70/0,70	0,69/0,69

Таблица 5 - Экспериментальные и расчетные значения частных функций (нефтешлам)

Функция	Уровень					
	1	2	3	4	5	Среднее

						значение
Состав 3 - Прочность при сжатии Rсж						
Y1э/ Y1p	2,51/2,51	3,03/3,04	3,55/3,56	4,11/4,08	4,58/4,60	3,56/3,56
Y2э/ Y2p	3,49/3,51	3,56/3,54	3,56/3,56	3,57/3,58	3,60/3,60	3,56/3,56
Y3э/ Y3p	3,60/3,60	3,58/3,59	3,56/3,56	3,53/3,53	3,52/3,51	3,56/3,56
Y4э/ Y4p	3,55/3,56	3,55/3,55	3,56/3,55	3,56/3,57	3,57/3,56	3,56/3,56
Y5э/ Y5p	3,55/3,55	3,55/3,56	3,55/3,56	3,56/3,55	3,57/3,57	3,56/3,56
Прочность на растяжение при изгибе						
Y1э/ Y1p	1,17/1,19	1,22/1,21	1,26/1,23	1,23/1,25	1,28/1,28	1,23/1,23
Y2э/ Y2p	1,21/1,21	1,23/1,22	1,23/1,22	1,24/1,24	1,23/1,25	1,23/1,23
Y3э/ Y3p	1,24/1,24	1,24/1,24	1,23/1,23	1,23/1,23	1,22/1,22	1,23/1,23
Y4э/ Y4p	1,23/1,23	1,23/1,23	1,23/1,23	1,23/1,23	1,23/1,23	1,23/1,23
Y5э/ Y5p	1,23/1,23	1,23/1,23	1,23/1,23	1,24/1,23	1,23/1,24	1,23/1,23
Коэффициент морозостойкости						
Y1э/ Y1p	0,53/0,53	0,59/0,59	0,64/0,64	0,70/0,69	0,75/0,75	0,64/0,64
Y2э/ Y2p	0,63/0,62	0,64/0,63	0,64/0,64	0,65/0,65	0,66/0,66	0,64/0,64
Y3э/ Y3p	0,65/0,65	0,64/0,65	0,65/0,64	0,64/0,63	0,63/0,63	0,64/0,64
Y4э/ Y4p	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64
Y5э/ Y5p	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64	0,64/0,64
Состав 4 - Прочность при сжатии Rсж						
Y1э/ Y1p	2,83/2,79	3,37/3,42	4,00/4,06	4,77/4,69	5,29/5,32	4,05/4,05
Y2э/ Y2p	4,03/4,03	4,04/4,05	4,05/4,05	4,06/4,07	4,07/4,08	4,05/4,05
Y3э/ Y3p	4,06/4,08	4,06/4,05	4,06/4,06	4,06/4,04	4,03/4,05	4,05/4,05
Y4э/ Y4p	4,01/4,01	4,01/4,03	4,08/4,06	4,08/4,08	4,09/4,10	4,05/4,05
Y5э/ Y5p	4,05/4,04	4,06/4,06	4,05/4,06	4,06/4,05	4,06/4,06	4,05/4,05
Y6э/ Y6p	4,05/4,02	4,05/4,05	4,05/4,05	4,05/4,07	4,08/4,09	4,05/4,05
Прочность на растяжение при изгибе						

Y1э/ Y1р	1,23/1,28	1,33/1,33	1,38/1,38	1,43/1,43	1,48/1,48	1,38/1,38
Y2э/ Y2р	1,35/1,36	1,38/1,37	1,38/1,38	1,39/1,39	1,40/1,40	1,38/1,38
Y3э/ Y3р	1,38/1,38	1,38/1,38	1,38/1,38	1,38/1,38	1,38/1,38	1,38/1,38
Y4э/ Y4р	1,35/1,36	1,37/1,37	1,39/1,38	1,38/1,39	1,39/1,40	1,38/1,38
Y5э/ Y5р	1,36/1,37	1,38/1,38	1,38/1,38	1,38/1,38	1,39/1,39	1,38/1,38
Y6э/ Y6р	1,35/1,36	1,38/1,38	1,38/1,38	1,38/1,38	1,40/1,40	1,38/1,38
Коэффициент морозостойкости						
Y1э/ Y1р	0,58/0,58	0,63/0,63	0,68/0,68	0,73/0,73	0,78/0,78	0,68/0,68
Y2э/ Y2р	0,67/0,67	0,68/0,68	0,69/0,68	0,68/0,68	0,69/0,69	0,68/0,68
Y3э/ Y3р	0,68/0,69	0,68/0,68	0,68/0,68	0,68/0,68	0,68/0,68	0,68/0,68
Y4э/ Y4р	0,66/0,66	0,67/0,67	0,68/0,68	0,70/0,69	0,69/0,70	0,68/0,68
Y5э/ Y5р	0,68/0,68	0,68/0,68	0,68/0,68	0,68/0,68	0,68/0,69	0,68/0,68
Y6э/ Y6р	0,67/0,67	0,68/0,68	0,68/0,68	0,68/0,68	0,69/0,69	0,68/0,68

По средним значениям рассматриваемых функций от каждого фактора построены частные зависимости (рис. 1-3), после аппроксимации которых получены уравнения частных зависимостей (Y) для изученных факторов (табл. 4-5):

Прочность грунтобетона при сжатии (Состав 1): $Y_1 = -10,3468 + 0,2538 \cdot x_1$, от количества нефтезагрязненных грунтов (X1); $Y_2 = 3,4152 + 0,0196 \cdot x_2$, от количества песка (X2); $Y_3 = 4,3508 - 0,0808 \cdot x_3$, от количества воды (X3); $Y_4 = 3,6212 + 0,00408 \cdot x_4$, от температуры (X4); $Y_5 = 3,7976 + 0,0172 \cdot x_5$, от продолжительности изотермической выдержки (X5).

Прочность грунтобетона на растяжение при изгибе (Состав 1): $Y_1 = 0,0248 + 0,0253 \cdot x_1$, (X1); $Y_2 = 1,3749 + 0,0029 \cdot x_2$, (X2); $Y_3 = 1,5064 - 0,0108 \cdot x_3$, (X3); $Y_4 = 1,4128 + 0,00048 \cdot x_4$, (X4); $Y_5 = 1,436 + 0,0012 \cdot x_5$, (X5).

Коэффициент морозостойкости (Состав 1): $Y_1 = -0,9848 + 0,028 \cdot x_1$, (X1); $Y_2 = 0,4728 + 0,0048 \cdot x_2$, (X2); $Y_3 = 0,672 - 0,0148 \cdot x_3$, (X3); $Y_4 = 0,5616 + 0,00036 \cdot x_4$, (X4); $Y_5 = 0,556 + 0,0068 \cdot x_5$, (X5).

Прочность грунтобетона при сжатии (Состав 2): $Y_1 = -9,3408 + 0,2369 \cdot x_1$, от количества нефтезагрязненных грунтов (X1); $Y_2 = 3,6473 + 0,0121 \cdot x_2$, от количества песка (X2); $Y_3 = 4,288 - 0,0604 \cdot x_3$, от количества воды (X3); $Y_4 = 3,5872 + 0,00564 \cdot x_4$, от температуры (X4); $Y_5 = 3,7124 + 0,0504 \cdot x_5$, от продолжительности изотермической выдержки (X5); $Y_6 = 3,8896 + 0,012 \cdot x_6$, от количества химической добавки.

Прочность грунтобетона на растяжение при изгибе (Состав 2): $Y_1 = -0,0308 + 0,0262 \cdot x_1, (X_1)$; $Y_2 = 1,3904 + 0,002 \cdot x_2, (X_2)$; $Y_3 = 1,5468 - 0,0184 \cdot x_3, (X_3)$; $Y_4 = 1,4028 + 0,00056 \cdot x_4, (X_4)$; $Y_5 = 1,4172 + 0,0044 \cdot x_5, (X_5)$; $Y_6 = 1,4466 - 0,0034 \cdot x_6, (X_6)$.

Коэффициент морозостойкости (Состав 2): $Y_1 = -0,2536 + 0,0151 \cdot x_1, (X_1)$; $Y_2 = 0,4149 + 0,0077 \cdot x_2, (X_2)$; $Y_3 = 0,8464 - 0,0424 \cdot x_3, (X_3)$; $Y_4 = 0,5224 + 0,00116 \cdot x_4, (X_4)$; $Y_5 = 0,5144 + 0,016 \cdot x_5, (X_5)$; $Y_6 = 0,6028 - 0,0036 \cdot x_6, (X_6)$.

Прочность грунтобетона при сжатии (Состав 3): $Y_1 = -11,0468 + 0,2608 \cdot x_1$, от количества нефтешлама (X_1); $Y_2 = 3,2958 + 0,0114 \cdot x_2$, от количества песка (X_2); $Y_3 = 3,834 - 0,0464 \cdot x_3$, от количества воды (X_3); $Y_4 = 3,522 + 0,0006 \cdot x_4$, от температуры (X_4); $Y_5 = 3,5376 + 0,0044 \cdot x_5$, от продолжительности изотермической выдержки (X_5).

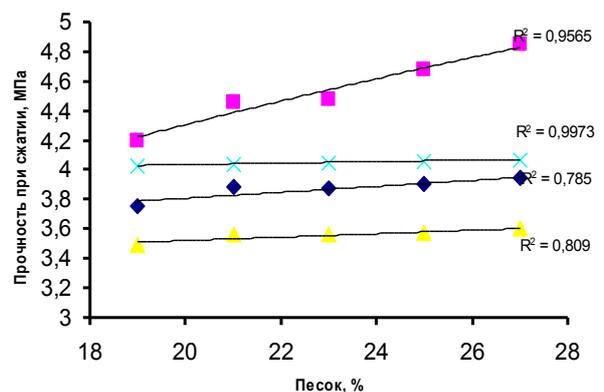
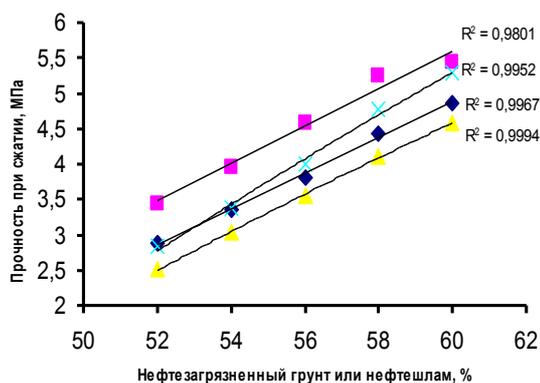
Прочность грунтобетона на растяжение при изгибе (Состав 3): $Y_1 = 0,6108 + 0,0111 \cdot x_1, (X_1)$; $Y_2 = 1,1381 + 0,0041 \cdot x_2, (X_2)$; $Y_3 = 1,2828 - 0,0084 \cdot x_3, (X_3)$; $Y_4 = 1,218 + 0,00024 \cdot x_4, (X_4)$; $Y_5 = 1,2188 + 0,0036 \cdot x_5, (X_5)$.

Коэффициент морозостойкости (Состав 3): $Y_1 = -0,8712 + 0,027 \cdot x_1, (X_1)$; $Y_2 = 0,5557 + 0,0037 \cdot x_2, (X_2)$; $Y_3 = 0,696 - 0,0092 \cdot x_3, (X_3)$; $Y_4 = 0,6264 + 0,00024 \cdot x_4, (X_4)$; $Y_5 = 0,636 + 0,0012 \cdot x_5, (X_5)$.

Прочность грунтобетона при сжатии (Состав 4): $Y_1 = -13,6252 + 0,3157 \cdot x_1$, от количества нефтешлама (X_1); $Y_2 = 3,9252 + 0,0056 \cdot x_2$, от количества песка (X_2); $Y_3 = 4,1212 - 0,0112 \cdot x_3$, от количества воды (X_3); $Y_4 = 3,7828 + 0,00452 \cdot x_4$, от температуры (X_4); $Y_5 = 4,0228 + 0,008 \cdot x_5$, от продолжительности изотермической выдержки (X_5); $Y_6 = 4,0282 + 4,3 \cdot x_6$, от количества химической добавки (X_6).

Прочность грунтобетона на растяжение при изгибе (Состав 4): $Y_1 = 0,0068 + 0,0245 \cdot x_1, (X_1)$; $Y_2 = 1,2477 + 0,0057 \cdot x_2, (X_2)$; $Y_3 = 1,3932 - 0,0024 \cdot x_3, (X_3)$; $Y_4 = 1,278 + 0,00168 \cdot x_4, (X_4)$; $Y_5 = 1,3472 + 0,0076 \cdot x_5, (X_5)$; $Y_6 = 1,3746 + 0,7 \cdot x_6, (X_6)$.

Коэффициент морозостойкости (Состав 4): $Y_1 = -0,714 + 0,0249 \cdot x_1, (X_1)$; $Y_2 = 0,639 + 0,0018 \cdot x_2, (X_2)$; $Y_3 = 0,6948 - 0,0024 \cdot x_3, (X_3)$; $Y_4 = 0,5628 + 0,00196 \cdot x_4, (X_4)$; $Y_5 = 0,6688 + 0,0028 \cdot x_5, (X_5)$; $Y_6 = 0,6774 + 0,5 \cdot x_6, (X_6)$.



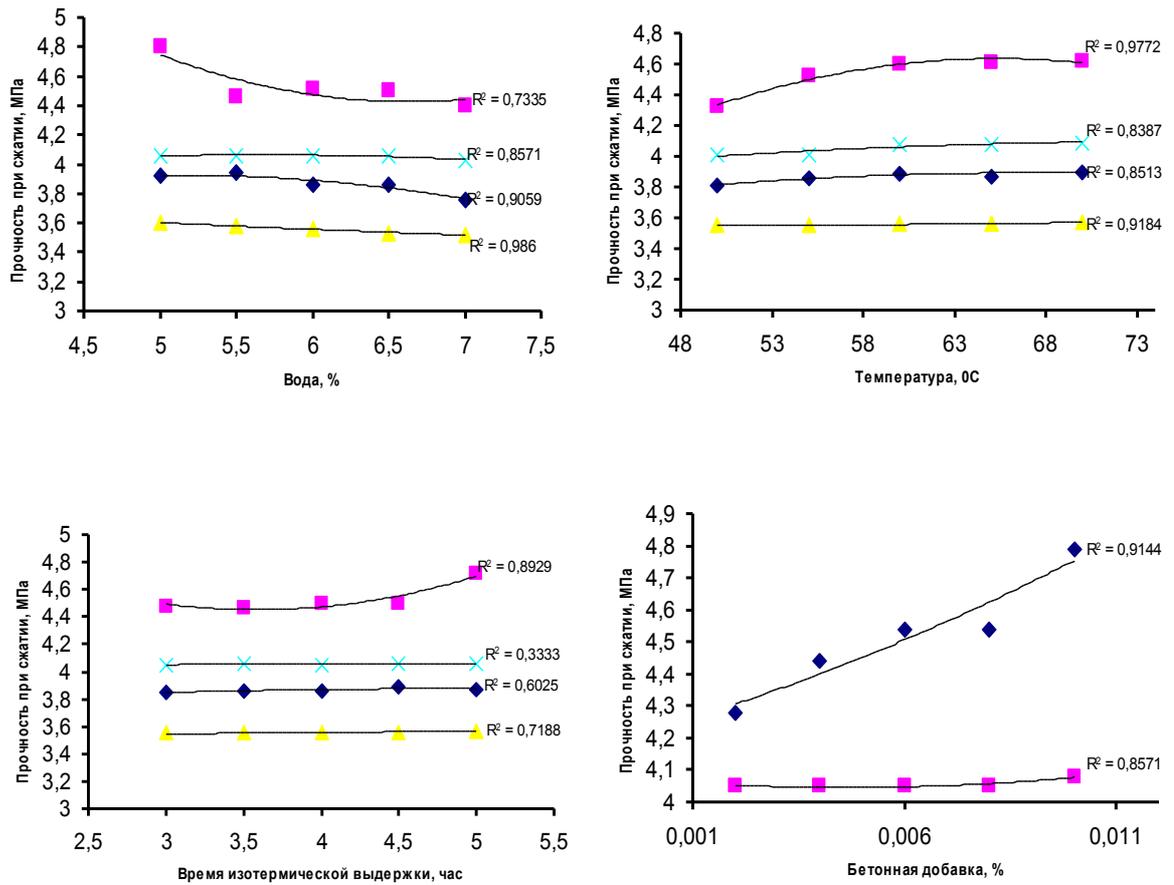
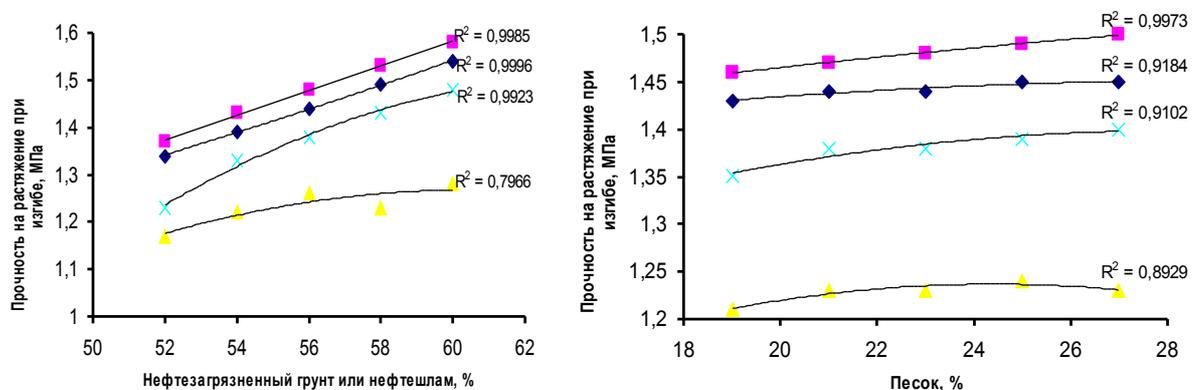


Рисунок 1 – Частные зависимости прочности грунтобетона при сжатии от количества нефтезагрязненных грунтов

или нефтешламов (У1), количества песка (У2), количества воды (У3), температуры (У4), продолжительности изотермической выдержки (У5) и бетонной добавки (У6)



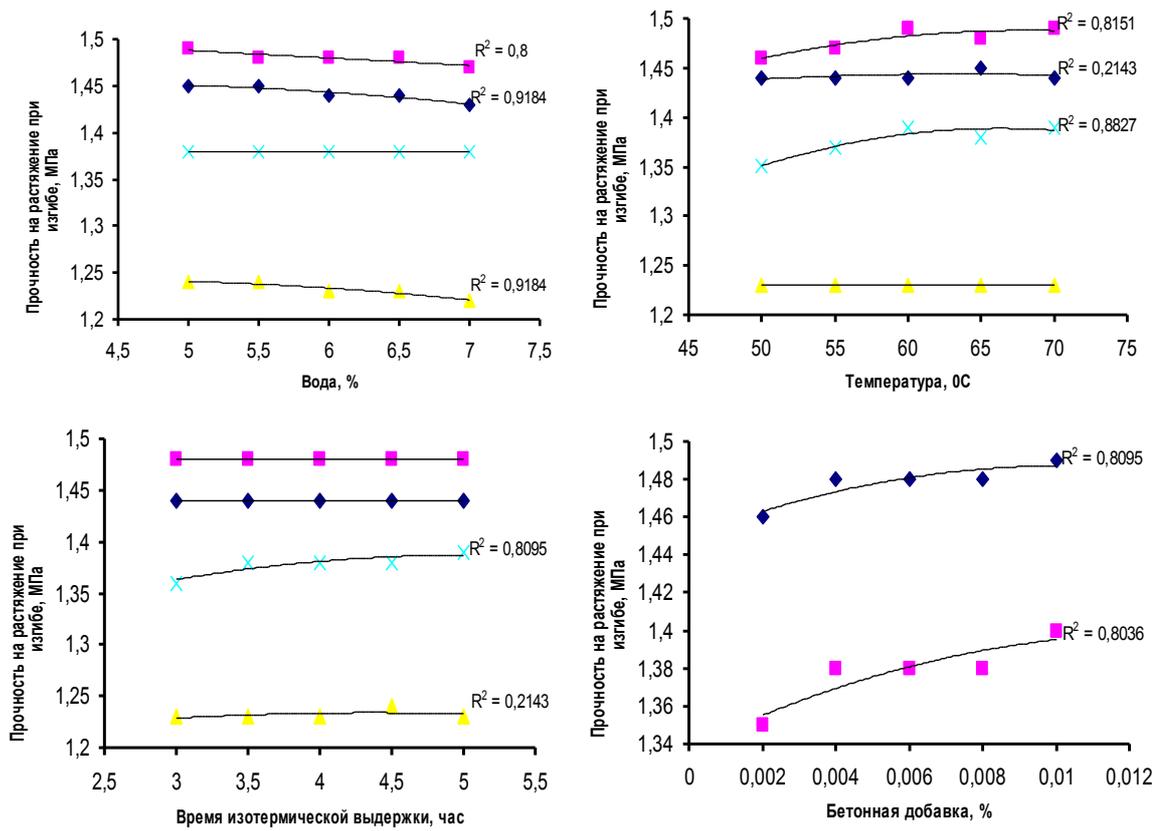
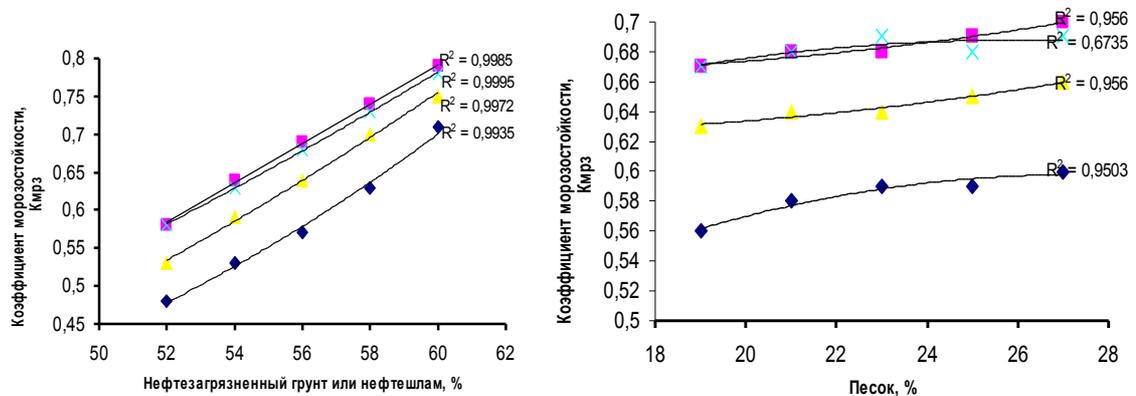


Рисунок 2 – Частные зависимости прочности грунтобетона на растяжение при изгибе от количества

нефтезагрязненных грунтов или нефтешламов (У1), количества песка (У2), количества воды (У3),

температуры (У4), продолжительности изотермической выдержки (У5), бетонной добавки (У6)



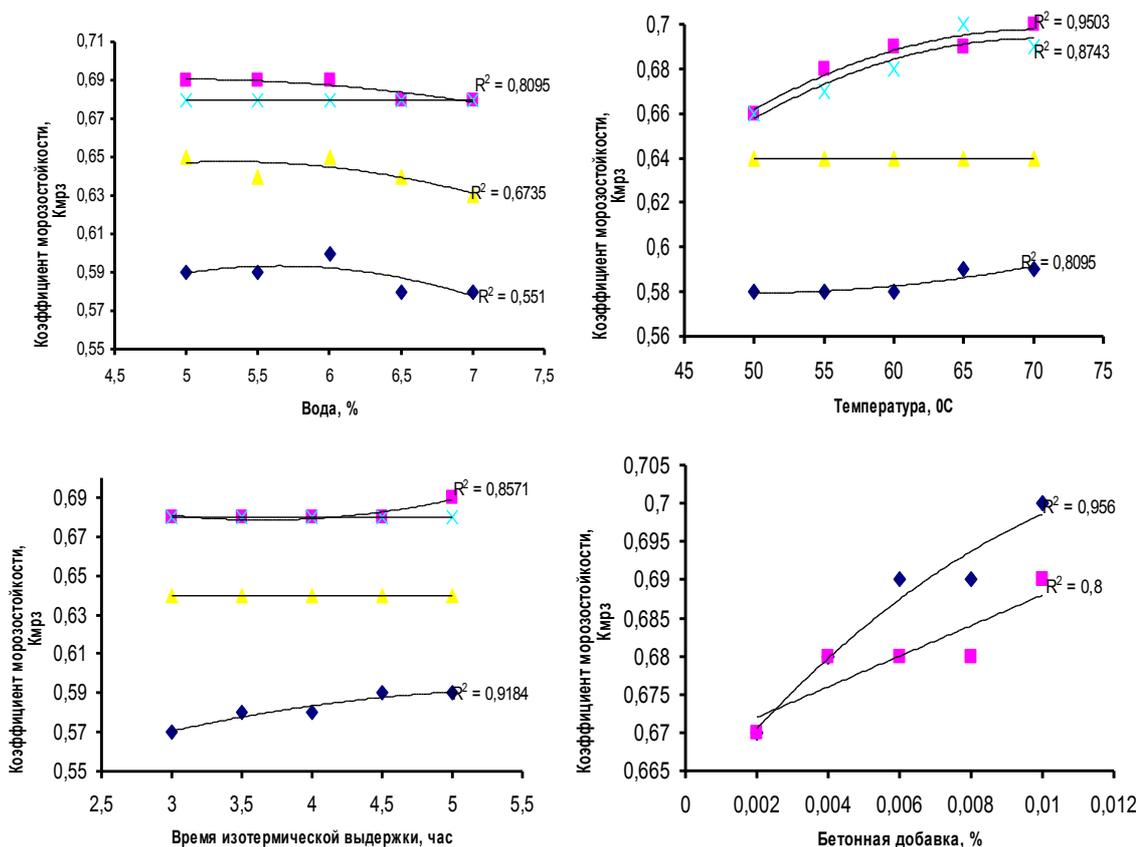


Рисунок 3 - Частные зависимости коэффициента морозостойкости грунтобетона от количества нефтезагрязненных грунтов или нефтешламов (У1), количества песка (У2), количества воды (У3), температуры (У4),

продолжительности изотермической выдержки (У5), бетонной добавки (У6)

Частные зависимости проверялись по коэффициенту нелинейной множественной корреляции R [3] и его критерию $tR > 2$ [4]. Результаты расчета коэффициента нелинейной множественной корреляции и его значимости представлены в табл. 66. На основе частных зависимостей составлено обобщенное многофакторное уравнение по методу

Протоdjeяконова:

Состав 1 (Нефтезагрязненный грунт)

$$R_{сж} = \frac{[-10,3468 + 0,2538 \cdot x_1] \cdot [3,4152 + 0,0196 \cdot x_2] \cdot [4,3508 - 0,0808 \cdot x_3] \cdot [3,6212 + 0,00408 \cdot x_4] \cdot [3,7976 + 0,0172 \cdot x_5]}{3,86608^4}$$

$$R_{изгиб} = \frac{[0,0248 + 0,0253 \cdot x_1] \cdot [1,3749 + 0,0029 \cdot x_2] \cdot [1,5064 - 0,0108 \cdot x_3] \cdot [1,4128 + 0,00048 \cdot x_4] \cdot [1,436 + 0,0012 \cdot x_5]}{1,44144^4}$$

$$K_{\text{мрз}} = \frac{[-0,9848 + 0,028 \cdot x_1] \cdot [0,4728 + 0,0048 \cdot x_2] \cdot [0,672 - 0,0148 \cdot x_3] \cdot [0,5616 + 0,00036 \cdot x_4] \cdot [0,556 + 0,0068 \cdot x_5]}{0,5832^4}$$

R = 0, 9949, tr = 426, 45 - прочность грунтобетона при сжатии;

R = 0, 9970, tr = 743, 63 - прочность грунтобетона на растяжение при изгибе;

R = 0, 9756, tr = 88, 56 - коэффициент морозостойкости грунтобетона.

Состав 2 (Нефтезагрязненный грунт)

$$R_{\text{сж}} = \frac{[-9,3408 + 0,2369 \cdot x_1] \cdot [3,6473 + 0,0121 \cdot x_2] \cdot [4,288 - 0,0604 \cdot x_3] \cdot [3,5872 + 0,00564 \cdot x_4] \cdot [3,7124 + 0,0504 \cdot x_5] \cdot [3,8896 + 0,012 \cdot x_6]}{4,5278^5}$$

$$R_{\text{изгиб}} = \frac{[-0,0308 + 0,0262 \cdot x_1] \cdot [1,3904 + 0,002 \cdot x_2] \cdot [1,5468 - 0,0184 \cdot x_3] \cdot [1,4028 + 0,00056 \cdot x_4] \cdot [1,4172 + 0,0044 \cdot x_5] \cdot [1,4466 - 0,0034 \cdot x_6]}{1,3786^5}$$

$$K_{\text{мрз}} = \frac{[-0,2536 + 0,0151 \cdot x_1] \cdot [0,4149 + 0,0077 \cdot x_2] \cdot [0,8464 - 0,0424 \cdot x_3] \cdot [0,5224 + 0,00116 \cdot x_4] \cdot [0,5144 + 0,016 \cdot x_5] \cdot [0,6028 - 0,0036 \cdot x_6]}{0,6803^5}$$

R = 0, 9665, tr = 62, 40 - прочность грунтобетона при сжатии;

R = 0, 9957, tr = 496, 92 - прочность грунтобетона на растяжение при изгибе;

R = 0, 9964, tr = 603, 30 - коэффициент морозостойкости грунтобетона.

Состав 3 (Нефтешлам)

$$R_{\text{сж}} = \frac{[-11,0468 + 0,2608 \cdot x_1] \cdot [3,2958 + 0,0114 \cdot x_2] \cdot [3,834 - 0,0464 \cdot x_3] \cdot [3,522 + 0,0006 \cdot x_4] \cdot [3,5376 + 0,0044 \cdot x_5]}{3,5574^4}$$

$$R_{\text{изгиб}} = \frac{[0,6108 + 0,0111 \cdot x_1] \cdot [1,1381 + 0,0041 \cdot x_2] \cdot [1,2828 - 0,0084 \cdot x_3] \cdot [1,218 + 0,00024 \cdot x_4] \cdot [1,2188 + 0,0036 \cdot x_5]}{1,2325^4}$$

$$K_{\text{мрз}} = \frac{[-0,8712 + 0,027 \cdot x_1] \cdot [0,5557 + 0,0037 \cdot x_2] \cdot [0,696 - 0,0092 \cdot x_3] \cdot [0,6264 + 0,00024 \cdot x_4] \cdot [0,636 + 0,0012 \cdot x_5]}{0,6408^4}$$

R = 0, 9992, tr = 3011, 99 - прочность грунтобетона при сжатии;

R = 0, 8330, tr = 11, 86 - прочность грунтобетона на растяжение при изгибе;

R = 0, 9969, tr = 719, 93 - коэффициент морозостойкости грунтобетона.

Состав 4 (Нефтешлам)

$$R_{\text{сж}} = \frac{[-13,6252 + 0,3157 \cdot x_1] \cdot [3,9252 + 0,0056 \cdot x_2] \cdot [4,1212 - 0,0112 \cdot x_3] \cdot [3,7828 + 0,00452 \cdot x_4] \cdot [4,0228 + 0,008 \cdot x_5] \cdot [4,0282 + 4,3 \cdot x_6]}{4,0541^5}$$

$$R_{\text{изгиб}} = \frac{[0,0068 + 0,0245 \cdot x_1] \cdot [1,2477 + 0,0057 \cdot x_2] \cdot [1,3932 - 0,0024 \cdot x_3] \cdot [1,278 + 0,00168 \cdot x_4] \cdot [1,3472 + 0,0076 \cdot x_5] \cdot [1,3746 + 0,7 \cdot x_6]}{1,3786^5}$$

$$K_{\text{мрз}} = \frac{[-0,714 + 0,0249 \cdot x_1] \cdot [0,639 + 0,0018 \cdot x_2] \cdot [0,6948 - 0,0024 \cdot x_3] \cdot [0,5628 + 0,00196 \cdot x_4] \cdot [0,6688 + 0,0028 \cdot x_5] \cdot [0,6774 + 0,5 \cdot x_6]}{0,6803^5}$$

R = 0, 9965, tr = 609, 83 - прочность грунтобетона при сжатии;

R = 0, 9856, tr = 146, 63 - прочность грунтобетона на растяжение при изгибе;

R = 0, 9933, tr = 316, 15 - коэффициент морозостойкости грунтобетона.

В уравнение (1) подставлялись уровни факторов по каждому из приведенных 25 опытов и вычислялись расчетные значения их функций.

Обобщенное уравнение характеризуется высокими значениями коэффициентов корреляции и их значимости (R, tR), что свидетельствует об адекватности полученных зависимостей. Наибольшее влияние набора прочности при сжатии оказывают температура и продолжительность изотермической выдержки, а наименьшее – количество воды. В обобщенное уравнение (1) были введены максимальные значения всех частных функций и найдены теоретические пределы прочности грунтобетона при сжатии с использованием нефтезагрязненного грунта – 4,53 Мпа, нефтешлама – 4,05 Мпа. Прочность грунтобетона на растяжение при изгибе соответственно с использованием нефтезагрязненного грунта – 1,48 Мпа, нефтешлама – 1,38 Мпа. Коэффициент морозостойкости с использованием нефтезагрязненного грунта – 0,69, нефтешлама – 0,68. Решение сформулированной задачи на ЭВМ позволило определить оптимальные условия изготовления грунтобетона на

основе нефтяных отходов для следующих параметров: температура – (60 – 70) °С, продолжительность изотермической выдержки – (5 – 5,5) ч, количество, в % нефтяных отходов – (58 – 60), песка – (25 – 27), воды – (5 – 5,5) и бетонной добавки 0,01. Расчет оптимизации процесса изготовления и формирования физико-механических свойств грунтобетона был подтвержден контрольными экспериментами.

Таблица 6 - Коэффициент нелинейной множественной корреляции

Функция	Коэффициент корреляции (R)	Значимость коэффициента корреляции (tR)	Коэффициент корреляции (R)	Значимость коэффициента корреляции (tR)
Состав 1 - 3				
Нефтезагрязненный грунт		Нефтешлам		
Прочность грунтобетона при сжатии				
Y1	0,9978	403,96	0,9995	2066,76
Y2	0,8460	5,15	0,9023	8,41
Y3	0,8660	6,00	0,9909	95,42
Y4	0,8259	4,50	0,8164	4,24
Y5	0,7508	2,98	0,9428	14,69
Прочность грунтобетона на растяжение при изгибе				
Y1	0,9998	4376,75	0,8240	4,44
Y2	0,9790	40,88	0,9172	10,01
Y3	0,9487	16,46	0,7576	3,08
Y4	0,8294	4,60	0,8164	4,24
Y5	0,8164	4,24	0,7943	3,72
Коэффициент морозостойкости				
Y1	0,9899	85,86	0,9989	845,96
Y2	0,8940	7,72	0,9702	28,64
Y3	0,6908	2,28	0,8651	5,95
Y4	0,6963	2,34	0,7679	3,24
Y5	0,7758	3,37	0,8164	4,24

Состав 2 -4				
Нефтезагрязненный грунт			Нефтешлам	
Прочность грунтобетона при сжатии				
Y1	0,9863	63,06	0,9973	326,62
Y2	0,9716	30,14	0,8824	6,90
Y3	0,6839	2,22	0,6597	2,02
Y4	0,8147	4,19	0,8730	6,36
Y5	0,8008	3,86	0,7533	3,01
Y6	0,7132	2,51	0,7703	3,28
Прочность грунтобетона на растяжение при изгибе				
Y1	0,9995	1801,87	0,9992	1164,23
Y2	0,9811	45,53	0,9305	12,02
Y3	0,9258	11,22	0,7679	3,24
Y4	0,8410	4,97	0,7530	3,01
Y5	0,8416	4,99	0,6581	2,01
Y6	0,8164	4,24	0,7576	3,08
Коэффициент морозостойкости				
Y1	0,9989	801,07	0,9997	2983,45
Y2	0,9801	43,24	0,7943	3,72
Y3	0,9607	21,63	0,8164	4,24
Y4	0,9751	34,43	0,8981	8,04
Y5	0,7708	3,29	0,8692	6,15
Y6	0,8164	4,24	0,9258	11,22

ЛИТЕРАТУРА

Протоdjяконов М.М. Методика рационального планирования экспериментов – М., 1961

Протодряконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов – М., 1970

Малышев В.П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. – Алма-Ата: Наука, 1977. –с. 37

Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное отображение. Караганда: Галым, 1994. с. 37

REFERENCES

- 1 Protodyakonov M.M. Methods rational design of experiments - Moscow, 1961
- 2 Protodyakonov M.M., T?der R.I. Methods rational design of experiments - Moscow, 1970
- 3 Malyshev V.P. Mathematical planning of metallurgical and chemical experiment. - Alma-Ata: Nauka, 1977. -С. 37
- 4 Malyshev V.P. Probabilistic and deterministic mapping. Karaganda: Galim, 1994. s. 37

Резюме

М.М. Әбдібаттаева, А.К. Бекетова, А.А. Рысмағамбетова, А.Н. Сатаева

(әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ.)

МҰНАЙ ҚҰРАМДЫ ҚАЛДЫҚТАР НЕГІЗІНДЕ топырақБЕТОННЫҢ ҚОЛАЙЛЫ ҚҰРАМЫН АНЫҚТАУ ТӘЖІРИБЕСІН ЖОСПАРЛАУДЫҢ ТИІМДІ ӘДІСІ

Мақалада топырақбетонды дайындаудың жаңа технологиялық үдерісін жасауда экспериментті математикалық жоспарлаудың нәтижелері келтірілген. Топырақбетонды дайындаудың қолайлы жағдайын зерттеу сызықты емес көп еселік ауытқуға негізделген тәжірибені жоспарлау матрицалары көмегімен жүргізілді. Топырақбетонның физика-механикалық қасиеттеріне әсер ететін факторларына баға берілді.

Кілт сөздер: мұнаймен ластанған топырақ; мұнай қойыртпағы; матрица; сызықты емес көп еселік ауытқу.

Summary

M.M. Abdibattayeva, A.K. Beketova, A.A. Rysmagambetova, A.N. Satayeva

(al-Farabi KazNU, Almaty)

THE METHOD OF RATIONAL PLANNING EXPERIMENT FOR DETERMINING THE OPTIMAL COMPOSITION SOIL-CONCRETE BASED ON OILY WASTE

The results of mathematical planning of the experiment in the development of a new technological process of soil-concrete. The studies of optimal manufacturing conditions soil-concrete were carried out using a matrix design of experiments based on the nonlinear multiple correlation. The estimation of the impact of various factors on the physical and mechanical properties of the soil-concrete.

Keywords: oil-contaminated soil, oil sludge, matrix, non-linear multiple correlation.

Поступила 06.05.2013 г.