



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2015, ТОМ 21, НОМЕР 3, 107–117

УДК 624.014:621.315.1

(15)-0331-1

## **ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНА МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СТІЙКОСТІ ПРОСТОРОВИХ ГРАТЧАСТИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**А. В. Танасогло**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.  
E-mail: a.v.tan@mail.ru*

*Отримана 17 червня 2015; прийнята 25 вересня 2015.*

**Анотація.** У статті наведено чисельно-аналітичну методику розв'язання задачі стійкості розкосів решітки сталевих опор з одноболтовими з'єднаннями при складному напруженому стані. Розглянуто загальну стійкість просторової гратчастої ферми з похилими поясами для найпоширенішого типу решітки, який застосовується в опорах повітряних ліній (ПЛ). Розв'язання даної задачі реалізовано у програмному комплексі MS «Excel» з використанням апарата нелінійного математичного відшукування невідомих параметрів. Виконано аналіз отриманих коефіцієнтів розрахункових довжин розкосів нижньої секції проміжної опори 1ПЗ30-1 та анкерно-кутової опори У220-2+9. При розв'язанні рівняння стійкості приділено увагу спільній роботі елементів конструкції стовбура опори ПЛ. На основі розробленої методики отримані нові закономірності визначення коефіцієнтів поздовжнього вигину решітки сталевих опор, що дозволяють підвищити показники несучої здатності металоконструкцій повітряних ліній електропередачі.

**Ключові слова:** стійкість, чисельно-аналітична методика, розрахункова довжина, коефіцієнт поздовжнього вигину, баштова опора, повітряна лінія електропередачі.

## **ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕШЕТЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**А. В. Танасогло**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.  
E-mail: a.v.tan@mail.ru*

*Получена 17 июня 2015; принята 25 сентября 2015.*

**Аннотация.** В статье приведена численно-аналитическая методика решения задачи устойчивости раскосов решетки стальных опор с одноболтовыми соединениями при сложном напряженном состоянии. Рассмотрена общая устойчивость пространственной решетчатой фермы с наклонными поясами для наиболее распространенного типа решетки, применяемого в опорах воздушных линий (ВЛ). Решение данной задачи реализовано в программном комплексе MS «Excel» с использованием аппарата нелинейного математического отыскания неизвестных параметров. Выполнен анализ полученных коэффициентов расчетных длин раскосов нижней секции промежуточной опоры 1ПЗ30-1 и анкерно-угловой опоры У220-2+9. При решении уравнения устойчивости уделено внимание совместной работе элементов конструкции ствола опоры ВЛ. На основании разработанной методики получены новые закономерности определения коэффициентов продольного изгиба решетки стальных опор, позволяющие повысить показатели несущей способности металлоконструкций воздушных линий электропередачи.

**Ключевые слова:** устойчивость, численно-аналитическая методика, расчетная длина, коэффициент продольного изгиба, башенная опора, воздушная линия электропередачи.

## NUMERICAL-ANALYTICAL DESIGN PROCEDURE OF SOLUTION THE STABILITY PROBLEM OF SPATIAL LATTICE STRUCTURES

**Anton Tanasoglo**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: a.v.tan@mail.ru*

*Received 17 June 2015; accepted 25 September 2015.*

**Abstract.** In the article the numerical-analytical design procedure of solution the stability problem of lattice diagonal elements of steel supports with one-bolted joints under complex stress state has been given. The general stability of the spatial lattice truss with inclined belts for the most common type of a lattice used in overhead power transmission lines' (OPTL) supports, has been considered. The solution of the problem has been realized in the software package MS «Excel» using nonlinear mathematical device of finding the unknown parameters. The analysis of the received effective length coefficients of inclined braces of bottom section of the intermediate support 1P330-1 and corner dead-end support U220-2+9, has been carried out. Solving the stability equation an attention was paid to the joint work of structural components of the OPTL support trunk. Based on the developed design procedure we received new regularities of definition the longitudinal bending coefficients of lattice steel supports that increase the load-carrying capacity indicators of steel structures of overhead power transmission lines.

**Keywords:** stability, numerical-analytical design procedure, effective length, longitudinal bending coefficient, tower support, overhead power transmission line.

### Актуальность темы

На современном этапе развития общества проблемы эффективности и повышения надежности электрических сетей приобретают огромное значение. В связи с этим в условиях ускоренных темпов развития экономики остро встал вопрос строительства новых и модернизации существующих ВЛ для обеспечения безотказного электроснабжения государства. Это требует вовлечения огромных материальных и трудовых ресурсов в энергетическую сферу. Поэтому успешному развитию энергетического строительства будет способствовать внедрение эффективных материалов и конструкций с более рациональными геометрическими формами, а также разработка и уточнение методик расчета опор, призванных без запасов в расходе материалов гарантировать надежную эксплуатацию ВЛ.

Огромный потенциал в решении данной задачи заложен в совершенствовании металлических конструкций опор линий электропередачи с учетом требований экономичности и

технологичности. Поэтому данная статья является весьма актуальной, поскольку направлена на сохранение конкурентоспособности государственного электросетевого комплекса на европейском рынке за счет разработки новых оптимальных конструктивных решений на основе совершенствования методик расчета устойчивости элементов решетки опор ВЛ с одноболтовыми соединениями.

### Формулировка задачи

Опоры ВЛ башенного типа имеют наклонные пояса и подвержены в нормальном режиме работы действию продольной и поперечной сил, а в аварийном режиме также и действию крутящего момента [1]. В зависимости от соотношения между продольной и поперечной силами, а также между продольной силой и крутящим моментом величина податливости узлов при линейном и угловом смещениях оказывается неодинаковой, из-за чего теряют устойчи-

вость лишь некоторые раскосы. Существующие нормы, основанные на работах [2, 3], не учитывают данные обстоятельства.

В основу решения задачи устойчивости решетки опор ВЛ положен метод численного исследования с использованием нелинейного математического отыскания неизвестных параметров [4, 5, 19]. Развитие вычислительной техники и информационных технологий на данный момент позволяет решать такие задачи с большим количеством факторов, способных приблизить решение к запросам практики и дать ощутимый экономический эффект [6, 16, 18].

В работе предполагается исследовать расчетные длины и коэффициенты продольного изгиба в зависимости от конкретных параметров реальных конструкций опор ВЛ: геометрических длин, жесткостей элементов, продольных усилий и наклона граней, в отличие от существующей методики, основанной на идеализированной расчетной схеме конструкций, не учитывающей данные факторы.

Общая устойчивость системы рассматривается для пространственной решетчатой фермы с наклонными поясами и решается для наиболее распространенного типа решетки, применяемого в опорах ВЛ, т. е. для перекрестной решетки с несовмещенными и совмещенными в смежных гранях узлами. Уголки решетки и поясов имеют различные сечения в каждой панели.

**Уравнение устойчивости пространственной фермы с наклонными поясами**

Для решения задачи устойчивости рассматривается башня квадратного сечения с наклонными поясами. На свободном конце башни приложим по оси симметрии возрастающий крутящий момент и неизменную по величине продольную силу. Под действием данных силовых факторов в отдельных панелях пояса и встречных раскосах возникают внутренние усилия  $N_n^I$  и  $N_n^{II}$ , соответственно равные, но обратные по знаку (рис. 1).

Когда крутящий момент достигает критического значения, то все раскосы одновременно теряют устойчивость. Происходит закручивание системы и волновое искривление поясов без искривления продольной оси башни. В результате пояс получает пространственный из-

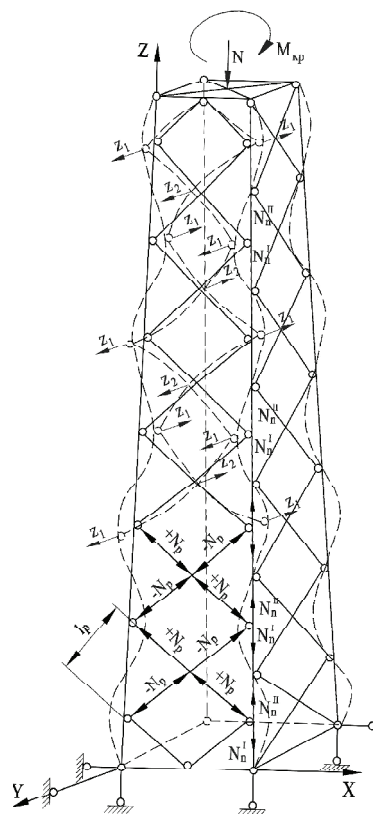
гиб. Благодаря симметрии системы и внутренних усилий в момент потери устойчивости произойдет симметричная деформация теряющих устойчивость раскосов [15].

После ввода в узлы фиктивных связей, препятствующих их смещению, величина критической силы определится из условия:

$$D = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{vmatrix} = r_{11}r_{22} - r_{12}^2 = 0. \quad (1)$$

Учитывая, что при единичном смещении по направлению  $Z_2$  (при  $Z_1=0$ ) сечение раскосов в месте приложения силы не поворачивается, значение  $r_{22}$  можно определить по таблицам строительной механики. Величина  $r_{11}$  складывается из  $r_{22}$  и усилия  $r_{11}^n$ , необходимого для смещения пояса [7].

Для определения  $r_{11}^n$  необходимо рассмотреть часть пояса, вырезанного из общей системы (рис. 2 а). Действие раскосов заменим взаимно перпендикулярными стержневыми связями.



**Рисунок 1.** Искривление элементов при симметричной форме потери устойчивости.

Приложим в узлы рассматриваемого стержня по направлению возможных перемещений силы  $r_{11}^n$  (рис. 2 б), от действия которых узлы сместятся на  $\Delta = 1$ . При этом один узел повернется относительно оси X на угол  $\varphi_1$  и относительно оси Y на угол  $\varphi_1$ . Соседний узел относительно оси X повернется на угол  $\varphi_2$ , а относительно оси Y – на угол  $\varphi_1$  и т. д. Наложив фиктивные связи защемления, препятствующие повороту опорных сечений, и стержневые связи, препятствующие смещению, получим основную систему метода перемещений (рис. 2 в).

Значения  $r_{11}^n$  при различных величинах сжимающей силы приведены в таблице 1.

Коэффициенты уравнения устойчивости (1) определяются из канонических уравнений метода перемещений и имеют значения:

$$\left. \begin{aligned} r_{11} &= \frac{3}{l_p^2} \left[ i_p^x \cdot \eta_2^2 \cdot (\eta_1^x + \zeta_1^x) + i_p^y \cdot \varepsilon_2^2 \cdot (\eta_1^y + \zeta_1^y) \right] + r_{11}^n; \\ r_{22} &= r_{11} - r_{11}^n; \\ r_{12} &= \frac{3}{l_p^2} \left[ i_p^x \cdot \eta_2^2 \cdot (\zeta_1^x - \eta_1^x) + i_p^y \cdot \varepsilon_2^2 \cdot (\zeta_1^y - \eta_1^y) \right]. \end{aligned} \right\} (2)$$

где  $i_p^x, i_p^y$  – погонные жесткости раскоса относительно главных центральных осей инерции;  $l_p$  – длина раскоса;  $\eta_1^x, \zeta_1^x, \eta_1^y, \zeta_1^y$  – трансцендентные функции, учитывающие сжатие в одних раскосах и растяжение в других, определяются по [8].

Аргументами трансцендентных функций являются безразмерные параметры продольной силы  $v^x$  и  $v^y$ , учитывающие продольно-поперечный изгиб [17].

Приняв  $r_{11}^n = k \cdot i^y / l^2$ , после подстановки реактивных сил (2) в уравнение устойчивости (1) получим равенство:

$$\begin{aligned} &0,75 \left[ 3,86 (\eta_1^x + \zeta_1^x) + \eta_1^y + \zeta_1^y \right]^2 + \\ &+ 0,5 \cdot k \cdot \frac{i_p^x}{i_p^y} \left[ 3,86 (\eta_1^x + \zeta_1^x) + \eta_1^y + \zeta_1^y \right] - \\ &- 0,75 \left[ 3,86 (\zeta_1^x - \eta_1^x) + \zeta_1^y - \eta_1^y \right]^2 = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) называется уравнением устойчивости перекрестной решетки, или *характеристическим уравнением*.

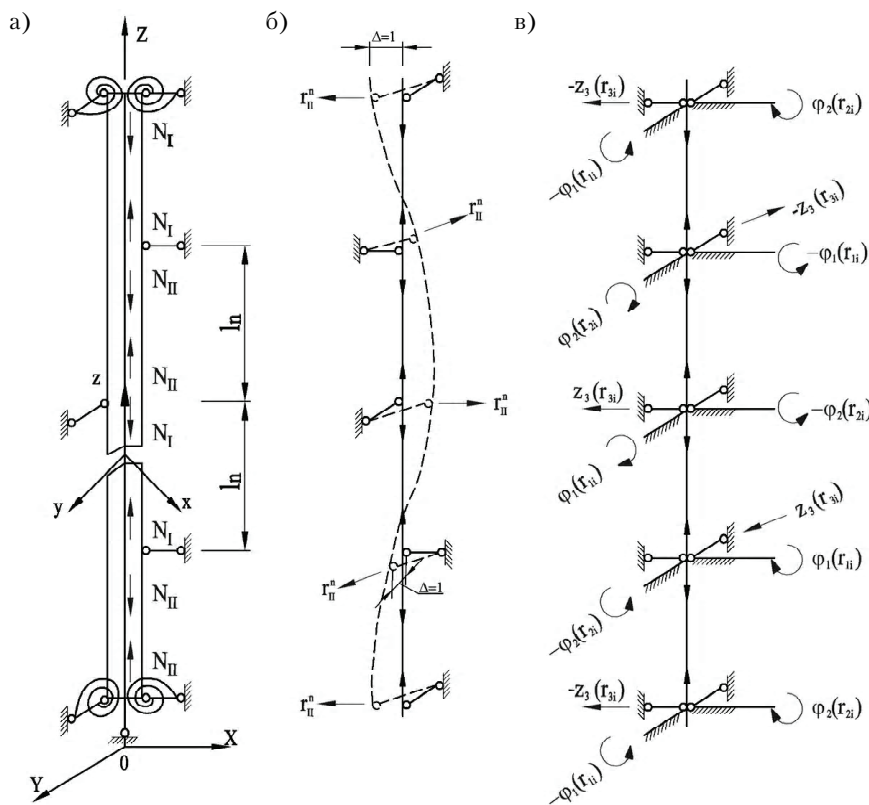


Рисунок 2. Расчетная схема пояса: а) система координатных осей; б) искривление пояса от единичного смещения узлов; в) основная система.

Таблица 1. Численные значения коэффициентов  $k$ 

$N_n$	0	0,1 $N_y$	0,2 $N_y$	0,3 $N_y$	0,423 $N_y$
$r_{11}^n$	$14,58 \frac{i^y}{l^2}$	$12,114 \frac{i^y}{l^2}$	$10,225 \frac{i^y}{l^2}$	$7,374 \frac{i^y}{l^2}$	$4,75 \frac{i^y}{l^2}$

### Алгоритм решения задачи устойчивости перекрестной решетки

На основании изложенного выше разработана численно-аналитическая методика решения задачи устойчивости перекрестной решетки, сущность которой заключается в следующем:

1. Выполняется расчет опоры ВЛ в программном блоке «USL» [9, 10].
2. Вычисляется критическая сила  $N_3$  в панелях пояса.
3. В зависимости от соотношения расчетного усилия  $N_n$  к критической силе  $N_3$  определяется коэффициент  $k$ .
4. Вычисляется отношение погонных жесткостей пояса и раскоса  $i_n / i_p$ .
5. Решается уравнение устойчивости (3) с помощью разработанного программного блока. Определяются корни характеристического уравнения – все возможные значения аргументов  $v$  трансцендентных функций  $\eta_1^x$ ,  $\zeta_1^x, \eta_1^y, \zeta_1^y$ .
6. По полученным значениям аргументов  $v$  графоаналитическим способом определяются коэффициенты расчетной длины  $\mu_p$ :

$$\mu_p = \frac{\pi}{v}. \quad (4)$$

7. Принимается наибольшее значение  $\mu_p$  и методом половинного деления производится его уточнение. В результате мы получаем коэффициент расчетной длины раскоса  $\mu_p$  в  $i$ -той панели, и так далее для остальных панелей, имеющих в опоре ВЛ.
8. На следующем этапе вычисляется гибкость элементов решетки.
9. Определяются критические напряжения  $\sigma_{кр}$  в упругой и упруго-пластической областях.
10. Коэффициент продольного изгиба  $\varphi$  определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{\sigma_{кр}}{R_y}, \quad (5)$$

где  $R_y$  – расчетное сопротивление стали, принимаемое по [11].

Данная методика реализована в виде программного блока, который вошел в программный комплекс оптимального проектирования «MIS1», разработанный в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры [13].

### Определение расчетных длин раскосов решетки

Рассмотрим применение разработанной численно-аналитической методики решения задачи устойчивости перекрестной решетки на конкретных примерах.

*Пример 1.* Определим коэффициенты расчетных длин раскосов решетки  $\mu_p$  нижней секции промежуточной одноцепной опоры 1П330-1 (рис. 3), применяемой в магистральных электрических сетях.

Рассматриваемая часть ствола опоры конструктивно представляет собой пространственную стержневую металлическую стойку с несовмещенными в смежных гранях узлами, состоящую из 12 панелей. Пояса и раскосы секции выполнены из одиночных уголков. Стыкуются элементы в узлах при помощи одноболтового соединения. База опоры (ширина у основания) – 4,154 м. Высота секции – 11,5 м. Отметки панелей пояса:  $h_1=1,017$  м;  $h_2=1,998$  м;  $h_3=2,948$  м;  $h_4=3,899$  м;  $h_5=4,849$  м;  $h_6=5,799$  м;  $h_7=6,749$  м;  $h_8=7,700$  м;  $h_9=8,651$  м;  $h_{10}=9,600$  м;  $h_{11}=10,551$  м;  $h_{12}=11,500$  м.

Расчет опоры выполняется на нагрузки нормального и аварийного режимов, взятые из расчетного листа. Продольные усилия в раскосах и поясах, полученные после расчета в программном блоке «USL», показаны на рисунке 3.

Определение коэффициентов расчетных длин раскосов каждой панели по высоте нижней секции опоры ВЛ выполнялось в соответствии с изложенной выше методикой.



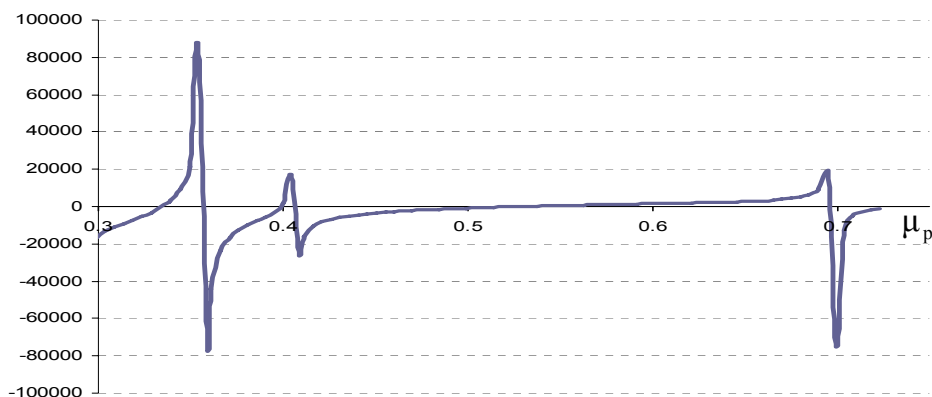


Рисунок 5. Графическое определение коэффициента расчетной длины  $\mu_p$  раскоса 1-й панели.

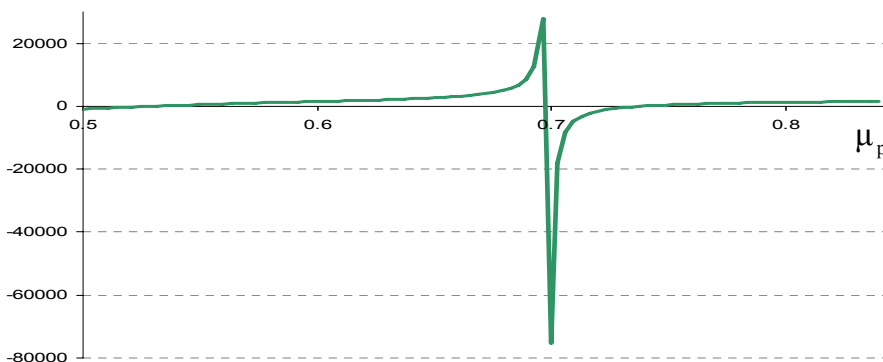


Рисунок 6. Уточнение корня уравнения для раскоса 1-й панели методом половинного деления.

Таблица 2. Сравнение коэффициентов  $\mu_p$  раскосов нижней секции опоры 1ПЗ30-1

№ панели	$\frac{i_n}{i_p}$	$\frac{N_n}{N_s}$	k	$\mu_p$ (по расчет. листу)	$\mu_p$ (по расчету)	%
1	10,987	0,2710	8,1997	0,820	0,7378	10,02
2	10,977	0,2482	8,8506	0,820	0,7366	10,17
3	27,339	0,2296	9,3803	0,820	0,7273	11,30
4	26,394	0,2245	9,5264	0,820	0,7277	11,26
5	26,567	0,2189	9,6853	0,820	0,7275	11,28
6	25,642	0,2100	9,9378	0,820	0,7279	11,23
7	25,807	0,2065	10,0373	0,820	0,7278	11,24
8	24,846	0,2014	10,1829	0,820	0,7283	11,18
9	25,047	0,1958	10,3027	0,820	0,7281	11,21
10	24,104	0,1879	10,4531	0,820	0,7287	11,13
11	24,298	0,1835	10,5359	0,820	0,7285	11,16
12	23,345	0,1772	10,6546	0,820	0,7292	11,07

$h_3=8,963$  м;  $h_4=12,062$  м;  $h_5=14,041$  м;  $h_6=16,021$  м;  $h_7=18,0$  м.

Данные расчетов и сравнение полученных результатов для коэффициентов расчетной длины  $\mu_p$  и коэффициентов продольного изгиба  $\varphi$  раскосов нижней секции опоры У220-2+9 со значениями из расчетного листа типовой опоры У220-2 приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, при расчете по разработанной методике наблюдается увеличение коэффициентов продольного изгиба до 39 %.

### Определение коэффициентов продольного изгиба

По разработанной численно-аналитической методике были определены коэффициенты продольного изгиба центрально-сжатых стержней

$\varphi$  для различных расчетных сопротивлений стали  $R_y$  (от  $R_y=200$  МПа до  $R_y=560$  МПа).

Выполнено сравнение полученных значений  $\varphi$  с нормативными коэффициентами по ANSI 10-90 [14], СНиП II-23-81\* [12] и ДБН В.2.6-163:2010 [11] для гибкостей от 10 до 220. Результаты сравнения проиллюстрированы на рисунках 7–10 для сопротивлений  $R_y=240, 360, 480, 560$  МПа. Точками на рисунках 7–10 показаны коэффициенты  $\varphi$ , полученные по разработанной численно-аналитической методике.

### Выводы

1. Впервые разработана численно-аналитическая методика расчета устойчивости решетки стальных опор с одноболтовыми соедине-

Таблица 3. Сравнение коэффициентов  $\mu_p$  и  $\varphi$  раскосов нижней части опоры У220-2+9

№ панели	$\frac{i_{II}}{i_p}$	$\frac{N_{II}}{N_3}$	k	$\mu_p$ (по расч. листу)	$\mu_p$ (по расчету)	$\lambda_p$	$\varphi$ (по расч. листу)	$\varphi$ (по расчету)	% (по $\varphi$ )
1	15,152	1,0911	4,75	0,779	0,7532	139,8	0,348	0,432	19,44
2	109,38	0,3462	6,386	0,770	0,7241	162,4	0,242	0,322	24,84
3	110,35	0,2552	8,650	0,770	0,7238	143,5	0,296	0,413	28,33
4	43,337	0,5219	4,75	0,783	0,7330	127,8	0,372	0,519	28,32
5	89,563	0,2062	10,04	0,812	0,7243	108,5	0,435	0,722	39,75
6	78,760	0,1991	10,24	0,840	0,7249	96,8	0,492	0,803	38,73
7	68,542	0,1922	10,37	0,889	0,7260	89,9	0,568	0,841	32,46

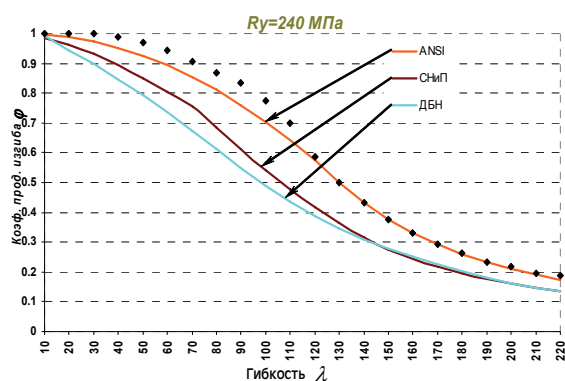


Рисунок 7. Коэффициенты продольного изгиба  $\varphi$  при  $R_y=240$  МПа.

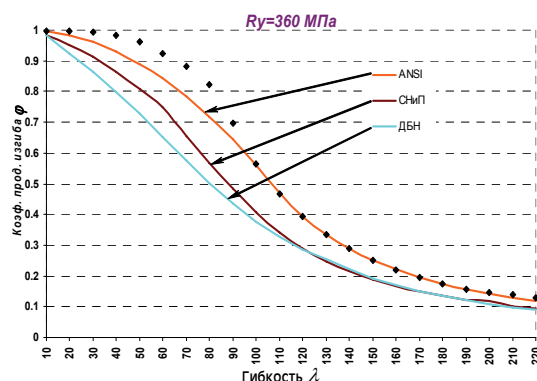
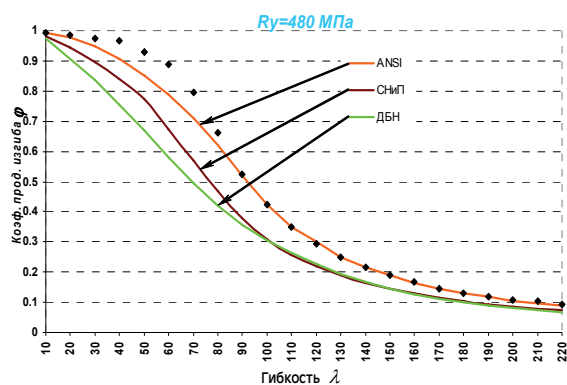


Рисунок 8. Коэффициенты продольного изгиба  $\varphi$  при  $R_y=360$  МПа.

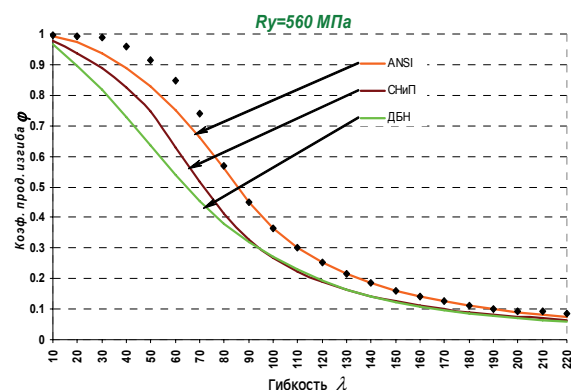




**Рисунок 9.** Коэффициенты продольного изгиба  $\phi$  при  $R_y=480$  МПа.

ниями при сложном напряженном состоянии, позволяющая повысить несущую способность конструкций воздушных линий до 18 %.

2. На основе разработанной методики расчета устойчивости решетки опор ВЛ получены новые значения коэффициентов расчетных длин элементов решетки, которые до 20 % ниже существующих.
3. Предложенные новые закономерности определения коэффициентов продольного изги-



**Рисунок 10.** Коэффициенты продольного изгиба  $\phi$  при  $R_y=560$  МПа.

ба позволяют увеличить их от 1 до 39 % при изменении гибкостей элементов  $\lambda$  от 10 до 220 по сравнению с отечественными нормами проектирования.

4. Усовершенствованный алгоритм расчета опор ВЛ с учетом полученных зависимостей для расчетных длин и коэффициентов продольного изгиба реализован в программном комплексе оптимального проектирования «MISI1», разработанном в ДонНАСА.

## Литература

1. Трофимов, В. И. Исследование устойчивости и несущей способности металлических конструкций типа опор линий электропередачи [Текст] / В. И. Трофимов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.
2. Тимошенко, С. П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек: избранные работы [Текст] / С. П. Тимошенко; под ред. Э. Н. Григолюка. – М.: Наука, 1971. – 808 с.
3. Стрелецкий, Н. С. Работа сжатых стоек [Текст] / Н. С. Стрелецкий. – М.: Госстройиздат, 1959. – 283 с.
4. Перельмутер, А. В. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. Том 1 [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М.: СКАД СОФТ, 2010. – 704 с.
5. Кадисов, Г. М. Динамика и устойчивость сооружений [Текст]: учебное пособие / Г. М. Кадисов. – М.: АСВ, 2007. – 272 с.
6. Чирас, А. А. Строительная механика: Теория и алгоритмы [Текст] / А. А. Чирас. – М.: Стройиздат, 1989. – 255 с.

## References

1. Trofimov, V. I. Stability analysis and load-carrying ability of metal construction like power transmission line support. Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat, 1963. 320 p. (in Russian)
2. Timoshenko, S. P.; Edited by Grigoliuk, E. N. Stability of rods, planes and shells: select works. Moscow: Science, 1971. 808 p. (in Russian)
3. Streletskiy, N. S. Operation of compressed columns. Moscow: Gosstroizdat, 1959. 283 p. (in Russian)
4. Perelmutter, A. V.; Slivker, V. I. Balance stability of constructions and related problems. The first part. Moscow: SKAD SOFT, 2010. 704 p. (in Russian)
5. Kadisov, G. M. Dynamics and structural competence. Textbook. Moscow: ASV, 2007. 272 p. (in Russian)
6. Chiras, A. A. Structural analysis: theory and algorithm. Moscow: Stroiizdat, 1989. 255 p. (in Russian)
7. Bleih, F. Stability of metal constructions. Moscow: Fizmatgiz, 1959. 544 p. (in Russian)
8. Smirnov, A. F.; Aleksandrov, A. V.; Lashchenikov, B. Ya.; Shaposhnikov, N. N. Structural analysis. Dynamics and structural competence. Moscow: Stroiizdat, 1984. 413 p. (in Russian)

7. Блейх, Ф. Устойчивость металлических конструкций [Текст] / Ф. Блейх; пер. с англ. Ж. С. Сисляна; под ред. Э. И. Григолока. – М.: Физматгиз, 1959. – 544 с.
8. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников. – М.: Стройиздат, 1984. – 413 с.
9. Танасогло, А. В. Исследование устойчивости решетчатых стальных опор линий электропередачи [Текст] / А. В. Танасогло // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. тр. Одесса: ОГАСА, 2011. № 15, Часть 3. С. 233–238.
10. Шевченко, Е. В. Исследование напряженно-деформированного состояния двухцепной анкерно-угловой опоры ВЛ 330 кВ с использованием различных программных комплексов [Текст] / Е. В. Шевченко, В. А. Глухов, А. В. Танасогло // Металеві конструкції. 2010. Т. 16, № 1. С. 31–39.
11. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну СНиП II-23-81\* окрім розділів 15\*–19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3–8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78–4.134; чинні від 2011–12–01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
12. СНиП II-23-81\*. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции [Текст]. – Взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67; введ. 1982–01–01. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 90 с.
13. Алгоритмы расчёта стальных конструкций [Текст] / [Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, А. М. Югов и др.]; под ред. Е. В. Горохова. – М.: Стройиздат, 1989. – 368 с.
14. Design of Latticed Steel Transmission Structures [Текст] / American Society of Civil Engineers. ANSI/ASCE 10-90, A.N.S.I. – New York: A.S.C.E., 1991. – 64 p.
15. Bazant, Z. P. Stability of structures: elastic, inelastic, fracture, and damage theories [Текст] / Z. P. Bazant, L. Cedolin. – 3-rd ed. – New York: Oxford University Press, 2010. – 1011 p.
16. Coşkun, S. B. Advances in computational stability analysis [Текст]: study guide / S. B. Coşkun. – Rijeka: InTech, 2012. – 132 p.
17. Winterstetter, T. Stability of circular cylindrical steel shells under combined loading [Текст] / T. Winterstetter, H. Schmidt // Thin-Walled Structures. 2002. Vol. 40. P. 893–909.
18. Yoo, Chai H. Stability of structures [Текст]: principles and applications / Chai H. Yoo, Sung C. Lee. – London: Elsevier Science Publishing Ltd, 2011. – 529 p.
19. Yang, B. Stress, strain, and structural dynamics [Текст]: an interactive handbook of formulas, solutions, and MATLAB toolboxes / Bingen Yang. – [S. l.]: Elsevier Academic Press, 2005. – 960 p.
9. Tanasoglo, A. V. Stability analysis of grating metal supporting structures of overhead transmission lines. In: *State-of-the industry engineering structures made from metal and wood: Edited Volume*, 2011, № 15, part 3, p. 233–238. (in Russian)
10. Shevchenko, Ye. V.; Glukhov, V. A.; Tanasoglo, A. V. Study of a mode of deformation of a double-circuit corner dead-end support VL 330 kV using different software packages. In: *Metal Constructions*, 2010, Volume 16, Number 1, p. 31–39. (in Russian)
11. DBN V.2.6-163:2010. The constructions of buildings and structures. The steel constructions. Norms for design, fabrication and erection. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 127 p. (in Ukrainian)
12. SNiP II-23-81\*. Structural Rules and Regulations. Steel structures. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 90 p. (in Russian)
13. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Mushchanov, V. F.; Yugov, A. M. et al. Scheme of Structural Steel Design. Moscow: Stroizdat, 1989. 368 p. (in Russian)
14. American Society of Civil Engineers. ANSI/ASCE 10-90, A.N.S.I. Design of Latticed Steel Transmission Structures. New York: A.S.C.E., 1991. 64 p.
15. Bazant, Z. P.; Cedolin, L. Stability of structures: elastic, inelastic, fracture, and damage theories. 3-rd ed. New York: Oxford University Press, 2010. 1011 p.
16. Coşkun, S. B. Advances in computational stability analysis: study guide. Rijeka: InTech, 2012. 132 p.
17. Winterstetter, T.; Schmidt, H. Stability of circular cylindrical steel shells under combined loading. In: *Thin-Walled Structures*, 2002, Vol. 40, p. 893–909.
18. Yoo, Chai H.; Lee, Sung C. Stability of structures: principles and applications. Elsevier Academic Press, 2011. 529 p.
19. Yang, B. Stress, strain, and structural dynamics: an interactive handbook of formulas, solutions, and MATLAB toolboxes. Elsevier Academic Press, 2005. 960 p.

**Танасогло Антон Владимирович** – к. т. н., доцент кафедры металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор; вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

**Танасогло Антон Владимирович** – к. т. н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор, изучение действительной работы металлических решетчатых конструкций башенного типа.

**Tanasoglo Anton** – Ph.D. (Engineering), Associated Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal designing of overhead power transmission line and antenna support structures. Studying of the valid work of metal lattice tower supports.