

D.M.Ahmanova, M.T.Kosmakova

For solution of one integral equation with one variable integration limit and the other infinite one

We consider the integral equation of the second kind of Volterra type with a variable lower limit of integration. Exception of the equation is, firstly, that the interval of integration is infinite, and secondly, in a convergence of lower limit to the upper one the integral tends to unity. Integral equations of this kind arise in the solution of boundary value problems of the theory of heat conduction in non-cylindrical domains. Also the value problems for spectrally loaded parabolic equations are reduced to them.

УДК 624.04

А.К.Бейсебаев, Е.К.Богатова, Т.В.Заикина

Казахстанский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: i_sunny@bk.ru)

Прочностной расчет рамной конструкции по предельному состоянию

В статье изложен алгоритм расчета рамных конструкций по предельному состоянию, основанный на постепенном увеличении интенсивности внешней нагрузки. Определены порядок появления пластических шарниров и соответствующая нагрузка. Для автоматизации расчета статически неопределимых систем методом сил использован алгоритм в матричной форме.

Ключевые слова: метод комбинированных механизмов, метод предельного состояния, эпюра, изгибающий момент, пластический шарнир.

Статически неопределимые сооружения менее материалоемки, чем статически определимые. Поэтому в строительной практике использование их более предпочтительно. В статически неопределимых системах достижение усилиями в некоторых из элементов их предельных значений не влечет за собой разрушения всей системы, если последняя за счет остальных элементов остается структурно неизменяемой, а потому, может воспринимать дополнительную нагрузку. Благодаря пластическим деформациям происходит перераспределение усилий в элементах, вследствие чего несущая способность всей системы повышается. Полное разрушение системы наступает тогда, когда будет исчерпана несущая способность числа связей, равная числу степеней свободы плюс единица.

Трудоемкость расчета рам состоит в том, что число возможных форм разрушения может быть достаточно велико и заранее невозможно установить, которая из них является действительной. Для нахождения действительной формы разрушения применяется *метод комбинированных механизмов*. Основанный на том, что для заданной рамы при заданном нагружении рассматриваются все возможные механизмы, которые могут быть получены путем составления различных комбинаций простых независимых механизмов разрушения, устанавливаемые в зависимости от расчетной схемы и действующей нагрузки. Далее для каждого механизма разрушения составляются уравнения равновесия. При этом число возможных простых независимых механизмов нагружения равно числу независимых уравнений равновесия [1].

Недостаток этого метода заключается в возможности не назначения всех возможных форм разрушения, что может привести к ошибочным неудовлетворительным результатам вычислений.

В [2] указан другой порядок расчета по методу предельного состояния: здесь предварительно проводится обычный упругий расчет, что позволяет определить наиболее напряженные и следующие за ними стержни конструкции. Однако в исследованиях, проведенных авторами, порядок появления упругих шарниров не подтвердился.

В данной работе предлагается расчет рам по предельному состоянию, основанный на постепенном увеличении внешней нагрузки, включении в расчетные схемы пластических шарниров, за счет чего степень статической неопределимости постепенно снижается. Расчет ведется вплоть до исчерпания несущей способности сооружения. В основе расчета статически неопределимых систем принят метод сил, который автоматизирован с помощью матричного алгоритма [3].

Весь алгоритм разбит на определенные этапы вычисления, результатом которых являются появление нового пластического шарнира, снижающего степень статической неопределимости конструкции на единицу, и определение соответствующей интенсивности внешней нагрузки.

Рассмотрим каркас двухпролетной рамы конструкции промышленного здания с параметрами и нагрузкой, приведенной на рисунке 1, а, где пролет $l = 10$ м, высота $h = 8$ м, $q_1 = q_2 = q_3 = q$, жесткости EI для всех элементов одинаковые. Расчеты проведены методом сил.

Первый этап. Степень статической неопределимости данной рамы

$$n = 2k - u + C_0 - 3,$$

где $k = 0$ — количество замкнутых контуров; $u = 0$ — количество простых шарниров; $C_0 = 9$ — количество опорных стержней, где $C_0 = 3$ — принятое количество опорных стержней в жестком защемлении.

Выберем основную систему метода сил, отбросив две крайние опоры и заменив их значения неизвестными реакциями X_1, X_2, \dots, X_6 (рис. 1, б).

Уравнения равновесия рамы, выраженные через неизвестные усилия X_1, X_2, \dots, X_6 , получим, приравнявая нулю суммарные перемещения в присоединенных связях и моменты в угловых связях (сосредоточенная сила в линейных связях). Система канонических уравнений метода сил данной рамы примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \dots + \delta_{1n}x_n + \Delta_{1p} &= 0 \\ \delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \dots + \delta_{2n}x_n + \Delta_{2p} &= 0 \\ \dots &\dots \\ \delta_{n1}x_1 + \delta_{n2}x_2 + \dots + \delta_{nn}x_n + \Delta_{np} &= 0 \end{aligned} \right\}, \tag{1}$$

где δ_{ij} — перемещение в основной системе по направлению i -й отброшенной связи от действия единичного усилия $X_j = 1$; Δ_{ip} — перемещение по i -му направлению от действия внешней нагрузки; X_i — искомое усилие по направлению i -ой отброшенной связи.

Для первого этапа система (1) имеет порядок $n_1 = 6$.

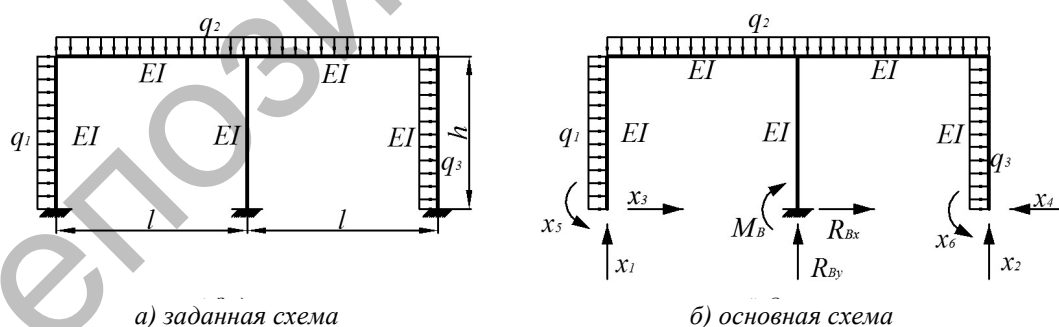


Рисунок 1. Шесть раз статически неопределимая рама

Единичные эпюры — $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_6$ от соответствующих единичных усилий и грузовая эпюра — M_{q1} в основной системе метода сил приведены на рисунке 2, а–ж.

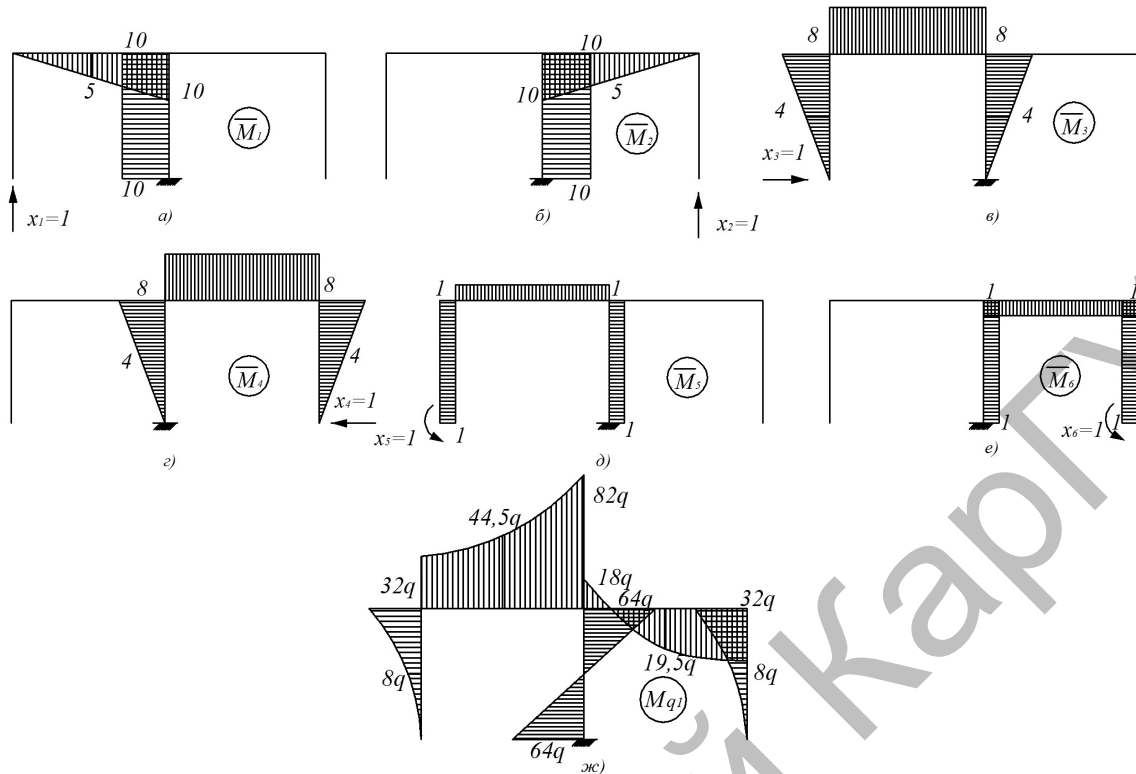


Рисунок 2. Единичные и грузовая эпюры

Расчет рам произведем в автоматизированном виде, в этом случае матричный алгоритм [3] имеет вид:

$$M = M_q - \bar{M}(\bar{M}^T L M)^{-1} \bar{M}^T L M_q, \quad (2)$$

где \bar{M} — матрица единичных моментов, сформулированная из эпюр, изображенных на рисунке 2, а–е; \bar{M}^T — транспонированная ей матрица; M_{q1} — матрица грузовых моментов из эпюры на рисунке 2, ж, построенной в основной системе; L — матрица податливости, которая в этом и последующих расчетах будет одинаковая.

Для решаемого этапа исходные матрицы, согласно эпюрам, приведенным на рисунке 2, а–ж, имеют вид:

$$\bar{M} := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -4 & -4 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -8 & -8 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -8 & -8 & -1 & -1 \\ 5 & 5 & -8 & -8 & -1 & -1 \\ 10 & 10 & -8 & -8 & -1 & -1 \\ 0 & -20 & 0 & 16 & 0 & 2 \\ 0 & -20 & 0 & 8 & 0 & 2 \\ 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 10 & -10 & -8 & 8 & -1 & 1 \\ 5 & -5 & -8 & 8 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -8 & 8 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 8 & -8 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 4 & -4 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}; M_{q1} := \begin{pmatrix} 0 \\ -8 \\ -32 \\ -32 \\ -44.5 \\ -82 \\ 64 \\ 0 \\ -64 \\ -18 \\ 19.5 \\ 32 \\ -32 \\ -8 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$L := \begin{pmatrix} 8k1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32k10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8k1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10k2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 40k2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10k2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8k3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 32k3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8k3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10k4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40k4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10k4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8k5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 32k5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8k5 \end{pmatrix}$$

Результаты расчета матричного алгоритма (2), вычисленные согласно программному обеспечению MathCad [4], следующие:

	0
0	-14.704
1	0.601
2	-0.094
3	-0.094
4	5.004
5	-14.898
6	9.426
7	-1.019
8	-11.464
9	-5.472
10	5.181
11	-9.166
12	9.166
13	2.916
14	-19.334

Согласно полученным данным, на рисунке 3 построена окончательная эпюра изгибающих моментов для шесть раз статически неопределимой рамы. В этом заключается первый этап расчетов.

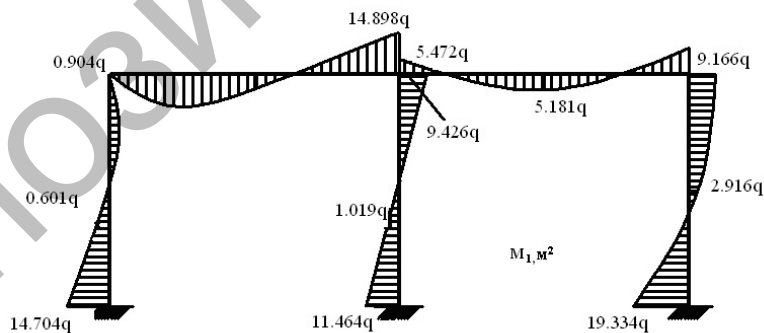


Рисунок 3. Окончательная эпюра изгибающих моментов

Второй этап. Далее согласно алгоритму, изложенному выше, в заданную систему (рис. 1, а) в месте полученного максимального момента в опору правой стойки врезаем первый пластический шарнир с изгибающим моментом, равным $M_{III1} = 19,344q$, полученный в нем на первом этапе. Новая заданная схема изображена на рисунке 4, а. Степень статической неопределимости рамы будет равна $n_2 = 5$.

Основную систему получим, отбросив крайние две опоры и заменив их значения неизвестными усилиями X_1, X_2, \dots, X_5 (рис. 4, б).

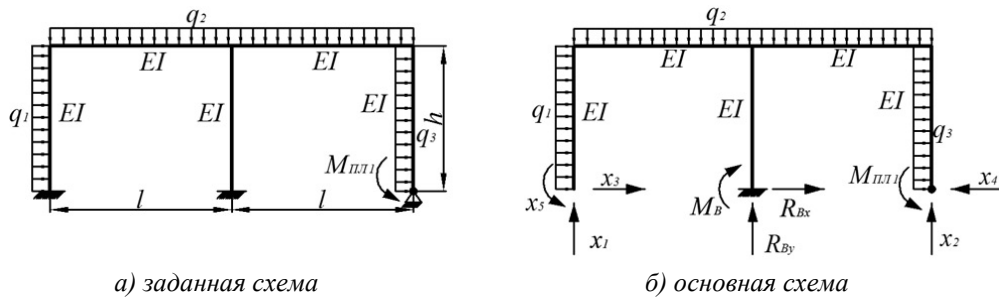


Рисунок 4. Рама с одним пластическим шарниром

Для данного второго этапа система канонических уравнений (1) будет иметь порядок $n_2 = 5$, а в матричном алгоритме (2) вместо одной грузовой эпюры M_{q_2} , на основе принципа независимости действия сил, представим суммарную грузовую эпюру $M_{\Sigma} = M_q + \sum M_{\text{пл}e}$ (e — количество пластических шарниров), тогда матричное уравнение (2) примет вид:

$$M = (M_q + \sum M_{\text{пл}e}) - \bar{M}(\bar{M}^T L \bar{M})^{-1} \bar{M}^T L (M_q + \sum M_{\text{пл}e}). \quad (3)$$

Данный алгоритм будет использоваться для построения окончательной эпюры моментов в этом и последующих этапах.

Единичные эпюры $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_5$ от соответствующих единичных усилий получают такие же, как и на предыдущем этапе (рис. 2, а–д), эпюра, полученная от момента при врезании пластического шарнира $M_{\text{пл}1}$, и грузовая эпюра M_q в основной системе приведены на рисунке 5 а, б.

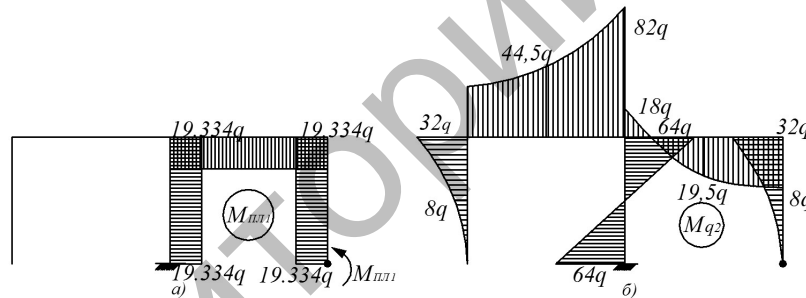


Рисунок 5. Эпюры от внешних нагрузок q и $M_{\text{пл}}$

Матрицы для расчета формируются методами сил:

$$\bar{M} := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -4 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -8 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -8 & 0 & -1 \\ 5 & 0 & -8 & 0 & -1 \\ 10 & 0 & -8 & 0 & -1 \\ -10 & 10 & 8 & -8 & 1 \\ -10 & 10 & 4 & -4 & 1 \\ -10 & 10 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 10 & 0 & -8 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & -8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; M_{q_2} := q_1; M_{\text{пл}1} := \begin{pmatrix} 0 \\ -8 \\ -32 \\ -32 \\ -44.5 \\ -82 \\ 64 \\ 0 \\ -64 \\ -18 \\ 19.5 \\ 32 \\ -32 \\ -8 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ 0 \end{pmatrix};$$

где \bar{M} — матрица от единичных усилий, сформулированная из эпюр, изображенных на рисунке 2, а–д; $M_{пл1}$ — матрица от пластического момента, приложенного в врезанном шарнире (рис. 5, а); M_{q2} — матрица грузовых моментов из эпюры на рисунке 5, б.

Значение матрицы M_2 идентично окончательной эпюры, полученной на предыдущем этапе расчета. Увеличиваем q_1 до образования следующего пластического шарнира. Это оказывается при $q_1 = 1,22215q$ и значения окончательной эпюры моментов следующие:

	0
0	-19.334
1	0.527
2	0.834
3	0.834
4	6.14
5	-19.108
6	12.59
7	-1.423
8	-15.435
9	-6.518
10	6.673
11	-10.69
12	10.69
13	5.455
14	-19.334

Исходя из полученных значений, на рисунке 6 построена эпюра изгибающих моментов после второго этапа.

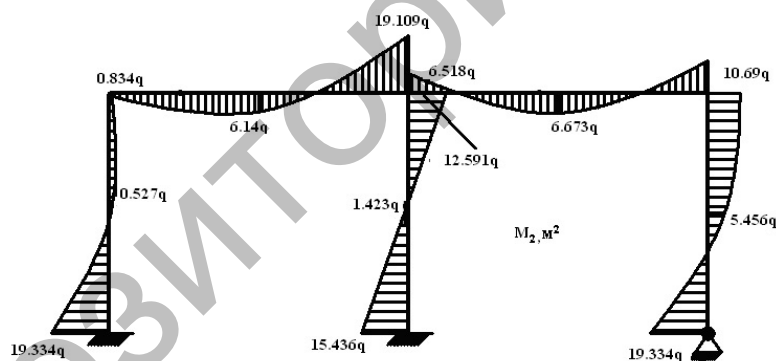


Рисунок 6. Окончательная эпюра изгибающих моментов для пять раз статически неопределимой рамы

С появлением второго пластического шарнира несущая способность может быть увеличена в $0,22215q$ раза, что на 22,2% выше по сравнению с несущей способностью появления одного пластического шарнира.

Третий этап. Составляем новую систему путем врезания второго пластического шарнира в заданную систему (рис. 4, а), в месте полученного максимального момента врезаем второй пластический шарнир с изгибающим моментом, равным $M_{пл2} = 19,344q$, полученный в нем на втором этапе. Новая заданная система изображена на рисунке 7, а. Степень статической неопределимости полученной рамы будет равна $n_3 = 4$. Заданная схема и основная система приведены на рисунке 7.

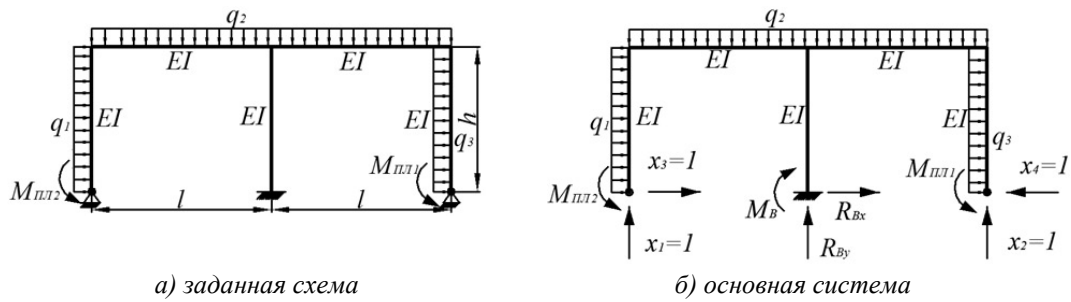


Рисунок 7. Заданная схема и основная система четыре раз статически неопределимой рамы

Единичные эпюры $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_4$ от соответствующих единичных усилий получают такие же, как и в первом этапе (рис. 2, а–г), эпюры, полученные от моментов при врезании пластических шарниров $M_{пл1}$ и $M_{пл2}$, а также грузовая эпюра M_{q3} в основной системе приведены на рисунке 8, а–в.

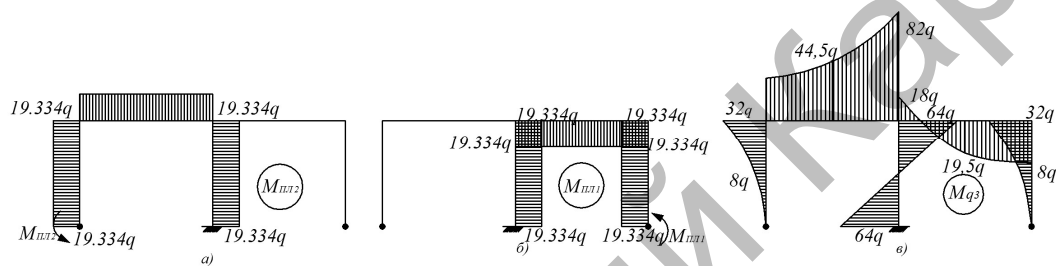


Рисунок 8. Грузовая эпюра в основной системе

Исходные матрицы данного этапа имеют вид:

$$\bar{M} := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & -8 & 0 \\ 0 & 0 & -8 & 0 \\ 5 & 0 & -8 & 0 \\ 10 & 0 & -8 & 0 \\ -10 & 10 & 8 & -8 \\ -10 & 10 & 4 & -4 \\ -10 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & -8 \\ 0 & 5 & 0 & -8 \\ 0 & 0 & 0 & -8 \\ 0 & 0 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; M_{q3} := \begin{pmatrix} 0 \\ -8 \\ -32 \\ -32 \\ -44.5 \\ -82 \\ 64 \\ 0 \\ -64 \\ -18 \\ 19.5 \\ 32 \\ -32 \\ -8 \\ 0 \end{pmatrix}; M_{пл1} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \end{pmatrix}; M_{пл2} := \begin{pmatrix} -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

где \bar{M} — матрица от единичных усилий, сформулированная из эпюр, изображенных на рисунке 2, а–г; $M_{пл1}, M_{пл2}$ — матрицы от моментов, полученных при врезании пластических шарниров, согласно эпюр, изображенных на рисунке 8, а, б; M_{q3} — матрица грузовых моментов из эпюры на рисунке 8, в.

Используя матричный алгоритм (3), определяем значение q до образования следующего пластического шарнира. Это соответствует интенсивности нагрузки $q_2 = 1,2327q$ кН/м, значения ординат окончательной эпюры моментов при этом будут следующими:

	0
0	-19.334
1	0.628
2	0.866
3	0.866
4	6.175
5	-19.334
6	12.821
7	-1.455
8	-15.731
9	-6.513
10	6.749
11	-10.807
12	10.807
13	5.598
14	-19.334

Эпюра изгибающих моментов, соответствующая появлению третьего пластического шарнира, приведена на рисунке 9.

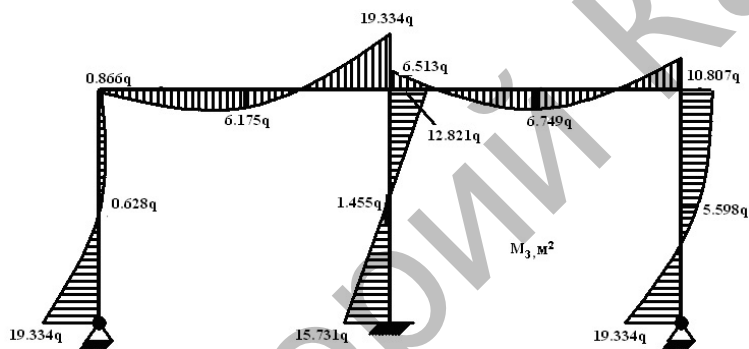


Рисунок 9. Эпюра изгибающих моментов для четыре раз статически неопределимой рамы

Максимальная нагрузка при появлении третьего пластического шарнира естественно больше по сравнению с первым на величину $0,2327 q$, что более на 23,27%, а по сравнению с появлением второго шарнира на $0,01055 q$ раз — 4,749%.

Четвертый этап. Следующую систему получаем путем врезания третьего пластического шарнира в заданную систему (рис. 7, а) в месте полученного максимального момента $M_{пл3} = 19,344 q$. Получается новая заданная система, которая изображена на рисунке 10, а. Степень статической неопределимости полученной рамы будет равна $n_4 = 3$. Заданная и основная схемы показаны на рисунке 10 а, б.

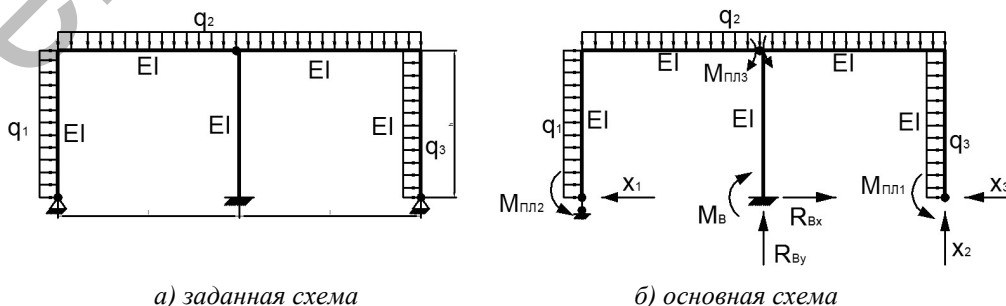


Рисунок 10. Три раза статически неопределимая рама

Единичные эпюры $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \bar{M}_3$ от соответствующих единичных усилий X_1, X_2, X_3 показаны на рисунке 11, а–в, эпюры, полученные от моментов при врезании пластических шарниров $M_{пл1}, M_{пл2}, M_{пл3}$, и грузовая эпюра M_{q4} в основной системе приведены на рисунке 11, г–ж.

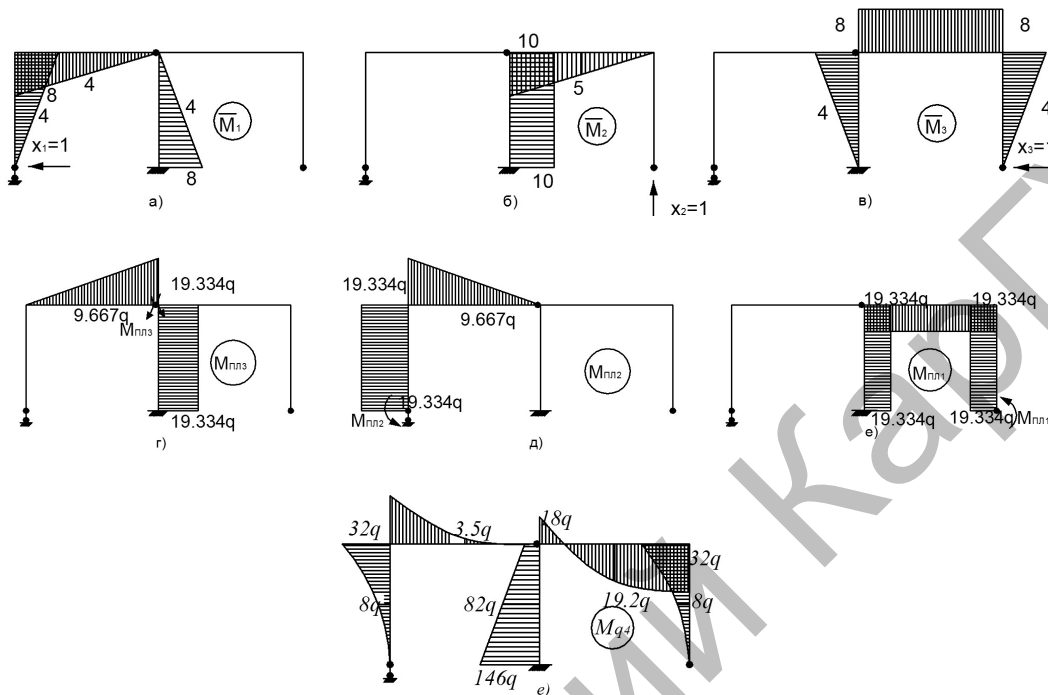


Рисунок 11. Единичные и грузовая эпюры в основной системе

Формируются исходные матрицы для расчета с использованием программного обеспечения MathCad.

$$\bar{M} := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & -8 \\ 4 & 10 & -4 \\ 8 & 10 & 0 \\ 0 & 10 & -8 \\ 0 & 5 & -8 \\ 0 & 0 & -8 \\ 0 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; M_{q4} := \begin{pmatrix} 0 \\ -8 \\ -32 \\ -32 \\ -3.5 \\ 0 \\ -18 \\ -82 \\ -146 \\ -18 \\ 19.5 \\ 32 \\ -32 \\ -8 \\ 0 \end{pmatrix}; M_{пл1} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \end{pmatrix}; M_{пл2} := \begin{pmatrix} -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ -19.334 \\ -9.667 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; M_{пл3} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -9.667 \\ -19.334 \\ 19.334 \\ 19.334 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

где \bar{M} — матрица от единичных усилий, сформулированная из эпюр, изображенных на рисунке 11, а–в; $M_{пл1}, M_{пл2}, M_{пл3}$ — матрицы от моментов, приложенные во врезанные пластические шарниры из эпюр, изображенных на рисунке 11, г–е; M_{q4} — матрица грузовых моментов из эпюры на рисунке 11, ж.

Используя матричный алгоритм (3), увеличиваем значения q до образования следующего пластического шарнира, что соответствует $q_3 = 1,34925 q$, параметры окончательной эпюры моментов следующие:

	0
0	-19.334
1	1.551
2	0.848
3	0.848
4	7.623
5	-19.334
6	14.6
7	-2.367
8	-19.334
9	-4.734
10	8.047
11	-12.902
12	12.902
13	7.578
14	-19.334

Окончательная эпюра изгибающих моментов, соответствующая появлению четвертого пластического шарнира, приведена на рисунке 12.

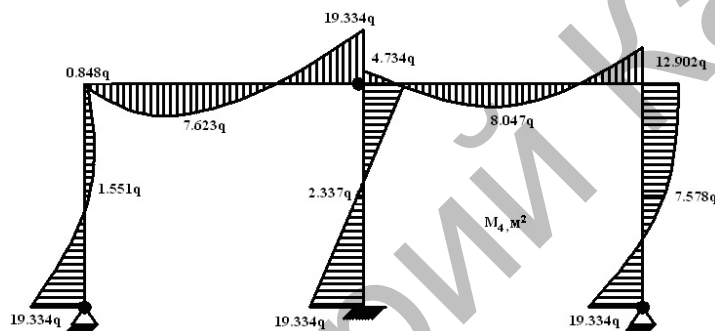


Рисунок 12. Эпюра изгибающих моментов для три раза статически неопределимой рамы

Аналогично проводятся следующие 5–7 этапы, вплоть до образования семи пластических шарниров соответствующей исчерпанию несущей способности конструкции. Окончательная эпюра моментов показана на рисунке 13. При этом несущая способность достигает значения $q_6 = 1,7378876 q$, что на 73,79% больше по сравнению с несущей способностью упругой работы материала конструкции.

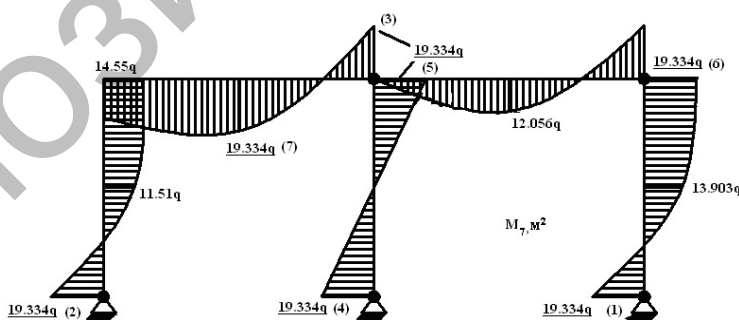


Рисунок 13. Окончательная эпюра моментов

Выводы. Предлагаемый алгоритм позволяет автоматизировать процесс расчета рамных конструкций по несущей способности с учетом пластических свойств материала. Проведенные исследования соответствуют реальной работе строительной конструкции, нагруженной статической нагрузкой. Показан истинный порядок возникновения пластических шарниров, позволяющий в случае необходимости на любом этапе, в зависимости от величины внешней нагрузки, назначать усилия тех или иных перегруженных мест сооружения. Результаты расчета дают единственный реальный механизм, соответствующий разрушению конструкции и предельной нагрузке исчерпания несущей способности сооружения.

References

- 1 *Darkov A.V., Shaposhnikov N.N.* The building mechanics. — Moscow: The higher school, 1976. — 600 p.
- 2 *Snitko N.K.* The building mechanics. — Moscow: The higher school, 1980. — 488 p.
- 3 *Butenko Yu.I., Zasyadko N.A., Kan S.N., Pustovoytov V.P.* The building mechanics of rod systems and covers. — Kiev: The higher school, 1990. — 488 p.
- 4 *Makarova E.* Engineering calculations in Mathcad. — Sankt-Petersburg: Piter, 2005.

А.Қ.Бейсебаев, Е.К.Богатова, Т.В.Заикина

Шектік жағдайы бойынша рамалық конструкцияны беріктілікке есептеу

Мақалада рамалық конструкцияларды шектік күйі бойынша сыртқы жүктеме қарқындылығын біртіндеп көбейтуге негізделген есептеу алгоритмі көрсетілген. Илімді топсалардың пайда болу реті мен сәйкес жүктеме анықталды. Статикалық анықталмайтын жүйелерді күш әдісімен есептеуді автоматтандыру үшін матрицалық формадағы алгоритм қолданылды.

A.K.Beysebayev, E.K.Bogatova, T.V.Zaikina

Strengthening calculation of the frame design for the limiting condition

In this work the algorithm of calculation of frame structures to limit state, based on the gradual increase in the intensity of the external load is stated. The order of occurrence of plastic hinges and the corresponding load are described. To automate the analysis of statically indeterminate systems by force algorithm is used in the matrix form.

УДК 517.95

М.Т.Дженалиев¹, К.Б.Иманбердиев², К.А.Айменова²

¹Институт математики и математического моделирования КН МОН РК,

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы (E-mail: muwasharkhan@gmail.com)

Оптимизационный метод решения некорректной задачи для бигармонического уравнения

В ограниченной двумерной прямоугольной области рассмотрена граничная задача для бигармонического уравнения. Изучаемая некорректная граничная задача сведена к задаче оптимального управления. В терминах сопряженной граничной задачи установлены условия оптимальности. Найден критерий сильной разрешимости некорректной граничной задачи.

Ключевые слова: некорректная задача, бигармоническое уравнение, методы оптимального управления, вариационное неравенство, сопряженная граничная задача.

Введение. В последнее время среди специалистов по уравнениям математической физики значительно возрос интерес к задачам, не являющимся корректными, по Ж. Адамару [1]. Задачи такого рода всегда привлекали внимание исследователей. Прежде всего, это связано не только с их важностью в теоретическом плане, но также и с тем, что с ними приходится сталкиваться во многих прикладных задачах из различных областей науки и техники. В связи с некорректными задачами можно отметить классические работы Ж. Адамара [1], А.Н. Тихонова [2], М.М. Лаврентьева [3] и многих других, обративших внимание исследователей на некорректные задачи и внесших существенный вклад в развитие этого важного направления математики.