

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАЦИЙ МЕТОДОВ ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Гусев Е.Л. (Институт проблем нефти и газа Сибирского Отделения РАН, Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия)
E-mail: elgusev@mail.ru

Abstract: *It is considered the application of techniques related to the selection of promising search directions for the solution of inverse problems of predicting the defining characteristics of polymer composites when exposed to extreme climatic factors of the external environment and operational loads.*

The proposed method of possible directions with determining the optimal search directions for the solution of inverse problems of predicting the characteristics of polymeric composite structures allows to overcome the main limitations of the methods in which improved performance can be carried out only in the direction of the gradient. In accordance with this described method would be effective for more complex range of prediction problems in which the dependence of performance indicators of the determining parameters is a much more complicated structure.

Key words: *polymer composites, possible directions, inverse problems of predicting the defining characteristics, extreme climatic factors of the external environment, performance indicators, the optimal search direction, determine the parameters, a complicated structure, the direction of the gradient.*

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований - грант № 13-08-00229.

Рассмотрено применение методов, связанных с выделением перспективных направлений поиска для решения обратных задач прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов при воздействии экстремальных климатических факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок. Предложенный метод возможных направлений с определением оптимальных направлений поиска для решения обратных задач прогнозирования характеристик полимерных композитных конструкций позволяет преодолеть основные недостатки методов, в которых улучшение показателей эффективности может осуществляться только в направлении градиента. В соответствии с этим изложенный метод будет являться эффективным для более сложного круга задач прогнозирования, в которых зависимость показателей эффективности $J(u)$ от определяющих параметров u_1, u_2, \dots, u_n имеет значительно более усложненную структуру.

Создание надежных методов количественной оценки работоспособности изделий из полимерных и композиционных материалов является одной из основных задач при разработке различных конструкций, машин и механизмов [1, 2]. Полимерные композиционные материалы и конструкции, как правило, постоянно находятся под влиянием статических и динамических нагрузок, на которые дополнительно накладывается влияние климатических факторов. Вследствие этого возникает важная проблема разработки математических методов прогнозирования изменения долговечности композиционной конструкции вследствие дополнительного влияния климатических факторов.

Общая постановка задачи о прогнозировании ресурса работоспособности объектов при воздействии на них эксплуатационных и природных нагрузок изложена в [2]. Согласно [2] состояние конструкции в момент времени t

В случае, когда полученные экспериментальные данные достаточно адекватно отображают структуру зависимости изменения определяющих характеристик полимерного композита от воздействия экстремальных климатических факторов, а экспериментальные данные получены с незначительными погрешностями, несущественно искажающими закономерности поведения реальных зависимостей, задача восстановления параметров моделей полимерных композитов от воздействия экстремальных климатических факторов может быть сведена к решению следующей экстремальной задачи:

$$J(u^*) = \min_u J(u). \quad (2)$$

Вектор параметров $u^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*)$, доставляющих минимум критерию эффективности (2), соответствует модели, которая определяет зависимость изменения определяющих характеристик полимерных композитов от воздействия экстремальных климатических факторов, наиболее близкую к реальной.

Проблема нахождения действительно глобального минимума многопараметрических функций со сложной структурой представляет собой достаточно сложную проблему. Как правило, при решении проблем такого рода находится некоторое неуплучшаемое решение, которое существенно может отличаться от действительно оптимального решения. Вследствие этого, реальные зависимости полимерных композитов, могут значительно отличаться от зависимостей, соответствующих восстановленным оптимальным параметрам.

В соответствии с этим значительную актуальность представляет разработка и модификация эффективных методов поиска абсолютного экстремума многопараметрических функций с учетом специфических особенностей задач прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов при воздействии экстремальных климатических факторов и эксплуатационных нагрузок.

Проведена модификация методов возможных направлений (МВН) на задачи прогнозирования, описываемые моделями, в которых зависимость показателей эффективности $J(u)$ от определяющих параметров u_1, u_2, \dots, u_n имеет усложненную структуру, при которой абсолютные минимумы могут не находиться вдоль градиентных направлений.

В структуру модифицированных МВН включены такие дополнительные возможности, как

- дополнительные процедуры генерации значительного числа возможных направлений поиска, задаваемых единичными векторами $\vec{l} \in \Omega = \{\vec{l}\}$, углы $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ которых с координатными осями Ou_1, Ou_2, \dots, Ou_n представляют собой множество случайных величин с равномерными законами распределения;

- дополнительные процедуры сравнительной оценки перспективности выделяемых возможных направлений по специально построенным критериям $W(\vec{l})$ и нахождения оптимального направления поиска.

Вследствие этого разработанный подход позволяет находить существенно более эффективные решения в усложненных задачах прогнозирования, в которых глобально-оптимальные решения не находятся на градиентных направлениях.

В структуру модификации МВН включены такие дополнительные элементы, повышающие их эффективность, как глобальная оптимизация показателя эффективности вдоль выбранного условно-оптимального направления поиска \vec{l}_p^* ,

построение следующего (p+1)-го приближения к глобально-оптимальному решению, на основе разложения показателя эффективности $J(u)$ в ряд Тейлора в окрестности p-го приближения вдоль условно-оптимального направления поиска \vec{l}_p^* .

Аппроксимация показателя эффективности $J(u)$ в окрестности p-го приближения ($p=0,1,2,\dots$) отрезком ряда Тейлора с точностью до слагаемых m-го порядка малости:

$$J(u) = J_m(u) + o(\|u - u^p\|^m), \quad m = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Аппроксимирующая функция $J_m(u)$ в окрестности p-го приближения будет иметь значительно более простую структуру по сравнению с исходным показателем эффективности $J(u)$, но может сохранять основные закономерности поведения исходного показателя эффективности $J(u)$ в окрестности p-го приближения.

Решение вспомогательной задачи поиска минимума функции $J_m(u)$:

$$J_m(\tilde{u}^p) = \min_u J_m(u). \quad (4)$$

Итерационный процесс заканчивается при достижении результирующего решения, которое не удастся улучшить с помощью описанной процедуры.

Предложенный метод возможных направлений с определением оптимальных направлений поиска для решения обратных задач прогнозирования характеристик полимерных композитных конструкций позволяет преодолеть основные недостатки методов, в которых улучшение показателей эффективности может осуществляться только в направлении градиента. В соответствии с этим изложенный метод будет являться эффективным для более сложного круга задач прогнозирования, в которых зависимость показателей эффективности $J(u)$ от определяющих параметров u_1, u_2, \dots, u_n имеет значительно более усложненную структуру.

Список литературы: 1. Уржумцев Ю.С., Черский И.Н. Научные основы инженерной климатологии полимерных и композитных материалов//Механика композитных материалов, 1985, № 4, с. 708–714. 2. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций.-М.: Машиностроение, 1984. - 312 с. 3. Булманис В.Н., Ярцев В.А., Кривонос В.В. Работоспособность конструкций из полимерных композитов при воздействии статических нагрузок и климатических факторов// Механика композитных материалов, 1987, № 5, с. 915-920. 4. Карпухин О.Н. Определение срока службы полимерного материала как физико-химическая проблема// Успехи химии, 1980, № 8, с. 1523-1553. 5. Булманис В.Н., Старцев О.В. Прогнозирование изменения прочности полимерных волокнистых композитов в результате климатического воздействия. Препринт. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. - 32 с. 6. Бокшицкий М.Н. Длительная прочность полимеров. – М: Химия, 1978. –312 с. 7. Филатов И.С., Бочкарев Р.Н. Некоторые проблема оценки и прогнозирования климатической устойчивости полимерных материалов//Методы оценки климатической устойчивости полимерных материалов, Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1986, с. 11-20