

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАРАСТАНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОННОЙ СМЕСИ С ПОЭТАПНЫМ ВНЕСЕНИЕМ ТЕПЛА

Сандан А.С.

*Туvinский государственный университет*

### RESEARCH OF KINETICS OF INCREASE OF DURABILITY OF CONCRETE FROM KERAMZITOBETONNA OF THE MIX WITH STAGE-BY-STAGE INTRODUCTION OF HEAT

Sandan A.S.

*В статье рассмотрены вопросы изменения прочности, отпускная влажность бетона после тепловлажностной обработки, исследуемого керамзитобетона и керамзитопенобетона с поризацией ПО-2000 и ТП.*

**Ключевые слова:** *керамзитопенобетон, тепловая обработка, предварительный электроразогрев, температура, прочность.*

*The article describes the changes in the strength, release heat and humidity of the concrete after treatment, study and keramsit claydite foam with porizatsiey IN-2000 and CP.*

**Key words:** *Claydite, heat treatment, pre elektrorazogrev, temperature, strength.*

Легкие бетоны, в особенности с поризованной растворной частью, отличаются от тяжелых большей пористостью, и обладают в 3-5 раз меньшей объемной теплоемкостью, чем обычный тяжелый бетон, и поэтому расход энергии для их нагрева будет во столько же раз ниже. К тому же, и их теплопроводность меньше, они медленнее остывают. Кроме того, при пропаривании такие изделия сильно увлажняются и увеличиваются их объемная масса и теплопроводность [1].

При анализе экспериментальных исследований прочность при сжатии керамзитопенобетонов, приготовленных с использованием предварительного электроразогрева, горячего керамзита, технологии раздельного бетонирования, сравнивалась с прочностью бетона нормального хранения и с паропрогретым бетоном. Для оценки абсолютной прочности керамзитопенобетона формировались контрольные образцы с размером 10x10x10 см. результаты испытаний относительной прочности керамзитопенобетона приведены в табл. 1.

В таблице приведены исходные данные и результаты испытаний образцов, полученных с использованием поэтапного внесения тепла (ПВТ), приготовленные с использованием предварительного электроразогрева (ПЭР) и тепловлажностная обработка (ТВО).

Разогрев смесей выполнялся электродным методом до температур 30, 50, 60, и 70°C. Тепловлажностная обработка осуществлялась паром.

Прочность бетона в суточном возрасте и 28-суточном при предварительном электроразогреве превышала прочность пропаренного бетона, при этом, плотность снизилась на 20-40% по сравнению с пропариванием.

Керамзитопенобетонная смесь подвергалась электроразогреву до температуры 70°C, укладывалась в утепленную форму и термосно остывала скоростью 1°C/час в течение 24 часов.

Применительно к предварительному разогреву основным технологическим фактором является температура разогрева смеси, которая оказывает существенное влияние на темпы набора прочности бетона и ее величину. Поэтому этот фактор включен в матрицу планирования эксперимента. Планировалось изучить влияние температур к началу выдерживания (30-70 °C) на прочность бетона. Вторым варьируемым фактором является температура керамзитового гравия.

Следует отметить, что все два варьируемые фактора являются независимыми друг от друга.  $X_1$  (температура разогрева смеси) и  $X_2$  (температура керамзитового гравия). В других случаях время разогрева

может регулироваться величиной напряжения в электрической сети.

Факторы и уровни варьирования параметров проводимого эксперимента приведены в таблице 2. На основании данных

табл. 2. и в соответствии с методикой, приведенной в работе [2], составлена матрица планирования, в которой в качестве функции отклика представлены экспериментальные данные прочности бетона в 4,8 и 12 часов.

Таблица 1

Технология	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг				Плотность	R <sub>ср</sub> кгс/см <sup>2</sup>	Расход тепла, кВт·ч/м <sup>3</sup>
	Ц	К	ПО 2000	Вода			
ПВТ	260	0,9	1,5-2%	145	1000	15	30-50
	270	0,9	1,5-2%	165	1050	35,2	
	280	0,9	1,5-2%	170	1100	40,5	
ПЭР	260	0,9	1,5-2%	145	1000	17	20-40
	270	0,9	1,5-2%	165	1070	35	
	280	0,9	1,5-2%	170	1100	45	
ТВО	260	0,9	1,5-2%	145	1100	7	450-580
	270	0,9	1,5-2%	165	1200	14	
	280	0,9	1,5-2%	170	1250	17	

Примечание:

ПЭР – предварительный электронагрев;

ПВТ – поэтапное внесение тепла;

ТВО – тепловлажностная обработка паром

Таблица 2

Уровни и факторы полнофакторного эксперимента «2<sup>2</sup>»

Уровни и факторы полнофакторного эксперимента «2 <sup>2</sup> »		
Уровни варьирования	X <sub>1</sub> – t <sub>р.бс</sub> °C	X <sub>2</sub> – t <sub>к.зр</sub> °C
Нулевой	50	25
Нижний	30	10
Верхний	70	40

На основании данных табл. 2 была составлена матрица планирования, представленная в табл. 3, в которой в качестве функции отклика взяты данные прочности керамзитопенобетона.

Воспроизводимость опытов проверяем по критерию Кохрена для этого рассчитываем, оценки дисперсии для каждой серии опытов по формуле 1.

$$S_i^2 = \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{j=1}^k (y_{ji} - \bar{y})^2 \quad (1)$$

где: k - число параллельных опытов (k=2);

j - номер серии; i - номер опыта в серии.

Расчетное значение критерия Кохрена определяем по формуле 2.

$$G_p = \frac{\max S_i^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad (2)$$

Опыты воспроизводимы, если выполним условие 3.

$$G_p < G_T \quad (3)$$

где: G<sub>T</sub> - табличное значение критерия Кохрена.

В табл. 4. представлены данные о воспроизводимости опытов матрицы планирования.

Таблица 4

Значение критерия Кохрена

Значение критерия Кохрена	Функция отклика		
	$Y_{(40)}$	$Y_{(80)}$	$Y_{(120)}$
$G_p$	0,458	0,424	0,34
$G_T$	0,51		

Из таблицы 4. видно, что все значения удовлетворяют условия  $G_p < G_T$ , что говорит о воспроизводимости опытов матрицы.

Коэффициенты уравнений регрессии рассчитывались по следующим формулам:

для свободного члена

$$b_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_i \quad (4)$$

где – N число опытов в матрице;

для коэффициентов при линейных членах

$$b_1 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_i \cdot x_1 \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_i \cdot x_2 \quad (6)$$

$$b_{12} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_i \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (7)$$

Значение коэффициентов регрессии рассчитанные по формулам (3-4) приведены в табл. 5.

Значение коэффициентов уравнений регрессии.

Таблица 5

№	Коэффициент регрессии	Функция отклика		
		$Y_{(40)}$	$Y_{(80)}$	$Y_{(120)}$
1	$b_0$	1,47	2,34	2,56
2	$b_1$	0,91	1,84	0,14
3	$b_2$	4,08	8,37	9,65
4	$b_{12}$	0,605	-1,54	-2,25

Проверим значимость коэффициентов регрессии. Для этого выполним оценку однородных дисперсий (формула 12), оценку дисперсии среднего значения (формула 13) и оценку дисперсии в определении коэффициентов регрессии (формула 14) и проверим значимость коэффициентов с помощью критерия Стьюдента (условие 15).

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (8)$$

$$S_y^2 = \frac{S_y^2}{k} \quad (9)$$

$$S_b = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (10)$$

$$|b_i| \geq S_b \cdot t \quad (11)$$

где: t - табличное значение коэффициента Стьюдента

Значимость коэффициентов регрессии представлена в табл. 6.

Таблица 6

	Коэффициент регрессии	Функция отклика								
		Y <sub>(4ч)</sub>			Y <sub>(8ч)</sub>			Y <sub>(12ч)</sub>		
		b <sub>i</sub>	S <sub>b</sub> · t	*	b <sub>i</sub>	S <sub>b</sub> · t	*	b <sub>i</sub>	S <sub>b</sub> · t	*
1	b <sub>0</sub>	1,47	1,33	да	2,34	1,56	да	2,56	2,5	да
2	b <sub>1</sub>	0,91		нет	1,84		да	0,14		нет
3	b <sub>2</sub>	4,08		да	8,37		да	9,65		да
4	b <sub>12</sub>	0,605		нет	-1,54		нет	-2,25		нет

\* - значимость коэффициентов регрессии (да, нет)

С учетом данных табл.6 уравнения регрессии в кодированных переменных примут следующий вид:

$$y_{(4ч)} = 1,47 + 0,91 \cdot x_1 + 4,08 \cdot x_2 + 0,605 \cdot x_{12} \quad (12)$$

$$y_{(8ч)} = 2,34 + 1,84 \cdot x_1 + 8,37 \cdot x_2 - 1,54 \cdot x_{12} \quad (13)$$

$$y_{(12ч)} = 2,56 + 0,14 \cdot x_1 + 9,65 \cdot x_2 - 2,25 \cdot x_{12} \quad (14)$$

Проверим адекватность полученных уравнений регрессии экспериментальными данными с помощью критерия Фишера, расчетное значение которого представляет собой отношение (19), определяемое с помощью дисперсии среднего значения (формула 13) и оценки дисперсии адекватности (формула 20).

$$F_{рас} = \frac{\max\{S_{ад}^2; S_y^2\}}{\min\{S_{ад}^2; S_y^2\}} \quad (15)$$

Как видно из табл.7 все уравнения регрессии адекватно описывают экспериментальные данные.

Переход от кодированных переменных к натуральным осуществляется по формуле 22. [3].

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} \quad (17)$$

где  $x_i$  - значение фактора в кодированных переменных;

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N-B} \cdot \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i^э - y_i^р)^2 \quad (16)$$

где B - число значимых коэффициентов уравнения регрессии;

$\bar{y}_i^э$  и  $y_i^р$  - экспериментальные и расчетные значения функции отклика в i-м опыте.

Уравнение регрессии адекватно описывает экспериментальные данные, или:  $F_{рас} \leq F_T$

где:  $F_T$  - табличное значение критерия Фишера.

В таблице 7. приведены значения критерия Фишера.

Значения критерия Фишера при проверке уравнений регрессии на адекватность эксперимента

Таблица 7

Значения критерия Фишера	Функция отклика		
	Y <sub>(4ч)</sub>	Y <sub>(8ч)</sub>	Y <sub>(12ч)</sub>
F <sub>рас</sub>	3,2	10,3	13,3
F <sub>T</sub>	19,2	19,2	19,2

$x_i$  - значение фактора в натуральных переменных;

$x_{i0}$  - значение фактора в натуральных переменных;

$\Delta x_i$  - интервал варьирования по данному фактору.

$$X_1 = \frac{x_1 - 70}{20} \quad (18)$$

$$X_2 = \frac{x_2 - 1}{0,5} \quad (19)$$

При обработке результатов планирования эксперимента были получены регрессионные уравнения в кодированных переменных:

Воспроизводимость опытов оценивалась по критерию Кохрена. Проверка адекватности полученных уравнений проверялась с помощью критерия Фишера. Опыты воспроизводимы, уравнения адекватны.

При переходе от кодированных переменных к натуральным были получены следующие уравнения:

$$R_{(4)} = 1,47 + 0,91 \left( \frac{t_{pbc} - 50}{20} \right) + 4,08 \left( \frac{t_{k,gr} - 25}{15} \right) + 0,605 \quad (20)$$

$$R_{(8)} = 2,34 + 1,84 \left( \frac{t_{pbc} - 50}{20} \right) - 8,37 \left( \frac{t_{k,gr} - 25}{15} \right) - 1,54 \quad (21)$$

$$R_{(12)} = 2,56 + 0,14 \left( \frac{t_{pbc} - 50}{20} \right) + 9,6 \left( \frac{t_{k,gr} - 25}{15} \right) - 2,25 \quad (22)$$

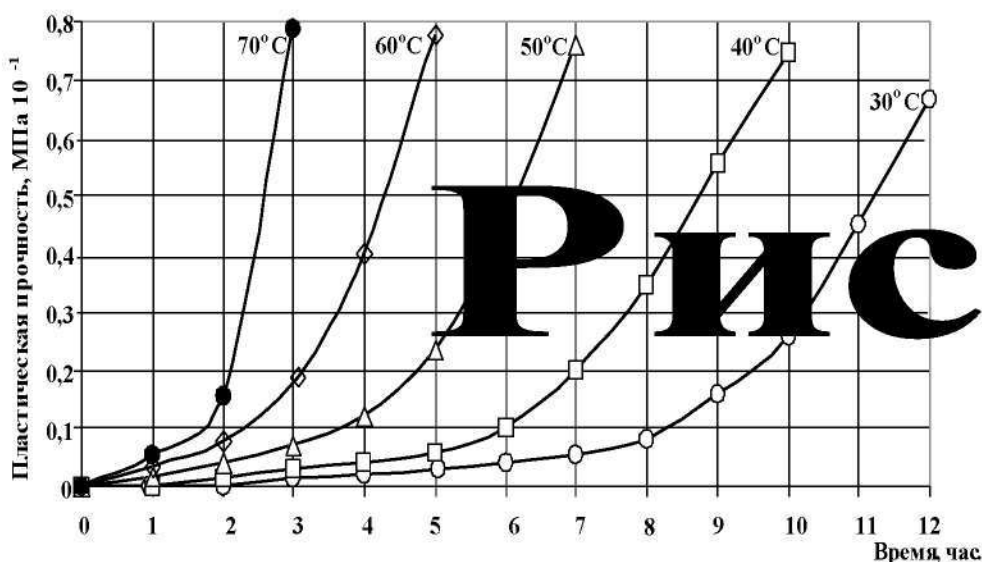
Таким образом, уравнения 20 и 22 в диапазоне данных эксперимента математически описывают температуры разогрева ( $t_{pbc}$ ) и температуры керамзитового гравия ( $t_{k,gr}$ ) на прочность бетона в возрасте 4,8 и 12 часов. В суточном

возрасте наибольшее влияние на прирост прочности оказывает влияние температуры разогрева.

На основании данных уравнений, были построены графики влияния условий твердения на кинетику набора прочности керамзитопенобетона.

Для обеспечения теплозащиты свежееуложенного бетона конструкций (при термосном выдерживании) главенствующим оказывается температурный режим, под влиянием которого происходит как набор бетоном прочности, так и формирование термонапряженного состояния [4].

Как видно из рис. 1. разогретая керамзитопенобетонная смесь резко интенсифицирует набор пластической прочности, что дает возможность свести к минимуму явления, связанные с осадкой смеси, приготавливаемой по традиционной технологии. Преимущество поэтапного внесения тепла и предварительного электроразогрева в том, что уже через 2-3 часа можно производить последующие операции, так как разогретый керамзит положительно влияет на керамзитопенобетонную смесь и не требует дополнительного разогрева. При этом почти в два раза сокращаются энергозатраты на тепловую обработку по сравнению с паропрогревом.



Прочность бетона может достигать растворной части (матрицы) только в том случае, если прочность и жесткость заполнителя не меньше аналогичных характеристик матрицы. Такое условие выполнимо в тяжелых бетонах. В легких же бетонах пористые заполнители (в частности керамзит) уступают по прочности и жесткости растворной матрицы. Поэтому максимально достижимую прочность бетона здесь определяют прочность и деформативность пористого заполнителя.

Предварительный электроразогрев керамзитопенобетонных смесей позволяет вносить тепло в смесь, которое должно обеспечивать дальнейшее твердение бетона. Для последующего термосного выдерживания в течение суток на кинетику набора прочности керамзитопенобетона в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток. После термосного выдерживания керамзитопенобетон твердел в нормальных условиях.

Прочность бетона в суточном возрасте и 28-суточном при предварительном электроразогреве превышала прочность пропаренного бетона, а главное, плотность снизилась на 20-40% по сравнению с пропариванием и при этом практически не уступал по прочности образцам приготовленных с горячим керамзитом.

Керамзитопенобетонная смесь подвергалась электроразогреву до температуры 70°C, укладывалась в утепленную форму и термосно остывала скоростью 1°C/час в течение 24 часов.

Максимальная температура бетона в изделиях не должна превышать 70°C, а минимальная температура изделия в любой точке в период изотермического прогрева должна составлять не менее 60°C.

По проведенному экспериментальному анализу зависимости прочности керамзитопенобетонов, можно сделать вывод, о том, что применение горячего керамзита дает увеличение прочности при сжатии в среднем на 10-20%.

#### Литература:

1. Алимов, Л.А. Влияние структурных характеристик на основные свойства легких бетонов /Л.А. Алимов // Энергетическое строительство, 1970. – № 9.
2. Ваганов, А.И. Исследование свойств керамзитобетона/ А.И. Ваганов.– Л., М.: Госстройиздат, 1960. – 64 с.
3. Каряев, В. В. Математическая обработка эксперимента и его планирование учебное пособие. /В.В. Каряев и др.; СПбГАСУ. – СПб., 1998. – С69 – 100.
4. Сандан, А.С. Влияние способов и режимов обработки керамзитопенобетона на его свойства / А.С. Сандан // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2007. – №3. –С.53– 54. – (из списка ВАК)

## СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ КОМПАНИИ AUTODESK

Дадар А.Х., Оолакай З.Х.

*Тувинский государственный университет*

## SITUATIONAL MODELLING OF SCHEDULE PLANNING IN SOFTWARE PRODUCTS OF AUTODESK COMPANY

Dadar A.H., Oolakai Z.H.

*В статье рассматривается вопрос дополнения к базовой платформе Revit – программа Autodesk Navisworks, которая используя средства визуализации и процедуры генерирования различных сценариев, позволяет повысить технологичность планирования проекта и оптимизировать графики выполнения строительных работ в различных режимах.*

**Ключевые слова:** программа, моделирование, календарное планирование, проект.

*This article examines the addition to the base Revit platform – the Autodesk Navisworks program which, using visualization tools and procedures of generating of various scenarios, allows to increase adaptability to manufacture of planning of the project and to optimize schedules of performing of construction works in various modes.*

**Key words:** software, simulation, scheduling, project.