УДК 624.04

К расчету сжатого стержня пространственной фермы по *СП 53-102-2004.*

Б.А. Пушкин, к.т.н.

Введение.

Согласно *СП 53-102-2004 (п.5.2.4) «Стальные конструкции следует, как правило, рассчитывать, как единые пространственные системы с учетом факторов, определяющих… особенности взаимодействия элементов конструкций между собой…»*, однако на практике не всегда удается следовать этой рекомендации. В частности, до сих пор недостаточно разработан вопрос определения несущей способности сжатого стержня в пространственном каркасе.

Если**,** следуя *п.8.1.3* ***СП,*** определять несущую способность сжатого стержня через его расчетную длину, то задача сводится к отысканию коэффициента расчетной длины **μ.** Единственное указание ***СП*** по этому поводу, отвечающее содержанию ***п.5.2.4,*** состоит в том, что «*Расчетные длины сжатых элементов пространственных решетчатых конструкций допускается определять из расчета с использованием сертифицированных вычислительных комплексов…*» (*п.11.2.3 СП).* Однако, способы определения **μ,** используемые в известных комплексах, далеки от совершенства.

Так, например, в СКАД используется соотношение

$$\mu = (N_э / N_{кр})\hat{}0.5, \qquad (1)$$

где $N_{кр}$ – расчетное значение усилия в стержне, определяемое в момент потери общей устойчивость стержневой системы;

$N_э = \pi^2 EI / L^2$ - Эйлерова критическая нагрузка.

Здесь значения **μ** сильно завышаются и, в особенности, в мало нагруженных элементах, так как при приближении $N_{кр}$ к нулю **μ** стремится к бесконечности. В других популярных ПК, таких, как ЛИРА, реализованы указания *СП* по назначению **μ** в тех или иных частных случаях, не относящихся, непосредственно, к пространственным конструкциям.

Упомянутые, как и другие известные методы расчета сжатого стержня в пространственном каркасе имеют один общий недостаток - они построены, исходя из плоскостной схемы продольного изгиба, и традиционно ориентированы на плоскостные расчетные схемы. В лучшем случае, предусматривается проверка устойчивости сжатого стержня « в плоскости» и «из плоскости».

Неадекватность «плоскостного» подхода наиболее ярко проявляется при проектировании структурных конструкций типа «Кисловодск» или «МАрхИ», так как к ним понятия «в плоскости - из плоскости» неприменимы в силу особенностей геометрической схемы. Кроме того, их трубчатые стержни кольцевого сечения не имеют заведомо предпочтительных плоскостей продольного изгиба.

В отношении структур вполне адекватны допущения и упрощения, обычно вводимые на стадии статического расчета пространственных ферм: о сферо-шарнирных узловых сопряжениях, о центральном сжатии/растяжении стержней в пределах упругой работы материала и т.д. С другой стороны, исследованиями ЦНИИЛМК и ЦНИИСК экспериментально подтверждено, что несущая способность сжатого стержня структуры сильно зависит от фактической изгибной жесткости узловых сопряжений и жесткости стержней, сопряженных с ним по концам. Влияние последних, как правило, неодинаково по концам стержня, что выражается, в частности, в различной ориентации главных плоскостей защемления.

Таким образом, сжатый стержень структурного каркаса представляет собой наиболее характерный и удобный объект для исследования неплоской формы продольного изгиба. Поскольку узловые сопряжения стержней в структуре не способны передавать существенные крутящие моменты, на данной стадии исследования **крутильной жесткостью стержней будем пренебрегать.**

Цели и задачи исследования.

Исследуется модель структурного каркаса, построенная в Автокаде, где для каждого стержня заданы:

- координаты концов стержня в МСК - $(xyz)_1$, $(xyz)_2$;
- значение усилия при расчетном сочетании нагрузок - **N**;
- расчетное значение погонной жесткости стержня - **r.**

В модели концы стержней сопряжены в узлах абсолютно жестко, что, вполне соответствует реальным характеристикам структурных конструкций нового типа, осваиваемого промышленностью [1] .

Цели исследования состоят в следующем:

1) построить вычислительный алгоритм, позволяющий определить расчетную несущую способность сжатого стержня каркаса (по *п.8.1.3* ***СП***) без допущения (явного или неявного) о плоской форме продольного изгиба; при этом допустимы какие-то упрощения, но не в ущерб безопасности;

2) реализовать алгоритм в подпрограмме, способной работать в составе какого-либо из ныне применяемых ПК, например, СТАРК, ЛИРА и т.п..

В СП задача о несущей способности сжатого стержня сводится к определению коэффициента расчетной длины **μ.** Здесь используется способ вычисления **μ**, намеченный в *Приложении «О» СП (Таблицы О.2 и О.3).* По этому образцу для очередного ***i***-го стержня модели μ_i отыскивается следующим образом:

1) ***i***-й стержень выделяется из системы и снабжается по концам упругими закреплениями с неизвестными жесткостными параметрами $\mathbf{K}_i$**,** качественно имитирующими влияние смежных (отброшенных) элементов каркаса (расчетная схема элемента в ***Табл. О.2***);

2) определяются численные значения параметров $\mathbf{K}_i$ с помощью **ранее установленных зависимостей** $\mathbf{K}_i$ от характеристик тех элементов системы, которые остаются после извлечения из нее ***i***-го стержня (формулы **К** в ***Табл. О.3***);

3) значение μ_i вычисляется с помощью **ранее установленной зависимости μ** от собственных характеристик стержня $(\mathbf{EI}_i/\mathbf{L}_i)$ и значений $\mathbf{K}_i$ (выражения **μ** в ***Табл. О.2***).

В СП приведены «ранее установленные зависимости» для плоскостных систем.
Установление подобных зависимостей для пространственного, в данном случае, структурного каркаса, продемонстрировано ниже путем решения двух задач.

<u>Задача 1:</u> **о вычислении характеристик эквивалентных упругих связей по концам стержня, выделенного из каркаса.**

<u>Положим:</u> **а**) исследуемый стержень взаимодействует с системой в целом через свои торцевые плоскости (т.е. плоскости нормальные к его оси и проходящие через центры узлов 1_i и 2_i, соединяемых ***i***-ым стержнем;
б) влияние на работу ***i***-го стержня оказывают только стержни системы, непосредственно сопряженные с его торцами, т.е. каждый влияющий ***ij*** стержень, жестко связанный с торцевой плоскостью ***i***-го стержня одним своим концом, на противоположном конце имеет шарнирное закрепление, которое препятствует поперечным и не препятствует продольным перемещениям относительно его оси.

<u>Тогда,</u> удалив ***i***-ый стержень, оставим на месте его торцевые плоскости и будем выяснять, насколько ***ij*** стержни препятствуют угловым перемещениям этих плоскостей. Для этого в очередной торцевой плоскости из центра узла построим вектор **τ** единичного поворота данной торцевой плоскости, а затем будем вращать этот вектор в торцевой плоскости вокруг оси стержня ***i***. Каждому положению вектора **τ** будет соответствовать определенное значение реактивного момента со стороны влияющих стержней. Отношение этого момента к погонной жесткости ***i***-го стержня имеет тот же физический смысл, что коэффициент защемления **К** в плоскостной модели, но в данном случае $\mathbf{K} = \mathbf{K}(\psi)$ – функция угла поворота **τ** относительно произвольно заданного нулевого положения ψ_0.

<u>Теперь, Задача 1 ставится следующим образом</u>: для каждого конца ***i***-го стержня построить функции $\mathbf{K}(\psi)$, отсчитывая ψ от общей радиальной полуплоскости ψ_0.

<u>Решение</u> строится в виде

$$\mathbf{K}\,(\psi)_{i\,(1,2)} = \Sigma\, \mathbf{k}_{ij}\,(\mathbf{r}_j,\, \mathbf{N}_j\,,\, \varphi_j(\psi)), \qquad (2)$$

где $\mathbf{k}_{ij} = \mathbf{m}_{ij} \,/\, \mathbf{r}_i$;

$\mathbf{r}_i$ – погонная жесткость ***i***-го стержня;

$\mathbf{r}_j$ – погонная жесткость ***i***-го стержня;

$\mathbf{m}_j$ – момент, который требуется для того, чтобы, преодолевая сопротивление ***j***- го стержня, повернуть торцевую плоскость по **τ**;

$\mathbf{N}_j$ - продольное усилие растяжения или сжатия;

$\varphi_j(\psi)$ - угол между осью ***j*** и **τ.**

Суммируются члены от $j=1$ до $j = n_{(1,2)}$, где n_1, n_2 –количество влияющих стержней, связанных с узлами 1_i и 2_i.

Используя известные соотношения [2], при заданном значении ψ_k и соответствующем $\varphi_{jk}(\psi_k)$, можно записать

$$\mathbf{k}_{jk} = (\mathbf{r}_j\,/\,\mathbf{r}_i) \times \mathbf{c}(\pm\nu_j) \times \sin^2\varphi_{jk}, \qquad (3)$$

где: $\mathbf{c}(\pm\nu_j)$ - коэффициент, учитывающий влияние на изгибную жесткость ***j*** -го стержня продольного усилия $\pm N_j$ с учетом знака;

$\nu_j = \pi\,(\mathbf{N}_j/\mathbf{N}_{эj})$^0.5 $= \mathbf{L}_j\,(\mathbf{N}/\mathbf{EI})_j$^0.5;

в частности, для стержня кольцевого сечения с толщиной стенки **s** и срединным диаметром $D = \mathbf{D} - \mathbf{s}$

$\nu_j = 2\,(\mathbf{L}/D)_j \times (2\,\mathbf{N}/\pi\mathbf{E}D\mathbf{s})_j$^0.5 .

При положительном значении $\mathbf{N}_j$ (растяжение) $\mathbf{c}(+\nu_j) = \nu_j^2 \times \mathrm{th}\nu_j/(\mathrm{th}\nu_j - \nu_j)$;

при отрицательном значении $\mathbf{N}_j$ (сжатие) $\mathbf{c}(-\nu_j) = \nu_j^2 \times \mathrm{tg}\nu_j/(\mathrm{tg}\nu_j - \nu_j)$;

при $\mathbf{N}_j=0$, $\mathbf{c}(+\nu_j) = \mathbf{c}(-\nu_j) = 3$.

В (3) остается неизвестной только зависимость $\varphi_{jk} = \varphi_j(\psi_k)$. Ее можно построить чисто аналитически, но результат оказывается слишком громоздким и неудобным для использования.

Сомножитель $\sin^2\varphi_{jk}$ вычисляется для каждого очередного *j*-го стержня в каждом очередном узле *i*- го стержня при любом заданном ψ_k с использованием имеющихся графо-аналитических ресурсов Автокад.

В МСК Автокад (в которой моделируется каркас) $\sin^2\varphi_{jk}(\psi_k)$ определяется следующим образом:

1. Из очередного узла **i** (*i*- го стержня), положение которого задано вектором $\mathrm{V}_\mathbf{i} = [x,y,z]_\mathbf{i}$, проводится горизонтальный отрезок прямой $\mathbf{i} - \mathbf{t}_0$, нормальный к оси $(1\text{-}2)_i$, имеющий заданную длину $\boldsymbol{a}$; положение отрезка $\mathbf{i} - \mathbf{t}_0$ принимается за начало отсчета угла полярного угла ψ (ψ=0), определяющего направление $\boldsymbol{\tau}$; положение $\mathbf{t}_0$ конца отрезка $\boldsymbol{a}$ задано вектором $\mathrm{V}_{\mathbf{t}0} = [x,y,z]_{\mathbf{t}0}$.
2. Для очередного стержня ***j***, соединенного с узлом **i**, и имеющего на противоположном конце узел **j** ($\mathrm{V}_\mathbf{j} = [x,y,z]_\mathbf{j}$), отыскивается его длина $\boldsymbol{b} = \mathrm{V}_\mathbf{j} - \mathrm{V}_\mathbf{i}$.
3. Определяется расстояние $(\mathbf{j} - \mathbf{t}_0)$, как $\boldsymbol{c}_0 = \mathrm{V}_\mathbf{j} - \mathrm{V}_{\mathbf{t}0}$, соответствующее ψ**=0.**
4. Из треугольника со сторонами $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}_0$ вычисляется значение $\sin^2\varphi_{j0}$, где φ_{j0} - угол при вершине $\mathbf{i}$, противолежащей стороне $\boldsymbol{c}_0$.
5. Теперь повернем отрезок $\boldsymbol{a}$ вокруг оси *i*- го стержня на угол ψ_k. При этом его конец переместится из нулевого в *k* –ое положение $\mathrm{V}_{\mathbf{t}k} = [x,y,z]_{\mathbf{t}k}$, а расстояние $(\mathbf{j} - \mathbf{t}_k)$ будет равно $\boldsymbol{c}_k = \mathrm{V}_\mathbf{j} - \mathrm{V}_{\mathbf{t}k}$.

Из треугольника со сторонами $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}_k$ отыскивается *k* –ое значение $\sin^2\varphi_{jk}$.

В Автокад с помощью стандартных команд выполняются все перечисленные операции, кроме операции вычисления $\sin^2\varphi_{jk}$ по известным сторонам треугольника $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}_k$. Однако, там же в Автокаде *Wisual Basik* позволяет воспользоваться известным соотношением

$$\sin^2\varphi_k = 4p\,(p-a)(p-b)(p-c_k)/(ab)^2,$$

где: $p = a + b + c_k$;

φ_k — угол, противолежащий стороне c_k.

Практическое использование (2) и (3) подтвердило, что функция $\mathbf{K}(\psi)$ имеет вид

$$\mathbf{K}(\psi) = \boldsymbol{k}\,[\sin^2(\psi - \boldsymbol{\psi}) + \boldsymbol{n}\cos^2(\psi - \boldsymbol{\psi})], \quad \text{где:} \tag{4}$$

$\boldsymbol{k}$ — минимальное (главное) значение $\mathbf{K}(\psi)$;

$\boldsymbol{\psi}$ — значение ψ (главное), при котором $\mathbf{K} = \boldsymbol{k}$;

$\boldsymbol{n}$ — отношение максимального значения $\mathbf{K}(\psi) = \boldsymbol{K}$ к минимальному $\mathbf{K}(\psi) = \boldsymbol{k}$.

Практически важно, что (3) одинаково хорошо описывает и свойства упрощенной эквивалентной модели стержня, в которой группы *j* – стержней заменены на концах *i*-го стержня парами взаимно ортогональных плоскостных связей с безразмерными жесткостями ***k*** и ***nk***.

Макетный вариант подпрограммы **«К»** позволяет вычислить характеристики эквивалентных упругих связей на конце стержня следующим образом:

- путем минимизации по ψ суммы (2) слагаемых (3) определяются $\boldsymbol{k}$ и $\boldsymbol{\psi}$;
- вычислением суммы (2) при $\psi = \boldsymbol{\psi} + \pi/2$ определяется максимальное значение $\mathbf{K} = \boldsymbol{K}$ и $\boldsymbol{n} = \boldsymbol{K}/\boldsymbol{k}$.

Результаты работы подпрограммы «**К**» представляются в виде таблицы, в которой для каждого ***i***- го стержня каркаса приведены:

$\boldsymbol{k}_{i1}, \boldsymbol{k}_{i2}$ – минимальные значения К(ψ) узлах $1i$ и $2i$;

$\boldsymbol{n}_{i1}, \boldsymbol{n}_{i2}$ – отношения $\boldsymbol{K} / \boldsymbol{k}$ в узлах $1i$ и $2i$; (5)

$\boldsymbol{\delta}_i = |\boldsymbol{\psi}_1 - \boldsymbol{\psi}_2|_i$ - модуль разности углов $\boldsymbol{\psi}$ в узлах $1i$ и $2i$.

<u>Задача 2:</u> об определении расчетной несущей способности стержня по *СП* при заданных значениях характеристик «К»: $(k, n)_1$, $(k, n)_2$, δ.

Пока не вполне ясен физический смысл величины **μ** в пространственной модели стержня. Тем не менее, она может быть определена с помощью (1), если найти $\mathbf{N}_{кр}$, соответствующее расчетному состоянию конструкции. После этого расчетное значение несущей способности стержня может быть найдено по *п.8.1.3 СП.*

<u>Таким образом, Задача 2 сводится к следующей задаче:</u>
<u>построена модель</u> центрально сжатого упругого прямолинейного стержня кольцевого (или иного центрально-симметричного) сечения, который имеет на каждом конце шарнирно-подвижную сферическую опору, а также две плоскостные взаимно ортогональные упругие связи, каждая из которых препятствует повороту торца стержня в своей плоскости;
<u>заданы значения</u> безразмерных жесткостных характеристик связей и угла, определяющего разницу их расположения по концам (5);
<u>определить</u> значение критического сжимающего усилия $\mathbf{N}_{кр}$.

<u>Решение</u> можно получить путем деформационного расчета эквивалентной модели стержня, например, по методу «перемещений» с двумя парами неизвестных углов поворота торцов 1 и 2 в плоскостях упругих связей:

γ_1 - поворот торца 1 в плоскости $\psi_1 + \pi/2$;

γ_2 - поворот торца 1 в плоскости ψ_1 ;

γ_3 - поворот торца 2 в плоскости $\psi_2 + \pi/2$;

γ_4 - поворот торца 2 в плоскости ψ_2 .

Положение плоскостей неизвестных поворотов γ_1 и γ_2 различается на $\boldsymbol{\delta} = |\psi_1 - \psi_2|$.

Критическое значение $\mathbf{N} = \mathbf{N}_{кр}$ отыскивается из уравнения устойчивости эквивалентной модели стержня

$$\Delta = 0,$$

где Δ – определитель системы канонических уравнений «метода перемещений». Определитель представляет собой матрицу коэффициентов при неизвестных γ, уравнение устойчивости имеет вид

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha + \boldsymbol{k} & 0 & \beta\cos\boldsymbol{\delta} & \beta\sin\boldsymbol{\delta} \\ 0 & \alpha + \boldsymbol{n}_1\boldsymbol{k}_1 & -\beta\sin\boldsymbol{\delta} & \beta\cos\boldsymbol{\delta} \\ \beta\cos\boldsymbol{\delta} & -\beta\sin\boldsymbol{\delta} & \alpha + \boldsymbol{k}_2 & 0 \\ \beta\sin\boldsymbol{\delta} & \beta\cos\boldsymbol{\delta} & 0 & \alpha + \boldsymbol{n}_2\boldsymbol{k}_2 \end{vmatrix} = 0, \qquad (6)$$

где: $\alpha = v(\mathrm{tg}v - v) / \mathrm{tg}v[2\,\mathrm{tg}(v/2) - v]$; $\beta = v(v - \sin v)/\sin v[2\,\mathrm{tg}(v/2) - v]$;

при $v = 0$: $\alpha = 4$; $\beta = 2$.

Аналогичное уравнение можно получить, используя «метод сил»

$$\Delta^* = \begin{vmatrix} \alpha^* + 1/\boldsymbol{k}_1 & 0 & \beta^*\cos\boldsymbol{\delta} & \beta^*\sin\boldsymbol{\delta} \\ 0 & \alpha^* + 1/(\boldsymbol{n}_1\boldsymbol{k}_1) & -\beta^*\sin\boldsymbol{\delta} & \beta^*\cos\boldsymbol{\delta} \\ \beta^*\cos\boldsymbol{\delta} & -\beta^*\sin\boldsymbol{\delta} & \alpha^* + 1/\boldsymbol{k}_2 & 0 \\ \beta^*\sin\boldsymbol{\delta} & \beta^*\cos\boldsymbol{\delta} & 0 & \alpha^* + 1/(\boldsymbol{n}_2\boldsymbol{k}_2) \end{vmatrix} = 0, \qquad (6^*)$$

где: $\alpha^* =$ $(\mathrm{tg}\nu - \nu) / \nu^2(\mathrm{tg}\nu)$; $\beta^* = (\nu - \sin\nu)/ \nu^2(\sin\nu)$;
при $\nu = 0$: $\alpha^* = 1/3$; $\beta^* = 1/6$.

Подставив в (7) или (7*) значения $(\boldsymbol{k_1, k_2, n_1, n_2, \delta})_i$, вычисленные для $\boldsymbol{i}$- го стержня в подпрограмме «**К**», находим корень уравнения устойчивости $\nu_{i кр}$ и соотвествующее значение

$$\boldsymbol{\mu}_i = \pi / \nu_{i кр} . \qquad (7)$$

Все перечисленные операции выполняются подпрограммой «**μ**», которая сопряжена с «**К**» и результаты их работы выдаются в виде вектора значений **μ** для сжатых стержней исследуемой модели каркаса.

В.А. Еремеев, профессор мехмата ЮФУ, получил решение Задачи 2 из уравнений продольного изгиба

$$EI\, w_x^{(4)} + N w_x'' = 0; \quad EI\, w_y^{(4)} + N w_y'' = 0, \qquad (8)$$

где w_x и w_y - прогибы стержня в направлении *x* и *y* соответственно.

Если ось z направить вдоль оси стержня, а оси x и y в плоскостях главных жесткостей защемления в узле 1, то краевые условия имеют вид:

в узле 1 $\quad l\, w_x'' + k_1 w_x' = 0$; $\qquad l\, w_y'' + n_1 k_1 w_y' = 0$;

в узле 2 $\quad l\, w_x'' + C_{11} w_x' + C_{12} w_y' = 0; \qquad l\, w_y'' + C_{12} w_x' + C_{22} w_y' = 0, \qquad (9)$

где: $C_{11} = k_2\,(\cos^2\delta + n_2 \sin^2)$; $C_{22} = k_2\,(\sin^2\delta + n_2 \cos^2\delta)$;
$C_{12} = k_2 (1 - n_2) \cos\delta \sin\delta$;
l – длина стержня.

Решение уравнений (9) имеет вид

$$w_x = A_1(\cos\nu\zeta - 1) + B_1 \sin\nu\zeta - [B_1 \sin\nu + A_1(\cos\nu - 1)]\zeta,$$
$$w_y = A_2(\cos\nu\zeta - 1) + B_2 \sin\nu\zeta - [B_2 \sin\nu + A_2(\cos\nu - 1)]\zeta, \qquad (10)$$

где: $\zeta = z/l$;
$A_1, \; A_2, \; B_1, \; B_2$ - постоянные интегрирования.

Они определяются из краевых условий (9), которые образуют однородную систему линейных алгебраических уравнений относительно $A_1, \; A_2, \; B_1, \; B_2$. Условием существования ненулевых решений служит обращение в нуль определителя матрицы этой системы уравнений, которое достигается при критических значениях $\nu = \nu_{кр}$ и соответствующих значениях $N = N_{кр}$. Эти уравнения чрезвычайно громоздки и здесь не приводится.

Значения $\nu_{кр}$, полученные из уравнений (6) и (6*), в точности совпадают со значениями, полученными из решения (10), но последнее гораздо содержательнее. Оно дает возможность построить и исследовать пространственную форму потери устойчивости стержня. Вероятно, это позволит как-то выяснить физический смысл понятия «расчетная длина» применительно к неплоской форме продольного изгиба стержня.

Заключение.

1. Построен алгоритм, позволяющий определить положение и жесткость эквивалентных упругих связей по концам сжатого стержня, имитирующих влияние сопряженных с ним элементов пространственной модели фермы, построенной в Автокад. Эквивалентные связи располагаются в радиальных плоскостях главных (минимальных и максимальных) защемлений по концам стержня. Положение этих плоскостей по концам стержня в общем случае различно, чем обусловлена неплоская форма продольного изгиба стержня.

2. Решена задача об определении критической нагрузки и расчетной длины сжатого стержня при заданных характеристиках эквивалентных упругих защемлений , соответствующих расчетному значению нагрузки на конструкцию.

3. На базе полученных решений построены макетные подпрограммы, работающие под Автокад. После апробации и соответствующей адаптации они могут быть включены в существующие программные комплексы и использованы в проектировании пространственных ферм для проверки несущей способности сжатых стержней по *п.8.1.3 СП.*

4. Решения получены при следующих ограничениях:

а) стержни имеют кольцевое сечение (или иное с неизменным радиусом инерции);
б) торцевые плоскости стержней жестко соединены в узлах конструкции;
в) стержни не обладают крутильной жесткостью.
С их учетом предлагаемые подпрограммы могут быть непосредственно использованы при проектировании структурных конструкций с трубчатыми стержнями большой гибкости ($\lambda \geq 120$). Как показали примеры анализа реальных проектов, расчетная несущая способность таких стержней может быть увеличена в 1,5-2 раза, в том числе, на 20-30% - за счет использования неплоскостной модели стержня.

5. Область применения полученных результатов может быть значительно расширена без принципиальных затруднений снятием ограничений а) и б). В частности, конечная податливость сопряжения стержней в узлах может быть учтена при вычислении слагаемых (2), а также введением соответствующих слагаемых к членам определителя в (7*). Правда, потребуется определить эти слагаемые расчетом и/или , возможно, экспериментальным путем для конкретных типов конструкций, в частности, структурных.
Устранить ограничение в) сложнее, но влияние крутильной жесткости стержней на жесткость защемлений сравнительно невелико (до 25%) и, как правило, ею можно пренебречь в пользу безопасности.

Литература.
1. Патент на полезную модель №61311. Стержневой элемент сборного каркаса. 2006.
2. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Москва. 1961.

Ключевые слова: ферма; расчет; нормы; софт; стержень сжатый; продольный изгиб неплоский.

Аннотация.

В СП 53-102-2004 несущая способность сжатого стержня пространственного каркаса определяется без учета реальных условий сопряжения стержня со смежными элементами, которые влияют на его расчетную длину. Правда, по п.11.2.3 СП «*Расчетные длины сжатых элементов пространственных решетчатых конструкций допускается определять из расчета с использованием сертифицированных вычислительных комплексов…»,* но способы, предлагаемые в известных комплексах (например, SKAD) далеки от совершенства.
Предлагается алгоритм определения расчетной длины стержня, предназначенный для использования в составе какого-либо из существующих ВК (ПК). Алгоритм построен по принципу, который использован в Приложении «О» СП и реализован в подпрограммах, работающих под Autocad. Он приложим к расчету пространственных ферм со стержнями кольцевого (и т.п.) сечения, например, структурных конструкций «МархИ» и «Кисловодск». Намечены пути к расширению области применения алгоритма.

Annotation.

Bearing capacity of the compressed rod of a space framework in the code of the rules 53-102-2004 is defined without real conditions of coupling of a rod with adjacent elements which influence for its “calculated” length. However, according to the code of the rules (the paragraph 11.2.3) - «Calculation of the lengths of the compressed elements of space frameworks are supposed to be defined from calculation with use the certificate software …». But the ways offered in known complexes (for example, SCAD) are far from perfect.
In this article is offered the algorithm of definition of “calculated” length of the rod, intended for use as a part of any of existing software complexes. The algorithm is constructed by a principle which is used in the Appendix "O" (the code of the rules). It is realised in the subroutines working in the Autocad environment and is applicable to calculation of space framework with ring rods (etc.) of sections «Marchi» and «Kislowodsk» of structural constructions, for example. In summary are planned the ways to expansion of a scope of algorithm.