

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛЗУЧЕСТИ ОРГАНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Органо-полимердик композиттердин касиеттеринин математикалык моделдери температуралык-нымдуулук факторлорду эсепке алуу менен берилген.

Приведены математические модули свойств органо-полимерных композитов с учетом изменения температурно-влажностных факторов.

Mathematical models of property of the organic-polymeric composites, by considering the temperature-moisture parameters, are described.

В настоящее время теоретически могут быть решены лишь некоторые простые задачи нелинейной ползучести. Экспериментальное же исследование ползучести затруднительно и неэкономично.

Попытки моделировать ползучесть металлов, бетонов и полимеров с помощью пластмасс представляются перспективными, так как поведение материалов с различной структурой в некоторых рамках может быть описано одними и теми же уравнениями.

Пластмассы из ряда органо-полимерных композитов применимы для моделирования ползучести конструкций при постоянных напряжениях, т.е. установившейся и квазиустановившейся ползучести. Такое состояние реализуется при развитых деформациях ползучести, когда объемные силы и внешние нагрузки неизменны, а в случае внешне статически неопределимых конструкций опорные связи недеформируемы (смещения в направлении связей равны нулю) /1/.

В случае постоянных напряжений зависимость между компонентами деформации ε_{ij} и напряжения σ_{ij} для пластмасс, как показали опыты над целлулоидом, можно записать в виде /2/

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^0 + \varphi(t)f(T)\sigma_{ij}', \quad (1)$$

где ε_{ij}^0 – мгновенная деформация; t – время; T – интенсивность касательных напряжений; σ_{ij}' – компоненты девиатора напряжения.

В пользу уравнения (1) говорит, в частности, тот экспериментально установленный факт; что для ряда пластмасс справедлива гипотеза единой кривой. Свойства пластмасс при растяжении и сжатии (при малых деформациях) практически одинаковы.

Для пластмасс функции φ и f можно аппроксимировать зависимостями

$$\varphi(t) = t^n \quad (0 < n < 1);$$

(2)

$$f(T) = aT^m \quad (m \geq 0),$$

(3)

где n , a , m – функция температуры и параметра, характеризующего скорость деформации.

Среди пластмасс встречаются материалы, следующие как нелинейному, так и линейному закону ползучести. В последнем случае в формуле (3) следует принять $m=0$.

Для функции f используется также вместо степенной экспоненциальная зависимость, или зависимость по гиперболическому синусу; эти зависимости для среднего и высокого уровней напряжения дают близкие результаты.

Анализ зависимостей между величинами в модели и натуре показывает, что при моделировании ползучести с помощью пластмасс в условиях статики время исследования сокращается в десятки и сотни раз. Так, состояние квазиустановившейся ползучести в пластмассовой модели уже при среднем уровне напряжений в ней наступает через несколько часов после нагружения. К модели нужно прикладывать нагрузки, значительно меньшие действующих на конструкцию. Размеры модели выбираются произвольно [3].

С изменением температуры или степени пластификации механические свойства пластмасс заметно изменяются, что расширяет область их применения в качестве моделирующих материалов. По имеющимся сведениям значения показателя степени для пластмасс находятся в интервале от 0 до 5.

Оптимизация свойств и прогнозирования долговечности органо-полимерных композитов при изменении температурно-влажностных факторов проводилась с использованием метода экспериментально-статистического моделирования [4].

Был проведен трехфакторный эксперимент по плану V_3 . В качестве варьируемых факторов были взяты: X_1 – влажность в помещении, %; X_2 – температура, °С; X_3 – продолжительность времени эксплуатации, год. Уровни варьирования факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни варьирования

Уровни факторов	X_1 – влажность, %	X_2 – температура, °С	X_3 – продолжительность времени эксплуатации, год
-1	30	18	1,0
0	40	20	1,5
+1	50	22	2,0

Таблица 2

План и выходные значения эксперимента по B_3

№	План эксперимента						У ₁ прочность при изгибе после длительных испытаний, МПа	У ₂ прочность контрольного образца при изгибе, МПа	У ₃ потеря прочности при изгибе от контрольного образца, %
	в нормализованных переменных			в натуральных переменных					
	x ₁	x ₂	x ₃	X ₁	X ₂	X ₃			
1	+	+	+	40	20	2,0	19,72	19,8	0,4
2	+	+	-	40	20	2,0	19,83	19,9	0,35
3	+	-	+	40	20	2,0	19,54	19,6	0,33
4	-	+	+	30	20	1,5	18,74	18,8	0,3
5	-	-	-	30	18	1,5	18,46	18,5	0,2
6	-	-	+	30	18	1,5	17,86	17,9	0,2
7	-	+	-	30	18	2,0	17,85	17,9	0,3
8	+	-	-	40	22	1,0	18,78	18,8	0,1
9	+	0	0	40	22	1,5	18,36	18,4	0,2
10	-	0	0	30	18	1,5	17,78	17,8	0,1
11	0	+	0	50	20	1,5	18,25	18,3	0,25
12	0	-	0	50	20	1,5	18,46	18,5	0,2
13	0	0	+	50	20	2,0	17,55	17,6	0,3
14	0	0	-	50	20	1,0	17,38	17,4	0,1
15	0	0	0	50	20	1,5	17,98	18,0	0,1

Критерии оптимизации были приняты:

$U_1=f(X_1, X_2, X_3)$ – прочность при изгибе после длительных испытаний, МПа;

$U_2=f(X_1, X_2, X_3)$ – прочность контрольного образца при изгибе, МПа;

U_3 – потеря прочности при изгибе от контрольного образца, %.

Исходя из эксперимента уровни варьирования трех факторов (X_1, X_2, X_3), план и результаты эксперимента приведены в табл. 1 и 2.

При экспериментально-статистическом моделировании фактора X_i из натуральных переменных переводятся в нормализованные X_i с ограничением $-1 \leq X_i \leq +1$, что значительно упрощает расчет коэффициентов полиномиальных моделей. Критериями оптимизации служили $15 \leq U_1 \leq 20$ МПа.

По результатам эксперимента рассчитаны на ЭВМ коэффициенты моделей целевых функций $U_1 = f(X_1, X_2, X_3)$, $U_2 = f(X_1, X_2, X_3)$ и $U_3 = f(X_1, X_2, X_3)$

$$Y_1 = 17,15 + 1,44X_1 - 0,85X_1^2 - 0,46X_2 - 1,12X_2^2 - 0,03X_2X_3 - 0,13X_3 - 0,51X_3^2$$

(4)

$$Y_2 = 18,11 - 1,46X_1 - 0,9X_1^2 - 0,04X_1X_2 + 0,13 X_1X_3 - 0,52X_2 - 1,12X_2^2 - 0,04X_2X_3 - 0,52X_3^2$$

(5)

$$Y_3 = 0,22 - 0,11X_1 + 0,36X_1^2 - 0,03X_1X_2 + 0,06 X_1X_3 - 0,33X_2 - 0,20X_2^2 + 0,03X_2X_3 - 0,15 X_2 - 0,13X_3 - 0,51X_3^2$$

(6)

Анализ коэффициентов математических моделей свойств органо-полимерного композита позволяет сделать следующие выводы:

– наибольшее влияние на прочность оказывают фактор X_1 – относительная влажность воздуха; X_2 – температура в помещении и X_3 – время длительных испытаний. Однако необходимо уточнение зоны оптимума, так как на это указывает коэффициент $-0,85$ при X_1^2 . Прочность при статическом изгибе снижается по мере увеличения относительной влажности и времени длительных испытаний. Потеря прочности органо-полимерных композитов незначительна, т.е. $0,1 \leq Y_3 \leq 0,3$ %.

Относительно показателей потери прочности $Y_3 = f(X_1, X_2, X_3)$ следует отметить, что температурно-влажностные факторы в помещении (X_1 и X_2) зависят от продолжительности испытания (X_3). На рис. 2 приведены графические образы моделей изолиний ползучести.

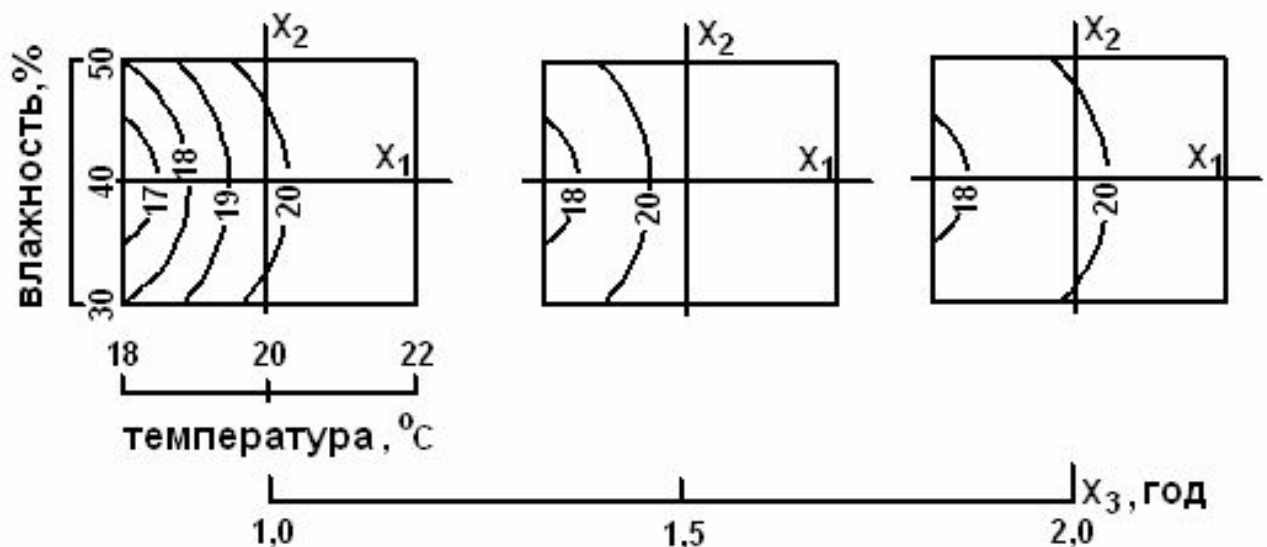


Рис. 1. Изолинии прочности $Y_1 = f(X_1, X_3)$ при $X_2 = -1; 0; +1$

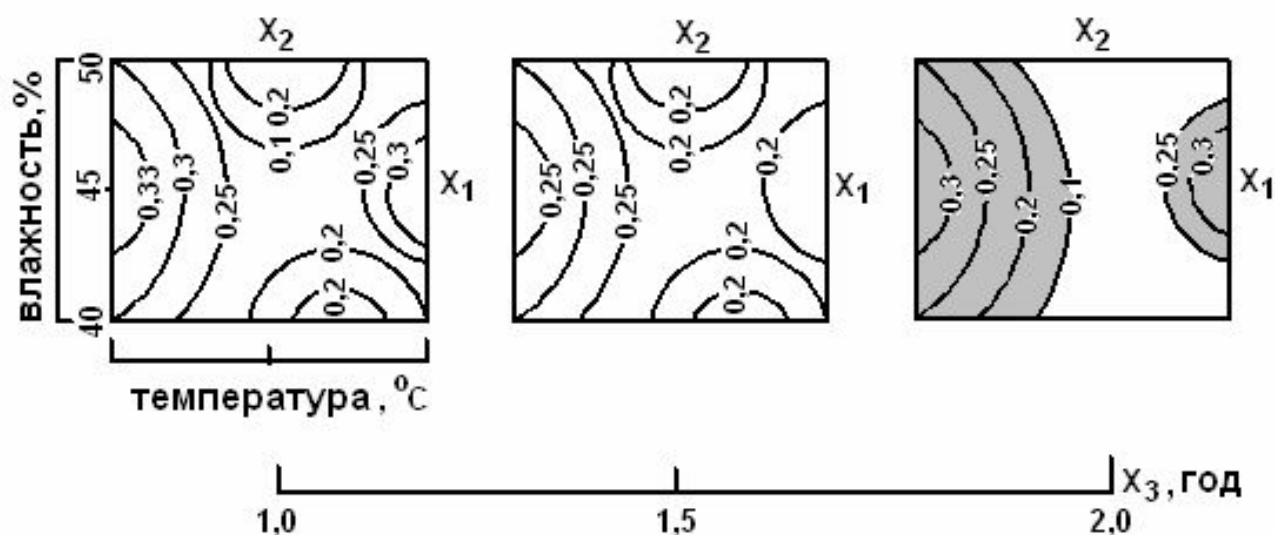


Рис. 2. Изолинии ползучести $Y_3 = f(X_1, X_2)$ при $X_3 = -1; 0; +1$

По всем точкам плана показатель потери прочности плит находится в допустимых пределах $0,3 \leq Y_3 \leq 0,1$ %.

Для выделения границ ползучести, где удовлетворяются требования по критериям номограммы прочности $Y_1 = f(X_1, X_3)$ при $X_2 = +1$, т.е. при максимальной продолжительности испытаний;

- вторым по влиянию на прочность является фактор X_2 , что обусловлено наличием коэффициента $B_{22} = -1,12$;
- третий фактор X_3 – время испытаний на прочность – влияние оказывает незначительное, и его значение должно быть минимальным, т.е. $X_3 = -1$.

Наиболее наглядно влияние всех трех факторов на прочность органо-полимерных композитов при ползучести (потеря прочности) можно наблюдать на графическом образе моделей (рис. 2).

На рис. 3 видно, что область границ ползучести, где удовлетворяется требование критериев $15 \leq Y_1 \leq 20$, занимает все факторное пространство $Y_1 = f(X_1, X_2, X_3)$ и $Y_3 = f(X_1, X_2, X_3)$.

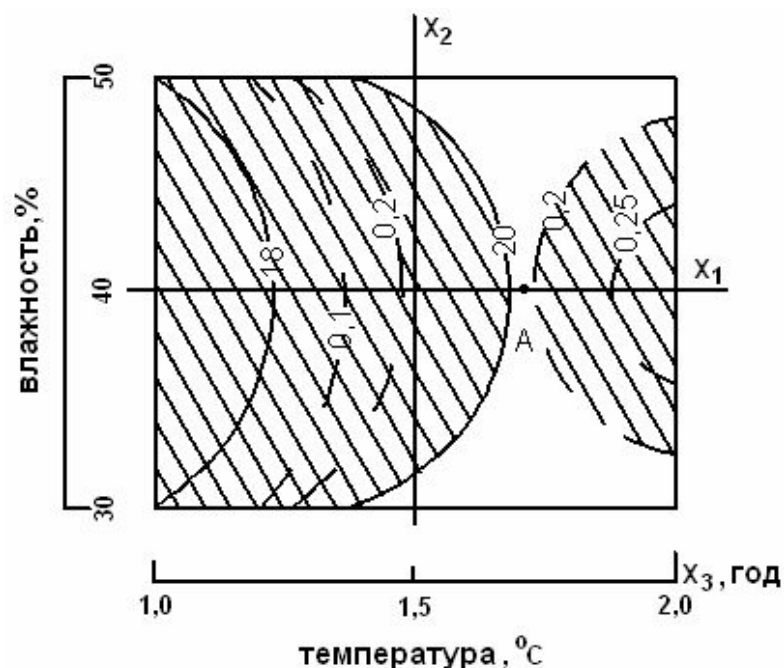


Рис. 3. Область границ ползучести, где $Y_1 > 18$ МПа, (не заштрихованное поле)

Аналогично с вышеуказанной методикой математико-статистического моделирования оптимизирован состав многокомпонентного органо-полимерного композита.

В качестве выходных параметров при планировании эксперимента приняты следующие свойства:

$Y_1^{изг}$ – предел прочности при статическом изгибе, МПа;

$Y_2^{разб}$ – разбухание по толщине за 24 ч, %.

Эти показатели наиболее полно характеризуют эксплуатационные свойства строительных плит из смеси растительных отходов.

Параметрами оптимизации явились целевые функции: y_1^u – предел прочности при статическом изгибе; y_2^p – разбухание за 24 часа.

Исследовалась зависимость целевых функций от трех основных переменных факторов: X_1 – процент содержания стеблей табака; X_2 – содержание связующего; X_3 – содержание в наполнителе частиц стеблей хлопчатника или соломы.

По результатам эксперимента рассчитаны на ЭВМ коэффициенты моделей целевых функций. Критерием оптимизации служил $17 < Y_1 < 23$ МПа. Получены уравнения:

$$Y_1^{изг} = 17,92 + 1,54X_1 - 0,88X_1^2 + 0,84X_2 - 1,39X_2^2 - 0,07X_1X_2;$$

(7)

$$Y_2^{разб} = 3,91 - 0,21X_1 + 0,46X_1^2 - 0,05X_1X_2 - 0,44X_2 - 0,25X_2^2.$$

(8)

Рациональное соотношение фракции частиц в органо-полимерном композите установлено: древесная стружка – 8 %; стебли табака – 30 %; стебли хлопчатника или соломы – 55 %; связующее PMDI – 7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев Г.М. и др. Физика полимеров. – Л.: Химия, 1990.– 430 с.
2. Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В. Физика и механика полимеров. – М.: Высшая школа, 1983. – 390 с.
3. Абдыкалыков А.А, Сатыбалдиев Ж.Ж., Абдраимов Ж. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для оптимизации наполнителя в композиционных материалах. – Бишкек: РУЦПНРК. – 65 с.
4. Курдюмова В.М., Ильченко Л.В., Чымыров А.У., Суворова Е.С. Термодинамический анализ структуры строительных композитов из растительного сырья // Межд. сб. научн. тр. «Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении». – Новосибирск, 2005.– С. 7-11.