

автомобиля, связанных с оптимизацией расхода топлива, а также отказаться от изучения мощностного баланса автомобиля при изучении его теории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руктешель, О.С. Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля: учебно-методическое пособие / О.С. Руктешель. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2015. – 80 с.
2. Зимелев, Г.В. Теория автомобиля. / Г.В. Зимелев. – М.: Машгиз, 1959. – 314 с.
3. Тарасик, В.П. Теория движения автомобиля / В.П. Тарасик. – 2-е изд. – СПб.: БХВ, 2022. – 576 с.
4. Фалькевич, Б.С. Теория, конструирование и расчет автомобиля / Б.С. Фалькевич. – М.: Машгиз, 1963. – 239 с.

УДК 624.04

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FEMAP NX NASTRAN ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМ USING THE FEMAP NX NASTRAN SOFTWARE PACKAGE TO OPTIMIZE THE HINGE-ROD SYSTEM

Бынькова А.Ю., аспирант, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, Минск, sm@bntu.by
Bynkova A.Y., Belarusian National Technical University, Minsk, sm@bntu.by

Аннотация. На сегодняшний день оптимальное проектирование конструкций в строительной механике является одной из наиболее актуальных задач. Основой оптимизации конструкций является выбор наилучших значений переменных проектирования удовлетворяющих заданным ограничениям по прочности, устойчивости, перемещениям узлов конструкций и т. д. Для реализации этого используются различные методы и программы. В данной работе будет использоваться метод на основе коэффициентов чувствительности для переменных проектирования и программный комплекс Femap NX Nastran.

Ключевые слова: переменные проектирования, коэффициенты чувствительности, оптимизация строительных конструкций

Abstract. Today, the optimal design of structures in structural mechanics is one of the most urgent tasks. The basis for the structures optimization is the choice of the best values of design variables that satisfy the given constraints on strength, stability, movements of nodes structures, etc. Various methods and programs are used for it. In this work, the method based on sensitivity coefficients for design variables and the Femap NX Nastran software package will be used.

Key words: design variables, sensitivity factors, optimization of building structures.

Введение. Программный комплекс Femap NX Nastran дает возможность решения задач оптимизации посредством конечно-элементного анализа отклика конструкции на изменение параметров рассчитываемой модели. Исследователь задает целевую функцию, выбирает параметр изменения и описывает требуемые ограничения. Решение задач оптимизации довольно часто построены на нахождении коэффициентов чувствительности, которые задают необходимые ограничения, к изменению переменных проектирования. Это позволяет сформировать поиск оптимального решения исследуемой системы.

Анализ чувствительности системы к изменению параметров конечного элемента.

Условие прочности к нормальному сечению элемента имеет следующий вид (1):

$$\omega_i(\sigma) = R - \sigma_i, \quad (1)$$

где σ_i – напряжение в элементе с номером i .

Коэффициент чувствительности в стержне l_i^σ к изменению площади сечения конечного элемента можно найти по формуле (2), а ограничение на изменение площади сечения можно представить в следующем виде (3)[1]:

$$l_i^\sigma = \frac{\partial \omega_i}{\partial A} = \frac{N_i}{A^2}, \quad (2)$$

$$l_i^\sigma \cdot \Delta A \leq \alpha \cdot (R - \sigma_i), \quad (3)$$

где α – коэффициент ограничивающий длину шага;

ΔA – приращение площади сечения.

Коэффициент чувствительности перемещения узла к изменению площади сечения l_{ij}^Z можно вычислить по формуле (4), а ограничения на перемещения узлов можно записать в виде (5):

$$l_{ij}^Z = \frac{\partial Z}{\partial A} = \frac{\Delta Z}{\Delta A}, \quad (4)$$

$$l_{ij}^Z \cdot \partial A \leq \beta_i \cdot ([Z_i] - Z_i), \quad (5)$$

где $[Z_i]$ – перемещение по нормам проектирования.

В качестве примера решения задачи оптимизации рассмотрим шарнирно-стержневую систему в виде пространственной фермы (рис.1).

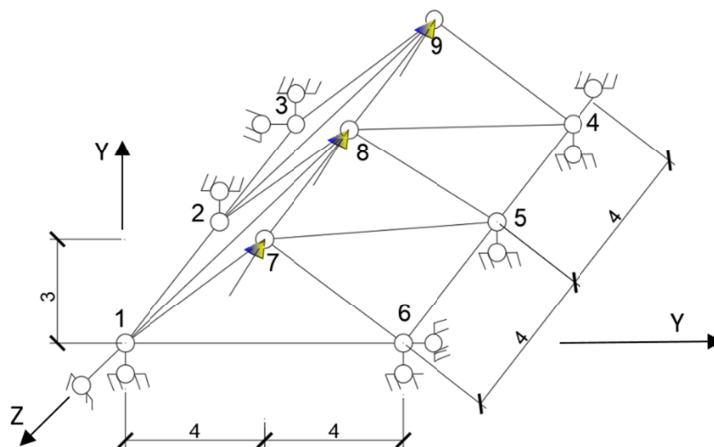


Рис. 1. Расчетная схема пространственной фермы

Ферма состоит из стержневых элементов, шарнирно соединенных между собой. Исходные данные для проектирования: $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$. Первоначальная площадь всех стержней фермы принята $0,02 \text{ м}^2$. На узлы фермы 7, 8, 9 приложена нагрузка $[-50, 50, -500]$ кН, $[-50, 50, -1000]$ кН, $[-50, 50, -500]$ кН соответственно.

В программе Femap NX Nastran выбран тип конечного элемента Rod. Первоначальный расчет фермы показывает следующие данные: наибольшее перемещение у 7 узла вдоль оси Z составило $-0,00211$ м, наибольшее сжимающее напряжение в стержне 5–7 $\sigma = -20,03$ МПа. На основании полученных данных можно сделать вывод, что ферма является недонапряженной конструкцией, и ее следует оптимизировать [2, 3, 4].

Для нахождения оптимального плана разделим стержни на группы: A_1 – стержни 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 1-6; A_2 – стержни 1-7, 6-7, 2-8, 5-8, 3-9, 4-9; A_3 – стержни 7-8, 8-9; A_4 – стержни 1-8, 5-7, 2-9, 4-8. Зададим следующие ограничения: по напряжениям не более 240 МПа, максимальное перемещение вдоль оси Z не более $z = 0,01$ м и минимально допустимое значение площади поперечного сечения стержня $0,0001$ м².

Ограничения по напряжениям, по перемещениям подсчитаем для группы A_1 (6, 7), а для всех остальных групп только значения:

$$l_{A_1}^{\sigma} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta A_{A_1}} = \frac{\sigma_k - \sigma_n}{A_{A_1,k} - A_{A_1,n}} = \frac{-12\,840 - (-14\,572)}{0,022698 - 0,02} = 641\,955 \frac{\text{кН}}{\text{м}^4}; \quad (6)$$

$$l_{CT}^{ZZ} = \frac{\Delta Z}{\Delta A} = \frac{-0,001858 - (-0,00211)}{0,022698 - 0,02} = 0,6104 \frac{1}{\text{м}}. \quad (7)$$

Значения остальных групп $l_{A_2}^{\sigma} = -826\,536 \frac{\text{кН}}{\text{м}^4}$; $l_{A_3}^{\sigma} = 440\,325 \frac{\text{кН}}{\text{м}^4}$; $l_{A_4}^{\sigma} = 1\,058\,930 \frac{\text{кН}}{\text{м}^4}$.

Дальнейшее решение задачи сводится к итерационному процессу и определению новых переменных проектирования. Данный процесс можно ускорить, изменяя шаг на итерациях.

Продолжая вычисления было замечено, что основным фактором на пути к оптимальному плану было нахождение параметров, удовлетворяющих перемещению по оси Z . Оптимальное решение данной задачи соответствует следующим площадям стержней: $A_1 = 0,00312$ м² (2 уголка 9×9), $A_2 = 0,00456$ м² (2 уголка 10×12), $A_3 = 0,00312$ м² (2 уголка 9×9), $A_4 = 0,00486$ м² (2 уголка 12,5×10). Максимальное перемещение по оси Z составит $0,009935$ м, а напряжения 5–7 $\sigma = -99,567$ МПа.

Заключение. Использование программного комплекса Femap NX Nastran позволяет достаточно быстро отыскать оптимальное решение задач и анализировать выходные данные. В результате расчета было отмечено, что наибольшее влияние на оптимальное решение играло перемещение узла. Ограничение по напряжениям уже ко второй итерации было решено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисевич, А. А. Строительная механика: учеб. пособие / А. А. Борисевич, Е. М. Сидорович, В. И. Игнатюк. – 2-е изд. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2009. – 756 с.
2. Борисевич, А. А. Численно-аналитический способ оптимизации ферм по условиям прочности и жесткости [Электронный ресурс] / А. А. Борисевич // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – № 1. – С. 104–107.
3. Борисевич, А. А. Расчет и оптимизация нелинейно-упругих изгибаемых систем с использованием стержневой аппроксимации / А. А. Борисевич // Вестник Брестского политехнического института. Серия: Строительство и архитектура. – 2000. – № 1. – С. 7–12 : ил.

4. Рудаков, К. Н. FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций / К. Н. Рудаков. – Киев: КПИ, 2011. – 317 с.
5. Боголюбов, А. Н. Основы математического моделирования: конспект лекций / А. Н. Боголюбов. – Москва: Физический факультет МГУ им. Ломоносова, 2001. – 180 с.
6. Звонарев, С. В. Основы математического моделирования: учеб. пособие / С. В. Звонарев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 112 с.
7. Короткий, А. И. Математическое моделирование / А. И. Короткий, Л. Г. Гальперин. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2005. – 102 с.
8. Численное моделирование строительных конструкций и систем с использованием ЭВМ. Современные аспекты обучения. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций / Н. П. Абовский [и др.]. – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.

УДК 625.1:330.322.013

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ВАЛОВОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОДУКТА РЕГИОНОВ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Prospects for improving the forecasting of the gross domestic product of regions based on mathematical models

Гаибназарова З.Т., доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и менеджмент промышленности», Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, zumrat59@rambler.ru

Лавренова О.А., старший преподаватель кафедры «Инженерная экономика», Белорусский национальный технический университет, Минск, lavrenova@bntu.by
Gaibnazarova Z.T., DSc, Professor of the Department «Economics and management of industry», Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, zumrat59@rambler.ru

Lavrenova O.A. Senior Lecturer of the Department of Engineering Economics, Belarusian National Technical University, Minsk, lavrenova@bntu.by

Аннотация: Рассматриваются методы выбора перспективы совершенствования прогнозирования валового внутреннего продукта регионов на основе математических моделей. Разработано несколько эконометрических моделей для прогнозирования экономических показателей с использованием данных, в полной мере отражающих динамику перспектив совершенствования производства валового внутреннего продукта регионов. Для этих целей нами проведен анализ развития прогнозирования региональной экономической системы с помощью эконометрических моделей. Изучена взаимосвязь факторов, воздействующих на производительность валового внутреннего продукта регионов.

Ключевые слова: валовый внутренний продукт регионов, математическая модель, эконометрическая модель, производственная функция, прогнозирование, инвестиции.

Abstract. Methods for choosing the prospects for improving the forecasting of the gross domestic product of regions based on mathematical models are considered. Several econometric models have been developed to predict economic indicators using data that fully reflect the dynamics of the prospects for improving the production of the gross domestic product of the regions. For these purposes, we have analyzed the development of forecasting the regional economic system using econometric models. The interrelation of factors influencing the productivity of the gross domestic product of the regions has been studied.

Key words: gross domestic product of regions, mathematical model, econometric model, production function, forecasting, investments.