

**Р.Т. Бржанов^{1*}, М.К. Суйменова¹, Г.И. Есполай¹,
К.М. Шайхиева¹, А.К. Курбанмагомедов²**

¹НАО Каспийский университет технологии и инжиниринга имени Ш. Есенова,
Актау, Казахстан

²Математический институт им. Никольского С.М. Российский университет дружбы народов,
Москва, Российская Федерация

Информация об авторах:

Бржанов Рашид Темержанович – кандидат технических наук, профессор НАО Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-8755-8207>, email: brzhanov@mail.ru

Суйменова Маржан Кузембаевна – магистр, старший преподаватель, НАО КУТИ им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3053-0232>, email: marzhan@mail.ru

Есболай Гүлбану Издибайқызы – магистр, старший преподаватель, НАО КУТИ им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-5072-833X>, email: es_gulbanu@mail.ru

Шайхиева Куланда Мактаповна – магистр, старший преподаватель, НАО КУТИ им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4556-1149>, email: kulanda.shaikhiyeva@yu.edu.kz

Курбанмагомедов Арслан Курбанмагомедович, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель Математического института им. Никольского С.М. Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<https://orcid.org/0000-0001-9158-0378>, email: integralferva@gmail.com

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И СТАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОДБОРА СОСТАВА БЕТОНА

Аннотация. При проектировании оптимальных составов бетонов и растворов наиболее ответственным этапом является проведение активного эксперимента, по которому устанавливается зависимость потребительских свойств бетонов и растворов от структурных характеристик. На данной стадии исследовательских работ очень важно правильно применить соотношение между структурными характеристиками, значениями которых мы задаемся. Предварительными точечными экспериментами устанавливаем эти значения для получения максимальных эффектов их влияния на конечные свойства бетонов.

Ключевые слова: планирование эксперимента, уровни варьирования, интервалы варьирования, соответствие измерений, проверка адекватности, дисперсия воспроизводимости, матрица планирования.

Введение

Работ посвященных выработке рекомендаций по выбору состава бетона очень много; эти рекомендации систематизированы в виде ТУ, ГОСТов, СНиПов, указаний и т.п. Не обсуждая достоинства и недостатки нормативной литературы подбора состава бетона и условий изготовления бетонных и железобетонных изделий, следует еще раз отметить, что их выполнение не всегда приводит к получению требуемых свойств бетонов.

При выборе компонентов бетона и технологии изготовления их необходимо учитывать, прежде всего, конкретные местные условия (климатические, наличие сырьевых материалов, уровень оснащённости машинами и оборудованием, методы производства работ) и возможность в соответствии с этими условиями обеспечить необходимые свойства бетонов. Например, при проектировании бетонов с определенной морозостойкостью, материалы для них необходимо выбирать с соответствующей морозостойкостью и необходимой поровой структурой [1].

При проектировании бетона или раствора с определенной морозостойкостью, составы для них необходимо выбрать с соответствующей морозостойкостью. Далее необходимо определить свойства материалов, из которых будет изготавливаться бетон или раствор. К таким свойствам относятся истинная, средняя и насыпная плотности, пустотность и водопоглощение заполнителей. Даже при соблюдении требований всех методик подбора состав бетона, вероятность получения заданных свойств бетона минимальная. Это объясняется разными свойствами исходных материалов бетона, технологическими особенностями компонентов бетона, разной укладкой их в теле бетона. При большом количестве повторений испытаний бетона одного и того же состава, сходимость результатов может быть разной по этим причинам. Решить эту проблему позволяет метод математического планирования экспериментов [2,3].

Математическое планирование дает возможность при минимальном количестве повторений опытов решить задачу построения математической модели в виде уравнения регрессии, связывающего выходные параметры (например, свойства материала или показатели, характеризующие определенный процесс) с параметрами входа – разнообразными управляемыми количественными и качественными факторами, а затем использовать эту модель для анализа процесса.

Выходные параметры связаны с требуемыми свойствами бетона, необходимых для исследования, т.е. исследователь решает, какие свойства он выбирает для исследований.

Материалы и методы

В наших опытах свойства цемента и заполнителей определяли по соответствующим нормативным документам, испытание потребностей заполнителей производили по методике, предложенной в работе [4], согласно которой водопотребность песка в процентах определяли по формуле:

$$B_n = [(B/C)_p - (B/C)_u] / 2 - 100. \quad (1)$$

Водопотребность щебня $B_{щ}$ определяют аналогично

$$B_{щ} = [(B/C)_{\sigma} - (B/C)_p] \cdot 3,5 - 100 \quad (2)$$

в формулах (1) и (2)

$(B/C)_u$ – нормальная плотность цементного теста;

$(B/C)_p$ – водоцементное отношение растворной смеси состава цемент: песок = 1:2, при котором ее подвижность, определенная на встряхивающем столике равна подвижности цементного теста;

$(B/C)_\delta$ – водоцементное отношение бетонной смеси состава 1:2:3,5, при котором ее подвижность равна подвижности растворной смеси при определении стандартным конусом.

Дальнейший ход планирования эксперимента при работе с растворами проводили в следующем порядке: назначали верхние и нижние интервалы варьирования для объемной концентрации цементного теста и истинного водоцементного отношения; вычисляли расход цемента при всех комбинациях C и W , встречающихся в плане эксперимента по формуле (2); объемную концентрацию заполнителя для всех опытов назначали в зависимости от C по формуле (1); вычисляли расход заполнителей (кг) по формулам:

$$Щ = S * p_{щ} ; П = p * p_{п}, \quad (3)$$

где $p_{щ}$, $p_{п}$ – плотности щебня и песка, кг/л.

Определяли расход воды по формуле (4):

$$B = W * Ц + B_n * П + B_{щ} * Щ . \quad (4)$$

Приводим пример планирования эксперимента по установлению зависимостей различных свойств растворной смеси и раствора от C и W . Согласно приведенной выше последовательности, вначале определяли свойства материалов, предназначенных для изготовления раствора. Применяли белый цемент Сас-Тюбинского завода плотностью $3,1 \text{ г/см}^3$ и нормальной густотой 23%. В качестве заполнителя использовали просеянную через сито с размером отверстий 5мм песчано-гравийную смесь Кулайгирского карьера со следующими характеристиками: плотность – $2,7 \text{ г/см}^3$, насыпная плотность – $1,49 \text{ кг/л}$, пустотность – 45%, водопотребность – 6,3%. При назначении интервалов варьирования для C и W учитывали водоудерживающую способность цемента.

Таблица 1 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровни факторов	Физический $X_1 (C)$	Код X_1	Физический $X_2 (W)$	Код X_2
основной	0,35	0	0,325	0
нижний	0,2	-	0,2	-
верхний	0,5	+	0,45	+
Интервал варьирования	0,15		0,125	

Поскольку априорно известно, что изучаемые свойства бетонной смеси и раствора (подвижность, усадка, прочность при изгибе и сжатии, предельная деформация при растяжении и т.п.) нелинейные функции состава и структурных

характеристик, был выбран план второго порядка K_{i-12} с 21 измерением [5]. Планируемые составы приведены в таблице 2. Расчет материалов ведется на 1л раствора. Для проведения статического анализа необходимо произвести измерение исследуемых свойств в 21-ой точке. Одним из вариантов может быть проведение в 1,2,3,4 опытах по три измерения, в 5,6,7,9 опытах по два измерения и в 8 опыте одно измерение. Результаты эксперимента могут быть представлены в виде полинома второй степени (уравнение регрессии)

$$y_u = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1\mathbf{X}_1 + \mathbf{b}_2\mathbf{X}_2 + \mathbf{b}_{1,1}\mathbf{X}_1^2 + \mathbf{b}_{1,2}\mathbf{X}_1\mathbf{X}_2 + \mathbf{b}_{2,2}\mathbf{X}_2^2, \quad (5)$$

где y – исследуемое свойство;

b_{iy} – коэффициенты уравнения регрессии;

X_{iy} – кодированные переменные.

После получения результатов экспериментов (y_u) в первую очередь проводится проверка равнозначности измерений по критерию Кохрена, для этого составляется G – статистика.

$$G = I \leq u \geq i^{max} \{S^2_{yu}\} \quad (6)$$

где S^2_{yu} – выборочная дисперсия в u - том опыте.

Таблица 2 – Исследуемые составы и план эксперимента

№	$X_1(C)$	X_1	$X_2(Щ)$	X_2	$Ц,$ кг/л	S	$П,$ кг/л	$В,$ кг/л	$У$
1	0,2	-	0,2	-	0,383	0,8	2,16	0,212	3
2	0,5	+	0,2	-	0,958	0,5	1,35	0,277	3
3	0,2	-	0,45	+	0,259	0,8	2,16	0,253	3
4	0,5	+	0,45	+	0,648	0,5	1,35	0,377	3
5	0,2	-	0,325	0	0,309	0,8	2,16	0,236	2
6	0,5	+	0,325	0	0,773	0,5	1,35	0,335	2
7	0,35	0	0,2	-	0,670	0,65	1,75	0,244	2
8	0,35	0	0,45	+	0,453	0,63	1,75	0,314	1
9	0,35	0	0,325	0	0,541	0,65	1,75	0,286	2
	0,35	0	0,325	0	0,541	0,65	1,75	0,286	2

$$S^2_{yu} = [I/(y_u - 1)] * \sum (y_{ui} - y_u^{ЭК})^2 \quad (7)$$

где y_u – число измерений в u -том опыте;

y_{ui} – значение выхода в u -том опыте;

$y_u^{ЭК}$ – среднее арифметическое значение выхода в u той экспериментальной точке.

$$y_u^{ЭК} = (I \setminus Y_e) * \sum y_{ui} \quad (8)$$

Проверку соответствий измерений проводят по вершинам квадрата, опыты которых дублируются по три раза (1, 2, 3 и 4 опыты). Критическое значение G - статистики при принятом уровне значимости, числе степеней свободы $f = y_u - 1$ и при исследуемом количестве точек измерений находят по таблице, например, таблице У11[6].

В случае если $G^{эк} < G^{табл}$, то гипотеза о соответствии не принимается, т.е. при $G^{эк} < G^{табл}$ необходимо выяснить причину неоднородности (повысить точность проведения эксперимента, увеличить объем выборок y и т.п.).

Последующий этап статистической обработки – проверку уравнения регрессии на значимость проводили после нахождения коэффициентов в уравнении регрессии, которые вычисляли по формуле:

$$b_i = d_{iy} = \sum(d_{ui} * y_u) \quad (9)$$

где d_{ui} – элемент матрицы L , найденный по таблице 4 [7].

Для всех коэффициентов уравнения регрессии находили t - статистику и сравнивали с критическим значением, взятым из таблицы распределения Стьюдента [7]. Если же $t^{ЭК} > t^{табл}$, то гипотеза о статистической незначимости соответствующего коэффициента отвергается с вероятностью

$$P = 1 - a, \quad (10)$$

где a – уровень значимости.

В случае незначимости какого-либо коэффициента, исключали параметр, при котором находится незначимый коэффициент при условии, если коэффициент при исключаемом параметре не коррелирован ни с какими другими коэффициентами. Для плана Кифера t - статистику составляли по следующей формуле

$$t^{ЭК}_i = |b_i| / S_{bi} \quad (11)$$

где S_{bi} – оценка среднеквадратичной ошибки

$$S_{bi} = \sqrt{C_i S^2_{воспр.}} \quad (12)$$

где C_i – табличная величина (табл.6, [6]); $S^2_{воспр.}$ - дисперсия воспроизводимости.

$$S^2_{воспр.} = \sum f_u * S^2_{yu} / \sum f_u \quad (13)$$

где S^2_{yu} – выборочная дисперсия в u - том опыте со f_u - степенями свободы

$$S^2_{yu} = 1 / (y_u - 1) * \sum (y_{ui} - y_u^{ЭК})^2 \quad (14)$$

Проверку адекватности представления результатов эксперимента полученным уравнениям регрессии проводили по F - критерию Фишера.

$$F^{\text{эк}} = S^2_{\text{ав}} / S^2_{\text{воспр}} \quad (15)$$

где
$$S^2_{\text{ав}} = (1/f_u) * \sum y_u * (y_u^{\text{эк}} - y_u^{\text{расч.}})^2 \quad (16)$$

Оценка дисперсии, определяющая неадекватность представления результатов эксперимента с $f_1 = N - m - f_{\text{еоснр}}$ степенями свободы. При числе степеней свободы $f_2 = f_{\text{еоснр}} = \sum f_u$ оценку дисперсии, характеризующую ошибку эксперимента определяли по формуле (4.21),

$$S^2_{\text{воспр.}} = (1/\sum f_u) * \sum (y_{ui}^{\text{эк.}} - y_u^{\text{расч.}})^2 \quad (17)$$

$p = 1 - \alpha$ гипотеза об адекватности

Результаты и обсуждение

Экспериментальное значение F - статистики сравнили с критическим F_{α}^T , f_1 , f_2 (см. табл. VI [5]). При этом, если $F^{\text{эк}} > F_{\alpha}^T$, то с вероятностью полученного уравнения регрессии отвергается. В этом случае необходимо выяснить причину неадекватности и устранить ее. Если $F^{\text{эк}} < F_{\alpha}^T$, то уравнение адекватно описывает изменение исследуемого свойства от задаваемых параметров и его можно использовать для решения технологических задач.

Примеры проектирования составов растворов по заданным свойствам

Ранее указывалось, что основные свойства материалов, при конкретных условиях, могут зависеть исключительно от объема цементного теста (C) и (W) – истинного водоцементного отношения, что может быть выражено двухфакторной моделью.

Для проверки и обработки этой гипотезы была экспериментально выявлена зависимость прочности растворов и бетонов от C и W .

При планировании и проведении эксперимента по условия из табл. 1 и 2 было установлено, что подвижность растворной смеси Π , замеренная конусом СтройЦНИИЛа, растет с увеличением C и W по уравнению

$$\Pi = 7,63 - 13,12C - 46,86W - 25,96C^2 + 135,99CW + 36,35W^2 \quad (18)$$

С увеличением C и W увеличивались также влагопотери ΔW при высушивании, определенные к окончанию высыхания, %

$$\Delta W = 7,08 - 20,6C - 0,17W + 10,27C^2 + 49,71CW - 9,42W^2 \quad (19)$$

Усадка изменилась, при этом, следующим образом, 1×10^5

$$\varepsilon = 43,10 + 30,77C + 87,04W + 387,89CW - 356,62W^2 \quad (20)$$

Водопоглощение образцов В, свидетельствующее о состоянии общей пористости, возрастало с увеличением C и W , %

$$B = 5,83 - 22,04C + 12,03W + 22,09C^2 + 42,40CW - 24,32W^2 \quad (21)$$

Таким же образом было определено изменение прочности на растяжение при изгибе R_u , 1х10МПа и предельной деформации при растяжении ε_{np} , 1х10⁵

$$R_u = 18,36 + 399,89C - 204,02W - 432,89C^2 + 7487W + 131,41W^2 \quad (22)$$

$$\varepsilon_{np} = -9,56 - 140,52C + 591,78W + 138,67C^2 + 275,93CW - 674,36W^2 \quad (23)$$

Статистической обработкой было установлено, что гипотеза о равнозначности измерений при уровне значимости 5% не отвергается: приведенные коэффициенты уравнений значимы; уравнения адекватно представляют результаты экспериментов. По зависимостям 2...7 построены линии уровней свойств материала.

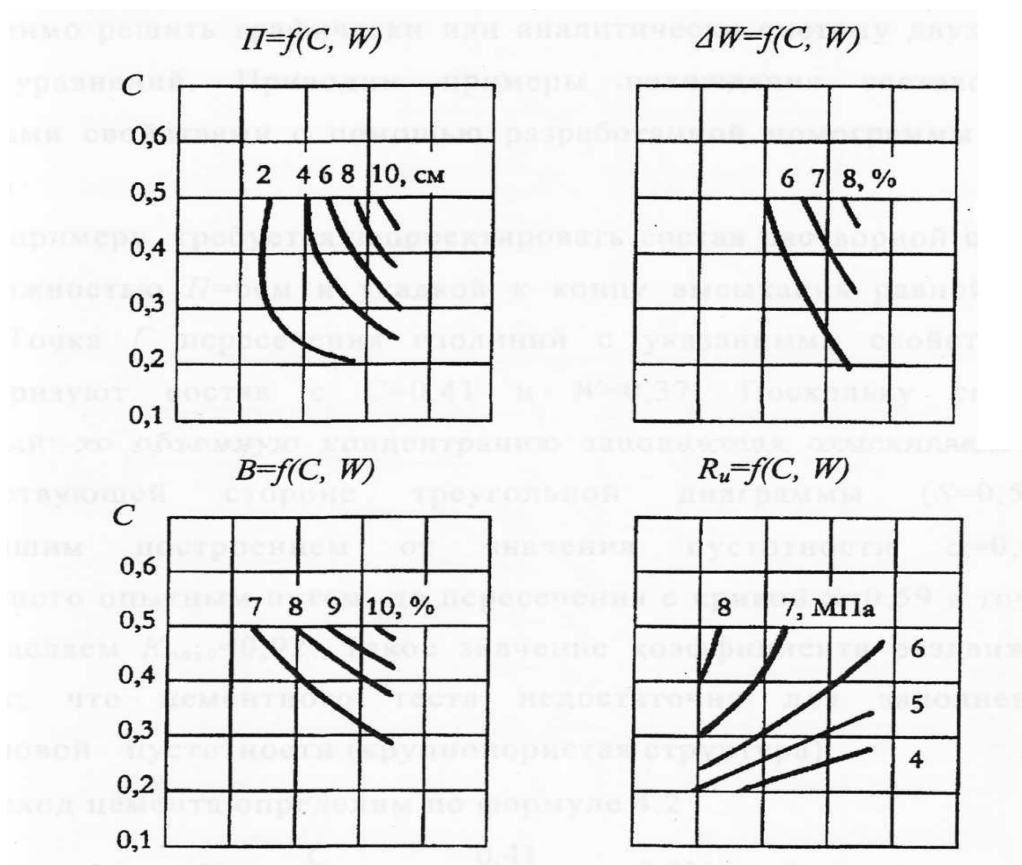


Рисунок 1 – Линии уровней свойств материала слоя [6]

Для нахождения составов с проектируемыми свойствами, необходимо решить графически или аналитически систему двух или более уравнений. Приводим примеры нахождения составов заданными свойствами с помощью разработанной номограммы (см. рис.1).

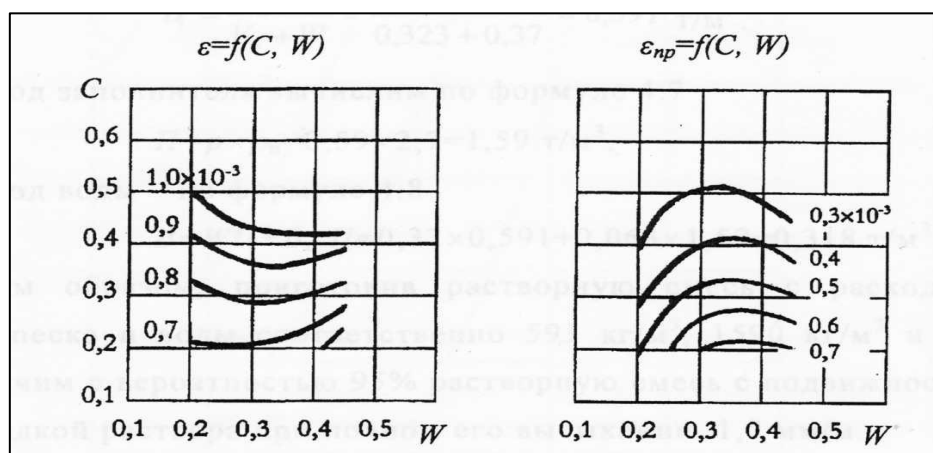


Рисунок 2 – Линии уровней свойств материала слоя [6]

К примеру, требуется спроектировать состав растворной смеси с подвижностью $P=6\text{ см}$ и усадкой к концу высыхания равной $1,0\text{ мм/м}$. Точка Γ пересечения изолиний с указанными свойствами характеризуют состав с $C=0,41$ и $W=0,37$. Поскольку состав бинарный: то объемную концентрацию заполнителя отыскиваем на соответствующей стороне треугольной диаграммы ($S=0,59$). Дальнейшим построением от значения пустотности $\alpha=0,45$, полученного опытным путем, до пересечения с кривой $S=0,59$ в точке Δ определяем $K_{\text{разд}}=0,92$. Такое значение коэффициента раздвижки означает, что цементного теста недостаточно для заполнения зерновой пустотности (крупнопористая структура).

Расход цемента определим по формуле (2).

Расход заполнителя вычислим по формуле (7): $P=p \cdot p_{\text{п}}=0,59 \cdot 2,7=1,59\text{ т/м}^3$.

Расход воды – по формуле 4.8

$$B = W \cdot C + V_{\text{п}} \cdot P = 0,37 \cdot 0,591 + 0,063 \cdot 1,59 = 0,318\text{ т/м}^3.$$

Таким образом, приготовив растворную смесь с расходами цемента, песка и воды соответственно 591 кг/м^3 , 1590 кг/м^3 и 318 , получим с вероятностью 95% растворную смесь с подвижностью 6 см и усадкой раствора при полном его высыхании $1,0\text{ мм/м}$.

Во втором случае требуется определить состав раствора, который обеспечит прочность на растяжение при изгибе $R_{\text{и}}=5\text{ МПа}$ при пористости, характеризуемой водопоглощением $B=7\%$ по массе. Пересечение линий уровней с указанными свойствами (рис. 2) дает точку A с истинным водоцементным отношением $0,39$ и объемной концентрацией цементного теста $0,31$. Аналогично первому примеру определим объемную концентрацию заполнителя ($S = 0,69$) и, построив точку B найдем коэффициент раздвижки зерен заполнителя $K_{\text{разд}}=0,7$. Расход цемента $C = 435\text{ кг/м}^3$; расход песка $P=1860\text{ кг/м}^3$; расход воды $B = 287\text{ л/м}^3$.

В приведенных примерах $K_{\text{разд}}$ меньше единицы, что указывает на крупнопористую структуру. Изменить состав можно, вводя третий компонент, например, известковое или глиняное тесто, что и выполняют на практике. В случае если объемная концентрация вводимого теста (p) составит, к примеру,

0,2, то объемная концентрация заполнителя (S) составит 0,49. Построив точку G , найдем коэффициент раздвижки зерен заполнителя $K_{разд}=1,12$.

Если в пределах варьирования параметров C и W не найдется равнозначных изолиний усадки и предельной деформации при растяжении, необходимо изменить какой-либо из параметров,

Следует отметить, что приведенная методика прогнозирования составов с заданными свойствами может быть принята для многих технологических расчетов и задач, если выполняется условие постоянства технологических параметров и эксплуатационных условий. Методика упрощает процесс подбора составов по заданным свойствам. Основные затраты времени при получении уравнений регрессии могут быть значительно снижены использованием современной вычислительной техники и многократно окупятся, так как полученные уравнения при достаточной стабильности характеристик материалов и технологических параметров могут служить для проектирования весьма длительное время.

Заключение

Предлагаемая технология обеспечения заданных свойств систем позволяет подбирать составы прочных и долговечных материалов для конкретных эксплуатационных условий, можно решать многочисленные задачи, касающиеся двух- и трехкомпонентных составов, что значительно упрощает многие технологические расчеты, а также позволяет проводить проектирование бетонов и растворов с заданными свойствами.

Литература:

1. Невилль, А.М. Свойства бетона. Сокр. пер. с англ. канд. техн. наук В. Д. Парфенова и Т. Ю. Якуб. М.: Стройиздат, 1972. 344 с.
2. Тортаев А.С. Математические методы определения объективных законов архитектуры и музыки. Вестник КазГАСА. 2021, 1, 142-152 (в русскоязычном журнале)
3. Айтуганов М.Б., Полякова И.М. Уравнения для определения динамических характеристик упругих элементов. Вестник КазГАСА. 2021, 1, 72-82.
4. Ko J.M., Kim C.O., Kwon I.H. Quality-of-service oriented web service composition algorithm and planning architecture. Journal of Systems and Software. 2008, 81, 11, 2079-2090. (в международном журнале)
5. Konczak A., Paslawski J. Decision support in production planning of precast concrete slabs based on simulation and learning from examples. Procedia Engineering. 2015, 122, 81-87. (в международном журнале)
6. Babaev V. B. et al. Optimization of the formulation and technological parameters of the production of fiber-reinforced concrete. Materialovedchesky forum. Trans Tech Publications Ltd, 2020, 974, 14-19. (в международном журнале)
7. Harris H.G., Sabnis G. Structural modeling and experimental methods. CRC press, 1999.

References:

1. Nevill, AM (1972) Svojstva betona [Properties of concrete] Translated from the English by the Candidate of Technical Sciences V. D. Parfenov and T. Y. Yakub – M.: Strojizdat, 344. (in Russ.)
2. Tortaev AS (2021) Bulletin of Kazakh Leading Architecture Building Academy 1:142-152. (in Russ.)

3. *Ajtuganov MB, Polyakova IM (2021) Bulletin of Kazakh Leading Architecture Building Academy 1:72-82. (in Russ.)*
4. *Ko JM, Kim CO, Kwon IH (2008) Journal of Systems and Software 81(11):2079-2090. (in Eng.)*
5. *Konczak A, Paslawski J (2015) Procedia Engineering 122:81-87. (in Eng.)*
6. *Babaev VB et al. (2020) Materialovedchesky forum. Trans Tech Publications Ltd. 974:14-19. (in Eng.)*
7. *Harris HG, Sabnis G (1999) Structural modeling and experimental methods. - CRC press. (in Eng.)*

**Р.Т. Бржанов^{1*}, М.Қ. Сүйменова¹, Г.И. Есполай¹, К.М. Шайхиева¹,
А.Қ. Құрбанмагомедов²**

¹КЕАҚ Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,
Ақтау, Қазақстан

²Ресей халықтар достығы университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы

Авторлар туралы мәліметтер:

Бржанов Рашид Темержанович – техника ғылымдары кандидаты, КЕАҚ Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университетінің профессоры, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-8755-8207>, email: brzhanov@mail.ru

Сүйменова Маржан Күзембайқызы – магистр, аға оқытушы, КЕАҚ Ш.Есенов атындағы ҚТЖИУ, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3053-0232>, email: marzhan@mail.ru

Есболай Гүлбану Іздібайқызы – магистр, аға оқытушы, КЕАҚ Ш.Есенов атындағы ҚТЖИУ, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-5072-833X>, email: es_gulbanu@mail.ru

Шайхиева Күланда Мақтапқызы – магистр, аға оқытушы, КЕАҚ Ш.Есенов атындағы ҚТЖИУ, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-4556-1149>, email: kulanda.shaikhiyeva@yu.edu.kz

Құрбанмагомедов Арслан Құрбанмагомедович – физика-математика ғылымдарының кандидаты, Никольский С.М. атындағы математика институтының аға оқытушысы. Ресей халықтар достығы университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы

<https://orcid.org/0000-0001-9158-0378>, email: integralferva@gmail.com

ТӘЖІРИБЕЛЕРДІ ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ БЕТОН ҚҰРАМЫН ТАҢДАУ НӘТИЖЕЛЕРІН СТАТИКАЛЫҚ ӨНДЕУ

Аңдатпа. Бетондар мен ерітінділердің оңтайлы құрамдарын жобалау кезінде бетондар мен ерітінділердің тұтынушылық қасиеттерінің құрылымдық сипаттамаларға тәуелділігін белгілейтін белсенді эксперимент жүргізу маңызды кезең болып табылады. Зерттеудің осы кезеңінде біз сұрап отырған құндылықтардың құрылымдық сипаттамалары арасындағы байланысты дұрыс қолдану өте маңызды. Біз бұл мәндерді алдын ала нүктелік эксперименттер арқылы анықтаймыз, олардың әсерінің бетонның соңғы қасиеттеріне максималды әсерін алу үшін.

Түйін сөздер: эксперименттің жоспарлауы, вариация деңгейлері, вариация интервалдары, өлшемдердің дәлдігі, адекваттылығын тексеру, қайталану дисперсиясы, жоспарлау матрицасы.

**R.T. Brzhanov^{1*}, M.K. Suymenova¹, G.I. Espolai¹, K.M. Shaikhieva¹,
A.K. Kurbanmagomedov²**

¹ Non-commercial joint stock company Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yesenov

²Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russian Federation

Information about authors:

Brzhanov Rashit Temerzhanovich – candidate of technical sciences, professor of Non-commercial joint stock company Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yesenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-8755-8207>, email: brzhanov@mail.ru

Suimenova Marzhan Kuzembaevna – master, senior lecturer, Non-commercial joint stock company Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yesenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-3053-0232>, email: marzhan@mail.ru

Esbolai Gulbanu Izdibaykyzy – master, senior lecturer, Non-commercial joint stock company Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yesenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-5072-833X>, email: es_gulbanu@mail.ru

Shaikhieva Kulanda Maktapovna - master, senior lecturer, Non-commercial joint stock company Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yesenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4556-1149>, email: kulanda.shaikhiyeva@yu.edu.kz

Kurbanmagomedov Arslan Kurbanmagomedovich – candidate of physical and mathematical sciences, senior lecturer *Mathematical Institute named after Nikolsky S.M., Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russian Federation*

<https://orcid.org/0000-0001-9158-0378>. email: integralferva@gmail.com

PLANNING OF EXPERIMENTS AND STATIC PROCESSING OF THE RESULTS OF SELECTION OF CONCRETE COMPOSITION

Abstract. *When designing the optimal compositions of concretes and mortars, the most important step is to conduct an active experiment, which establishes the dependence of consumer properties of concretes and mortars on structural characteristics. At this stage of research, it is very important to correctly apply the relationship between the structural characteristics, the values of which we are asking. We establish these values by preliminary point experiments to obtain maximum effects of their influence on the final properties of concrete.*

Keywords: *Design of experiment, levels of variation, intervals of variation, measurement fit, adequacy check, reproducibility variance, planning matrix.*