УДК 621.396.6, 004.942, 519.876.5
DOI 10.17223/19988621/43/8

В.Г. Покровский

СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ДЕКОМПОЗИЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Рассматривается способ построения трёхмерных дискретных моделей стержневых систем для решения задач структурной оптимизации конструкций электронной аппаратуры. Описан подход к оптимизации структуры конструкций и их декомпозиции на несвязанные фрагменты. Показан способ определения матрицы переменных проектирования фрагментов конструкции. Решена задача оптимизации структуры конструкции.

Ключевые слова: *напряжённо-деформированное состояние, конструкции электронной аппаратуры, автоматизация проектирования, инженерный анализ конструкций, оптимизация конструкций.*

Сокращение сроков и затрат при проектировании и подготовке производства новых изделий, а также повышение качества выпускаемой продукции возможно при всестороннем применении математического и компьютерного моделирования, а также средств автоматизации проектно-конструкторских работ [1]. Моделирование воздействий, которым изделие будет подвергаться в процессе эксплуатации, может быть осуществлено с помощью программно-технических комплексов автоматизированного проектирования и моделирования. Такие комплексы могут быть построены на основе применения численных методов анализа физических процессов в конструкциях проектируемых изделий. Существует большое количество программно-технических комплексов автоматизации проектно-конструкторских работ и инженерного анализа конструкций, которые содержат в себе полный набор CAD/CAE решений. Например, такие комплексы, как Autodesk Inventor, CATIA, IronCAD, SolidWorks, T-FLEX CAD, SCAD, NX Nastran, MSC.Nastran, APM WinMachine, Creo Parametric, Pro/MECHANICA. Большинство указанных программных продуктов включают модули, которые позволяют выполнять функции конечно-элементного анализа объектов проектирования при различных воздействиях. Системы инженерного анализа, которые построены на основе применения моделей с фиксированным количеством переменных проектирования, позволяют выполнять моделирование конструкций, структура которых определена и задана. Кроме того, при решении задачи моделирования, в случае изменения конструктивных параметров объекта проектирования, это также не влечет за собой модификации математической модели.

Необходимость в изменении математической модели объекта проектирования возникает только при решении задачи структурной оптимизации, что подразумевает модификацию структуры проектируемой конструкции, что в свою очередь, влечёт за собой изменение количества переменных проектирования математической модели. Чтобы выполнить модификацию математической модели объекта проектирования, необходимо использовать соответствующий математический аппарат предметно-ориентированной логики. На основе такого математического аппарата можно строить логико-алгебраические выражения, позволяющие вводить и исключать переменные и функции и, как следствие, – создавать математические модели с нефиксированным количеством переменных проектирования [2].

Задача разработки программно-технических комплексов имитационного моделирования и оптимизации конструкций на основе применения математических моделей с нефиксированным количеством переменных проектирования, позволяющих решать задачи структурной оптимизации проектируемых изделий, обладающих дискретной структурой, в настоящее время является актуальной.

Предлагается математическая модель трёхмерной стержневой системы с нефиксированным количеством переменных проектирования, позволяющая осуществлять целенаправленное преобразование структуры проектируемых конструкций электронной аппаратуры, рассматриваемых как стержневые, таких, как стойки, каркасы, рамы, в соответствии с заданными эксплуатационными воздействиями и конструкторско-технологическими ограничениями. Также разработан программный комплекс в виде системы имитационного моделирования для решения задач структурной оптимизации стержневых конструкций.

Структурная оптимизация стержневых конструкций реализуется путем введения элементов или стержней в стержневую систему или их исключения. Введение и исключение переменных и функций, например переменных проектирования, связано с введением и исключением стержневых элементов. Такие операции реализуются с применением соответствующего математического аппарата предметно-ориентированной логики [3, 4].

Реализация функции выбора в задачах структурной оптимизации конструкций выполняется с помощью операций импликативной алгебры выбора. Применение операций импликативной алгебры выбора позволяет формализовать задачи модификации модели проектируемой стержневой системы посредством введения и исключения переменных проектирования.

Порождающее выражение импликативной алгебры выбора:

$$z = \left(\alpha_1 y_1^{\mu} + \alpha_2 y_2^{\mu} + \ldots + \alpha_n y_n^{\mu}\right)^{\frac{1}{\mu}}, \qquad (1)$$

где α_i – весовые коэффициенты; μ – степенные коэффициенты; y_i – математические объекты или предметные переменные.

При $\mu = 1$, $\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_n = 1$, $\alpha_i \in \{0, 1\}$, $i = \overline{1, n}$, порождающее выражение имеет следующий вид:

$$z = \left(\alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2 + \ldots + \alpha_n y_n\right). \qquad (2)$$

Логическая и алгебраическая формы записи базовых операций импликативной алгебры выбора представлены ниже:

- предикатная конъюнкция, или умножение ($\wedge$, &)

$$z_2 = \wedge_{(\alpha_1, \alpha_2)}\left(y_1, y_2\right) = \alpha_2 y_1 + \alpha_1 y_2; \qquad (3)$$

- предикатная дизъюнкция, или предикатная сумма, сложение ($\vee$)

$$z_1 = \vee_{(\alpha_1, \alpha_2)}\left(y_1, y_2\right) = \alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2 = $$
$$= 0.5\left[\left(y_1 + y_2\right)\left(\alpha_1 + \alpha_2\right) + \left(y_1 - y_2\right)\left(\alpha_1 - \alpha_2\right)\right]; \qquad (4)$$

где α_1, α_2 – предикатные переменные; $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, $\alpha_i \in \{0, 1\}$, $i = \overline{1,\ n}$; y_1, y_2 – предметные переменные.

Предметной переменной может быть любой математический объект. В качестве такового может использоваться, например, матрица-вектор переменных, описывающих элемент стержневой системы. В ситуации, когда стержень должен быть удален или введен, $\alpha_2 = 1 - \alpha_1 = \overline{\alpha}_1$ и $y_2 = 0$.

Тогда выражение для предикатной дизъюнкции

$$z_1 = \vee_{(\alpha_1,\alpha_2)}(y_1, y_2) = \alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2 =$$
$$= 0.5\left[(y_1)\left(\alpha_1 + \overline{\alpha_1}\right) + (y_1)\left(\alpha_1 - \overline{\alpha_1}\right)\right] = 0.5\left[y_1 + y_1\left(\alpha_1 - \overline{\alpha_1}\right)\right] = \alpha_1 y_1, \qquad (5)$$

или

$$z_1 = \vee_{\alpha_1}(y_1) = \alpha_1 y_1. \qquad (6)$$

Выражение (6) – это частный случай предикатной дизъюнкции или выбора или исключения предметной переменной y_i по значению предикатной переменной α_i. В этом случае используется запись вида $\vee_{\alpha_i}(y_i)$ или $\alpha_i y_i$.

При построении модели трёхмерной стержневой системы используется модель области проектирования пространственных стержневых систем, метод конечных элементов, положения теории эволюционного моделирования. Описание структуры конструкции выполняется с применением математического аппарата импликативной алгебры выбора. Это позволяет формализовать процесс структурной оптимизации проектируемых конструкций, рассматриваемых как стержневые, на основе введения и исключения переменных проектирования и функций состояния.

Оптимизация структуры конструкции выполняется по результатам вычисления и исследования напряженно-деформированного состояния стержневых элементов. Чтобы задать проект стержневой системы, необходимо выбрать переменные проектирования. В качестве переменных проектирования элементов стержневой системы можно рассматривать: геометрические параметры поперечных сечений стержневых элементов, координаты их торцевых граней, физико-механические характеристики материала конструкции. Из уравнений, описывающих поведение стержневой системы, определяются переменные состояния. В качестве переменных состояния можно рассматривать составляющие смещений торцевых граней стержня [5, 6].

Для построения модели трёхмерной стержневой системы используется понятие области проектирования. Область проектирования определена как область автоматического формирования расчетной модели конструкции. Внутри области проектирования может располагаться одна или несколько областей решения. Область решения является областью с дискретной структурой и переменными границами и рассматривается как подобласть области проектирования. В области решения определены искомые функции, также для нее могут быть найдены значения целевой функции. В ходе модификации происходит изменение конфигурации области решения таким образом, что для одной или нескольких несвязанных областей достигается экстремум целевой функции. Область проектирования заполняется сеткой. Внутри нее строится дискретная модель стержневой системы. При этом узлы сетки соответствуют соединениям стержней, связи между узлами – элементам системы или стержням. Принято считать, что каждый стержневой элемент конструкции является отдельным дискретным элементом. При построении модели и объединении отдельных стержневых элементов в систему узловые реакции суммируются. Область проектирования является описанием способа объединения элементов или стержней в стержневую систему. Формирование уравнений модели выполняется применительно к одной области проектирования [5].

Для формализации процедуры структурной оптимизации применяется операция предикатной дизъюнкции. В этом случае, матрица-вектор $\overline{B_{E_i}^{g_U e}}$ переменных проектирования стержневого элемента объема является аналогом предметной переменной y_i. Операция предикатной дизъюнкции для выбора или исключения стержневого элемента определяется как выбор или исключение матрицы-вектора $\overline{B_{E_i}^{g_U e}}$ переменных проектирования элемента стержневой системы:

$$z_1 = \vee_{\left(\alpha_i^{g_U e}\right)} \left(\overline{B_{E_i}^{g_U e}}\right) = \alpha_i^{g_U e}\, \overline{B_{E_i}^{g_U e}} . \tag{7}$$

Здесь e – номер прилегающей к узлу связи, $e = 1,..., N_e$; N_e – количество прилегающих к узлу связей; g_U – номер типа узла, $g_U = 1, 2, 3, 4, 5$; E_i – номер стержневого элемента в глобальной системе координат.

В развёрнутом виде матрицу-вектор переменных проектирования стержневого элемента можно представить следующим образом:

$$\overline{B_{E_i}^{g_U e}} = \left[h_Y, h_Z, h_t, h_d, x_A, y_A, z_A, x_B, y_B, z_B, E, \nu, \rho \right]^T , \tag{8}$$

Здесь h_Y, h_Z, h_t, h_d – параметры поперечного сечения стержневого элемента объёма, $x_A, y_A, z_A, x_B, y_B, z_B$ – координаты концов стержневого элемента, E – модуль упругости материала стержневого элемента, ν – коэффициент Пуассона, ρ – плотность материала.

В качестве компонент матрица-вектор составляющих переменных проектирования стержневой системы содержит в своём составе матрицы-векторы переменных проектирования стержневых элементов:

$$\overline{B^{g_U}} = \left[\overline{b_{(1)}^{g_U}}, ..., \overline{b_{(e)}^{g_U}}, ..., \overline{b_{(N_s)}^{g_U}} \right]^T , \tag{9}$$

Здесь N_s – количество стержней в системе.

Компонента матрицы-вектора составляющих переменных проектирования стержневой системы определяется как произведение матрицы-вектора переменных проектирования стержневого элемента $\overline{B_{E_i}^{g_U e}}$ и предикатной переменной $\alpha_i^{g_U e}$:

$$\overline{b_e^{g_U}} = \overline{B_{E_i}^{g_U e}} \cdot \alpha_i^{g_U e} , \tag{10}$$

где $\overline{B_{E_i}^{g_U e}}$ – матрица-вектор переменных проектирования стержня, $\alpha_i^{g_U e}$ – предикатная переменная, соответствующая выбору или наличию стержня с номером e, $\alpha^{g_U e} \in \{0,1\}$ (для алгебраической формы записи $\alpha^{g_U e} = 1$, если стержень под номером e существует, $\alpha^{g_U e} = 0$ – при его отсутствии).

Матрица жесткости стержневого элемента определяется как функция, аргументом которой является компонента матрицы-вектора составляющих переменных проектирования стержневой системы:

$$K_M^{g_U e}\left(\overline{b_e^{g_U}} \right) . \tag{11}$$

Компонента матрицы-вектора составляющих жёсткостей стержня определяется как произведение соответствующей компоненты вектор-строки матрицы жёсткости стержня и предикатной переменной $\alpha_{L(r)}^{g_U e}$ [6]:

$$k_{V(p)}^{g_U er} = k_{M(r,p)}^{g_U e} \cdot \alpha_{L(r)}^{g_U e}. \tag{12}$$

Компонента матрицы-вектора узловых составляющих жёсткостей соответствует матрице-вектору составляющих жёсткостей стержня:

$$\overline{k_e^{g_U r}} = \overline{K_V^{g_U er}}, \tag{13}$$

где $\overline{K_V^{g_U er}}$ – матрица-вектор составляющих жёсткостей стержня и выглядит следующим образом:

$$\overline{K_V^{g_U er}} = \left[k_{V(1)}^{g_U er}, \ldots, k_{V(p)}^{g_U er}, \ldots, k_{V(N_p)}^{g_U er} \right]. \tag{14}$$

Здесь p – номер линейного или углового смещения конца стержня, которому соответствует компонента $k_{V(p)}^{g_U er}$ матрицы-вектора составляющих жёсткостей стержня, $p = 1,\ldots, N_p$; N_p – количество линейных и угловых смещений в матрице-векторе составляющих смещений стержня, $N_p = 12$.

Поскольку задача вычисления напряженно-деформированного состояния стержневой системы решается относительно узловых значений, то необходимо ввести понятие матрицы-вектора узловых составляющих жёсткостей. Как правило, характеристика жёсткости относится к элементам конструкции, в данном случае к стержням. Однако поскольку вычисления выполняются относительно узловых значений, то это требует приведения характеристик конструкции, в том числе характеристики жёсткости, также к узловым значениям.

Матрица-вектор узловых составляющих жёсткостей:

$$\overline{K^{g_U r}} = \left[\overline{k_{(1)}^{g_U r}}, \ldots, \overline{k_{(e)}^{g_U r}}, \ldots, \overline{k_{(N_e)}^{g_U r}} \right]. \tag{15}$$

Матрица-вектор составляющих узловых смещений стержневой системы содержит в своём составе компоненты матриц-векторов составляющих смещений концов (торцевых граней) стержневых элементов:

$$\overline{T^{g_U}} = \left[\overline{t_{(1)}^{g_U}}, \ldots, \overline{t_{(e)}^{g_U}}, \ldots, \overline{t_{(N_e)}^{g_U}} \right], \tag{16}$$

Компонента матрицы-вектора составляющих узловых смещений определяется как произведение матрицы-вектора составляющих смещений концов (торцевых граней) стержневого элемента $\overline{T_{M_i}^{g_U e}}$ и предикатной переменной $\alpha_i^{g_U e}$ и выглядит следующим образом:

$$\overline{t_{(e)}^{g_U}} = \overline{T_{M_i}^{g_U e}} \cdot \alpha_i^{g_U e}, \tag{17}$$

где $\overline{T_{M_i}^{g_U e}}$ – матрица-вектор составляющих смещений концов стержневого элемента объёма.

Матрица-вектор составляющих смещений торцевых граней стержневого элемента содержит в качестве компонент линейные и угловые смещения:

$$\overline{T_{M_i}^{g_U e}} = \left[t_{M(1)}^{g_U e}, ..., t_{M(p)}^{g_U e}, ..., t_{M(12)}^{g_U e} \right], \qquad (18)$$

где $t_{M(1)}^{g_U e} = U_{(m)}^{g_U e}$ – линейное смещение U по направлению координаты X конца (торцевой грани) номер один (m), связи (стержня) с номером e, примыкающей к узлу типа g_U, $t_{M(12)}^{g_U e} = \Theta_{z(n)}^{g_U e}$ – угловое смещение Θ_z, соответствующее повороту вокруг оси координат Z конца (торцевой грани) номер два (n), связи (стержня) с номером e, примыкающей к узлу типа g_U.

Разработана методика формальной оптимизации стержневых систем. Оптимизация структуры конструкции проводится следующим образом. Выполняется процедура анализа области проектирования. Результаты решения задачи анализа представлены массивами значений механических напряжений в стержневых элементах конструкции. Затем сравниваются расчётные напряжения, полученные по результатам решения задачи анализа конструкции, и допускаемые напряжения для каждого стержневого элемента. Определяется весовой коэффициент, которым является перегрузка, характеризующая степень нагружения каждого конкретного стержневого элемента. Далее определяются элементы, перегрузка в которых ниже заранее установленного уровня. Эти стержневые элементы удаляются и формируется признак изменения структуры. Этот признак впоследствии используется в качестве критерия остановки процесса оптимизации. Считается, что если структура конструкции модифицирована, то значение признака изменения становится равным единице, в противном случае значение признака остается нулевым.

Если структура конструкции была модифицирована, то вновь решается задача анализа области проектирования для выявления других элементов, подлежащих удалению. Если в результате проведения процедуры анализа такие элементы не выявлены, структура конструкции не модифицируется, процесс оптимизации конструкции прекращается.

В ряде ситуаций применяемая схема нагружения может привести к локализации нагрузок в некоторых частях конструкции. Механические напряжения в стержневых элементах, входящих в эти фрагменты конструкции, могут существенно отличаться от этих же параметров в других частях конструкции. Это может привести к тому, что малонагруженные элементы, связывающие эти фрагменты, будут удалены и конструкция будет разделена на несколько не связанных между собой фрагментов. Тогда в одной области проектирования будет существовать несколько областей решения, в каждой из которых будет решаться отдельная задача оптимизации конкретного фрагмента. Такая задача называется задачей декомпозиции конструкции.

Решение задачи декомпозиции фактически приводит к ситуации, когда в одной области проектирования появляется несколько отдельных конструкций. Тогда матрица-вектор составляющих переменных проектирования стержневой системы в качестве элементов будет содержать в своём составе матрицы-векторы составляющих переменных проектирования фрагментов стержневой системы. Выражение (9) можно будет переписать так:

$$\overline{B} = \left[\overline{B_1^{g_U}}, ..., \overline{B_f^{g_U}}, ..., \overline{B_{N_f}^{g_U}} \right]^T, \qquad (19)$$

Здесь N_f – количество фрагментов в стержневой системе, f – порядковый номер фрагмента.

Решена задача структурной оптимизации конструкции при одновариантном механическом нагружении. Начальная структура представляет собой трёхмерную стержневую конструкцию, выполненную из стержневых элементов в виде стальных труб квадратного сечения со стороной 40 мм. Сеточная модель исходной заготовки представлена на рис. 1.

Также на этом рисунке условно изображены силовые воздействия, локализованные в узлах сеточной модели. Схема размещения точек приложения силовых воздействий подобрана таким образом, чтобы локализовать механические напряжения и деформации в правой и левой частях исходной конструкции. Этот искусственный приём позволяет выделить в конструкции массивы элементов, несущих значительную механическую нагрузку и, путём проведения пошаговой оптимизации, преобразовать исходную, избыточную по элементам заготовку в несколько несвязанных между собой фрагментов. Внизу сеточной модели условно изображены опоры, которые предотвращают смещение конструкции по направлениям координатных осей. Крайние опоры справа и слева предотвращают вертикальное смещение конструкции по направлению оси *Y*. Внутренние опоры предотвращают смещение конструкции по направлениям всех координатных осей.

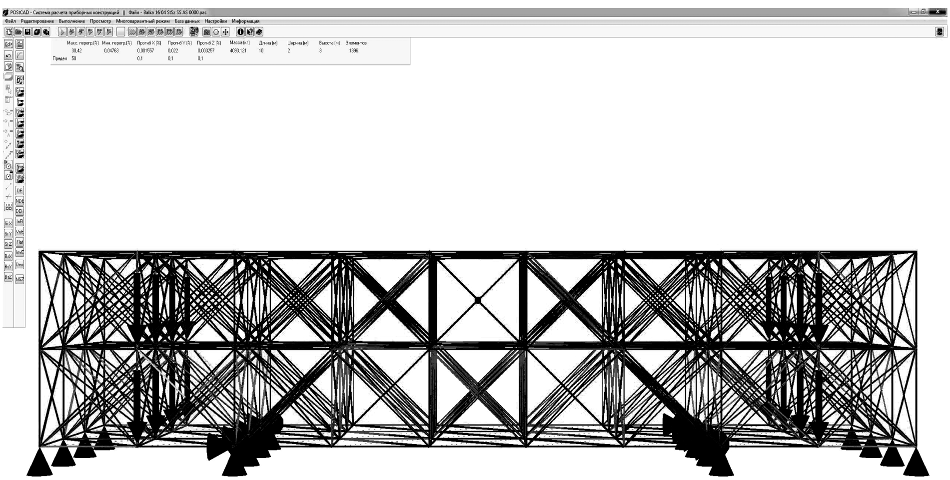

Рис. 1. Сеточная модель стержневой конструкции в главном окне программного комплекса
Fig. 1. Gridded model of the spatial bar construction in the main window of the software package

Исходные данные при решении задачи оптимизации структуры конструкции: количество стержней в исходной структуре – 1562 шт.; масса конструкции – 4564.460 кг; значения силовых воздействий в узлах сеточной модели по направлению оси Y – 40000 Н; длина исходной конструкции по оси X – 10 м; высота исходной конструкции по оси Y – 2 м; глубина исходной конструкции по оси Z – 3 м.

Результаты проведения процедуры структурной оптимизации конструкции: время решения – 9 мин 30 с; количество стержневых элементов – 144 шт.; общая масса фрагментов конструкции – 424.875 кг; максимальная перегрузка в элементах относительно допускаемых напряжений – 44.72 %; максимальный прогиб в вертикальной плоскости – 0.038 % от максимального линейного размера, при норме – 0.1%.

Задача оптимизации структуры конструкции была решена в автоматическом режиме. На рис. 2 изображена структура конструкции, которая была получена после выполнения тридцать девятого шага структурной оптимизации. После выполнения двести пятьдесят четвёртого шага структурной оптимизации была получена структура, изображённая на рис. 3.

Это была последняя неразделенная структура конструкции. На следующем шаге структурной оптимизации произошло разделение конструкции на два несвязанных фрагмента. Разделение конструкции на восемь несвязанных фрагментов произошло на четыреста пятнадцатом шаге структурной оптимизации. Структура, полученная на следующем, четыреста шестнадцатом шаге, стала конечной структурой, она представлена на рис. 4. Последующее удаление стержневых элементов приводит к ухудшению прочностных свойств конструкции, поэтому структура, изображённая на рис. 4, является конечной.

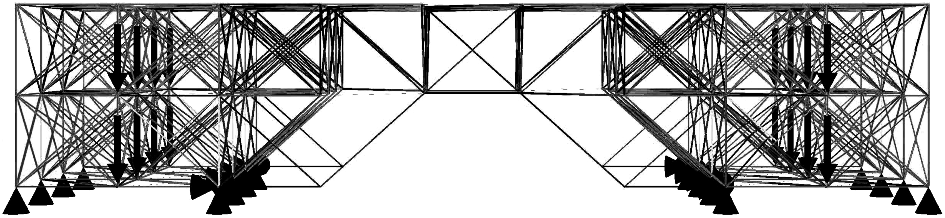

Рис. 2. Тридцать девятый шаг структурной оптимизации конструкции
Fig. 2. The thirty-ninth step of the structural optimization of the construction

Рис. 3. Двести пятьдесят четвёртый шаг структурной оптимизации конструкции. Непосредственно перед разделением
Fig. 3. The two hundred and fifty-fourth step of the structural optimization of the construction. Directly before division

Рис. 4. Четыреста шестнадцатый шаг структурной оптимизации конструкции. Конечная структура
Fig. 4. The four hundred and sixteenth step of the structural optimization of the construction. The final structure

Методика формальной оптимизации, реализованная в разработанной системе имитационного моделирования, позволяет получать стержневые конструкции, оптимальные для конкретного вида нагружения. В отдельных случаях реализация данного подхода к проектированию приводит к разделению исходной заготовки проектируемой конструкции на несколько несвязанных фрагментов. Решение задачи оптимизации, приводящее к декомпозиции конструкции на несвязанные фрагменты, может выполняться в автоматическом режиме без участия проектировщика.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литвинская О.С., Сальников И.И.* Математическая модель выбора стандарта радиоинтерфейса // Фундаментальные исследования: Научный журнал. Пенза: ООО Издательский Дом «Академия Естествознания», 2011. № 12-3. С. 562–567.
2. *Андреева Т.В., Курносов В.Е.* Методология решения задач синтеза конструкций по заданным воздействиям // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Научное периодическое издание. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. № 01(05). С. 192 – 197.
3. *Волгин Л.И., Левин В.И.* Непрерывная логика. Теория и применение. Таллинн: Изд-во Академии наук Эстонии, 1990. 210 с.
4. *Левин В.И.* Непрерывная логика. Основные понятия // Логические исследования: Научно-теоретический журнал. М.: Институт философии Российской академии наук, 2006. № 13. С. 90–107.
5. *Покровский В.Г.* Информационные технологии в проектировании несущих конструкций электронной аппаратуры на основе эволюционных дискретных моделей // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Научное периодическое издание. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. № 05(09). С. 198–205.
6. *Покровский В.Г.* Программный комплекс структурной оптимизации стержневых несущих конструкций на основе импликативной алгебры выбора // Информационные системы и технологии: Научно-технический журнал. Орёл: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» (Госуниверситет – УНПК), 2013. № 2(76).

Статья поступила 13.05.2016 г.

Pokrovskiy V.G. (2016) STRUCTURAL OPTIMIZATION AND DECOMPOSITION OF ELECTRONIC EQUIPMENT CONSTRUCTIONS ON THE BASIS OF EVOLUTIONARY DISCRETE MODELS. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics.* 5(43). pp. 73–82

DOI 10.17223/19988621/43/8

The article is devoted to the method of three-dimensional discrete modeling of the spatial bar systems for solving problems of simulation and structural optimization of electronic equipment constructions. A way of designing mathematical models of constructions with a non-fixed number of design variables and a method for the formation of the rigidity matrix are described. The mathematical modeling of the constructions with a non-fixed number of design variables is possible providing the application of the mathematical apparatus of implicative choice algebra.

Under certain conditions, in the course of solving the problem of optimizing the construction structure, it is possible to divide the computational model of construction into some untied fragments. The process is accompanied by simultaneous and independent solution of both modeling problem and structural optimization of the obtained fragments in one area of design. The approach to the structure optimization of constructions and decomposition of constructions into untied fragments is described. The method for determining the matrix of design variables of construction fragments is shown. The problem of construction structure optimization at one-alternative loading is solved.

Keywords: stress-strain state; electronic equipment constructions; design automation; engineering analysis of constructions, optimization of constructions.

POKROVSKIY Vladimir Gennad'evich (Candidate of Technical Sciences, Penza State Technological University, Penza, Russian Federation)
E-mail: svg0106@mail.ru

REFERENCES

1. Litvinskaya O.S., Sal'nikov I.I. (2011) Matematicheskaya model' vybora standarta radiointerfeysa [Mathematical model of choice radiointerface standards] *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental Investigations*. Penza: Akademiya Estestvoznaniya. 12(3). pp. 562–567.
2. Andreeva T.V., Kurnosov V.E. (2012) Metodologiya resheniya zadach sinteza konstruktsiy po zadannym vozdeystviyam [The methodology of solving problems on stated load construction synthesis]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego – XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present*. Penza: Izd-vo Penz. gos. tekhnol. akad. 1(5). pp. 192–197.
3. Volgin L.I., Levin V.I. (1990) *Nepreryvnaya logika. Teoriya i primenenie* [Continuous logic. Theory and application]. Tallinn: Izd-vo Akademii nauk Estonii.
4. Levin V.I. (2006) Nepreryvnaya logika. Osnovnye ponyatiya [Continuous logic. Basic comprehension]. *Logicheskie issledovaniya: Nauchno-teoreticheskiy zhurnal – Logical Investigations: Scientific-Theoretical Journal*. Moscow: Institut Filosofii Rossiyskoy Akademii Nauk. 13. pp. 90–107.
5. Pokrovskiy V.G. (2012) Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii nesushchikh konstruktsiy elektronnoy apparatury na osnove evolyutsionnykh diskretnykh modeley [Information technologies in design of load-bearing structures of the electronic equipment on the basis of evolutional discrete models]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego – XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present.* Penza: Izd-vo Penz. Gos. Tekhnol. Akad. 5(9). pp. 198–205.
6. Pokrovskiy V.G. (2013) Programmnyy kompleks strukturnoy optimizatsii sterzhnevykh nesushchikh konstruktsiy na osnove implikativnoy algebry vybora [The software complex of structural optimization of load-bearing bar constructions on the basis of the implicative algebra of choice]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii – Information Systems and Technologies.* Orel: Gosudarstvennyy Universitet – uchebno-nauchno-proizvodstvenny kompleks». 2(76). pp. 39–48.