

HC35

HC 35

Класс стали	Толщина
S245	0,7 мм
Предел текучести	Площадь
245 МПа	8,75 см ²
Момент сопротивления	Момент инерции
8,96 см ³	15,41 см ⁴

Поиск Close

В форме поиска выбранного профлиста (рисунок 2) произвести поиск по классу стали и по толщине профлиста.

Рисунок 2 – Поиск по таблице с эффективными характеристиками листа HC35

При нажатии кнопки «Поиск» на данной форме будут выписаны все необходимые характеристики для расчёта, а после закрытия формы все данные переносятся в предыдущую и записываются.

В главной форме после выбора нужного профлиста производится проверка несущей способности и эксплуатационной пригодности. Проанализировав выполненный расчёт, можно сделать вывод о применении выбранного профиля для конкретных нагрузок, а также о существующем запасе прочности и жесткости.

Применение рассмотренной программы показало удобство работы с ней при выполнении практических расчетов. Программа проверки несущей способности и эксплуатационной пригодности стального листового профиля достаточно проста в работе, однако наилучшие результаты достигаются при его использовании специалистами, знакомыми с основами проектирования стальных конструкций в соответствии с нормативными документами и существующими методиками.

Список цитированных источников

- ГОСТ 24045-94. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/3/3423/> – Дата доступа: 14.04.2018.
- Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов. ТКП EN 1993-1-3-2009. Введ. 01.01.2010 Минстройархитектуры, 2010. – 114 с.
- Жданов, Д. А. К определению эффективных сечений стальных бескаркасных арочных покрытий по Еврокоду / Д. А. Жданов, В. П. Уласевич // Строительная наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 22–26.
- Туснин, А. Р. Автоматизация расчетов несущей способности элементов стальных конструкций / А. Р. Туснин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012 – С. 33–35 с.

УДК 624.04:681

Каковко В. И.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Уласевич В. П.

РАСЧЕТ РАМ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PTSMATHCAD, ПОСТРОЕННЫЙ НА ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГИБКОГО СТЕРЖНЯ

Введение. В современных условиях при проектировании различных конструктивных схем зданий и сооружений наметилась тенденция использования стержневых систем типа «рамы» из стальных тонкостенных холодногнутых профилей (СТХП), обладающих повышенной деформативностью. Вычисление перемещений и внутренних сил в таких рамах требует применения методов, позволяющих предельно близко приблизить их расчетные модели к реальной их работе. Таким

образом, дальнейшее совершенствование моделей эффектов воздействий путем учета повышенной деформативности входящих в нее стержней из СТХП – задача актуальная как в теоретическом, так и в практическом плане.

Матричный метод перемещений (деформаций). Ниже излагаются основные положения алгоритма матричного метода расчета рам сложной геометрической структуры, построенного на методе перемещений (деформаций), изложенном в [1]. Его основная отличительная особенность состоит в возможности учета продольных деформаций. В этом случае *основная система метода перемещений* образуется путем наложения на все узлы рассчитываемой модели жестких связей, препятствующих как повороту, так и горизонтальному смещению концов ее стержней. В результате достигается основная цель – повысить точность классического метода перемещений путем учета продольных деформаций стержней.

Для стержневой системы порядка $k=m \cdot n$ (где m – число связей в узлах; n – число узлов системы) матричная система уравнений имеет вид

$$[K] \cdot \{\Delta\} = \{P_u\} + \{P_s\} + \{R\}, \quad (1)$$

где $[K]$ – матрица внешней жесткости свободной системы; $\{\Delta\}$ – вектор неизвестных перемещений ее узловых точек; $\{P_u\}$ – вектор внешних нагрузок, действующих в узлах рамы в глобальной системе; $\{P_s\}$ – вектор реакций начала и конца стержня, от воздействия распределенных по его длине поперечных нагрузок, температурных воздействий, предварительного натяжения с учетом граничных условий закрепления стержней в узлах, приложенных с обратным знаком к узлам системы; $\{R\}$ – вектор опорных реакций, на которые наложены опорные связи (если в узле нет связей, то соответствующие им величины равны нулю).

Простой анализ составляющих правой части матричной системы уравнений (1) указывает, что точность метода перемещений определена методикой вычисления составляющих вектора опорных реакций $\{P_s\}$ на стадии определения напряженно-деформированного состояния стержней рамы в основной системе.

Оценка деформированного состояния каждого гибкого стержня рамы в предложенной основной системе метода перемещений (рисунок 1) построена на аналитическом решении дифференциального уравнения [1] вида

$$\frac{dv^4}{dx^4} - \frac{H}{EI} \frac{d^2v}{dx^2} = -\frac{q(x)}{EI}, \quad (2)$$

где H, v – распор и функция прогибов от воздействия сплошной нагрузки $q(x)$;

EI – изгибная жесткость стержня;

M^a, M^b – изгибающие моменты в опорных связях основной системы.

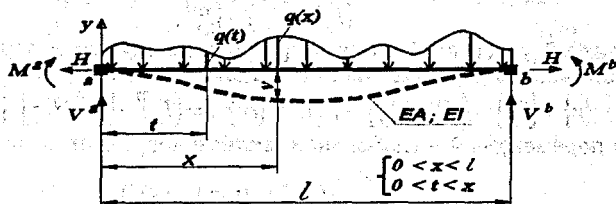


Рисунок 1 – Деформированное состояние прямолинейного гибкого стержня

Решение уравнения (1) в интегральных квадратурах при краевых условиях

$$v_{|x=0} = 0; \quad v_{|x=l} = 0; \quad v_{|x=0}'' = \frac{M^a}{EI}; \quad v_{|x=l}'' = \frac{M^b}{EI},$$

изложено в [1] относительно прогибов v и изгибающих моментов M_s , но содержащее в себе основные неизвестные – распор H и опорные моменты M^a, M^b

$$v = -\frac{1}{H} \left[R_b x - \int_0^x (x-t)q(t)dt + M^a - (M^a - M^b) \frac{x}{l} - M_s \right], \quad (3)$$

$$M_s = \frac{r_s}{a_1} sh(a_1 x) - \frac{1}{a_1} \int_0^x sh(a_1(x-t))q(t)dt + \frac{M^a}{sh(a_1 l)} sh(a_1(l-x)) + \frac{M^b}{sh(a_1 l)} sh(a_1 x), \quad (4)$$

$$\text{где } a_1 = \sqrt{\frac{H}{EI}}; \quad R_b = \frac{1}{l} \int_0^l (x-t)q(t)dt; \quad r_s = \frac{1}{sh(a_1 l)} \int_0^l sh(a_1(l-t))q(t)dt. \quad (5)$$

Основное достоинство функции прогибов (3), изгибающих моментов (4) а также ее производных в том, что они непрерывны и дифференцируемы. Это позволило в [1] на основании равенства полных линейных и угловых деформаций разработать систему трех разрешающих уравнений в замкнутом виде относительно входящих в них неизвестных – распора H и опорных моментов M^a, M^b в виде

$$\begin{cases} \frac{H \cdot l}{EA} + \left(\frac{H}{EA} - \frac{1}{2} \right) \frac{D(H)}{H^2} + \left[H \cdot (c_h^a - c_h^b) + \left(\alpha \cdot l \cdot \Delta t - \frac{P_n \cdot l}{EA} \right) \right] = 0; \\ \left\{ \begin{aligned} \left(\frac{th(al) - al}{H \cdot l \cdot th(al)} - c_\phi^a \right) \cdot M^a - \frac{sh(al) - al}{H \cdot l \cdot sh(al)} \cdot M^b &= -\frac{dv}{dx} \Big|_{x=0; M^a=0; M^b=0}; \\ \frac{sh(al) - al}{H \cdot l \cdot sh(al)} \cdot M^a - \left(\frac{th(al) - al}{H \cdot l \cdot th(al)} - c_\phi^b \right) \cdot M^b &= -\frac{dv}{dx} \Big|_{x=l; M^a=0; M^b=0} \end{aligned} \right. \end{cases}$$

$$\text{где } D(q, H) = \int_0^l \left(R_b - \int_0^x q(t)dt - \frac{1}{l} (M^a - M^b) - \frac{dM_s}{dx} \right) dx; \quad (6)$$

$c_h^a, c_h^b, c_\phi^a, c_\phi^b$ – коэффициенты линейной и угловой податливости левой и правой опор стержня соответственно; l – длина стержня; α – коэффициент линейного расширения стали; Δt – расчетный перепад температуры.

При известных значениях M^a и M^b вертикальные реакции V^a и V^b равны

$$V^a = R_b - \frac{1}{l} (M^a - M^b); \quad V^b = \int_0^l q(t)dt - V^a. \quad (7)$$

После расчета всех стержней в основной системе рамы по уравнениям (5), есть возможность с учетом (7) сформировать вектор $\{P_s^*\}$ в локальной системе координат. Тогда векторы $\{P_s\}$ вычислим в глобальной системе координат так

$$\{P_s\} = [T_\alpha]^T \cdot \{P_s^*\}. \quad (8)$$

а связь реакций узлов всей системы $\{r\}$ (2) с реакциями и перемещениями концов ее элементов $\{\delta\}$ может быть определены по формуле

$$\{r\} = [T_\alpha]^T \cdot \{r'\} = [T_\alpha]^T \cdot \{ [K'] \cdot \{\delta'\} \} = [T_\alpha]^T \cdot [K'] \cdot [T_\alpha] \cdot \{\delta\}. \quad (9)$$

Вектор перемещений в глобальной системе координат вычисляем по выражению

$$\{\Delta\} = [K^*]^{-1} \cdot \left(\{P_n^*\} + \{P_s^*\} \right). \quad (10)$$

Действительные реакции $\{r\}$ по концам каждого стержня рамы в местной системе координат рамы в свободной от связей системе рамы равны

$$\{r'\} = [K'] \cdot [T_\alpha] \cdot \{\Delta\} - \{P_s^*\}. \quad (11)$$

Искомые перемещения и изгибающие моменты вычисляем по (3) и (4) [1].

Компьютерная программа расчета рам в MathCAD. Выбирается основная система расчетной модели путем наложения требуемого количества свя-

зей. Вводят информацию о количестве узлов системы, количестве стержней системы, их жесткостях. Вводят координаты узлов, коэффициенты линейной и угловой податливости начала и конца каждого стержня, узловые и распределенные на стержнях вертикальные нагрузки. Далее начинается работа программы: исходные данные преобразуются к требуемому виду, определяются длины элементов и углы наклона каждого стержня по отношению к положительному направлению оси x , формируется вектор $\{FE_{geom}\}$, формируется и решается для каждого стержня с распределенной нагрузкой система нелинейных уравнений (5), позволяющая определить вектор опорных реакций $\{P_s\}$. Формируется матрица преобразований координат и диагональная матрица $\{E\}$, необходимая для вычеркивания столбцов и строк из матрицы жесткости всей системы, формируется вектор узловых нагрузок $\{P_u\}$, и вектор опорных реакций стержней $\{P_s\}$ по (8), которые в сумме дают вектор нагрузок $\{P\}$. Затем формируется матрица жесткости всей системы K_0 . Алгоритм формирования матрицы жесткости всей системы показан на рисунке 2. Сначала формируется матрица жесткостей $\{K_0\}$ без учета связей в узлах системы. Затем, путем умножения матрицы $\{K_0\}$ на диагональную матрицу $\{E\}$, формируется вектор $\{K_{se}\}$, содержащий окончательную матрицу жесткости всей системы $\{T\}$ и две вспомогательные матрицы $\{S\}$ и $\{Q\}$, необходимые для работы вычислительного ядра программы. Далее решается система уравнений и находятся перемещения узлов и усилия в стержнях системы, и формируются результаты в графическом виде.

```

K0 := for s ∈ 1..(cols(XT) - 3)
  for n ∈ 1..(cols(XT) - 3)
    Ts,n ← 0
  for q ∈ 1..cols(FE)
    EI ← RGD11,q
    EA ← RGD21,q
    l ← FEgeom,1,q
    α ← FEgeom,2,q
    Kel ← KE(EA, EI, α, l), FEtyp,1,q
    i ← FE1,q
    j ← FE2,q
    f(n) ← 3 · (n - 1)
    (a b c) ← [(f(n) - 1) (f(n) - 2) (f(n) - 3)]
    (x y z) ← [(f(j) - 1) (f(j) - 2) (f(j) - 3)]
    for k ∈ a, b, c, x, y, z
      for t ∈ a, b, c, x, y, z
        p ← (k - f(i)) if k = av k = bv k = c
        p ← (k - f(j) - 3) if k = xv k = yv k = z otherwise
        m ← (t - f(i)) if t = av t = bv t = c
        m ← (t - f(j) - 3) if t = xv t = yv t = z otherwise
        Tk,t ← Tk,t - Kelp,m
  T

```

```

Kse := q ← 1
s ← 1
for i ∈ 1..cols(Ej)
  if Ei,i = 1
    Qq,i ← 1
    q ← q + 1
for i ∈ 1..rows(Q)
  Si,i ← PqQi,i,i
  for j ∈ 1..rows(Q)
    Ti,j ← K0Qi,i,j · Qj,i
  T
  S
  Q

```

Рисунок 2 – Алгоритм формирования глобальной матрицы жесткостей

По разработанной программе в статье представлены две расчетные модели рам и показаны результаты расчета рам для стержней, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой. Результаты расчета изложены в таблицах 1 и 2.

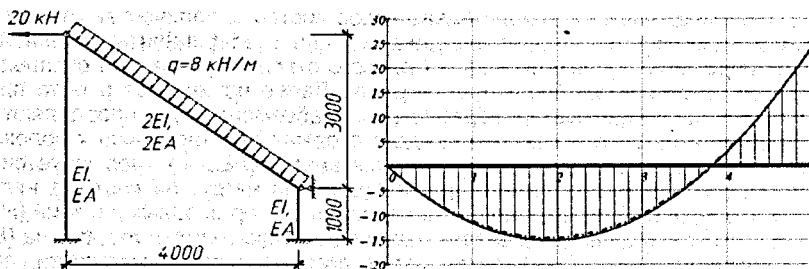


Рисунок 3 – Расчетная схема рамы и эпюры изгибающих моментов в стержне, нагруженном поперечной распределенной нагрузкой [2]

Таблица 1 – Результаты расчета рамы [2], представленной на рисунке 3

Условия деформирования стержня рамы с учетом продольных деформаций	M_{r1} , кНм	M_{r2} , кНм	M_{r3} , кНм	M_{r4} , кНм	M_{r5} , кНм
Расчет выполнен по МКЭ, [2, стр. 52] при $EI=1000$ кНм ² , $EA=10000$ кН	11.288	14.575	9.863	-2.849	-23.562
Расчет по разработанной программе при $EI=1000$ кНм ² , $EA=10000$ кН	11.648	15.105	10.308	-2.652	-23.566

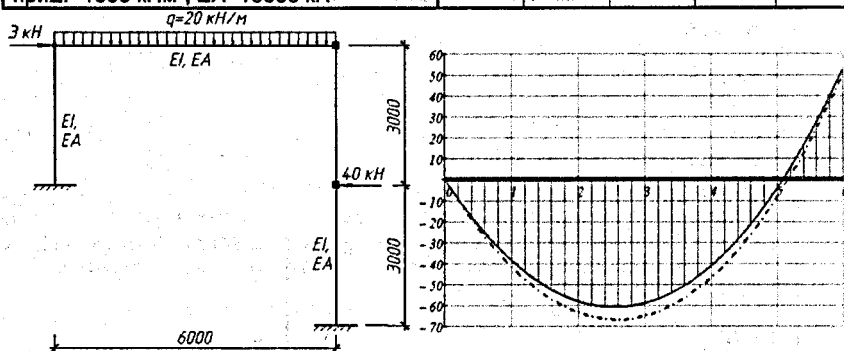


Рисунок 4 – Расчетная схема рамы и эпюры изгибающих моментов в стержне, нагруженном поперечной распределенной нагрузкой [3, стр. 368]

Таблица 2 – Результаты расчета (рисунок 4) по разработанной программе

Условия деформирования стержня рамы	M_{r1} , кНм	M_{r2} , кНм	M_{r3} , кНм	M_{r4} , кНм	M_{r5} , кНм	M_{r6} , кНм
Без учета продольных деформаций при $EA=10000$ кН	41.717	63.435	65.152	46.87	8.587	-49.695
С учетом продольных деформаций при $EA=10000$ кН	38.680	58.225	59.079	41.262	4.361	-52.477

Заключение. Компьютерная программа, разработанная средствами программирования математической среды MathCAD, содержит три функционально увязанные между собой части: блок ввода исходной информации; вычислительное ядро программы; блок обработки результатов расчета.

Наибольшую ценность компьютерной программы представляет вычислительное ядро, в котором реализован алгоритм вычислительных и логических процедур, разработанных на основе теоретических исследований, изложенных в статье [1]. Достоинство программы обосновано системой нелинейных разре-

зающих уравнений (5), которая позволила не только учесть влияние продольных деформаций стержней рамы, но и выполнить их расчет в основной системе по деформированной схеме, а после вычисления опорных реакций в узлах рамы, позволила с аналитической точностью вычислять перемещения и внутренние усилия в стержнях рамы. Сказанное подтверждают результаты расчета рамы (рисунок 3), изложенные в таблице 1. Кроме того, открывается возможность строить алгоритм и программу расчета рам по деформационной схеме.

Список цитируемых источников

1. Уласевич, В.П. Статический расчет гибких стержневых систем сложной геометрической структуры методом деформаций / В.П. Уласевич // Вестник БрГТУ. – 2018. – № 1(109): Строительство и архитектура. – С. 73–77.

2. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем: учебное пособие / В.И. Игнатюк. – Брест: БрГТУ, 2004. – 172 с.

3. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие для вузов / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Минск: БНТУ, 2007. – 821 с.

УДК 624.155.002.

Конопацкий М. В.

*Научные руководители: к. т. н., доцент, Чернюк В. П.,
ст. преподаватель Шляхова Е. И.*

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ ШПУРОВ И СКВАЖИН В ГРУНТАХ ОСНОВАНИЙ

Целью данной работы является разработка новых, эффективных и производительных устройств для бурения шпуров и скважин в грунтах основания.

Из более чем 100 тысяч известных профессий, бурение – одна из древнейших, почетных и престижных специальностей, насчитывающая более 1000 лет, известная со времен Древнего Египта и Рима через средневековье и до наших дней. Бурение в наше время известно на суше, под водой, во льдах Арктики и Антарктиды, на Земле, Луне и других планетах.

В прошлом с бурением были связаны имена М. В. Ломоносова, Д. И. Менделеева, С. М. Кирова и др.

Существует значительное количество видов буровых работ и способов бурения в различных областях народного хозяйства и отраслях техники, а еще больше имеется разнообразных ручных и механизированных инструментов, машин и механизмов, станков и установок, предназначенных для бурения, от весьма простых и примитивных до самых сложных [1].

В БрГТУ также разработано несколько устройств и приспособлений для бурения шпуров и скважин в грунте (от рыхлых и слабых до прочных и скальных). Это патенты Республики Беларусь на изобретения № 9161, № 14103 и полезные модели № 1723, № 7763 и др. [2].

Оригинальным по простоте изготовления и эффективным по производительности бурения является техническое решение, предложенное сотрудниками кафедры ТСП университета и защищенное патентом Республики Беларусь на изобретение № 21333 «Земляной бур с накопителем» [3]. В настоящее время изготовлен и испытан опытный образец устройства, положительно зарекомендовавший себя в практике бурения.

Сущность данной разработки поясняется двумя рисунками, где на рис. 1 изображен общий вид бура в аксонометрии. На рисунке 2 показан общий вид изготовленного в натуральную величину изогнутого и закрученного на 360° (или один оборот) земляного бура с накопителем без ворота для вращения.