

- // Журнал прикладной химии. — 1988. — № 5. — С. 1196–1199.
45. Яковлев Г. М. Метод мозаичного портрета в прогнозировании осложненных инфаркта миокарда [Текст] / Г. М. Яковлев, В. Н. Ардашев, М. Д. Кац и др. // Кардиология. — 1981. — № 6. — С. 40–44.
46. Ардашев В. Н. Прогноз исходов и осложнений острого инфаркта миокарда. Актуальные вопросы кардиологии и гастроэнтерологии [Текст] / В. Н. Ардашев, Г. М. Яковлев, М. Д. Кац и др. // Труды Военно-медицинской академии. — Ленинград, 1982. — Т. 210. — С. 67–76.
47. Лисовский В. А. Прогноз исходов и осложнений острого инфаркта миокарда [Текст] / В. А. Лисовский, Г. М. Яковлев, М. Д. Кац и др. — Москва: Воениздат, 1987. — С. 126.

48. Щедрунов В. В. Дифференциальная диагностика язвы и рака желудка с применением методов прикладной математики [Текст] / В. В. Щедрунов, М. Д. Кац, Б. Н. Суханов // Советская медицина. — 1987. — № 8. — С. 50–54.
49. Зайцев В. С. Значение конъюнктивальной биомикроскопии для дифференциальной диагностики гипертонической болезни и почечных гипертензий [Текст] / В. С. Зайцев, М. Д. Кац, Т. М. Галкина // Материалы 6-й научной конференции молодых ученых ВМА им. С. М. Кирова. — Ленинград, 1980. — С. 59–60.
50. Васильев И. В. Искусственный интеллект. Проблема обучения распознаванию образов [Текст] / И. В. Васильев, А. И. Шевченко. — Донецк: Дон. ГИИИ, 2000. — 360 с.
51. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта [Текст] / Н. Нильсон. — М.: Радио и связь, 1985. — 376 с.

УДК 004.94:004.032.26

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК СРЕДСТВО МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО ДОПУСКА

Д. Г. Зеленцов

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой*
E-mail: dmyt_zel@mail.ru

Л. И. Короткая

Ассистент*
E-mail: korliv@hotmail.com

*Кафедра компьютерных технологий
и высшей математики
Украинский государственный
химико-технологический университет
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина, 49005
Контактный тел.: (0562) 47-24-64

Запропоновано новий підхід до розв'язання задач оптимізації кородуючих конструкцій, заснований на адаптації методу ковзного допуску. У якості критерію ковзного допуску приймається гранично допустима похибка обчислення функцій обмежень, яка забезпечується навченою нейронною мережею.

Ключові слова: метод ковзного допуску, нейронна мережа.

Предложен новый подход к решению задач оптимизации корродирующих конструкций, основанный на адаптации метода скользящего допуска. В качестве критерия скользящего допуска принимается предельно допустимая погрешность вычисления функций ограничений, которая обеспечивается обученной нейронной сетью.

Ключевые слова: метод скользящего допуска, нейронная сеть.

A new approach to solving optimization problems corrodng structures based on the adaptation of the method of rolling admission. As a criterion for moving the tolerance shall be the maximum permissible error of calculation functions of restrictions, which provides trained neural network.

Keywords: the sliding method of admission, neural networks.

1. Введение

При моделировании поведения сложных объектов и их оптимального проектирования могут быть использованы различные методы нелинейного программирования (НЛП).

Оптимизация возможна при помощи многих стратегий, начиная с весьма сложных аналитических и численных математических процедур и кончая разумным применением элементарной математики. Существует множество эффективных алгоритмов нелинейного программирования, которые отличаются друг от друга раз-

личными критериями: надежности; скорости решения; времени подготовки задачи для решения; точностью решения и пр.

К указанным сложным объектам и нелинейным системам относятся и металлические конструкции, которые эксплуатируются в условиях агрессивного воздействия окружающей среды. Моделирование поведения этих систем трудно поддается математической или количественной формализации, а известные традиционные подходы (детерминированный и вероятностный) позволяют решать указанные задачи в ущерб физике процесса.

2. Постановка задачи оптимизации

В качестве примера рассмотрим шарнирно-стержневую статически неопределимую систему (ферму), функционирующую в агрессивной среде (АС).

Требуется найти геометрические характеристики сечений, элементов конструкции (стержней) таким образом, чтобы в начальный момент времени объем системы был наименьшим и в течение времени t^* (заданного срока эксплуатации), она сохраняла несущую способность, то есть удовлетворяла условиям прочности и устойчивости. При этом не имеет значения, каким образом конструкция выйдет из строя, главное, чтобы при этом она сохраняла несущую способность в течение заданного времени t^* .

Постановка задачи оптимизации корродирующей конструкции в общем виде может быть записана:

$$\begin{aligned}
 &V(\bar{x}) \rightarrow \min, \\
 &\begin{cases} g_1: [\sigma] - \sigma_i(\bar{x}, t^*) \geq \varepsilon^*; & i \in \overline{1, N}; \\ g_2: \sigma_j^*(\bar{x}, t^*) - \sigma_j(\bar{x}, t^*) \geq \varepsilon^*; & j \in J; \\ g_3: x_k \in [x_k^-, x_k^+]; & k = \overline{1, K}. \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Здесь $V(\bar{x})$ — искомый оптимальный объем конструкции; \bar{x} — вектор варьируемых параметров; g_1 — ограничения по прочности; g_2 — ограничения по устойчивости; g_3 — конструктивные ограничения; N — количество элементов в системе; J — множество элементов, работающих на сжатие; K — количество варьируемых параметров; t^* — заданная долговечность, ε^* — предельно допустимая погрешность решения задачи.

Общая схема решения задачи оптимизации представлена на рис. 1.

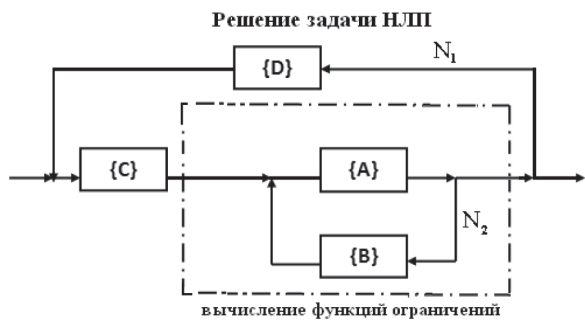


Рис. 1. Схема решения задачи оптимизации

Здесь модуль {C} — вычисление целевой функции; модуль {A} — решение задачи напряженно-деформированного состояния (НДС) методом конечных элементов (МКЭ); модуль {B} — численное решение системы дифференциальных уравнений (СДУ); модуль {D} — решение задачи НЛП. Вычисление функций ограничений предполагает совместную реализацию блоков {A} и {B}.

Как известно, при практической реализации методов НЛП значительная часть общего расчетного времени тратится на обеспечение строгого выполнения ограничений решаемой задачи. Алгоритм скользящего допуска позволяет улучшить значение целевой функции как за счет информации, получаемой в допустимых точках пространства решений, так и за счет информации, которую удастся получить при прохождении через некоторые

точки, лежащие вне допустимой области, но являющихся близкими к допустимым [1]. В процессе решения задачи интервалы, в пределах которых точки можно считать почти допустимыми, постепенно сокращаются, так что в пределе в системе ограничений задачи НЛП учитываются только допустимые точки.

3. Модифицированный метод скользящего допуска

Так как механические напряжения оказывают существенное влияние на скорость коррозионного процесса, в каждом узле временной сетки должна решаться задача НДС конструкции. Для корродирующих конструкций с произвольной геометрией, граничными условиями и условиями нагружения такое решение возможно только с использованием численных методов, например, МКЭ [2]. Очевидно, что при решении задачи оптимизации (рис. 1), общее количество обращений к процедуре МКЭ составляет: $N_{\text{сум}} = N_1 \cdot N_2$.

Следовательно, для повышения эффективности вычислительного алгоритма необходимо минимизировать это число. С одной стороны, эффективность алгоритма может быть повышена путем минимизации обращений к процедуре МКЭ при вычислении функций ограничений. Этого можно добиться путем выбора рационального шага интегрирования при численном решении СДУ, описывающих коррозионный износ. С другой стороны, повысить эффективность можно за счет использования модифицированного алгоритма метода скользящего допуска (МСД).

В этом случае условный экстремум целевой функции ищется как в допустимой области пространства решений, так и за ее пределами, на некотором пространстве на некотором расстоянии от границы, которое сокращается в процессе поиска. В окрестности экстремума учитываются только допустимые точки.

Система ограничений задачи (1) может быть сведена к виду:

$$g = \varphi(s) - T(\bar{x}, t) \geq 0, \quad (2)$$

где $T = |t^* - t_{\text{числ}}(\Delta t)| / t^*$ — положительно определенный функционал над всем множеством постановки (1), представляющий собой относительную погрешность вычисления долговечности; $\varphi(s) = \varphi_0 / \text{int}(a^s)$ — критерий скользящего допуска — убывающая функция количества итераций, имеющая тот же смысл, что и $T(\bar{x}, t^*)$; φ_0 — начальное значение погрешности; t^* — заданная долговечность; s — номер итерации; a — некоторая константа ($a < 1$).

Так как функции ограничений в данной задаче не являются дифференцируемыми во всем пространстве решений, то возможно использование методов нулевого порядка. В качестве внутреннего метода при решении задачи безусловной оптимизации на непрерывном множестве можно применить различные методы, в данной работе используется метод деформируемого многогранника.

Уменьшить количество обращений к процедуре МКЭ при решении задачи Коши можно за счет рационального выбора параметров численных процедур, путем использования искусственных нейронных сетей.

Известно, что точность решения СДУ зависит от величины шага интегрирования. Так как геометрические параметры элементов системы изменяются в процессе решения в широких диапазонах, определяемых

конструктивными ограничениями, то проблема выбора рационального шага интегрирования становится весьма актуальной. В работе [3] предложено использовать для решения этой проблемы нейронные сети (НС), обученные на различных значениях предельно допустимой погрешности вычисления. В этом случае величина шага интегрирования не является параметром алгоритма, а определяется в процессе его реализации на основании информации о начальных геометрических характеристиках сечений стержней, начальных напряжениях, скорости коррозии и, наконец, предельно допустимого значения погрешности.

Использование нескольких различных матриц синоптических весов, полученных для различных значений погрешности, позволяет добиться высокой эффективности алгоритма оптимизации. На начальных этапах решения задачи НЛП нет необходимости в высокой точности вычисления функций ограничений. В этом случае используется НС, обученная для относительно высокой погрешности, что позволит минимизировать количество обращений к процедуре МКЭ (рис. 2). По мере приближения к точке экстремума требуется повысить точность вычисления функций ограничений, что достигается использованием новых матриц весов, таким образом, чтобы в окрестности экстремума обеспечить необходимую точность их вычисления.

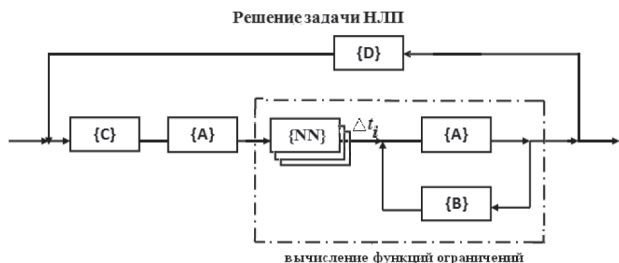


Рис. 2. Схема решения задачи оптимизации с использованием НС

Здесь модуль {NN} — определение параметров численных процедур для решения СДУ с помощью НС.

4. Численная иллюстрация

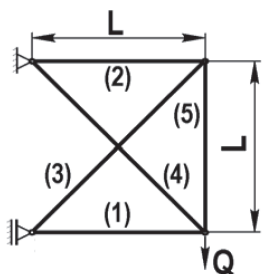


Рис. 3. Расчетная схема модельной конструкции

В качестве объекта исследований рассматривалась 5-ти элементная статически неопределимая ферма (рис. 3).

Задача решалась при следующих исходных данных:

- $L = 110$ см; $R_i \in [1,5; 5]$ см;
- $r_i = [0,5 \cdot R; 0,9 \cdot R]$ см;
- $v_0 \in [0,08; 0,12]$ см/год;
- $Q = 50$ кН; $[\sigma] = 240$ МПа;
- $i = 1,5$.

Данные, подтверждающие эффективность этого мето-

да, для заданной долговечности $t^* = 5$ лет, приведены в табл. 1 и 2.

Таким образом, помимо проблемы повышения эффективности алгоритма одновременно решается проблема оценки точности получаемого результата. В табл. 3 приведены результаты, полученные с использованием адаптированного метода скользящего допуска. В этом случае

Таблица 1
Результаты решения оптимизационной задачи с постоянным шагом интегрирования

| Δt , лет | $N_{ит}$ | V_{min} , см ³ | $t_{ист}$, лет | ϵ |
|------------------|----------|-----------------------------|-----------------|------------|
| 0,10 | 22219 | 3193 | 4,67 | 6,7 % |
| 0,05 | 43996 | 3216 | 4,85 | 3,1 % |
| 0,01 | 218041 | 3331 | 5,14 | 2,8 % |

Таблица 2
Результаты решения оптимизационной задачи с использованием НС

| $\epsilon_{пред}^*$ | $N_{ит}$ | V_{min} , см ³ | $t_{ист}$, лет | $\epsilon_{ист}$ |
|---------------------|----------|-----------------------------|-----------------|------------------|
| $\leq 3\%$ | 1632 | 3222 | 4,86 | 2,7 % |
| $\leq 6\%$ | 899 | 3201 | 4,74 | 5,2 % |
| $\leq 10\%$ | 508 | 3106 | 4,55 | 8,9 % |

Таблица 3
Результаты решения задачи с использованием адаптированного алгоритма МСД

| $N_{ит}$ | V_{min} , см ³ | $t_{ист}$, лет | $\epsilon_{ист}$ |
|----------|-----------------------------|-----------------|------------------|
| 1048 | 3156 | 4,98 | 0,4 % |

были использованы три матрицы синаптических весов, полученных для допустимых значений погрешности 3, 6 и 10 %. Переход к новым матрицам происходил при выполнении определенного количества операций редукции метода деформируемого многогранника (в этом случае были исключены операции растяжения и сжатия многогранника) (рис. 4). Общее количество операций редукции определялось требуемой точностью нахождения локального экстремума:

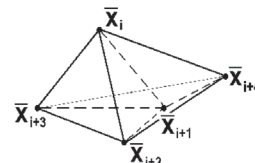


Рис. 4. Симплекс-многогранник

$$s = \text{int} \left(\frac{\ln \left(\frac{\delta_0}{\delta_n} \right)}{\ln \eta} + 1 \right), \tag{3}$$

где δ_0 — начальная длина ребра многогранника; δ_n — конечная длина, определяющая точность нахождения локального экстремума; η — коэффициент редукции (для данного примера $\eta = 0,75$). Общее количество операций редукции было равно 14.

На первых s_1 шагах использовались матрицы весов, обеспечивающие точность решения СДУ не более 10 %, а на s_2, s_3 и s_4 шагах соответственно не более — 6, 3 и 0,5 %.

5. Выводы

Для получения оценки точности вычисления функций ограничений в оптимальном проекте использовалось эталонное решение. Оно было получено путем последовательного уменьшения шага интегрирования Δt до

достижения асимптотически точного решения. Оценки погрешностей решений, полученных с помощью метода

скользящего допуска, подтвердили обоснованность предложенного алгоритма.

Литература

1. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование [Текст] : пер. с англ. — М. : Мир, 1975. — 534 с.
2. Зеленцов Д. Г. Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы [Текст] / Д. Г. Зеленцов. — Днепропетровск : УГХТУ, 2002. — 168 с.
3. Короткая Л. И. Использование нейронных сетей при численном решении некоторых систем дифференциальных уравнений [Текст] / Л. И. Короткая // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 3/4(51). — С. 24–27.

УДК 004.415.25

ВНУТРЕННЯЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ МОДУЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТАБЛИЦ СОБЫТИЙ

О. Н. Кулешова

Аспирант*

Контактный тел.: 067-652-43-41

E-mail: v_olgo4ka@inbox.ru

Ю. К. Апраксин

Доктор технических наук, профессор*

Контактный тел.: (0692) 44-51-32, 050-661-55-64

E-mail: YKapraksin@ukr.net

Т. В. Волкова

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: (0692) 45-62-51, 050-661-55-64

E-mail: volta2003@list.ru

*Кафедра кибернетики и вычислительной техники
Севастопольский национальный технический университет
ул. Университетская, 33, Севастополь, Украина, 99053

Проводиться аналіз та вибір моделі внутрішньої реалізації розподіленої системи на основі таблиць подій. Розробляється структура внутрішньої реалізації основних модулів системи: банка специфікацій таблиць подій та банку даних.

Ключові слова: таблиця подій, внутрішня реалізація, структура.

Проводится анализ и выбор модели внутренней реализации распределенной системы на основе таблиц событий. Разрабатывается структура внутренней реализации основных модулей системы: банка спецификаций таблиц событий и банка данных.

Ключевые слова: таблица событий, внутренняя реализация, структура.

Analysis and selection of the distributed system internal implementation model based on the event table are performed in the article. Structure of key system components (event table specification bank and databank) is developed in the article.

Keywords: event table, internal implementation, structure.

Создание современных автоматизированных систем требует тщательной оценки альтернатив реализации с обязательным рассмотрением всех свойств, необходимых для эффективного функционирования этих систем. Табличные модели, значительно облегчая интерфейс проектировщик-система, дают возможность шире взглянуть на задачи проектирования систем управления и моделирования и на их решение. Таблицы событий [1] представляют собой универсальное средство для решения задач проектирования подобных систем.

Обеспечение возможностей проектирования и моделирования сложных технических систем с использованием таблиц событий предполагает разработку специальной распределенной программной системы. Кроме того, система на основе таблиц событий должна обеспечить возможность функционального расширения. Подобный подход предпо-

лагает включение в систему следующих подсистем: интерфейс пользователя, включающий подсистемы ввода и вывода; банк спецификаций, содержащий спецификации таблиц событий; банк данных; библиотеку процедур и функций; интерфейс проектировщика; подсистему проверки и коррекции таблиц событий; подсистему инициирования взаимодействия; подсистему внутренних переменных.

Для обеспечения функционирования системы в режиме проектирования, должны быть включены в систему, по крайней мере, следующие подсистемы: интерфейс проектировщика; банк спецификаций, содержащий спецификации таблиц событий; банк данных; библиотеку процедур и функций; подсистему проверки и коррекции таблиц событий.

Для обеспечения функционирования системы в режиме моделирования, должны быть включены в систему,