

Алоев В. З., Жирикова З. М., Алоев К. В., Тарчокова М. А.

Aloev V. Z., Zhirikova Z. M., Aloev K. V., Tarchokova M. A.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕСУРСОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

TEMPERATURE RESOURCE CALCULATION ALGORITHM OPERATION OF POLYMER MATERIALS

Работа посвящена проблеме долгосрочного прогнозирования ресурсов эксплуатации полимерных материалов в узлах и деталях сельскохозяйственных машин. В процессе эксплуатации элементы конструкции из полимерных и композитных материалов подвергаются воздействию различных внутренних и внешних факторов. Результатом таких воздействий является ухудшение первоначальных свойств, то есть старение материала.

Старение полимерных материалов в условиях хранения и эксплуатации происходит при одновременном действии нескольких факторов в различных сочетаниях и интенсивностях. В качестве основного фактора в работе выбрано тепловое старение.

Определение температурного ресурса эксплуатации полимерных материалов проводится сначала в модельных условиях, а затем полученные результаты экстраполируют на условия эксплуатации.

В работе приводятся требования к отбору материалов и аппаратуре для их испытания.

В качестве контролируемых показателей предлагаются: прочностные, деформационные, электрические, потеря массы или любые другие, прямо или косвенно характеризующие свойства испытуемого материала. Предельно допустимый уровень ухудшения свойств выбирается в зависимости от показателя материала и условий его эксплуатации.

Предложен алгоритм расчета температурных ресурсов эксплуатации полимерных материалов для случая монотонного изменения показателя в процессе старения. При немонотонном изменении показателя старения предлагается обрабатывать данные аналитическим методом, используя способ графического дифференцирования.

The work is devoted to the problem of long-term forecasting of the exploitation resources of polymer materials in units and parts of agricultural machines. During operation, structural elements made of polymer and composite materials are exposed to various internal and external factors. Such effects result in deterioration of the original properties, i.e. aging of the material.

Aging of polymer materials under storage and operation conditions occurs with the simultaneous action of several factors in various combinations and intensities. Thermal aging was chosen as the main factor in the work.

Determination of temperature service life of polymer materials is carried out first under model conditions, and then the obtained results are extrapolated to operating conditions.

The work contains requirements for the selection of materials and equipment for their testing.

Strength, deformation, electrical, weight loss or any other directly or indirectly characterizing properties of the test material are suggested as controlled indicators. The maximum allowable level of deterioration of properties is selected depending on the material index and its operating conditions.

Algorithm for calculation of temperature resources of polymer materials operation for case of monotonic change of index in process of ageing is proposed. With a non-ton change in the aging index, it is proposed to process the data using an analytical method using a graphical differentiation method.

алгоритм расчета, максимальная и минимальная температуры испытаний, коэффициент сохранения свойств, аналитический метод.

Key words: *prediction, temperature resource, aging, least squares method, calculation algorithm, maximum and minimum temperature of tests, property preservation factor.*

Ключевые слова: *прогнозирование, температурный ресурс, старение, метод наименьших квадратов, уравнение прогноза,*

Алоев Владимир Закиевич – доктор химических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Жирикова Заира Муссавна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
E-mail: zaira.dumaeva@mail.ru

Алоев Кантемир Владимирович – студент, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва

Тарчокова Муминат Адировна – доцент кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Aloev Vladimir Zakievich – Doctor of Chemical Sciences, professor in the chair of Technical mechanics and physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Zhirikova Zaira Mussavna – Candidate of physic-mathematical sciences associate professor at the department of technical mechanics and physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
E-mail: zaira.dumaeva@mail.ru

Aloev Kantemir Vladimirovich – student, FAEIE RUDN University, Moscow

Tarchokova Muminat Adirovna – Associate Professor, Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Введение. В связи с неуклонным ростом применения полимерных и композиционных материалов в узлах и деталях сельскохозяйственных машин, работающих в сложных климатических условиях, возникает проблема долгосрочного прогнозирования ресурсов эксплуатации [1-3].

Основными климатическими факторами, способствующими ухудшению (старению) эксплуатационных свойств, являются: температура (положительная, отрицательная, сезонные и суточные циклические ее изменения) и влажность воздуха. Старение полимерных материалов в условиях хранения и эксплуатации происходит в результате одновременного действия нескольких внешних факторов при их различном сочетании и интенсивности [4, 5].

К основным внешним факторам старения относят температуру, относительную влажность окружающей

среды и действие света. Наиболее распространенным фактором внешнего воздействия является температура.

Для определения температурных ресурсов эксплуатации деталей из полимерных материалов сначала проводят ускоренные испытания их в модельных условиях, а затем полученные данные экстраполируют на условия эксплуатации.

Материалы и методы исследования. Задача подбора условий модельных испытаний, эквивалентные по своему действию в течение какого-либо непродолжительного времени условиям эксплуатации и хранения, предъявляет особые требования к отбору материалов и аппаратуре для их испытания.

В связи с этим материалы и методы исследования должны удовлетворять следующим условиям:

1) образцы для определения показателя старения до и после испытаний должны быть

изготовлены из одной закладки материала или из одной партии изделий;

2) форма и размеры образцов для испытаний, способ и режимы их изготовления должны соответствовать требованиям, указанным в стандартах на метод определения показателя старения и ГОСТ 269-66;

3) общее количество образцов N , необходимое для испытаний по определению температурных ресурсов по каждому показателю, рассчитывается по формуле:

$$N = n(k_T \cdot z + 1),$$

где:

n – количество образцов, необходимое для проведения испытаний согласно требованиям стандарта для данного показателя;

z – минимальное количество точек, необходимое для построения графической зависимости при данной температуре испытаний;

k_T – число температур испытаний;

4) максимальная температура испытаний должна быть меньше на 30-50 К температуры начала разложения, определяемого по результатам дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического анализа исходного полимера;

5) минимальная температура испытаний определяется по формуле [6]:

$$T_{min} = T_{max} - k_i \alpha,$$

где:

T_{max} – максимальная температура испытаний;

k_i – число дискретных температур;

α – температурный интервал (20-30К);

6) аппаратура для испытаний должна соответствовать требованиям ГОСТ 9.024-74 при старении и ГОСТ 9.029-74.

Методология работы. В качестве контролируемых показателей обычно выбирают прочностные, деформационные электрические, потерю массы или любые другие, прямо или косвенно характеризующие изменение эксплуатационных свойств испытуемого материала [7]. Предельно допустимый уровень (ПДУ) ухудшения свойств

выбирается в зависимости от показателя старения материала и условий его эксплуатации.

Так, для деформационно-прочностных показателей ПДУ составляет 30-50% от начального уровня, для потери массы 1-4% в зависимости от материала.

Значение контролируемого показателя в исходном состоянии P_0 и после каждого испытания P принимают равным среднему значению показателя, которое вычисляют в соответствии с требованиями ГОСТ 269-66.

В данной работе расчет температурных ресурсов эксплуатации полимерных материалов проводится с помощью следующего алгоритма:

1. По результатам испытаний строят графики зависимости показателя P_1, P_2, \dots, P_n или коэффициента сохранения свойств $q=P/P_0$ (P_0 –исходное значение показателя) от продолжительности старения (τ) при температурах T_1, T_2, \dots, T_n , откладывая по оси ординат значения показателя P в единицах его измерения или P/P_0 , а по оси абсцисс – продолжительность старения в единицах времени, как показано на рис. 1.

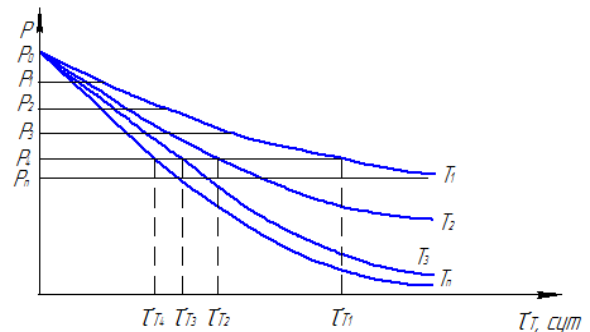


Рисунок 1 – Зависимость показателя старения P_i от продолжительности испытаний τ_i при различных температурах T_i

2. В случае монотонного изменения показателя в процессе старения на оси ординат графика, представленного на рис. 1, откладывают различные значения показателя P_1, P_2, \dots, P_m , при $m \geq 5$ проводят прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с кривыми графика, как показано на рис. 1, и определяют продолжительность испытаний (τ_i) до достижения заданных значений показателя P_1, P_2, \dots, P_n при температурах T_1, T_2, \dots, T_n .

3. Для каждого значения показателя P_i вычисляют коэффициенты E_i , для каждой пары температур T_1 и T_2 , T_2 и T_3 , ..., T_{n-1} и T_n по формуле:

$$E_i = R \frac{T_j \cdot T_{j+1}}{T_{j+1} - T_j} \ln \frac{\tau_{T_j}}{\tau_{T_{j+1}}}, \quad (1)$$

где:

T_j, T_{j+1} – температура испытаний, К;

$\tau_{T_j}, \tau_{T_{j+1}}$ – соответственно продолжительности испытаний до достижения каждого значения показателя P_i , при температурах T_j и T_{j+1} ; $j = 1, 2, 3, \dots, (n-1)$.

Если вычисленные коэффициенты E_i изменяются монотонно, то допустимое различие между максимальным и минимальным значениями E_i для каждого значения показателя должно быть не более 25,1 кДж/моль (6,0 ккал/моль), при немонотонном изменении $E_i - 42$ кДж/моль (10,0 ккал/моль).

4. Данные о зависимости продолжительности испытаний ($\ln \tau$) до достижения каждого значения показателя P_1, P_2, \dots, P_m при каждой температуре T_1, T_2, \dots, T_n обрабатывают методом наименьших квадратов, описывают уравнением прямой и строят график, как показано на рис.2.

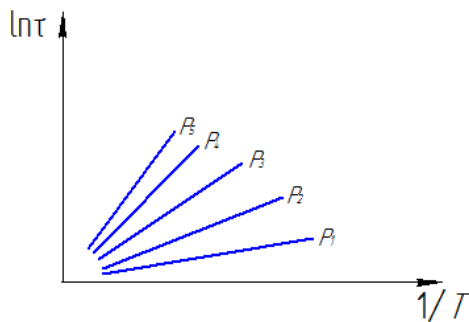


Рисунок 2 – Зависимость продолжительности испытаний $\ln \tau$ до достижения каждого значения показателя P_1, P_2, \dots, P_n от температуры T

Вычисляют тангенс угла наклона $\operatorname{tg} \alpha_i$ каждой прямой к оси абсцисс (рис. 2) по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln \tau_i \cdot \frac{1}{T_i} - \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \sum_{i=1}^n \ln \tau_i}{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T_i} \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \right)^2}, \quad (2)$$

где:

n – число температур испытаний.

5. Вычисляют коэффициент E_j для каждого значения показателя P_i по формуле:

$$E_j = R \cdot \operatorname{tg} \alpha_i, \quad (3)$$

а затем среднее арифметическое значение коэффициента $E_{\text{ср}}$ по формуле:

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_m}{m}, \quad (4)$$

где:

m – число значений показателя.

Если вычисленное значение $E_{\text{ср}} \leq 63$ кДж/моль (15 ккал/моль), то допустимое отклонение E_j между различными значениями показателя в случае монотонного его изменения не должно превышать $\pm 5,3$ кДж/моль ($\pm 1,25$ ккал/моль); в случае немонотонного изменения - $\pm 10,5$ кДж/моль ($\pm 2,5$ ккал/моль).

Если вычисленное значение $E_{\text{ср}} \geq 63$ кДж/моль (15 ккал/моль), то допустимые отклонения не должны превышать, соответственно ± 21 кДж/моль ($\pm 5,0$ ккал/моль).

6. По значению $E_{\text{ср}}$ вычисляют время достижения заданного значения показателя P_i при температуре $T_{\text{экс}}$ по формуле для уравнения прогноза:

$$\tau_{P_i T_{\text{экс}}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \tau_{i T_j} \cdot \exp \left(\frac{E_{\text{ср}}}{R} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{экс}}} - \frac{1}{T_j} \right), \quad (5)$$

где:

$i = 1, 2, 3, \dots, m$;

$j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Если не указан конкретный климатический район предполагаемого хранения материала, узла, детали, то $T_{\text{экс}}$ устанавливают для климатического района с очень жарким сухим климатом. Если указаны конкретные условия хранения, то $T_{\text{экс}}$ устанавливают для заданных условий.

7. Относительное изменение показателя α_i вычисляют согласно формуле:

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_0}, \quad (6)$$

где:

P_0 – исходное значение показателя;

P_i – значение показателя.

8. Для учета погрешности прогноза вычисленное значение $\tau_{P_i T_{\text{экс}}}$ делят на коэффициент 1,5. Затем строят график зависимости α_i от $\tau_{P_i T_{\text{экс}}}$ (кривую прогноза).

9. По полученной кривой прогноза определяют значение показателя после заданной продолжительности эксплуатации или продолжительность эксплуатации до достижения заданного значения показателя.

10. Если при выбранном значении показателя P_m прогнозируемая продолжительность хранения $\tau_{P_i T_{\text{экс}}}$ меньше заданной, то необходимо вновь провести

испытания, чтобы получить более значительные изменения показателя.

Испытания повторяют лишь при тех значениях температуры, при которых кривые графика, приведенные на рис. 1, не позволяют определить продолжительность старения до достижения значений показателя P_{m+1}, P_{m+2} .

Область применения результатов исследования: сельскохозяйственное машиностроение, материаловедение, физика и химия.

Выводы. Предложен алгоритм расчета температурных ресурсов эксплуатации полимерных материалов для случая монотонного изменения показателя в процессе старения. При немонотонном изменении показателя данные по изменению показателя от продолжительности старения при различных температурах обрабатывают аналитическими методами, используя способ графического дифференцирования.

Литература

1. Гойхман Б.Д., Смехунова Т.П. Прогнозирование изменения свойств полимерных материалов при длительном хранении и эксплуатации // Успехи химии. – 1960. – Т. XLIX. – № 8. – С. 1554-1573.
2. Метод прогнозирования срока службы полимерных изделий / Р.А. Варбанская, Л.К. Генкина, Л.Л. Ясина, В.Б. Штукарева, В.С. Пудов // Высокомолекулярные соединения. – Сер. Б. – 1979. – Т. 21. – № 10. – С. 748-751.
3. Карпухин О.Н. Определение срока службы полимерного материала как физико-химическая проблема // Успехи химии. – 1960. – Т. XLIX. – № 8. – С. 1523-1552.
4. Эмануэль Н.М., Бучаченко А.Л. Химическая физика старения и стабилизации полимеров. – М.: Наука, 1982. – 359 с.
5. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. – М.: Химия, 1982. 224 с.
6. Прогнозирование эксплуатационных свойств композиционных полимерных материалов с учетом их теплового старения / В.З. Алоев, Г.Ш. Кейдия, А.Д. Цыганов, Ю.В. Зеленев // Обзорная информация. Серия «Противокоррозионная защита». – М.: НИИТЭХИМ, 1992. – 70 с.
7. Гаврилов Д.А. Пестриков В.М. Дегтярева О.С. О чувствительности некоторых характеристик механических свойств полимеров к старению. – Заводская лаборатория. – 1991. – №4. – С. 55-57.

References

1. Gojzman B.D., Smekhunova T.P. Prognozirovanie izmeneniya svojstv polimernyh materialov pri dlitel'nom hranenii i ekspluatatsii // Uspekhi himii. – 1960. – Т. XLIX. – № 8. – С. 1554-1573.
2. Metod prognozirovaniya sroka sluzhby polimernyh izdelij / R.A. Varbanskaya, L.K. Genkina, L.L. Yasina, V.B. Shtukareva, V.S. Pudov // Vysokomolekulyarnye soedineniya. – Ser. B. – 1979. – Т. 21. – № 10. – С. 748-751.
3. Karpukhin O.N. Opredelenie sroka sluzhby polimernogo materiala kak fiziko-himicheskaya problema // Uspekhi himii. – 1960. – Т. XLIX. – № 8. – С. 1523-1552.
4. Emanuel' N.M., Buchachenko A.L. Himicheskaya fizika stareniya i stabilizatsii polimerov. – М.: Nauka, 1982. – 359 s.
5. Pavlov N.N. Starenie plastmass v estestvennyh i iskusstvennyh usloviyah. М.: Himiya, 1982. 224 s.
6. Prognozirovanie ekspluatatsionnyh svojstv kompozitsionnyh polimernyh materialov s uchedom ih teplovogo stareniya / V.Z. Alov, G.Sh. Kejdiya, A.D. Cyganov, Y.V. Zelenev // Obzornaya informatsiya. Seriya «Protivokorroziionnaya zashchita». – М.: НИИТЕХИМ, 1992. – 70 s.
7. Gavrilov D.A. Pestrikov V.M. Degtyareva O.S. O chuvstvitel'nosti nekotoryh karakteristik mekhanicheskikh svojstv polimerov k stareniyu. – Zavodskaya laboratoriya. – 1991. – №4. – С. 55-57.