

# ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛОСКИХ РАМ ПО КРИТЕРИЮ ОГРАНИЧЕННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ.

Ю.В. Купченко, А.А. Мещанинов ( ОГАСА, г. Одесса )

При расчетах прочности стальных плоских рам с помощью методики учета неупругой работы стали в изгибаемых стержневых конструкциях на основе критерия ограниченных пластических деформаций [1] актуальной становится задача рационального подбора сечений стержней.

При исследовании работы стальных статически неопределимых рам с различной степенью статической неопределимости методом последовательных приближений с возобновлением заданной величины интенсивности пластических деформаций  $\epsilon_{ip}$  на каждом шаге итерационного процесса [2] решается задача определения расчетной нагрузки по прочности при развитии предельных пластических деформаций ( поверочный расчет при известных размерах сечений, схеме сооружения и характеристиках материала ). В процессе ее разрешения ставится задача по нахождению оптимальных по расходу стали ( целевая функция - минимум массы ) сечений элементов в системе с заданным очертанием осей стержней и видом их связей в узлах, прикладываемой нагрузки при выполнении условий прочности, жесткости и устойчивости.

Получение аналитического решения задачи оптимизации в связи с нелинейной работой системы весьма затруднительно. Поэтому для решения задачи в качестве объекта рассматривается не отдельная система, а множество систем, представляющих совокупность решений, из которых должно быть выбрано наилучшее. Этим решением в идеале является система с такими сечениями стержней, при которых в каждом стержне развиваются предельные пластические деформации.

При этом принимаются во внимание следующие ограничения:

- а) выбор сечений элементов из заданного сортамента;
- б) групповое равенство сечений стержней ( например, колонны в одном ярусе );
- в) конструктивное ограничение уменьшения сечений;
- г) обеспечение устойчивости стержней;
- д) обеспечение жесткости стержней и системы.

Кроме этого изменение сечений отдельных стержней влечет за собой изменение отношения жесткостей стержней рамы, что отражается на напряженном состоянии рамы. Также следует учесть, что при появлении первого и последующих участков упруго-пластической работы материала изменение изгибающих моментов носит нелинейный характер. Появление каждого нового участка, на котором возникают напряжения, превышаю-

ший предел текучести приводит к изменению перераспределения усилий в стержнях рамной конструкции. Согласно ограничениям, добиться такого состояния конструкции, когда все стержни имеют упруго-пластическую зону работы материала возможно в симметрично загруженной раме. В практических расчетах такая схема нагружения конструкции не представляет интереса.

В связи с этим в подобранной относительно оптимальной системе пластические деформации будут развиваться не во всех стержнях.

Был произведен расчет рамы, ригели и крайние стойки которой загружены равномерно распределенной нагрузкой. Геометрические характеристики сечений, принятые в этом расчете:

- стойки второго и крайние стойки первого этажа - из прокатного двутавра № 40БЗ,  $A = 73,4 \text{ см}^2$ ,  $J_x = 20480 \text{ см}^4$ ,  $W_x = 1020 \text{ см}^3$ ;

- средняя стойка первого этажа и ригели верхнего яруса - из прокатного двутавра № 70БЗ,  $A = 178 \text{ см}^2$ ,  $J_x = 146000 \text{ см}^4$ ,  $W_x = 4170 \text{ см}^3$ ;

- ригели нижнего яруса - из составного двутавра,  $A = 180 \text{ см}^2$ ,  $J_x = 245600 \text{ см}^4$ ,  $W_x = 4912 \text{ см}^3$ .

Пластические деформации ограничивались величиной  $\epsilon_{ip,lim} = 0,4\%$ . Результаты расчета рамы показаны на рис. I.

При принятых жесткостях стержней и соотношении нагрузок в раме в трех стойках возникло четыре участка упруго-пластической работы материала. Два участка развились в средней стойке первого этажа: на опоре пластические деформации достигли предельной величины; в сечениях, близких к узлу 5, пластические деформации равнялись  $\epsilon_{ip} = 0,051\%$ . Пластические деформации с максимальным значением  $\epsilon_{ip} = 0,22\%$  развились на участке, примыкающем к опоре правой нижней стойки 7-8. Кроме того, в упруго-пластической стадии работы материала оказался небольшой участок правой стойки второго этажа возле узла 8, с наибольшими пластическими деформациями  $\epsilon_{ip} = 0,068\%$ .

Перераспределение изгибающих моментов в максимально напряженных сечениях для каждого стержня, составляющего рамную конструкцию, достигло:

- для стоек первого этажа 1-2, 4-5, 7-8 соответственно 1,2%, 0,5%, 3,4%;

- для стоек второго этажа 2-3, 5-6, 8-9 соответственно 2,6%, 2,7%, 2%;

- для ригелей верхнего яруса 3-6, 6-9 соответственно 0,7%, 0,03%;

- для ригелей нижнего яруса 2-5, 5-8 соответственно 0,7%, 1,7%.

Небольшое перераспределение усилий объясняется тем, что пре-

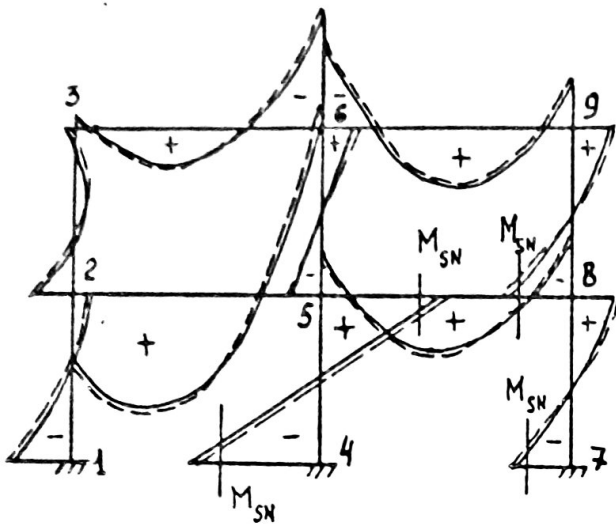


Рис. 1.

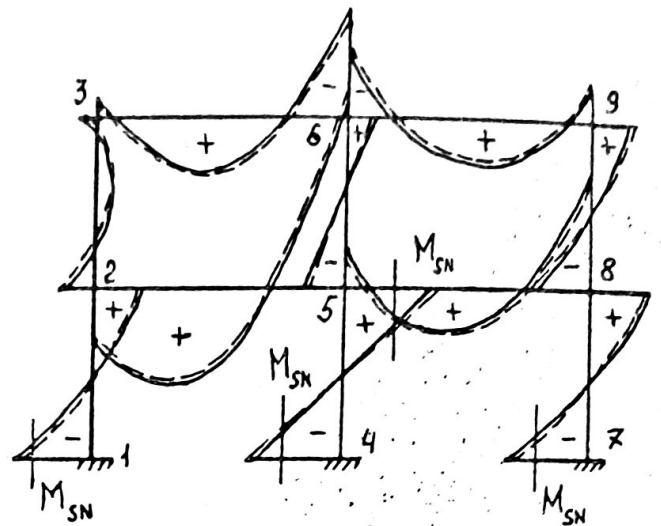


Рис. 2.

дельные пластические деформации развивались в сечениях средней стойки близких к опоре. Пластические деформации на участках стержней, близких к узлам 5,8, оказались невелики.

На рис. 2 показаны результаты расчета рамы, в которой уменьшены сечения средней нижней стойки ( принят двутавр № 60Б2 ) и ригелей нижнего яруса ( приняты равными сечениям ригелей верхнего яруса ). Пластические деформации ограничивались величиной  $\epsilon_{ip,lim} = 0,4\%$ .

В результате исследования работы этой рамы выявились четыре участка стержней, работающих в упруго-пластической стадии. Все они находились на стойках первого этажа. Первый из них находился на опоре стержня 1-2, где пластические деформации равны  $\epsilon_{ip} = 0,02\%$ . Два участка, составляющие общей сложностью 0,28 длины стержня, появились в средней стойке 4-5 по ее концам. Пластические деформации на обоих участках достигли предельной величины. Еще один упруго-пластический участок развивался на опоре правой стойки, где пластические деформации почти достигли предельной величины и равнялись  $\epsilon_{ip} = 0,39\%$ .

Перераспределение изгибающих моментов для сечений, испытывающих максимальное напряжение, в каждом стержне составило:

- для стоек второго этажа 2-3, 5-6, 8-9 соответственно 14,2%, 5,1%, 3,9%;
- для стоек первого этажа 1-2, 4-5, 7-8 соответственно 6,1%, 19,7%, 5,4%;
- для ригелей верхнего яруса 3-5, 6-9 соответственно 0,22%, 0,33%;
- для ригелей нижнего яруса 2-5, 5-8 соответственно 3,6%, 2,3%.

Перераспределение усилий увеличилось потому, что значительно возросли по длине участки стоек, работающие в упруго-пластической стадии и появились три сечения в которых ограниченные пластические деформации достигли предельной величины, а одно из них расположено близко к узлу 5 сопряжения с ригелями и колоннами второго этажа.

Так уменьшение сечений средней нижней стойки и ригелей нижнего яруса в расчете, результаты которого показаны на рис. 1 по сравнению с результатами расчета приведенными на рис. 2 привело к тому, что усилия в стержнях конструкции распределились более равномерно. Вследствие этого упруго-пластические участки работы материала развивались во всех стойках первого этажа, а пластические деформации на трех из четырех участков были близки к предельным.

Необходимо отметить тот факт, что в результате перераспределения усилий в упруго-пластическую работу материала могут быть вовлечены новые участки стержней в свою очередь повлияющие на перераспределение усилий. Поэтому для расчета относительно оптимальной системы требуется повышать точность вычислений, что приводит к увеличению количества итераций сходимости вычислительного процесса и к значительным временным затратам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов Н.Л., Стрелецкий Н.Н., Любаров Б.И. Расчеты стальных конструкций на прочность по критериям ограниченных пластических деформаций // Известия вузов. Строительство и архитектура. -1984. -№ 7. - С.1-9.
2. Чернов Н.Л. Расчет стальных изгибаемых конструкций способом последовательного возобновления ограниченных пластических деформаций. // Известия вузов. Строительство и архитектура. -1985. -№ 9. -С.17-21.