DOI: 10.17117/na.2016.01.01.418

<http://ucom.ru/doc/na.2016.01.01.418.pdf>

Поступила (Received): 10.01.2016

Гронин М.А., Чепусов А.Ю., Старостин И.В. **Анализ разрушения металлической конструкции рамы** **при проведении экспертизы промышленной** **безопасности**

Gronin M.A., Chepusov A.Yu., Starostin I.V.
Analysis of the fracture of the metal frame structure during the
examination of industrial safety

Приведена методика определения долговечности стержневой конструкции с использованием метода конечных элементов

Ключевые слова: рама, экспертиза, долговечность, износ, эксплуатация

The method for determining the durability of a rod structure using the finite element method

Key words: frame, expertise, durability, wearout, maintenance

Гронин Михаил Александрович

Эксперт

Нижне-Волжская экспертная компания по промышленной безопасности

г.Волгоград ул. М. Еременко, 108

Gronin Mikhail Alexandrovich

Expert

Nizhne-Volzhskaya expert company in industrial safety

Vogograd, M. Eremenko st., 108

Чепусов Алексей Юрьевич

Эксперт

Нижне-Волжская экспертная компания по промышленной безопасности

г.Волгоград ул. М. Еременко, 108

Chepusov Alexej Yurievich

Expert

Nizhne-Volzhskaya expert company in industrial safety

Vogograd, M. Eremenko st., 108

Старостин Игорь Викторович

Инженер

Нижне-Волжская экспертная компания по промышленной безопасности

г.Волгоград ул. М. Еременко, 108

Starostin Igor Victorovich

Engineer

Nizhne-Volzhskaya expert company in industrial safety

Vogograd, M. Eremenko st., 108

При исследовании напряженно-деформированного состояния конструкции зданий и сооружений часто возникает задача определения их долговечности или остаточного ресурса. К критериям, по которым определяется долговечность конструкции, можно отнести условие прочности наиболее нагруженного элемента и условие жесткости в форме ограничения максимального перемещения элементов и узлов. Не менее важным также является учет условия устойчивости элементов и всей конструкции в целом. В приведенной ниже методике предлагается определение долговечности по условиям прочности и устойчивости на основе метода конечных элементов с пошаговым алгоритмом расчета.

Считаем, что в начальный момент времени во всех элементах конструкции выполняются условия прочности, жесткости и устойчивости. На первом шаге расчета введем параметр нагрузки $F=1$, что будет соответствовать действующей нагрузке. Вычислим критическое значение параметра нагрузки в начальный момент времени $t=0$. Примем, что $F_0^{кр} > 0$ [3] вследствие требования удовлетворения условия устойчивости для начального состояния конструкции.

Дальнейший расчет будем вести по следующему алгоритму:

- 1) Принимаем состояние стержневой конструкции на предыдущем $(n-1)$ шаге докритичным;
- 2) Считаем известными параметры жесткостей сечения элементов, которые были вычислены на предыдущем шаге и принимаем их за исходные значения;
- 3) На основании полученных данных о жесткостных характеристиках сечений, сначала вычисляем локальные матрицы жесткости всех конечных элементов и из них формируем глобальную матрицу жесткости для всей конструкции в целом [2];
- 4) Из решения системы разрешающих уравнений метода конечных элементов определяем новые параметры напряженно-деформированного состояния стержневой конструкции на текущем отрезке времени;
- 5) Вычисляем текущее значение параметра нагрузки для конструкции в текущий момент времени;
- 6) Проверяем выполнение условия $F^{кр} > 0$. Если условие выполняется, вычисляем жесткостные характеристики для следующего шага, и повторяем расчет по алгоритму с первого пункта. Если условие не выполняется, то расчет останавливается, наступила потеря несущей способности.

Основные уравнения, используемые для расчета.

Определение параметра критической силы [1]

$$F_t^{кр} = - \frac{\sum_{r=1}^{NEL} (\delta W_{2t})^r}{\sum_{r=1}^{NEL} (\delta V_{2t})^r},$$

$$\begin{aligned} \text{где } \delta W_{2t} = & \{(\vec{q}_t^r)^T ([V]^{-1})^T\} \left(\frac{1}{12(l_i)^3} \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n (EA_{ij})_t \left[\left\{ (\bar{\Psi}_{ij}^{(8)})^T (\bar{\Psi}_{ij}^{(8)}) \right\} + \right. \right. \\ & + 4 \left\{ (\bar{\Psi}_{(i-1)j}^{(8)})^T (\bar{\Psi}_{ij}^{(8)}) \right\} + \left. \left\{ (\bar{\Psi}_{(i-1)j}^{(8)})^T (\bar{\Psi}_{(i-1)j}^{(8)}) \right\} \right] + \\ & + \frac{1}{12(l_i)^3} \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m (EA_{ij})_t \left[\left\{ (\bar{\Psi}_{ij}^{(9)})^T (\bar{\Psi}_{ij}^{(9)}) \right\} + 4 \left\{ (\bar{\Psi}_{i(j-1)}^{(9)})^T (\bar{\Psi}_{ij}^{(9)}) \right\} + \right. \\ & \left. \left. \left\{ (\bar{\Psi}_{i(j-1)}^{(9)})^T (\bar{\Psi}_{i(j-1)}^{(9)}) \right\} \right] \right] \{[V]^{-1} \vec{q}_t^r\}, \\ \delta V_{2t} = & \left(\frac{1}{2l} \right)^2 \{(\vec{q}_t^r)^T ([V]^{-1})^T\} \left\{ \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m \frac{(N_{ij}^u)_t}{(A_{ij})_t} \left(a_1 \left\{ (\bar{\Psi}_{ij1}^{(1)})^T (\bar{\Psi}_{ij1}^{(1)}) \right\} + \right. \right. \\ & + a_2 \left\{ (\bar{\Psi}_{ij2}^{(1)})^T (\bar{\Psi}_{ij2}^{(1)}) \right\} + a_3 \left\{ (\bar{\Psi}_{ij3}^{(1)})^T (\bar{\Psi}_{ij3}^{(1)}) \right\} \left. \right\} \{[V]^{-1} \vec{q}_t^r\}, \end{aligned}$$

NEL – количество конечных элементов, используемых при расчете конструкции; q – вектор обобщенных координат, A_{ij} – площадь поперечного сечения элементов, N_{ij} – внутренние усилия в элементах конструкции.

При определении долговечности из условий прочности в приведенном алгоритме пошаговое выполнение операций будет следующим:

- 1) вычисление параметров напряженного состояния и нахождение максимально нагруженного элемента;
- 2) вычисление максимального напряжения;
- 3) вычисление допустимого напряжения на данный промежуток времени;
- 4) проверка условия прочности.

Долговечность конструкций считаем исчерпанной при прекращении выполнения условий прочности.

Данный алгоритм использовался при выполнении комплексного обследования конструкций металлической рамы здания ангара ПТОЛ электровозов ТЧР-15. Одной из целей проводимых работ было получение количественной оценки фактических показателей прочности качества конструкций с учетом изменений, произошедших за время эксплуатации, и обрушения пролётной балки.

По результатам выполненного расчета было установлено, что коэффициент использования конструкции металлической рамы превысил максимально возможный $1,25 > 1$, что и привело к разрушению конструкции.

Данный алгоритм расчета можно применять при проведении экспертизы промышленной безопасности.

Список используемых источников:

1. Андропова В.А. Анализ напряженно-деформированного состояния регулярных стержневых конструкций, контактирующих с агрессивной средой, с использованием метода дискретных конечных элементов. Диссертация на соиск. степени к.т.н. Череповец, 1998. 225 с.
2. Воронкова Г.В., Рекунов С.С. Получение матрицы откликов для элемента в форме равностороннего треугольника при расчете пластинок по методу конечных элементов в смешанной форме // Ежегодная научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава и студентов ВолгГАСУ материалы. 2008. С. 243-246.
3. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: АСВ, 1998. 302 с.
4. Воронкова Г.В. Развитие и применение методов расчета стержневых конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивной среды. Диссертация на уч.ст.канд.наук. Волгоград, 1999.