

УДК 624.04

**АЛГОРИТМ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА ДЕФОРМАЦИОННОГО
РАСЧЕТА ПЛОСКИХ РАМ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ЗДАНИЙ НА РАЗЛИЧНЫЕ НАГРУЗКИ И ПРОВЕРКА ИХ ОБЩЕЙ
УСТОЙЧИВОСТИ**

Зернов Владимир Викторович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».

Зайцев Михаил Борисович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».

Аннотация

Представлена методика расчета рамных каркасов со ступенчатыми стойками с учетом деформированной схемы. При этом для определения расчетных суммарных изгибающих моментов используются понятие о собственных нагрузках и различные формы потери устойчивости, как первая, так и высшие. Предлагаемая методика дает возможность оценить влияние высших форм потери устойчивости на значения изгибающих моментов в различных сечениях стоек.

Ключевые слова: плоская рама, деформационный расчет, итерационные методы, общая устойчивость, формы потери устойчивости.

**THE ALGORITHM IS AN ITERATIVE METHOD OF THE DEFORMATION
CALCULATION OF PLANE FRAMES SINGLE-STOREY INDUSTRIAL
BUILDINGS AT VARIOUS LOAD AND VALIDATE THEIR OVERALL
SUSTAINABILITY**

Zernov Vladimir Victorovich,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
Candidate of Sciences, Associate Professor of department "Mechanics".*

Zaytsev Mihail Borisovich,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
Candidate of Sciences, Associate Professor of department "Mechanics".*

Abstract

The method of calculation of frame frames with step racks taking into account the deformed scheme is presented. For the determination of the calculated total bending moments are used the concept of own loads and different buckling mode, both the first and the highest. The proposed technique makes it possible to assess the impact of higher forms of loss of stability on the values of bending moments in different sections of the racks.

Keywords: flat frame, deformation calculation, iterative methods, General stability, forms of loss of stability.

Каркас одноэтажного промышленного здания, который воспринимает и передает на фундаменты различные постоянные и временные нагрузки, представляет пространственную многостержневую конструкцию (рисунок 1). Точный расчет такой системы с учетом деформированной схемы весьма сложен и может быть выполнен только с использованием современного метода конечных элементов (МКЭ) при помощи программно-вычислительных комплексов [1-4].

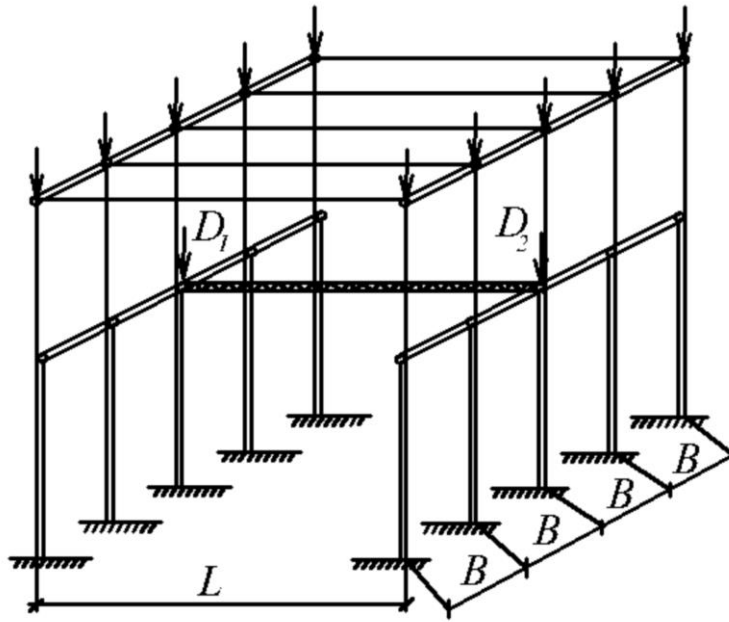


Рисунок 1 – Расчетная схема пространственного каркаса

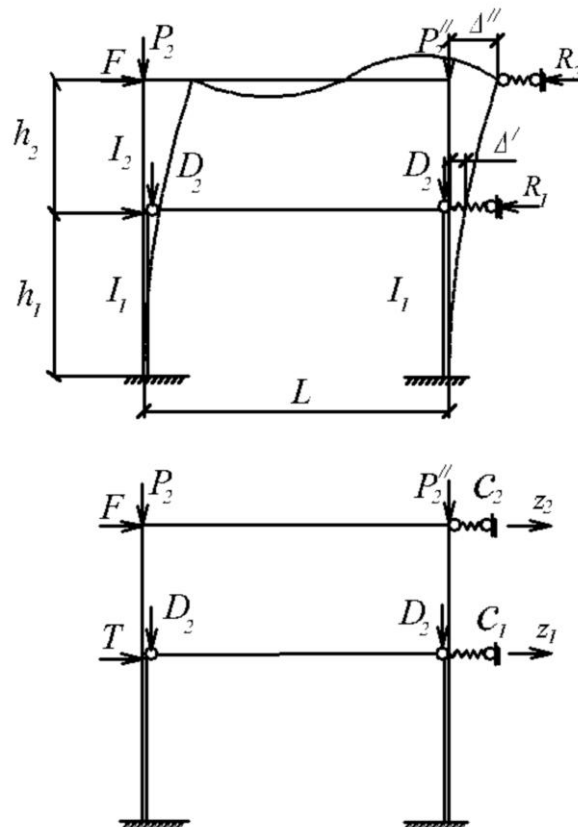


Рисунок 2 – Расчетная схема плоской рамы с упругими связями

При практических расчетах пространственный каркас обычно заменяется расчетными схемами в виде плоских поперечных рам и продольных конструкций (рисунок 2). Такая замена приведет к некоторым погрешностям в

определении усилий и значений предельных нагрузок при потере устойчивости. Эти погрешности при расчете стальных каркасов частично компенсируются приближенным учетом пространственной работы их с помощью упругих связей с другими (соседними) плоскими рамами.

В дальнейшем плоские поперечные рамы рекомендуется рассчитывать по деформированной схеме для определения расчетных усилий в характерных сечениях. При этом плоская комбинированная система с решетчатым ригелем представляется в виде плоской рамы со ступенчатыми стойками и с приведенной изгибной жесткостью ригеля, который может быть закреплен с верхними концами стоек шарнирно или жестко.

Приведем описание итерационного метода деформационного расчета поперечных одноэтажных рам и проверки устойчивости их с использованием ПЭВМ:

1. Выполняется статический расчет рамы по недеформированной схеме при заданных геометрических характеристиках на все виды (варианты) загрузки.

2. Определяется неблагоприятное сочетание нагрузок, при котором в выбранных расчетных сечениях (не менее четырех на колонне) получаются наибольшее значение продольных сил.

3. При этой комбинации нагрузок определяются расчетные параметры продольных сил [1, 2]

$$\nu_k = \sqrt{N_k \cdot l_k^2 / EI_k},$$

где N_k – значения продольных сил, вычисленные в 1-ом этапе расчета рамы по недеформированной схеме.

4. Выполняется повторный статический расчет рамы по деформированной схеме с учетом влияния продольных сил на деформации и расчетные усилия (M , Q и N).

5. Учет деформированной схемы производится с уточнением матрицы жесткости $R = [r_{jk}(v)]$ с помощью специальных функций вида $\varphi(v_k)$ и $\eta(v_k)$,

зависящих от параметров ν_k . В дальнейшем итерационный процесс можно продолжить с уточнением и учетом расчетных параметров продольных сил ν_k [1, 7].

Для проверки общей устойчивости симметричной поперечной рамы с перекосом стоек и горизонтальным смещением ригеля рекомендуется также перераспределить значение продольных сил как в верхней, так и в нижней ступенях колонн по равенству

$$\begin{aligned} N_2 &= 0,5(N_2^{\text{н}} + N_2^{\text{np}}); \\ N_1 &= 0,5(N_1^{\text{н}} + N_1^{\text{np}}). \end{aligned} \quad (1)$$

Такое перераспределение продольных сил, т.е. переход от несимметричного нагружения к симметричному, возможно на основе численных исследований устойчивости симметричных свободных рам. При этом погрешность в значениях $N_{\text{кр}}(P_{\text{кр}})$ обычно не превышает 2-3%, а погрешность значений $\nu_{\text{кр}}$ в ступенях колонн, от которых зависят коэффициенты расчетных длин μ_1 и μ_2 – еще меньше.

Для приближенного учета деформированной схемы при расчете поперечных рам можно учитывать как первую, так и другие (высшие) формы потери устойчивости. Однако, надо учесть тот факт, что при определении суммарных усилий в расчетных сечениях от различных комбинаций нагрузок, сложение возможно только при равносжатых элементах заданной рамы, то есть продольные силы должны быть определены заранее при возможном суммарном воздействии всех изгибающих факторов. Пренебрежение указанным фактом приведет к небольшим погрешностям, так как запроектированные рамы на основе приближенного расчета получаются довольно жесткими. Более же точный учет деформированной схемы приводит к увеличению изгибающих факторов в расчетных сечениях до 14%.

Представим новый подход к расчету рамных каркасов со ступенчатыми стойками с учетом деформированной схемы. При этом для определения расчетных суммарных изгибающих моментов используются понятие о

собственных нагрузках и различные формы потери устойчивости, как первая (основная), так и высшие. Как известно, собственной нагрузкой условно называется составная часть заданной нагрузки (один из вариантов загрузки рамы), которая вызывает схему деформаций, совпадающей с одной из форм потери устойчивости рассматриваемой рамы. Тогда суммарные усилия (изгибающие моменты) в расчетных сечениях от какой-либо расчетной комбинации действующих нагрузок могут быть представлены в виде суммы:

$$M_k = \sum \bar{M}_k^{(i)} \cdot [1 / (1 - \gamma_k^i)]. \quad (2)$$

Здесь $\bar{M}_k^{(i)}$ – изгибающие моменты в расчетных сечениях стойки рамы от действия i -ой собственной нагрузки, определенные по недеформированной схеме.

В этой формуле отношение

$$\gamma_k^{(i)} = N_k / N_{k,кр}^{(i)} \quad (3)$$

учитывает влияние продольной силы в k -ом сечении стойки на искомое усилие (M_k) от действия i -ой собственной нагрузки;

N_k – продольная сила в сечении "к" от суммарного воздействия всех видов собственных нагрузок;

$N_{k,кр}^{(i)}$ – критическое значение продольной силы в k -ом сечении стойки при i -ой форме потери устойчивости рамы.

На основе анализа результатов исследования устойчивости рам и характера действия различных нагрузок, для учета деформированной схемы достаточно использовать первые 3 формы потери устойчивости. Тогда различные нагрузки на поперечную раму можно представить в виде суммы из трех собственных нагрузок. В векторной форме это выражается так

$$(\vec{F}, \vec{w}, \vec{q}) = (\vec{w}^{(1)} + \vec{T}^{(1)} + \vec{D}_{к-с}^{(1)}) + (\vec{q}_{сн}^{(2)} + \vec{q}_{ш}^{(2)}) + (\vec{D}_c^{(3)} + \vec{M}_q^{(3)}) \quad (4)$$

Остановимся на правомерности использования формулы (2). Она основана на принципе независимости действия сил при различных вариантах загрузки рамы. Этот принцип, а соответственно формула (2), применимы

строго только в том случае, когда действие изгибающих нагрузок будут складываться при равносжатом состоянии всех элементов. Это значит, что отношение γ_k по (3) при действии отдельных собственных нагрузок должны определяться при суммарных значениях продольных сил N_k в каждом элементе. Использование понятия о собственных нагрузках и правильное определение отношения γ_k по (3) при различных формах потери устойчивости (до трех) будет давать результаты расчета по (2), практически совпадающие с точным деформационным расчетом с применением программных комплексов. Предлагаемый подход к расчету рам с использованием формулы (2) имеет четкий физический смысл и дает возможность оценить численно учет высших форм потери устойчивости на значения изгибающих моментов в различных сечениях стоек.

Выводы:

1. Представлена методика расчета рамных каркасов по деформированной схеме. При этом для определения расчетных суммарных изгибающих моментов используются понятие о собственных нагрузках и различные формы потери устойчивости

2. Предлагаемая методика дает возможность численно оценить учет высших форм потери устойчивости на значения изгибающих моментов в различных сечениях стоек.

Библиографический список:

1. Раевский А.Н., Зайцев М.Б. Проверка несущей способности металлических ферм с учетом искривлений отдельных элементов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1999. № 12.

2. Ласьков Н.Н. Зернов В.В., Зайцев М.Б. Определение критической нагрузки для стропильных ферм в упругой и упруго-пластической стадиях работы // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 4.

3. Зернов В.В., Зайцев М.Б. Определение предельной нагрузки для сжатого искривленного стержня фермы с учетом развития пластических деформаций сечения и реальных условий закрепления в узлах [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №2. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no2/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/2.17/view>

4. Монахов В.А., Зайцев М.Б., Бураева Д.А. Методы численного расчета сжатых стержней на устойчивость [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №4. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitel'naya-mehanika/4.5/at_download/file

5. Шеин А.И., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Некоторые причины отказа строительных конструкций // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 6 (37). С. 88.

6. Монахов В.А., Зайцев М.Б. Расчет стержневых систем с использованием теории графов в среде «Matlab» [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №3. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitel'naya-mehanika/3.13/at_download/file

7. Зернов В.В., Зайцев М.Б., Анурьева Ю.В. Анализ устойчивости стержневых систем в упруго-пластической стадии работы [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2017. №6. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no6/stroitel'naya-mehanika/6.4/at_download/file

8. Шеин А.И., Бакушев С.В., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Опыт обследования зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2017. №5. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no5/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/5.16/at_download/file