



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

№1, ТОМ 16 (2010) 51-60

УДК 624.131.8

(10)-0208-1

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ БАГАТОГРАННИХ ГНУТИХ СТІЙОК (БГС) В ОПОРНІЙ ЗОНІ ОПОР ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ (ПЛ) ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

В. М. Василев, І. М. Гаранжа

Кафедра "Металеві конструкції", Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

E-mail: garigo@mail.ru

Отримана 20 січня 2010; прийнята 22 січня 2010

Анотація. У даній статті метою ставитися порівняльний аналіз теоретичних й експериментальних досліджень дійсної роботи багатогранних гнутих стійок в опорній зоні конструкції. Акцентується увага на аспектах світового досвіду застосування конструкцій на основі багатогранних гнутих стійок (БГС), відмічаючи широку область застосування таких конструкцій в різних країнах світу. Окрім цього розглядається доцільність застосування методу кінцевих елементів, реалізованого в сучасних розрахункових програмних комплексах на стадії теоретичних досліджень, а також алгоритм й особливості формування розрахункової моделі БГС. Описується принцип проведення статичних експериментальних досліджень моделі БГС за допомогою спеціально виготовленої експериментальної установки. У статті приводяться чисельні результати досліджень стійок, а також основні висновки по проведеній роботі.

Ключові слова: багатогранні гнуті стійки, конструктивна форма, напружено-деформований стан, метод кінцевих елементів, статичні сертифікаційні випробування, теоретичні та експериментальні дослідження, тензометрія, експериментальна установка.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ МНОГОГРАННЫХ ГНУТЫХ СТОЕК (МГС) В ОПОРНОЙ ЗОНЕ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ (ВЛ) ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В. Н. Васылев И. М. Гаранжа

Кафедра "Металлические конструкции", Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: garigo@mail.ru

Получена 20 января 2010; принята 22 января 2010

Аннотация. В данной статье целью ставится сравнительный анализ теоретических и экспериментальных исследований действительной работы многогранных гнутых стоек в опорной зоне конструкции. Акцентируется внимание на аспектах мирового опыта применения конструкций на основе многогранных гнутых стоек (МГС), отмечая широкую область применения таких конструкций в различных странах мира. Эта статья рассматривает целесообразность применения метода конечных элементов, реализованного в современных расчетных программных комплексах на стадии теоретических исследований, а также алгоритм и особенности формирования расчетной модели МГС. Описывается принцип проведения статических экспериментальных исследований модели МГС при помощи специально изготовленной экспериментальной установки. В статье приводятся численные результаты исследований стоек, а также основные выводы по проведенной работе.

Ключевые слова: многогранные гнутые стойки, конструктивная форма, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, статические сертификационные испытания, теоретические и экспериментальные исследования, тензометрия, экспериментальная установка.

METHODS OF THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MANY-SIDED BENT BODIES OPERATION IN THE SUPPORTING ZONE OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION TOWERS

V. N. Vasylev, I. M. Garanzha

*Department of metal structures, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.
E-mail: garigo@mail.ru*

Received 20 January 2010; accepted 22 January 2010

Abstract. The article aims at the comparative analysis of the theoretical and experimental investigations of a useful operation of many-sided bent bodies in the structure supporting zone. It focuses on the aspects of the world experience of applying structures based on many-sided bent bodies (MSBB), a wide application of these structures in different countries of the world being noted. There is considered a suitability of using the finite elements method implemented in the up-to-date design software packages in theoretical studies as well as the algorithm and specifics of the MSBB design model formation. There is described a principle of carrying out static experimental investigations of the MSBB model with the help of the specially made experimental unit. There are given the numerical results of the bodies investigation and the main conclusions on the work performed.

Keywords: many-sided bent bodies, constructive form, mode of deformation, finite elements method, static certified tests, theoretical and experimental investigations, tensometry, experimental unit.

Введение

Многогранные гнутые стойки широко применяются в странах Северной Америки уже в течение нескольких десятилетий. Несколько позже применение МГС началось в Западной Европе, а в последние 10 лет и в наиболее промышленно развитых странах азиатско-тихоокеанского региона.

Необходимо отметить, что сама идея МГС ни для кого не нова. Конструкции МГС появились в США в начале 1970-х годов. Сразу же после начала производства МГС в США была предпринята попытка создания аналогичных конструкций в СССР, для чего на Волгоградском ЗМК была создана соответственная технологическая линия по производству опор высоковольтных линий (ВЛ) на базе МГС. В течение нескольких лет завод выпускал ограниченными партиями опоры серии ПМ и ПМО для ВЛ 110 и 150кВ, однако широкого распростра-

нения в то время конструкции не нашли, очевидно из-за сложной и дорогостоящей технологии производства и малой производительности завода-изготовителя [8,9,10,13,14].

Но в последние годы в Украине, России и ряде других постсоветских стран возобновляется интерес к МГС. Основная область их применения — опоры ВЛ [8]. Кроме этого МГС могут применяться как опоры под наружное освещение улиц, парковых зон, автострад, промзон, осветительные опоры стадионов, теле-, радиовышки, въездные знаки, как опоры контактной сети ж/д и горэлектротранспорта и т.д. (рис.1).

1. Принцип проведения теоретических исследований модели МГС

В июне 2008 года на Полигоне испытания опор высоковольтных линий электропередачи и ба-шенных сооружений ДонНАСА были проведены

статические сертификационные испытания восьмигранных осветительных опор. Они указали на неэффективность конструкций опор и их баз, в частности, на сильную деформативность конструкций, разрушения сварных швов и т.д (рис.2-5). Это и послужило причиной начала работы по усовершенствованию конструктивной формы опор на основе МГС.

Численное исследование напряженно деформированного состояния (НДС) стойки

МГС и ее базы сводится к расчету кольцевых и меридиональных напряжений (N_x и N_y соответственно) возникающих в приопорной зоне конструкции от действия нагрузки одностороннего тяжения провода. Интересующие нас напряжения зависят от формы поперечного сечения МГС (количества граней, n), от геометрических размеров сечения, а также от количества и расположения анкерных болтов крепления базы к фундаменту.

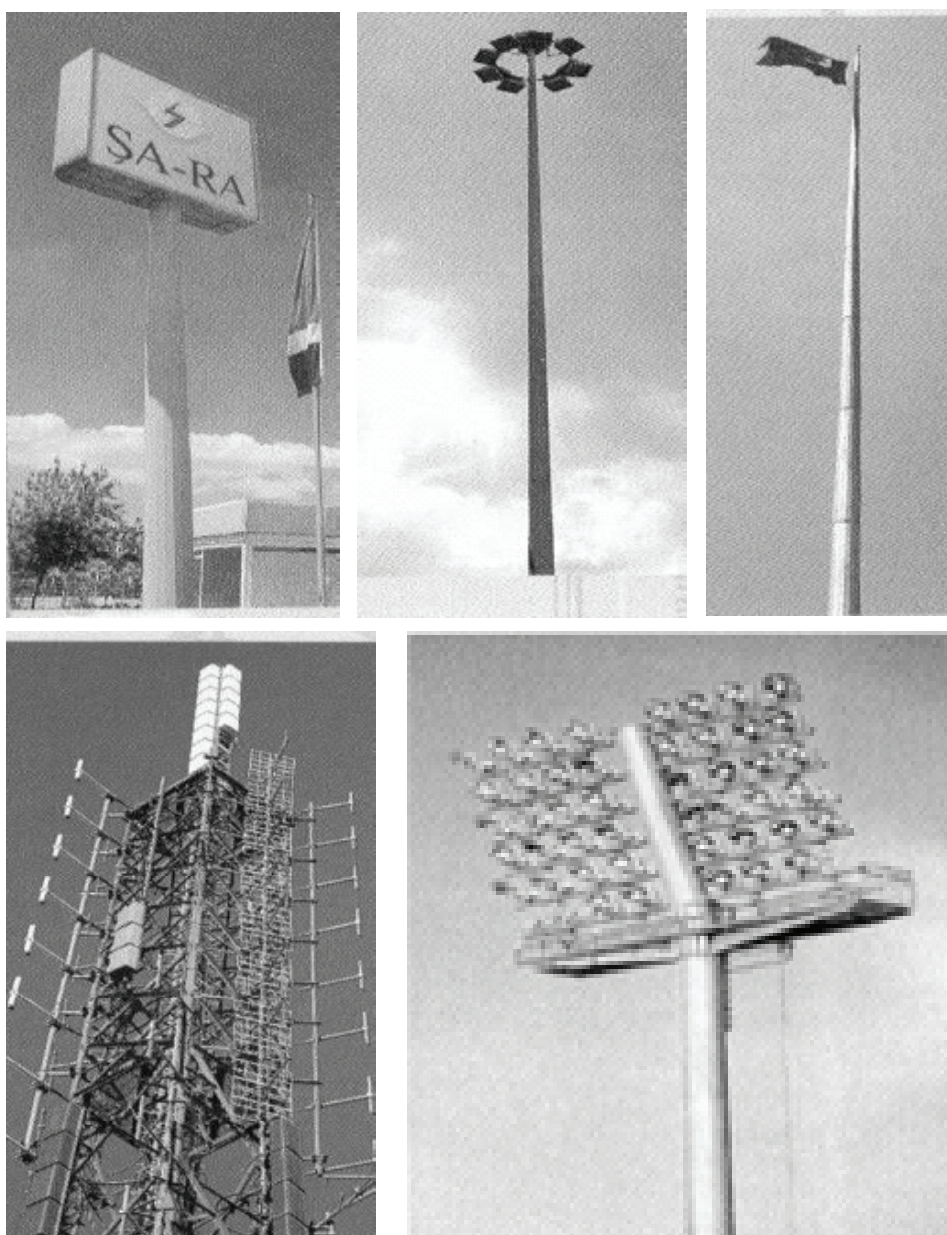


Рис. 1. Сфера применения многогранных гнутых стоек.

Достаточно точную оценку НДС можно получить с помощью метода конечных элементов (МКЭ) [2,4,8,9]. Поэтому численные исследования работы многогранных гнутых стоек проводились в современных программно-вычислительных комплексах, в которых реа-

лизован вышеупомянутый метод конечных элементов.

На начальном этапе численных исследований в программном комплексе была сформирована расчетная модель стойки МГС с базой (рис.6). Стойка представлена как восьмигранная гнутая



Рис. 2. Общий вид конструкции опоры.



Рис. 3. Деформация базы опоры.



Рис. 4. Отрыв опорного ребра, трещина шва крепления стенки к базе опоры.



Рис. 5. Потеря устойчивости стенки опоры.

оболочка толщиной 5мм, база — как объемный элемент, толщиной 20мм. Связи в базе многогранной гнутой стойки задавались 2-х типов [4]:

- шарнирно-неподвижное закрепление (для отверстий под болты, работающие на сжатие);
- односторонняя связь или пружина (для болтов, работающих на растяжение).

Для болтов, расположенных на нейтральной оси, связи не задавались.

В результате проведенных исследований были определены:

- схема загрузки экспериментальных образцов;
- картина напряженно-деформированного состояния конструкции (рис.7-10).

2. Принцип проведения экспериментальных исследований модели МГС

Цель экспериментальных исследований состоит в определении действительного внутреннего

напряженно-деформированного состояния конструкции при совместной работе модели восьмигранной гнутой стойки и ее базы, крепление которой к фундаменту происходит на 8-ми анкерных болтах, а также в проведении сравнительного анализа полученных теоретических и экспериментальных результатов.

Для проведения экспериментальных исследований была запроектирована и изготовлена экспериментальная установка (рис.11). Испытуемая установка модели МГС 1 приваривается к опорной плите 5, которая в свою очередь через переходные элементы 6 крепится к силовому полу 9 при помощи анкерных болтов. На задней стенке опорной плиты относительно испытательной модели устраивается система продольных и поперечных ребер жесткости 4. Контрфорсы 3 крепятся к опорной плите 5 с одной стороны, а с другой — соединяясь между собой поперечной планкой 10,

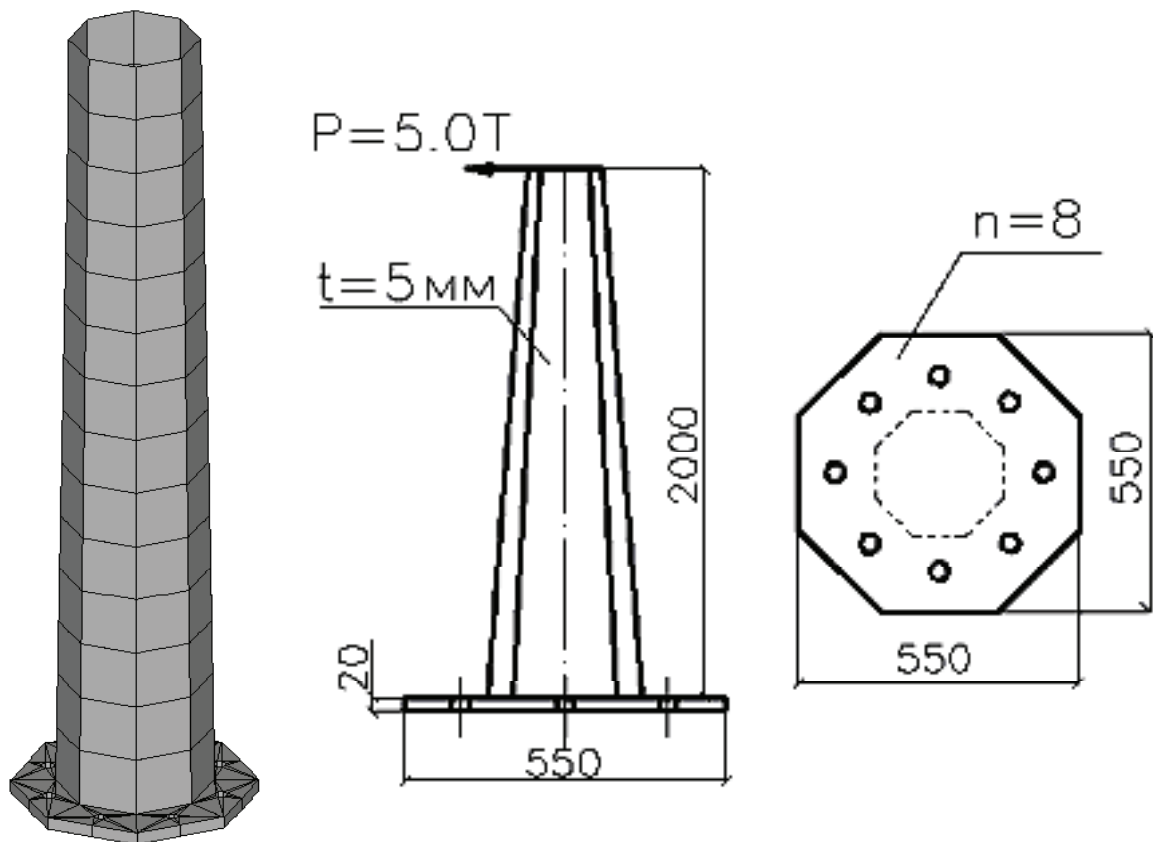


Рис. 6. Расчетная и экспериментальная модель МГС.

крепятся к силовому полу 9. Гидравлический домкрат 2 устанавливается на опорную тумбу 11. Индикатор часового типа 8 устанавливается в месте примыкания базы МГС к опорной плите 5 для измерения горизонтальной

податливости плиты. Прогибомеры Максимова 12 устанавливаются на опорные стойки 13 для измерения вертикальной податливости опорной плиты 5 и перемещения крайних точек свободного конца модели МГС.

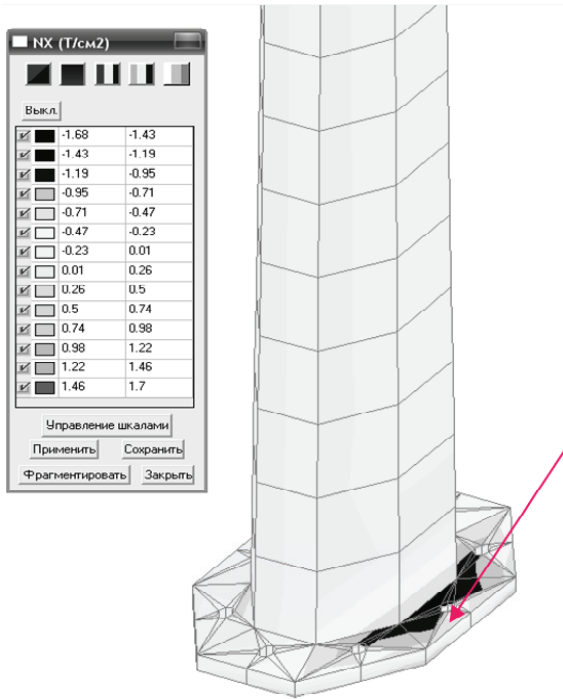


Рис. 7. Кольцевые напряжения σ_x (зона сжатия конструкции).

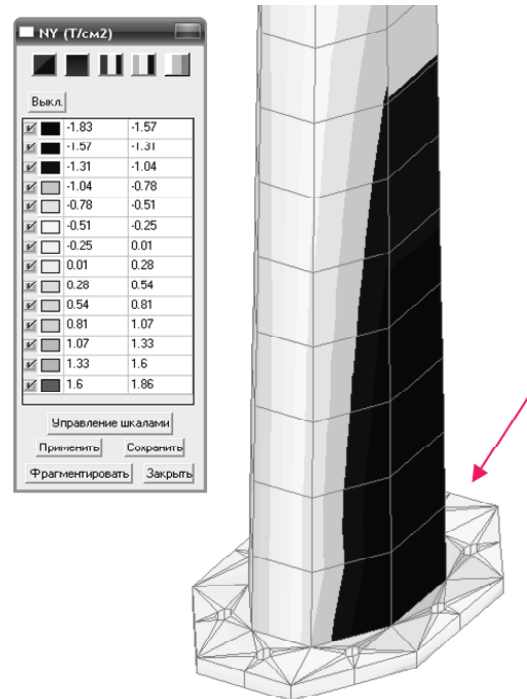


Рис. 8. Меридиональные напряжения σ_y (зона сжатия конструкции).

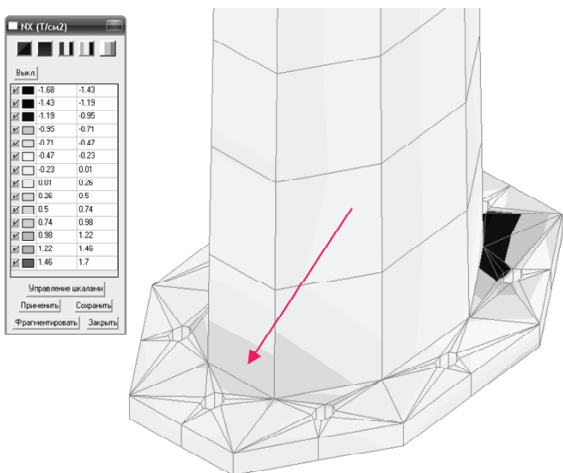


Рис. 9. Кольцевые напряжения σ_x (зона растяжения конструкции).

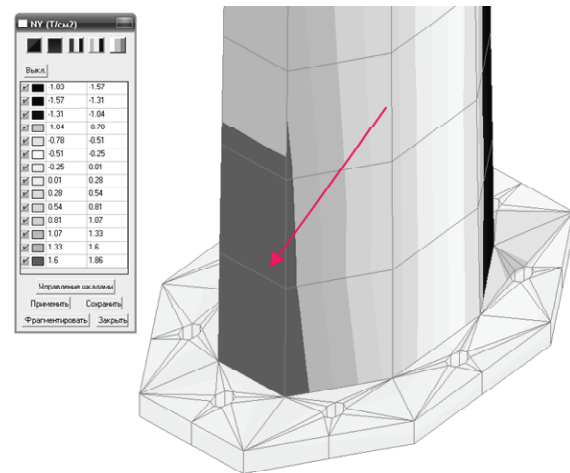


Рис. 10. Меридиональные напряжения σ_y (зона растяжения конструкции).

Для загрузки экспериментальной модели испытательной нагрузкой, использован гидравлический домкрат ДГ-20, хорошо моделирующий действительные условия нагружения узловой нагрузкой.

В качестве объекта экспериментальных исследований были приняты фрагмент натурной модели восьмигранной гнутой стойки замкнутого коробчатого сечения совместно с 8-ми болтовой базой.

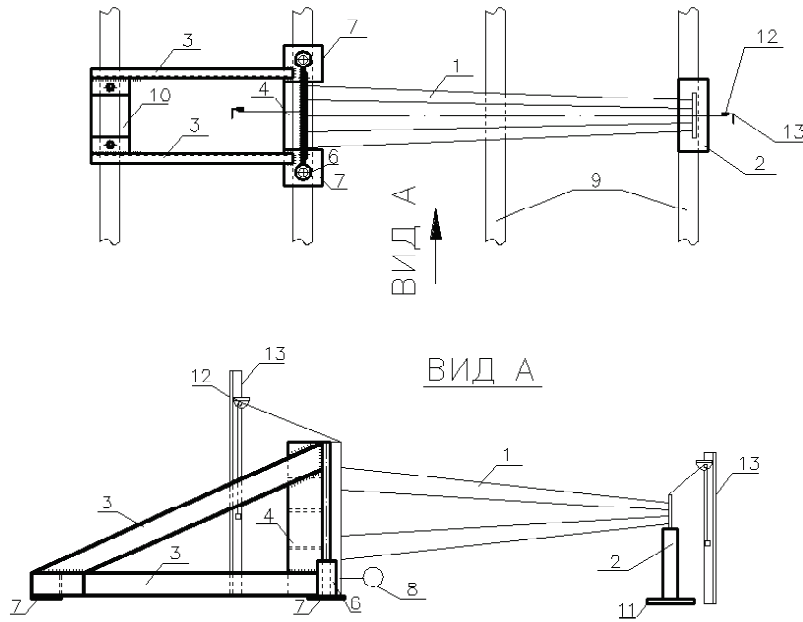


Рис. 11. Схема экспериментальной установки (1 – испытательный образец МГС, 2 – гидравлический домкрат ДГ-20, 3 – контрфорсы, 4 – система ребер жесткости, 5 – опорная плита крепления МГС, 6 – переходные элементы для крепления опорной плиты к силовому полу, 7 – металлические подкладки, 8 – индикатор часового типа, 9 – силовой пол, 10 – поперечное соединение контрфорсов, 11 – опорная тумба под домкрат ДГ-20, 12 – прогибомеры Максимова, 13 – опорные стойки крепления прогибомеров).

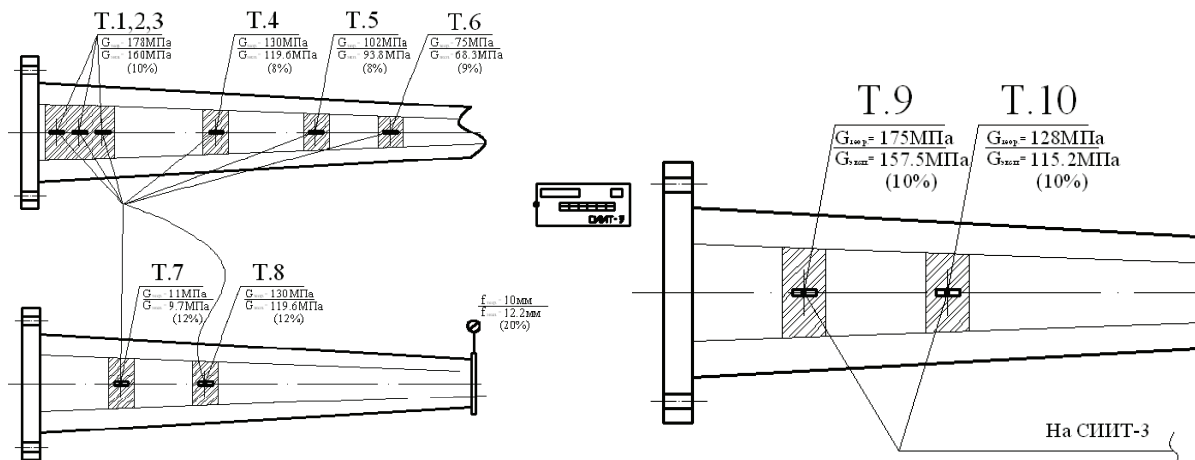


Рис. 12. Схема расположения тензодатчиков в сжатой, растянутой и нейтральной зонах конструкции и сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

В процессе эксперимента проводились исследования тех зон, которые являются наиболее напряженными как сжатием так и растяжением. Таковыми зонами (на основании теоретических исследований) были определены (рис. 12-13):

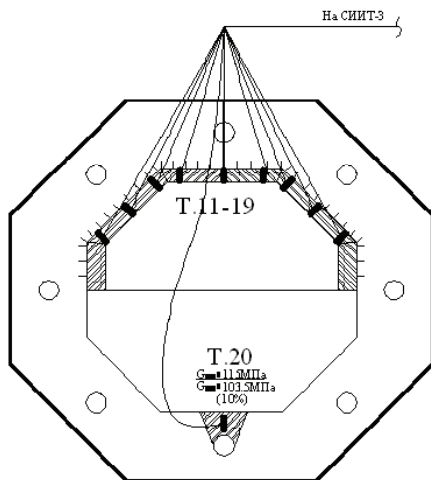
- приопорные зоны стойки МГС расположенные перпендикулярно направлению действия расчетной нагрузки (максимальные сжимающие и растягивающие напряжения);
- зоны, расположенные в базе между отверстиями под болты работающие на сжатие, и

ближайшей гранью стойки (максимальные сжимающие и растягивающие напряжения);
- зона с нулевыми напряжения расположена на нейтральной оси стойки рассматривалась как контрольная.

Нагрузка на конструкцию испытываемой модели прикладывалась ступенями по 20% от расчетной (в среднем по 1000кг) при помощи гидравлического домкрата ДГ-20. Нагрузка от собственного веса модели составила 160 кг. Продолжительность каждой ступени загрузки ограничивалось временем, необходимым для

Таблица 1. Этапы загрузки модели МГС при проведении экспериментальных исследований.

Номер точки	Направление силы	Этап загрузки											
		0%			20%			40%			60%		
		N	-2%	+2%	N	-2%	+2%	N	-2%	+2%	N	-2%	+2%
		(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)
1	Z	0	0	0	1,0	0,98	1,02	2,0	1,96	2,04	3,0	2,94	3,06
		80%			90%			95%			100%		
		N	-2%	+2%	N	-2%	+2%	N	-2%	+2%	N	-2%	+2%
1	Z	4,0	3,92	4,08	4,5	4,41	4,59	4,75	4,66	4,85	5,0	4,90	5,10
		(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)



№ точки	$G_{\text{теоретич.}}$ МПа	$G_{\text{эксперим.}}$ МПа	Д% G_1 / G_2
1	2	3	4
11	150	1365	9
12	150	135	10
13	150	135	10
14	150	1694	9
15	150	167.4	10
16	150	1693	9
17	150	135	10
18	150	135	10
19	150	1365	9

Рис. 13. Схема расположения тензодатчиков в растянутой зоне конструкции и сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

измерения отклонений, нагрузок и визуального осмотра модели. Модель под нагрузкой очередного этапа выдерживается до полной стабилизации деформаций в контролируемых точках. Нагрузки прикладывались так, чтобы не возникало никаких динамических воздействий. Максимальная узловая нагрузка составляла $P = 5000$ кг, которая моделировалась таким образом, чтобы напряжения в теле конструкций были близки по значению к расчетному сопротивлению стали.

Для измерения внутренних деформаций при испытаниях использовались проволочные петлевые тензодатчики сопротивления с базой 20 мм на бумажной основе (марки ПКБ с электрическим сопротивлением $R = 200$ Ом), показания с которых снимались при помощи тензометрической системы СИИТ-3 [7, 8].

Выводы:

1. Разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать действительную работу МГС в любом расчетном сечении.
2. Проведен статический эксперимент 1-й модели МГС.
3. Разница значений напряжений в характерных зонах конструкции, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях, составляет 8-12%.
4. Разница значений перемещений характерных точек конструкции, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях, составляет 20%.

5. Апробирована методика проведения статических экспериментальных исследований МГС, показывающая достаточную сходимость с теоретическими исследованиями.

Литература

1. СНиП II-23-81*. Нормы проектирования. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. - 96с.
2. Пособие по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением выше 1кВ (к СНиП II-23-81*). - М.: Энергосетьпроект Минэнерго СССР, 1989. - 72с.
3. Правила улаштування електроустановок, глава 2.5 "Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1кВ до 750кВ". - К.: "ГРІФЕ" Мінпалітвенерго України, 2006. - 125с.
4. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. "Расчетные модели сооружений и возможность их анализа". Издание 2-е, дополненное и переработанное. - К.: Издательство "Сталь", 2005. - 618с.
5. Андриевский В.Н. и др. Эксплуатация воздушных линий электропередачи. Издание 2-е, дополненное и переработанное. - М.-Л.: издательство "Энергия", 1966. - 624с.
6. ДБН В.1.2: 2006 "Нагрузки и воздействия". Нормы проектирования. - К.: Минстрой Украины, 2006. - 61с.
7. Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Васылев В.Н. "Обследование и испытание несущих конструкций зданий и сооружений". Учебное пособие. - К.: - УМК ВО, 1991. - 56с.
8. Материалы I и II международных конференций "Многогранные гнуты стойки". - Кременец (Николаевка) 2006-07. - 370с.
9. Гунгер Ю.Р., Пивчик И.Р. "Разработка новых конструкций опор ВЛ из гнутых металлических

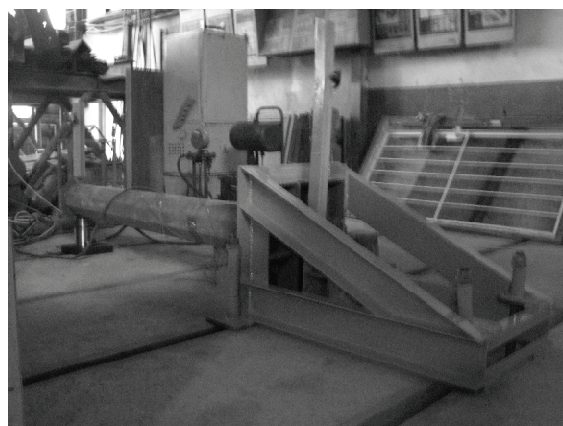


Рис. 14. Фото экспериментальной установки.

- профилей нетрадиционных форм"// Электрические станции. — М.: 2003. — №3.— С.48-50.
10. IEC 60826 "Design criteria of overhead transmission lines/. Ed.: 3.2002. — 186p.
 11. CIGRE, Working Group B2.15 "Consultations Model for Overhead Power Lines Projects", #274, Paris, 2005.
 12. CIGRE, Working Group B2.06 "The influence of line configuration on environment impacts of electrical origin", #278, Paris, 2005.
 13. Investigation Project "Upraiting of Transmission Lines 110kV in the Canadian Power System", ALSTOM, January 2002.
 14. G. Spate "Regulation in field of overhead power lines and their foundation in study Committee 22. 23rd Symposium Juko CIGRE, May 1997. — 15p.
 15. International electronic vocabulary IEC with therms, Toronto: 1996. — 310p.

Василев Володимир Миколайович — к.т.н., професор кафедри "Металеві конструкції", начальник Лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження робіт опор ліній електропередачі; регулювання і облік внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

Гаранжа Ігор Михайлович — аспірант кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи ґратчастих та багатограних листових опор повітряних ліній електропередавання.

Васылев Владимир Николаевич — к.т.н., профессор кафедры "Металлические конструкции", начальник Лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работ опор линий электропередачи; регулирование и учет внутреннего напряженного состояния горячекатаного проката в строительных конструкциях.

Гаранжа Игорь Михайлович — аспирант кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы решетчатых и многогранных листовых опор воздушных линий электропередачи.

Vasylev Vladimir Nikolayevich — Ph.D. (Eng.), professor at the Department "Metal Structures", Head of the Laboratory of Testing Building Structures of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: experimental and theoretical investigation of power transmission tower operation, control and accounting of the internal stressed state of hot-rolled stock in building structures.

Garanzha Igor Mikhailovich — a postgraduate at the Department "Metal Structures" of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: investigation of a useful operation of lattice and many-sided sheet supports of overhead power transmission towers.