

Площадь щита, расположенного за пределами контура колонны, определяется по формуле:

$$S_{\text{ВЩ}_1} = S_{\text{ВЩ}_2} = S_{\text{ВЩ}_3} = S_{\text{ВЩ}_4} = \frac{h_0}{2} \left(\frac{h_0}{2} + d \right)$$

где $S_{\text{ВЩ}_1}, S_{\text{ВЩ}_2}, S_{\text{ВЩ}_3}, S_{\text{ВЩ}_4}$ – равные площади вакуум щитов; h_0 – рабочая высота сечения колонны; d – размер стороны квадратного сечения колонны.

Площадь вакуумщита, расположенного внутри колонны определяется по формуле:

$$S_{\text{ВЩ}_5} = (d - 2(x + D_A)),$$

где D_A – сумма диаметров продольной и поперечной арматуры колонны; x – толщина защитного слоя бетона.

Длительность процесса вакуумной обработки бетонной смеси зависит от размеров конструкции, и в среднем составляет – 1 минута на 1см толщины обрабатываемой поверхности.

Разработанные технологические решения служат предпосылкой для дальнейшего проведения экспериментального исследования по уплотнению бетонной смеси на участке соединения колонны и безбалочной

(безкапитальной) плиты перекрытия с применением вибровакуумирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Железобетонные монолитные конструкции зданий. СП 52-103-2007. – Москва, 2007, 27 с.
2. Плясунов Е.Г. Безкапитальный стык колонны и перекрытия с комбинированным армированием в монолитном железобетонном безбалочном каркасе. Автореферат на соискание уч. степени к.т.н., Красноярск, 2006, 20 с.
3. Абдулатиф М.Х. Совершенствование технологии вакуумирования бетона. Автореферат на соискание уч. степени к.т.н., Днепропетровск, 1992,- 19с.
4. Заренков Д.В. Интенсификация технологических процессов монолитного домостроения. Диссертация на соискание уч. степени к.т.н. – Санкт-Петербург, 2003
5. Котляр Н.И, Житинская Н.М. Использование метода вакуумирования бетона в каркасно-монолитном строительстве. Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009.- Вип.51-С 90-95.
6. Скворцов С.Г.. Вакуумирование бетона в строительстве. - М.: Госстройиздт, 1955.-138с.
7. НИИЖБ. Разработка методики расчета и конструирования монолитных железобетонных безбалочных перекрытий, фундаментных плит и ростверков на продавливание. – Москва, 2002.

УДК 69.059

Гречко Н.В., канд. техн. наук, Шумаков И.В., канд. техн. наук, Секретная В.Н., аспирантка, Ракивненко Д.В., канд. техн. наук
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УСТРОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОННЫХ ПОЛОВ

Проблемами оптимизации при прогнозировании параметров организационно-технологических решений занимался ряд ученых. Среди подобных работ – труды Ю.П. Адлера [1; 2], В.А. Вознесенского [4], В. В. Налимова [8]. В них авторами рассматриваются вопросы, связанные с принятием неформализованных решений при выборе параметра оптимизации фак-

торов и при интерпретации результатов. В работах Н. Джонсона и Ф. Лиона [7], К. Хартмана [14] излагаются стандартные статистические методы и приемы, широко используемые при выполнении любой экспериментальной работы, построении математических моделей различного вида, экспериментальной оптимизации. Необходимо отметить, что методологически эти и

другие подобные работы создают основу для решения оптимизационных задач, но алгоритм, предопределенный в них, всякий раз требует цикличности действий, не всегда приводящих к выявлению закономерностей.

Целью исследования является определение степени влияния организационно-технологических факторов на технико-экономические показатели работ по устройству высокопрочных бетонных полов.

Основной раздел. Изменение любого показателя зависит от большого числа факторов, но из них лишь некоторые оказывают существенное воздействие на исследуемый показатель, доля же остальных факторов незначительна.

Разработка многофакторной математической модели, в первую очередь, предусматривала выбор факторов модели и их экспертную оценку.

Выбор факторов – очень ответственный этап при построении математической модели, от их удачного выбора зависит успех оптимизации. Требования к совокупности факторов: совместимость и отсутствие линейной корреляции. Выбранное множество факторов должно быть достаточно полным, точность фиксации факторов должна быть высокая [5, 10].

При оценке степени влияния факторов на выбранный параметр часто используются экспертные оценки. Поскольку специалисты могут приписывать факторам ранги, то и при обработке результатов естественно использовать ранговые методы.

Широкому кругу специалистов (экспертам), работающим в сфере проектирования и устройства высокопрочных бетонных полов, предложили расположить факторы в порядке убывания степени их влияния на выбранный параметр оптимизации. Для принятия правильных, независимых решений и оценок были приглашены эксперты – опытные специалисты в области строительства: главные инженеры специализированных подрядных организаций, начальники строительных управлений, главные технологи.

Предложенные факторы были оценены методом анкетирования.

В анкете экспертам предлагалось рассмотреть следующие факторы:

x_1 – окно затирки (t , час) [11]; x_2 – количество затирочных машин (n , шт); x_3 – диаметр дисков (d , мм); x_4 – тип затирочных машин (T); x_5 – производительность затирочных машин (P , м²/час); x_6 – коэффициент перекрытия (k , %); x_7 – длина захватки (L , м); x_8 – ширина захватки (W , м); x_9 – температура при производстве работ (t , °C); x_{10} – оптимальный тип заглаживающей рейки (T_1); x_{11} – средний разряд рабочих (CP); x_{12} – состав звена (N , чел).

В качестве основного технологического параметра, который является параметром оптимизации, выбран y_1 – продолжительность выполнения работ.

Не все эксперты оценили вклад различных факторов одинаково, например четвертый и седьмой эксперты – трижды признали вклад двух факторов одинаковым. Поскольку в некоторых случаях ранги совпадали, была проведена стандартизация рангов, которые определяются по формуле

$$R_{ij}^{\text{Stand}} = \frac{R_{ij} \cdot D_{\text{total}}}{D_i}, \quad (1)$$

где R_{ij} – значение i -го ранга j -го фактора;

D_{total} – сумма членов ряда явлений или фактора; D_i – сумма рангов, присвоенная i -ым экспертом по всем факторам:

$$D_i = \sum_{j=1}^n R_{ij}. \quad (2)$$

Значение суммы членов ряда факторов D_{total} находим из соотношения:

$$D_{\text{total}} = m(n+1)/2, \quad (3)$$

где m – общее число экспертов в группе, n – общее число факторов.

Полученные стандартизованные ранги в отличие от исходных рангов сопоставимы между собой. Сумма стандартизованных рангов по каждому фактору отражает коллективное мнение экспертов и является итоговой коллективной оценкой (фрагмент расчетов показан в табл. 1).

Таблица 1 - Стандартизированные ранги опроса группы экспертов

Эксперты	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	D_i
1	3	5	7	4	1	12	6	2	10	8	9	11	78
2	2	5	6	3	1	7	4	9	11	8	10	12	78
3	5	11	9	6	4	10	7	1	12	3	2	8	78
4	4.55	3.6	0.9	7.3	4.6	1.8	2.7	8.2	9.1	5.5	10.	6.4	64.6
...													
15	1	2	2	6	4	11	10	8	9	7	9	9	1.0
Сумма рангов													
	43.58	86.4	72.2	95.7	53.2	122.6	89.5	83.9	157.4	85.1	106.5	151.8	
Среднее значение S_{cp}													
	97.5												
Отклонение суммы рангов от среднего d													
	-53.92	-11.2	-25.3	-1.8	-44.3	25.1	-7.96	-13.6	59.9	-12.5	9.0	54.3	
Квадраты отклонений d^2													
	2908	124.4	639.8	3.2	1965	632.1	63.4	184.3	3588	155	81.23	2948	

Для оценки степени согласованности мнения экспертов вычисляем коэффициент конкордации (согласия):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (4)$$

где: S – сумма квадратов отклонений; m – число экспертов; n – число оцениваемых факторов.

Рассчитанное значение коэффициента конкордации для данного исследования равно 0,413, и мнение экспертов можно признать согласованным. Приемлемость полученных экспертных оценок определялась путем сравнения критерия значимости $\chi^2_{факт}$ с табличным значением $\chi^2_{табл}$ при уровне значимости $\alpha=0.05$: $\chi^2_{факт}=68.145 > \chi^2_{табл}=19.7$. Таким образом, с надежностью 0.95, можно говорить, что мнение экспертов согласованы.

По результатам построенной диаграммы (рис. 1) можно сделать вывод, что на последних местах находятся: температура при производстве работ ($S_9=157,4$), состав звена ($S_{12}=151,79$), коэффициент перекрытия ($S_6=122,64$).

Эти факторы исключаются из дальнейшего моделирования.

Как наиболее существенные определены: окно затирки ($S_j=43,58$); произво-

дительность затирочных машин ($S_j=53,17$), диаметр дисков ($S_j=72,21$).

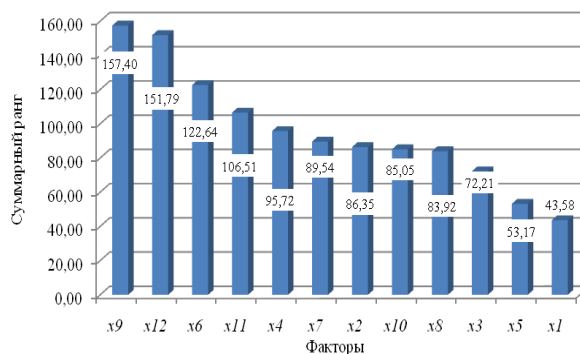


Рис. 1 – Диаграмма суммарных рангов исследуемых факторов

Выбор факторов, влияющих на исследуемый показатель, в данной работе осуществляется двумя способами [9;12;13]:

а) на основе анализа матрицы коэффициентов парной корреляции с проверкой гипотезы о независимости объясняющих переменных (тест на выявление мультиколлинеарности Фаррара-Глоубера);

б) с помощью пошагового отбора методом исключения.

В работе представлены результаты по 24 объектам, количество факторов при-

нятых к исследованию (объясняющих переменных) равно 9.

В результате проведения корреляционного анализа была получена матрица коэффициентов парной корреляции (табл. 2), анализ которой показывает, что продолжительность работ тесно связана с окном затирки ($R_{yx1}=0,940$), с количеством затирочных машин ($R_{yx2}=-0,783$), с диаметром дисков ($R_{yx3}=-0,803$), с производительностью

затирочных машин ($R_{yx5}=-0,680$), с оптимальным типом заглаживающей рейки ($R_{yx10}=-0,869$), с типом затирочных машин ($R_{yx4}=-0,581$). Факторы x_7, x_8, x_{11} имеют слабую связь с зависимой переменной и их не рекомендуется включать в модель.

Одним из условий регрессионной модели является предположение о функциональной независимости объясняющих переменных.

Таблица 2 – Корреляционная матрица

	Y1	X1	X2	X3	X4	X5	X7	X8	X10	X11
Y1	1									
X1	0.940	1								
X2	-0.783	-0.796	1							
X3	-0.803	-0.840	0.618	1						
X4	-0.581	-0.659	0.472	0.869	1					
X5	-0.680	-0.687	0.472	0.803	0.866	1				
X7	0.097	0.168	0.005	-0.095	-0.248	-0.119	1			
X8	0.027	0.046	0.166	-0.147	-0.308	-0.281	0.416	1		
X10	-0.869	-0.780	0.784	0.682	0.549	0.645	0.086	0.032	1	
X11	0.016	-0.065	0.101	0.024	0.214	0.125	-0.431	-0.156	-0.086	1

Проведем анализ остальных столбцов матрицы с целью выявления коллинеарности. Факторы x_3 и x_1 тесно связаны между собой (коэффициент корреляции $-0,840$), что свидетельствует о наличии коллинеарности. Из этих переменных исключаем x_3 , так как $R_{yx3}=-0.803 < R_{yx1}=0.940$.

Таким образом, на основе только корреляционной матрицы остаются факторы x_1, x_2, x_4, x_5 и x_{10} .

На первый взгляд может показаться, что матрица парных коэффициентов корреляции играет главную роль в отборе факторов. Вместе с тем, вследствие взаимодействия факторов парные коэффициенты корреляции не могут в полной мере решать вопрос о целесообразности включения в модель того или иного фактора. Эту роль выполняют показатели частной корреляции, оценивающие в чистом виде тесноту связи фактора с результатом.

Для характеристики тесноты связи между результатом и соответствующим фактором при устранении влияния других факторов, включенных в уравнение

регрессии [13], вычисляем частные коэффициенты корреляции, используя программный продукт *Statistica 6.0*. Проанализировав оценки частных коэффициентов корреляции, можно сказать следующее: оценки частных коэффициентов корреляции меньше соответствующих парных для переменных $x_1, x_3, x_5, x_{10}, x_{11}$, следовательно корреляционная связь между соответствующими парами при фиксированных остальных переменных ослабляется (рис. 2).

Значимость частного коэффициента определяется в зависимости от выбранного уровня значимости: коэффициенты значимы для переменных: x_1, x_3, x_4, x_{10} . Коэффициенты парной и частной корреляции для переменных x_7 и x_8 очень низкие, поэтому эти переменные можно исключить из модели. Из анализа коэффициентов частной корреляции можно сделать вывод, что переменные x_1 (окно затирки), x_4 (тип затирочных машин) и x_{10} (оптимальный тип заглаживающей рейки) должны быть включены в модель.

Для построения многофакторной регрессионной модели была произведена серия расчетов, построение модели осу-

ществлялось с помощью пошагового отбора методом исключения (рис. 3) с помощью программного пакета *Statistica 6.0*.

Variable	Variables currently in the Equation; DV: Y (Данные_5.sta)						
	Beta in	Partial Cor.	Semipart Cor.	Tolerance	R-square	t(14)	p-level
X1	0.498	0.642	0.171	0.118	0.882	3.13	0.007
X2	0.028	0.063	0.013	0.215	0.785	0.24	0.817
X3	-0.404	-0.511	-0.122	0.090	0.910	-2.22	0.043
X4	0.488	0.608	0.157	0.103	0.897	2.87	0.012
X5	-0.177	-0.342	-0.074	0.177	0.823	-1.36	0.195
X7	0.088	0.302	0.065	0.546	0.454	1.18	0.256
X8	0.011	0.043	0.009	0.664	0.336	0.16	0.874
X10	-0.394	-0.670	-0.184	0.219	0.781	-3.37	0.005
X11	-0.039	-0.150	-0.031	0.620	0.380	-0.57	0.579

Рис. 2 – Результаты расчетов частных коэффициентов корреляции

Результаты регрессионной статистики для переменной Y (шаг 8)						
Нормированный R= .965 R-квадрат= .941						
Нормированный R-квадрат= .925						
F-критерий (2,21)=142.12 p<.00000 Std.Error of estimate: .12384						
N=24	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(21)	p-level
Intercept			2.511	0.776	3.237	0.004
X1	0.670	0.091	0.880	0.120	7.319	0.000
X10	-0.347	0.091	-0.852	0.225	-3.794	0.001

Рис. 3 – Построение многофакторной регрессионной модели

Проанализируем качество построенной модели:

- 1) коэффициент детерминации $R^2=0,941$, то есть, в целом качество модели высокое;
- 2) коэффициент множественной корреляции $R=0,965$, следовательно, можно утверждать, что связь между продолжительностью работ и выбранными факторами очень высокая;
- 3) критерий Фишера $F_{расч} = 142,12 > F_{табл(2,21)} = 3,47$, следовательно, модель является статистически значимой, и ее можно использовать для дальнейшего применения.

Подводя итоги, можно отметить, что в результате применения различных подходов к выбору факторов, используя методы

корреляционно-регрессионного анализа, была построена многофакторная регрессионная модель зависимости продолжительности работ от следующих факторов: окно затирки, оптимальный тип заглаживающей рейки.

Уравнение полученной модели следующее:

$$y_i = 2,511 + 0,88x_1 - 0,852x_{10} \quad (5)$$

Точность модели оценивается с помощью средней ошибки аппроксимации, которая равна 0,124%.

Оценка качества модели по критериям Стьюдента и Фишера производится путём сравнения расчетных значений с табличными (табл. 3).

Таблица 3 - Критерий Стьюдента

Фактор	$ t_{набл} $	$t_{кр}$	Значимость
x_1	7.319	2.0796	существенна
x_{10}	-3.794	2.0796	существенна

Таким образом, модель (5) объясняет 94.1% общей дисперсии признака Y. Это

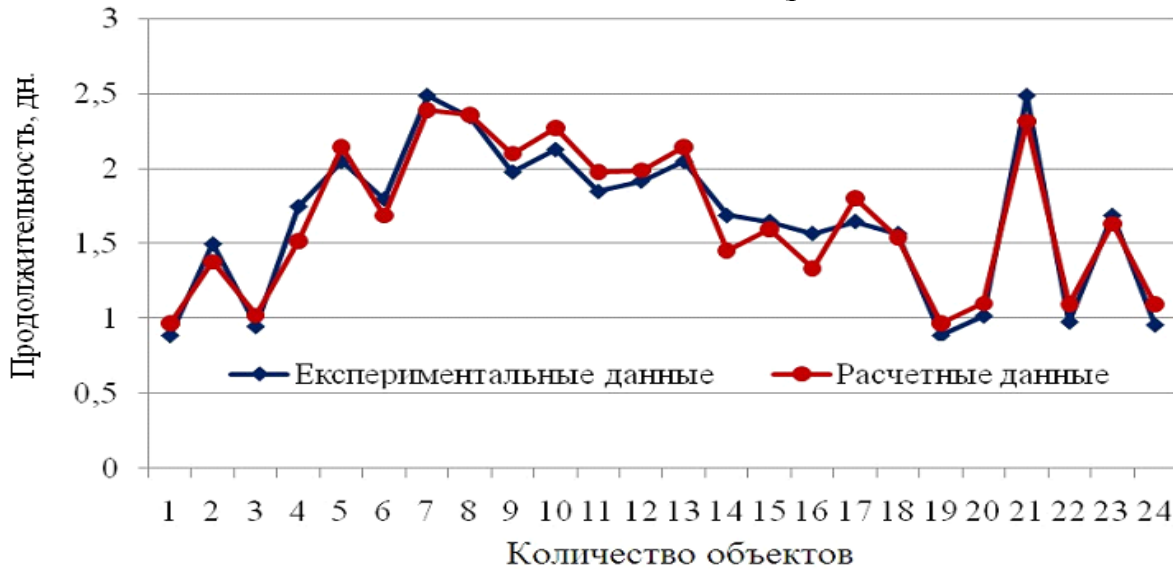
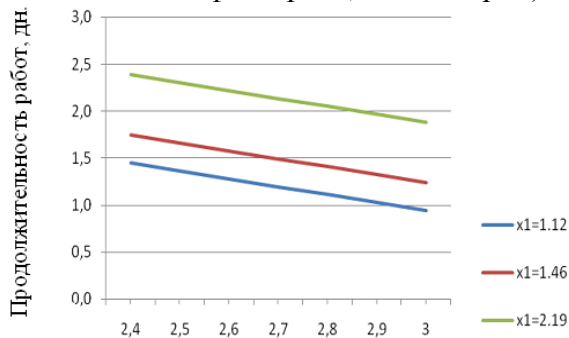


Рис. 4 – График экспериментальных и расчетных данных

Итак, по результатам оценки влияния факторов можно сделать выводы, что на продолжительность работ наибольшее влияние имеет фактор x_1 (окно затирки).



Оптимальный тип рейки по ширине, м

Рис. 5 – График зависимости продолжительности работ от ширины заглаживающей рейки для различных значений окна затирки

Проанализировав полученную модель, фиксируем наиболее значимые факторы, которые имеют наибольшее влияние, и проводим дальнейшие исследования при определенных значениях окна

Указывая Фактор, что она является адекватной.

Уравнение регрессии	$F_{кр}$	Уравнение регрессии
142	142	142

Приведенный график экспериментальных и расчетных данных наглядно подтверждают правильность построенной модели, расчетные данные хорошо ложатся на график экспериментальных данных (рис. 4).

затирки и оптимального типа заглаживающей рейки (рис. 5, 6).

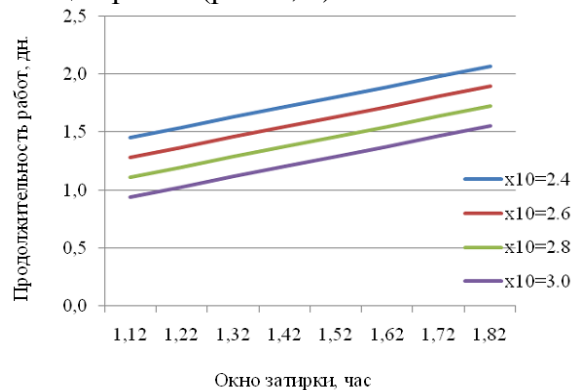


Рис. 6 – Зависимость продолжительности работ от окна затирки для различных значений ширины заглаживающей рейки

Из графиков видно, что продолжительность работ уменьшается с увеличением ширины заглаживающей рейки, и возрастает с увеличением окна затирки. Таким образом, проведенные исследования позволили определить степень влияния организационно-технологических факторов на параметры производства

работ по устройству высокопрочных бетонных полов зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М.: Металлургия, 1988. – С.153.
2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1986. – 279 с.
3. Блохин В.Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / В. Г. Блохин, О. П. Глудкин, А. И. Гуров, М. А. Ханнин. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.
4. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 263 с.
5. Дубров А. М. Многомерные статистические методы: Учебник / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 189 с.
6. Джонстон Дж. Эконометрические методы. – М.: Статистика, 1980. – 444 с.
7. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. М.: Мир, 1980. – 511 с.
8. Налимов В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1991. – 208 с.
9. Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М.: Наука, 1995. – 340 с.
10. Применение математических методов при исследовании многокомпонентных систем. Сб. под ред. И. Г. Зедгендзе и др. М.: Металлургия, 1974. – 238 с.
11. Секретная В.Н. Оптимизация организационно-технологических решений устройства высокопрочных бетонных полов / В.Н. Секретная // Градостроительство и территориальное планирование: Науч.-техн. сборник.- К., КНУБА, 2013.- № 48 – С.390-398.
12. Тюрин Ю. Н. Анализ данных на компьютере / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. – М.: ИНФРА-М, 1995. – 384 с.
13. Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Ферстер, Б. Ренц. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.
14. Хартман К. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 552 с.

УДК 666.91

Казимагомедов И.Э., канд. техн. наук, Дехтярюк О.И., аспирантка
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ИЗ ФОСФОГИПСА

Введение. В настоящее время на Украине, как и в других странах, остро стоит вопрос переработки техногенных отходов, в частности фосфогипса. Это отход химической промышленности, образующийся при производстве минеральных удобрений (фосфорной кислоты) в результате переработки апатитовых и фосфорных пород и хранящийся в отвалах на открытом воздухе. Например, только в Сумской области уже существует 2 отвала, в которых накоплено более 120 млн. тонн фосфогипса. В своем составе фосфогипс содержит до 98 % двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), поэтому он мо-

жет служить сырьем для производства гипсовых материалов и изделий. В строительстве быстрыми темпами идет развитие производства сухих строительных смесей на основе гипсовых вяжущих для штукатурки и других отделочных работ. Поэтому фосфогипс можно применять для производства гипсовых вяжущих веществ β -модификации. На основании того, что использование фосфогипса на сегодняшний день является задачей актуальной, было получено гипсовое вяжущее марки Г-4 – Г-5 из фосфогипса методом интенсивной дегидратации.