

ску теплоти. Ці показники знаходяться на рівні і перевищують нормовані значення по відпуску теплоти.

Висновки. Найважливішим результатом проведених розрахунково-теоретичних досліджень є те, що за допомогою розробленого підходу встановлено взаємозалежність між показниками надійності по відпуску теплоти і електроенергії. Це пояснюється тим, що при відмові якого-небудь елемента блоку наслідки відмови по відпуску електроенергії і теплоти різні. Так стан блоку, при якому електрогенератор непрацездатний і наступила відмова функціонування по відпуску електроенергії, система зможе забезпечити відпуск гарячої води в повному обсязі. Враховуючи ту обставину, що теплофікаційні блоки призначені для покриття теплових навантажень, доцільно використовувати структурний і функціональний резерв для підвищення надійності відпуску теплової енергії. Тому необхідно на ТЕЦ мати складнішу в сенсі надійності структурну схему з ширшим застосуванням структурного і функціонального резервування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко Б.В. – М.: Наука, 1985. – 524 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятности / Вентцель Е.С. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
3. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Гнеденко Б.В. – М.: Наука, 1965. – 342 с.
4. Надежность систем энергетики и их оборудование: справочник / под ред. Ю.Н.Руденко. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 480 с.

Надійшла до редколегії 21.12.2011.

УДК 532.5.072.12

КОШЛАК А.В., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

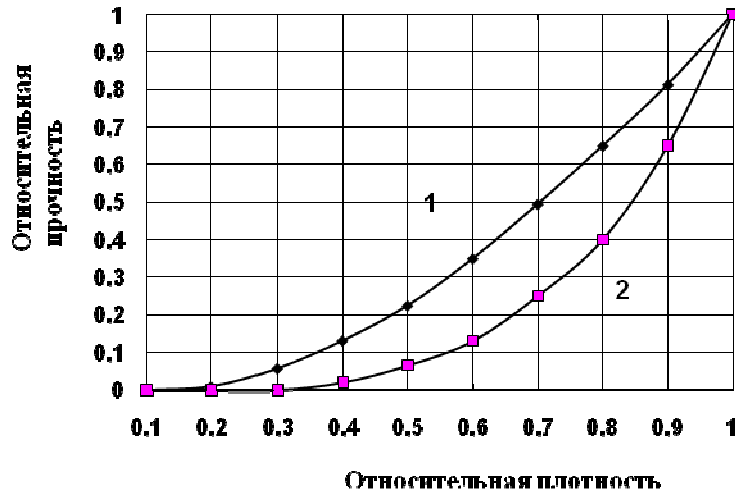
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА

Введение. Прочность теплоизоляционных пористых материалов является важным показателем их свойств, обеспечивающим надежную и длительную эксплуатацию теплоизоляции на теплоагрегатах. В зависимости от объема, характера пористости, вида каркасообразующего вещества прочностные свойства материалов определяют показателями прочности: предел при сжатии $R_{сж.}$, при изгибе $R_{изг.}$ и растяжении $R_{раст.}$ Прочность известных материалов невелика и чаще всего находится в интервале значений 0,3-1,5 МПа [1].

На прочностные характеристики влияет также плотность материала [1]. По опытным данным при одинаковой относительной плотности прочность у материалов зернистой структуры ниже, чем ячеистой, что следует из графика (рис.1).

Поэтому на прочность материала влияет пористость, вид пор, плотность, состав сырьевой смеси, способ структурообразования и другие факторы. Таким образом, задача повышения прочности пористой структуры при сохранении теплофизических характеристик материала является комплексной задачей, решение которой можно найти экспериментальным путем.

Постановка задачи. Изучение особенностей процессов термического порообра-



1 – для материалов ячеистой структуры;
 2 – для материалов зернистой структуры

Рисунок 1 – Зависимость прочности от плотности

зования позволило создать экспериментальную основу для разработки новых теплоизоляционных пористых материалов (ТПМ1 и ТПМ2) [2, 3], способа их производства [4] и оборудования для реализации новой технологии [5], которые основаны на закономерностях функциональной зависимости структурных, режимных и теплофизических характеристик. Как правило, прочность пористых теплоизоляционных материалов характеризуется двумя показателями: прочностью на изгиб и на сжатие.

Поэтому задачей исследования является определение предела прочности новых теплоизоляционных материалов (ТПМ1 и ТПМ2) при термонапряжениях для дальнейшего использования полученных значений или функциональной зависимости в качестве расчетной базы для задач термоупругости.

Результаты работы. Для определения показателей прочности использован ультразвуковой импульсный метод, суть которого состоит в измерении скорости распространения ультразвуковых импульсов в материале, которая зависит от плотности данного материала и связана соответствующей зависимостью с прочностью. В ходе измерений определяется скорость

прохождения продольных ультразвуковых волн в испытуемом материале. В экспериментальных исследованиях прочности использован прибор УПЗ-64.

Испытания на прочность сводятся к построению тарировочных графиков и определению прочности материала с помощью этого графика (рис.2) по результатам прозвучивания материала указанным прибором.

Скорость ультразвуковых волн изменялась в пределах 1500-2500 м/с. Образцы изготавливались двух видов: кубические 0,1×0,1×0,1 (м) для постро-

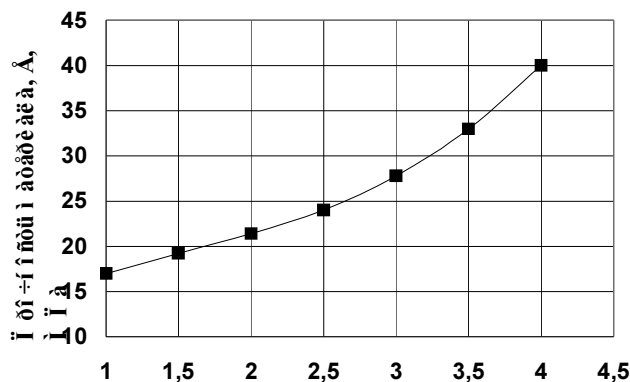


Рисунок 2 – Тарировочный график для определения прочности на сжатие

ения тарировочного графика и определения прочности на сжатие; $0,1 \times 0,1 \times 0,3$ (м) – для определения прочности на изгиб. Перед началом испытаний образцы высушивались.

Обработка экспериментальных данных выполнена с применением метода планированного эксперимента с ядром 2^4 [6]. В качестве управляющих факторов для первого материала (ТПМ1) приняты: процентное содержание глины (кодированные значения X_1), процентное содержание Na_2CO_3 (код X_2), влажность сырьевой смеси (код X_3) и температура обработки (код X_4). Для второго материала (ТПМ2) управляющими факторами были: процентное содержание Al (кодированные значения X'_1), продолжительность процесса вспучивания (код X'_2), влажность сырьевой смеси (код X_3) и температура вспучивания (код X'_4). Управляющие факторы (X_1, \dots, X_4), влияющие на прочностные характеристики новых материалов ТПМ1 и ТПМ2, уровни варьирования факторов приведены в табл.1. Результаты измерений на прочность материалов показаны в табл.2.

Таблица 1 – Уровни варьирования значений факторов

№	Фактор	Код	Значение в точке					Интервал варьирования, Δ
			-1,414	-1	0	1	1,414	
1	Содержание глины, мас. доля	X_1	16,7	25	45	65	73,3	20
2	Содержание Na_2CO_3 , мас. доля	X_2	2,17	3	5	7	7,83	2
3	Влажность сырьевой смеси, %	X_3	11,7	20	40	60	68,3	20
4	Температура обработки, $^{\circ}\text{C}$	X_4	258	300	400	500	542	100
5*	Содержание Al, масс. доля	X'_1	1,76	3	6	9	10	3
6*	Продолжительность процесса вспучивания, мин	X'_2	3	5	10	15	17	5
7*	Температура вспучивания, $^{\circ}\text{C}$	X'_4	79	100	150	200	220	50

*- для ТПМ2.

Таблица 2 – Результаты измерений на прочность материалов ТПМ1 и ТПМ2

Показатели	№ опыта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(Y_1) , ТПМ1	16,8	16,2	35,3	31,1	39,9	39	41,9	41,9	34	32	37,7	37	40,6
(Y_2) , ТПМ2	19,4	19	39,6	35	45,1	43	44,7	43,9	38	35	39,7	39	44,4

Продолжение таблицы 2

Показатели	№ опыта												
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
(Y_1) , ТПМ1	39	40,9	40,4	31,4	21,9	18,4	38	15	31	17,4	36	31	
(Y_2) , ТПМ2	41,2	44,6	44	35,1	25,4	22,6	41,9	19	36,5	21,3	40	35	

После проведенных расчетов по алгоритму метода были получены оценки коэффициентов в моделях, приведенные в табл.3.

Таблица 3 – Оценки коэффициентов в моделях прочности

Факторы и их взаимодействия	Оценки влияния факторов на показатели		Факторы и их взаимодействия	Оценки влияния факторов на показатели	
	(Y ₁), ТПМ1	(Y ₂), ТПМ2		(Y ₁), ТПМ1	(Y ₂), ТПМ2
X ₁	1,162	1,456	X ₄ ²	3,435	3,035
X ₂	-3,796	-3,635	X ₁ X ₂	-0,087	0,125
X ₃	-5,251	-5,547	X ₁ X ₃	0,25	0,125
X ₄	-3,345	-3,132	X ₁ X ₄	0,087	0,025
X ₁ ²	3,41	2,835	X ₂ X ₃	-2,325	-2,4
X ₂ ²	4,185	3,835	X ₂ X ₄	-1,638	-1,75
X ₃ ²	1,585	1,585	X ₃ X ₄	-2,7	-2,575

Для проверки зависимости влияния факторов и их взаимодействий на показатели, а также адекватности полученных ошибок наблюдений S^2 для каждого показателя в «нулевой» точке $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0$ были проведены четыре повторных опыта. Их результаты приведены в табл.4.

Расчетным путем (по формуле (1)) получили дисперсии ошибок наблюдений (табл.4):

$$S^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (Y_i - \bar{Y})^2, \quad (1)$$

где Y_i – наблюдаемое значение показателя Y в i -ом повторном опыте;

\bar{Y} – среднее значение Y в «нулевой» точке.

Таблица 4 – Значения повторных опытов и дисперсий ошибок наблюдения для показателей прочности

Показатели	Значения показателя в повторных опытах				Дисперсия ошибок наблюдения
	1	2	3	4	
(Y ₁), ТПМ1	28,9	32,2	32,9	30	3,487
(Y ₂), ТПМ2	37,4	33,7	36,1	32,8	4,5

«Пороги значимости» для оценок коэффициентов, характеризующих силу влияния факторов и их эффектов взаимодействия, находились как $h_i \cdot S$, где S – среднее квадратическое отклонение ошибки наблюдения, $h_i = t_{кр}(\alpha; \varphi) \cdot \sqrt{c_i}$, $t_{кр}(\alpha; \varphi)$ – критическое значение распределения Стьюдента для уровня значимости α и числа степеней свободы φ . В проведенных исследованиях $\varphi = 3$, $c_1 = 0,05$ для x_i , $c_2 = 0,125$ для x_i^2 , $c_3 = 0,0625$ для $x_i \cdot x_j$, $i, j = 1, \dots, 4$ [6]. В результате расчетов по приведенной выше формуле полученные для показателей Y «пороги значимости» для оценок коэффициентов приведены в табл.5.

Таблица 5 – «Пороги» значимости для факторов и их взаимодействий

Показатель	X _i	X _i ²	X _i X _j
(Y ₁), ТПМ1	1,329	2,101	1,485
(Y ₂), ТПМ2	1,509	2,387	1,688

Исключив из моделей факторы и их взаимодействия, величина коэффициентов которых по модулю меньше указанных «порогов значимости», для уровня значимости $\alpha = 0,5$ получили следующие зависимости

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 = 23,332 - 3,796X_2 - 5,25X_3 - 3,345X_4 + 3,4X_1^2 + 4,185X_2^2 + 3,435,2X_4^2 - \\ - 2,325X_2X_3 - 1,638X_2X_4 - 2,7X_3X_4, \quad R = 0,83 \text{ для ТПМ 1;} \\ Y_2 = 26,66 - 3,635X_2 - 5,47X_3 - 3,132X_4 + 2,835X_1^2 + 3,835X_2^2 + 3,035,2X_4^2 - \\ - 2,4X_2X_3 - 1,75X_2X_4 - 2,575X_3X_4, \quad R = 0,785 \text{ для ТПМ 2.} \end{array} \right. \quad (2)$$

Или

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 = 21,7 - 3,41X_1^2 + 4,185(X_2 - 0,45)^2 - 5,251X_3 + 3,435(X_4 - 0,48)^2 - \\ - 2,32X_2X_3 - 1,638X_2X_4; \\ Y_2 = 24,81 + 2,83X_1^2 + 3,83(X_2 - 0,47)^2 - 5,54X_3 + 3(X_4 - 0,5)^2 - \\ - 2,4X_2X_3 - 1,75X_2X_4 - 2,575X_3X_4. \end{array} \right. \quad (3)$$

Проверка адекватности полученных моделей проводилась по критерию Фишера. Расчетное значение F статистики находилось по формуле

$$F_p = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S^2}, \quad (4)$$

Для полученных моделей остаточная дисперсия находилась

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{n - m} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (5)$$

где $n=25$ – число опытов;

m – число коэффициентов в модели.

Полученные остаточные дисперсии, расчетные и табличные значения статистики Фишера приведены в табл.6.

Таблица 6 – Значения остаточных дисперсий $S_{\text{ост}}^2$; расчетных F_p и табличных $F_{\text{табл}}$ статистик Фишера для показателей прочности

Показатели	Значение $S_{\text{ост}}^2, F_p, F_{\text{табл}}$		
	$S_{\text{ост}}^2$	F_p	$F_{\text{табл.}} (\alpha = 0,05; 25-m; 3)$
(Y_1), ТПМ1	22,335	6,406	8,703
(Y_2), ТПМ2	28,04	6,231	8,703

Так как F_p для всех моделей меньше $F_{\text{табл.}}$, то обе модели адекватны с надежностью 0,95 истинной зависимости и могут быть использованы для технологического анализа процесса и прогноза значений показателей Y .

По степени и направленности влияния факторов в приведенных моделях можно сделать вывод о том, что начальная влажность сырьевого материала, как и в предыдущих исследованиях, оказывает доминирующее среди прочих факторов воздействие на прочность готового материала. Причем, чем больше влажность, тем меньше прочность. Поэтому при выборе режимов термообработки необходимо решать оптимизационную задачу определения состава сырьевой смеси в указанных (табл.1) интервалах значений факторов для создания материала с прогнозируемыми

теплофизическими свойствами и конкретных условий его работы с учетом требований по прочности.

Выводы. В результате исследований получена качественная зависимость влияния структурных и технологических параметров на прочность пористых теплоизоляционных материалов (ТПМ1 и ТПМ2). Полученные регрессионные уравнения определяют связь структурных и теплофизических характеристик новых пористых теплоизоляционных материалов с прочностными. Поскольку они для всех показателей оказались адекватными (проверка выполнялась по критерию Фишера), это позволит использовать их в качестве управляющих функций процесса вспучивания с целью оптимизации прочностных характеристик материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкович С.М. Заполнители для бетона : [учеб. пособие для строит. спец. вузов] / С.М.Ицкович. – Мн: Вышш. шк., 1983. – 214 с.: ил.
2. Пат. 27656 Україна, МПК С04В14/00. Сировинна суміш для пористого теплоізоляційного матеріалу / Кошлак Г.В., Павленко А.М.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 2007 07203; заявл. 26.06.2007; опубл. 12.11.2007, Бюл. №18. – 6 с.
3. Пат. 25862 Україна, МПК С04В14/00. Сировинна суміш для пористого теплоізоляційного матеріалу / Кошлак Г.В., Павленко А.М., Соколовська І.Є.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 200703899; заявл. 10.04.2007; опубл. 27.08.2007, Бюл. №13. – 6 с.: іл.
4. Пат. 25527 Україна, МПК С04В14/00. Спосіб одержання пористого теплоізоляційного матеріалу / Кошлак Г.В., Павленко А.М.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 200703898; заявл. 10.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. №12. – 6 с. іл.
5. Пат. 26821 Україна, МПК F26В17/10. Пристрій для отримання гранульованого наповнювача теплоізоляційного матеріалу / Кошлак Г.В., Павленко А.М., Соколовська І.Є., Клімов Р.О.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 200705035; заявл. 07.05.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. №16. – 6 с.: іл.
6. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов/ К.Хартман, Э.Лецкий, В.Шефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

Поступила в редколлегию 21.02.2012.

УДК 532.5.072.12

ПАВЛЕНКО А.М., д.т.н., профессор
ОСЕННЯЯ О.С., аспирант

Днепропетровский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Введение. Эмульгированные гомогенные жидкости используются во многих технологических процессах [1, 2] в различных отраслях промышленности. Поэтому и методики аппаратного исполнения технологий гомогенизации достаточно хорошо исследованы. Если к структуре данных составов предъявляются более строгие требования по дисперсности и устойчивости, то, как правило, прибегают к математическому моделированию основных рабочих процессов с целью последующей оптимизации конст-