И.М. Киянов

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТР ГЕОМЕТРИИ РАМЫ, ПРЕДНАПРЯЖЕННОЙ ПОСТОЯННЫМ УСИЛИЕМ

В системах строительной механики с постоянными усилиями при температурных и других перемещениях в лишних связях открыты оптимальные параметры геометрии, соответствующие максимальной суммарной работе усилий в лишних связях и не зависящие ни от нагрузки, ни от степени преднапряжения (патент РФ №2012749, принадлежащий автору статьи). В статье приводится уравнение для определения оптимального параметра геометрии рамы.

На рисунке показана основная система трехшарнирной рамы, преднапряжённой постоянным усилием, опорные шарниры которой 1 приподняты над фундаментом на высоту H_c. Рама имеет ригель 2, средний шарнир с двумя бесконечно жёсткими консолями 3. В средний шарнир включена связь по а.с. №1686059 или связь по патенту №2037007. Создавая усилие преднапряжения, связь сохраняет его постоянным при температурных перемещениях, перемещениях от действия на конструкцию временной нагрузки, сейсмических воздействий и др. Часть рамы 4, расположенная выше опорных шарниров, имеет высоту h. Стойки этой части рамы наклонены к вертикали под углом α.

Найдем для рамы, показанной на рисунке, параметр геометрии, соответствующий максимальной силе X_1 и не зависящий ни от нагрузки, ни от степени преднапряжения.

Единичный распор, возникающий от единичной силы $\overline{X_1}$, равен

$$\overline{H} = \frac{n}{h},$$

где n – длина бесконечно жестких консолей;

$n = \mu h$;

μ – коэффициент, имеющий постоянную в пределах изменения h величину.

Сила X_1 находится из канонического уравнения метода сил:

$$X_1 = -\frac{\Delta_{IP}}{\delta_{II}}, \qquad (1)$$

где Δ_{IP} – перемещение в основной системе по направлению силы X_1 от заданной нагрузки (сосредоточенная сила P);

δ_{II} – перемещение в основной системе по направлению силы X_1, вызванное действием силы $\overline{X_1} = 1$.

Построив грузовую и единичную эпюры моментов и применив правило Верещагина, получим:

$$\Delta_{IP} = \frac{Pn}{2E}\left(\frac{tg\alpha \ell_p^{cp}}{F_p h} + \frac{Sin\alpha}{F_c} + \frac{\ell \ell_p^{cp}}{4F_p} + \frac{lh}{3Cos\alpha F_c}\right);$$

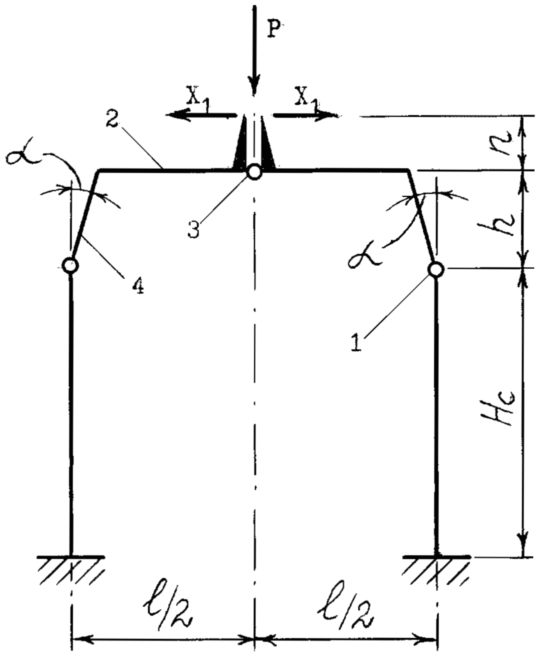

Рисунок. Рама с приподнятыми опорными шарнирами, преднапряженная постоянным усилием.

$$\delta_{II} = \frac{n^2}{E}\left(\frac{2Sin^2\alpha}{F_c Cos\alpha h} + \frac{\ell_p^{cp}}{F_p h^2} + \frac{\ell_p^{cp}}{F_p} + \frac{2h}{3Cos\alpha F_c}\right),$$

где ℓ_p^{cp} – средняя в пределах изменения h длина ригеля;

F_p, F_c – площади поперечного сечения ригеля и стоек.

При h = 0 $X_1 = 0$. При $h = \infty$ сила X_1 тоже равна нулю. Второй случай не является очевидным. Равенство нулю силы X_1 при $h = \infty$ становится ясным после применения правила Лопиталя. Согласно теореме Ролля абсолютная величина функции /1/ имеет максимум, при котором h оптимальна /$h_{оп}$/. Находится $h_{оп}$ из уравнения, получаемого приравниванием производной от функции /1/ по аргументу h нулю:

$$(6\, Sin^2\alpha \frac{F_p}{F_c} h + 3\, \ell_p^{cp} Cos\,\alpha + 3\, \ell_p^{cp} Cos\,\alpha\, h^2 + 2\, \frac{F_p}{F_c} h^3)\cdot$$

$$\cdot\left(12\,\mathrm{Sin}\alpha\,\mathrm{Cos}\,\alpha\frac{F_p}{F_c} + 3\,\ell\ell_p^{cp} + 4\,\ell\,\frac{F_p}{F_c}\right) -$$

$$-\left(6\,\mathrm{Sin}^2\alpha\,\frac{F_p}{F_c} + 6\,\ell_p^{cp}\,\mathrm{Cos}\,\alpha h + 6\,\frac{F_p}{F_c}\,h^2\right)\cdot$$

$$\cdot\left(12\,\mathrm{Sin}\alpha\,\ell_p^{cp} + 12\,\mathrm{Sin}\alpha\,\mathrm{Cos}\,\alpha\,\frac{F_p}{F_c}\,h +\right.$$

$$\left. + 3\,\ell\ell_p^{cp}\,h + 4\,\ell\,\frac{F_p}{F_c}\,h\right) = 0. \qquad (2)$$

Из уравнения (2) нетрудно найти оптимальные высоты $h_{оп}$ при различных отношениях $\frac{F_p}{F_c}$ и из серии рам определенного пролета выбрать ту, которая будет наиболее полно удовлетворять требованиям прочности, жесткости и экономичности.

$h_{оп}$ имеет небольшую высоту – меньше той, которая требуется в промышленных и гражданских зданиях. Здесь и приходит на помощь конструкция, приведенная на рисунке. Таким образом, у рамы, приведенной на рисунке, h – параметр геометрии, подвергавшийся оптимизации, а H_c – часть высоты рамы, которая диктуется технологическим процессом в здании.

Усилие преднапряжения вызывает в части стоек, расположенной ниже опорных шарниров, изгибающие моменты, противоположные тем, которые в них вызывает нагрузка. Это один из положительных эффектов преднапряжения.

$h_{оп}$ – такая высота, при которой от одной и той же нагрузки и при прочих равных условиях X_1 имеет максимальную величину. Максимальное же X_1 оказывает максимальное положительное воздействие на ригель и часть стоек, расположенную ниже опорных шарниров.

Отсутствие температурных и других вредных напряжений, возможность уменьшения потенциальной энергии основной системы за счет увеличения работы внутренних сил, возможность назначения оптимального параметра геометрии, не зависящего от нагрузки и степени преднапряжения, при одновременной возможности назначения любой высоты – вот преимущества предлагаемой рамы.

Изобретения, приведенные в статье, принадлежат автору (соавторов нет).

Список использованной литературы:

1. Киянов И.М. Системы строительной механики с постоянными усилиями в лишних связях: Информационный листок №25-99. – Оренбург, Оренбургский ЦНТИ, 1999.
2. Киянов И.М. Рама, преднапряженная постоянным усилием связью по а.с. №1686059, с приподнятыми опорными шарнирами: Информационный листок №1-98. – Оренбург, Оренбургский ЦНТИ, 1998.