



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

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

2015, ТОМ 21, НОМЕР 2, 49–61

УДК 624.014:621.315.1

(15)-0327-1

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ОПОР ВЕЛИКОГО ПЕРЕХОДУ МІЖСИСТЕМОЇ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ В УМОВАХ РЕКОНСТРУКЦІЇ З ЗАМІНОЮ ПРОВІДІВ**

**Я. В. Назім<sup>1</sup>, А. В. Танасогло<sup>2</sup>**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,*

*2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька обл., Україна, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> yaroslav.nazim@gmail.com, <sup>2</sup> a.v.tan@mail.ru*

*Отримана 17 квітня 2015; прийнята 26 червня 2015.*

**Анотація.** У статті розглядається напружено-деформований стан конструктивних елементів великого переходу міжсистемної повітряної лінії електропередавання 154 кВ «КремГЕС – КремТЕЦ» через р. Дніпро в умовах реконструкції із заміною проводів (з порівнянням двох варіантів проводів – сталелегюмінєвих марки АС і компактних Аеро-Z). Розрахунки виконувалися за допомогою розробленого програмного комплексу, заснованого на чисельно-аналітичному методі визначення напружень і деформацій в конструктивних елементах ВЛ у складі єдиної системи, що дозволило визначити чисельні значення навантажень від струмопровідних проводів і грозозахисних тросів в нормальних і аварійних режимах роботи на конструкції опор ПЛ, а також зусилля і напруження в найбільш навантажених елементах опор. За результатами розрахунку під час реконструкції виконано локальне посилення конструкцій перехідних опор. У результаті реконструкції була підвищена надійність схеми енергопостачання м. Кременчук внаслідок збільшення пропускної здатності даної лінії без заміни існуючих опор.

**Ключові слова:** повітряна лінія електропередавання (ПЛ), великий перехід ПЛ, опора ПЛ, реконструкція, напружено-деформований стан, програмний комплекс.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР БОЛЬШОГО ПЕРЕХОДА МЕЖСИСТЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ РЕКОНСТРУКЦИИ С ЗАМЕНОЙ ПРОВОДОВ**

**Я. В. Назим<sup>1</sup>, А. В. Танасогло<sup>2</sup>**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

*2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> yaroslav.nazim@gmail.com, <sup>2</sup> a.v.tan@mail.ru*

*Получена 17 апреля 2015; принята 26 июня 2015.*

**Аннотация.** В статье рассматривается напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов большого перехода межсистемной воздушной линии электропередачи 154 кВ «КремГЭС – КремТЭС» через р. Днепр в условиях реконструкции с заменой проводов (со сравнением двух вариантов проводов – сталелегюминевых марки АС и компактных Аеро-Z). Расчеты выполнялись с помощью разработанного программного комплекса, основанного на численно-аналитическом методе определения напряжений и деформаций в конструктивных элементах ВЛ в составе единой системы, что позволило определить численные значения нагрузок от токопроводящих проводов и грозозащитных тросов в нормальных и аварийных режимах работы на конструкции опор ВЛ, а также усилия и напряжения

в наиболее нагруженных элементах опор. По результатам расчета в ходе реконструкции выполнено локальное усиление конструкций переходных опор. В результате реконструкции была повышена надежность схемы энергоснабжения г. Кременчуг вследствие увеличения пропускной способности данной линии без замены существующих опор.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи (ВЛ), большой переход ВЛ, опора ВЛ, реконструкция, напряженно-деформированное состояние, программный комплекс.

## INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE OF SUPPORTS STRUCTURES OF LARGE CROSSING OF INTERSYSTEM TRANSMISSION LINE AT RECONSTRUCTION WITH REPLACEMENT OF CONDUCTORS

Yaroslav Nazim<sup>1</sup>, Anton Tanasoglo<sup>2</sup>

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

*E-mail: <sup>1</sup> yaroslav.nazim@gmail.com, <sup>2</sup> a.v.tan@mail.ru*

*Received 17 April 2015; accepted 26 June 2015.*

**Abstract.** The article deals with the stress-strain state of the structural elements of large transmission line crossing 154 kV «Kremenchuk Hydroelectric Station – Kremenchuk Heat and Power Station» across the river Dnipro under reconstruction with replacement of conductors (with a comparison of two types of conductors – ACSR and AAAC Aero-Z). Calculations have been performed by means of developed software package, which is based on the digital and analytic methods of definition of stresses and deformations in element of structures of OPTL as part of common system. That allowed defining numerical value of loads from the conductor line and overhead ground-wire cables in a normal and emergency mode of operation on the structures of overhead power transmission lines, as well as stresses and efforts in the most stresses elements of supports. As a result of the calculation performed during the reconstruction of the local strengthening of structures of transition supports. The reconstruction has improved the reliability of power supply circuits in Kremenchuk due to increase of imparted electrical power without replacing the existing supports.

**Keywords:** overhead power transmission line (PTL), large transmission line crossing, tower, reconstruction, stress-strain state, software package.

### Введение

Одной из основных воздушных линий, питающих г. Кременчуг Полтавской области, является ВЛ 154 «КремГЭС – КремТЭЦ», построенная более шестидесяти лет назад и являющаяся перемычкой между Северной и Центральной электроэнергетическими системами НЭК «Укрэнерго». Развитие в последние несколько десятилетий промышленности и инфраструктуры в регионе потребовало значительного увеличения электрической мощности и обеспечения необходимой пропускной способности ВЛ за счет применения новых проводов с увеличением сечения токопроводящей части до 500 мм<sup>2</sup>. В свою очередь применение такого класса проводов рез-

ко увеличивает нагрузки на несущие конструкции опор ВЛ. Учитывая межсистемное значение данной линии электропередачи и невозможность ее длительного отключения, реконструкция ВЛ с заменой конструкций опор неосуществима. В то же время строительство новой ВЛ, альтернативной существующей, потребовало бы значительных материальных ресурсов и огромных капиталовложений, а главное – заняло бы не один десяток месяцев.

Данная статья основана на основных результатах рабочего проекта по реконструкции, разработанного и реализованного специалистами Донбасской национальной академии строительства и архитектуры и ООО «Содружество» в 2013 г.,

в результате которого было принято решение о реконструкции существующей ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» с заменой проводов, усилением металлоконструкций опор и фундаментов.

### Характеристика объекта

Данная линия электропередачи, построенная и введенная в эксплуатацию в конце 1950-х годов, является участком основного «питающего кольца» г. Кременчуг. Характерной особенностью рассматриваемой ВЛ 154 кВ является то, что трасса линии пересекает р. Днепр ниже дамбы Кремен-

чугского водохранилища. Общая протяженность перехода через р. Днепр составляет около 2,0 км, на реконструируемом участке опор № 17–20 – более 1,4 км (рис. 1, 2).

Проект двухцепного перехода ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» через р. Днепр, по которому ВЛ введена в эксплуатацию, выполнен Харьковским отделением института Теплоэлектропроект в 1955 году. Опора № 17 находится на берегу р. Днепр (рис. 3а), опора № 18 на полуострове, опора № 19 на острове Ерик (рис. 3б), опоры № 20а и 20б на острове Дидок. Пролет № 17–18 является переходом через судоходный канал, пролеты № 18–19 и № 19–20 – переходами

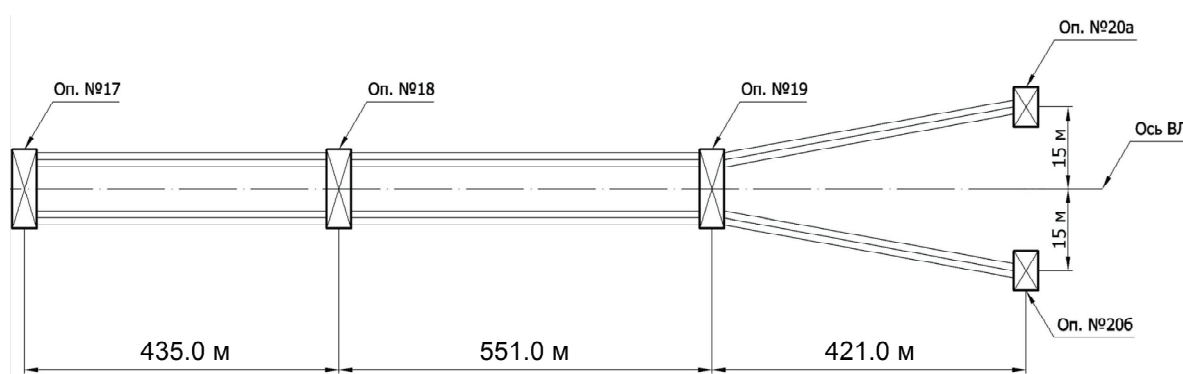


Рисунок 1. Схема двухцепного перехода ВЛ 154 кВ.

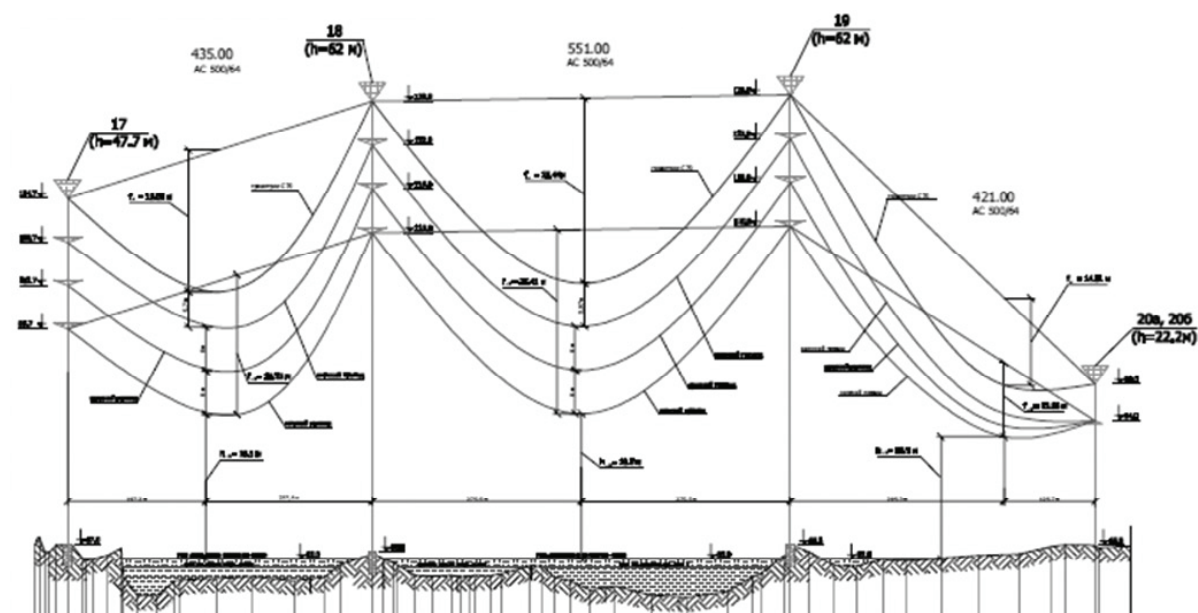


Рисунок 2. Продольный профиль по оси перехода ВЛ 154 кВ через р. Днепр.

через протоки. Максимальный уровень водного пространства в местах судоходства составляет 65,00 м (уровень воды в нижнем бьефе Кременчугской гидроэлектростанции).

Опоры № 17, 18 и 19 – двухцепные переходные башенного типа, представляют собой пространственную решетчатую сварную металлическую конструкцию с монтажными соединениями на болтах. Портальные опоры № 20а и 20б состоят из сварных решетчатых металлических секций с монтажными соединениями на сварке.

По проекту на участке между опорами № 17–20 были применены бронзовые токопроводящие провода марки Б-120, грозозащитный трос марки С-50 – в максимальном пролете между опорами № 18 и 19, в остальных пролетах – С-35. За период эксплуатации ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» через р. Днепр в судоходном пролете опор № 17–18 бронзовые провода марки Б-120 на нижних фазах обеих цепей ВЛ были оборваны мачтами судов и заменены на провода АС 240/32.

### Перерасчет токопроводящих проводов и грозозащитных тросов

В соответствии требованиями, регламентированными с главой 2.5 ПУЭ [1], климатические условия в зоне прохождения трассы ВЛ следующие: характеристическое значения гололеда – 15 Н/м; характеристическое значение ветрового давле-

ния – 450 МПа; характеристическая нагрузка давления ветра на провода и тросы диаметром 10 мм, покрытые гололедом – 8 Н/м; среднегодовая температура воздуха +8 °С; минимальная температура воздуха –36 °С; максимальная температура воздуха +38 °С.

Для перерасчета токопроводящих проводов и грозозащитных тросов использовался программный комплекс «MISI1» [2], разработанный в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, в котором реализован алгоритм определения напряженно-деформированного состояния гибких нитей с определением весовых, ветровых и критических пролетов для заданного профиля местности и конкретных метеорологических условий. ПК «MISI1» основан на численно-аналитическом методе определения напряжений и деформаций в проводах, грозозащитных тросах, арматуре и конструкциях опор ВЛ в составе единой системы, что позволило определить численные значения нагрузок от токопроводящих проводов и грозозащитных тросов в нормальных и аварийных режимах работы на конструкции опор ВЛ. При расчете в данном комплексе учитывался целый ряд взаимосвязанных факторов – климатические условия, профиль трассы, углы поворота линии, разность тяжений в смежных анкерных участках. Все это влияет на напряженно-деформированное состояние ВЛ, т. к. на-

а)



б)



**Рисунок 3.** Общий вид двухцепного перехода ВЛ 154 кВ через р. Днепр: а) общий вид опоры № 17; б) общий вид опоры № 19.

грузки от проводов и тросов напрямую зависят от стрел провеса и от различной высоты точек подвеса на опорах. При этом программный комплекс позволяет отслеживать габариты от токопроводящих проводов до поверхности земли (воды) и пересекаемых инженерных сооружений в соответствии с ПУЭ [1], что особенно важно в случае пересечения водных пространств и судоходных каналов.

При механическом расчете участка линии были применены расчетные режимы (сочетания) для проводов и тросов (табл. 1), регламентированные ПУЭ [1], и учтены отечественные и зарубежные рекомендации по проектированию ВЛ [2–5].

Перерасчет выполнялся для двух вариантов подвеса проводов – традиционных сталеалюминиевых проводов марки АС-500/64 и компактных проводов марки Аеро-Z 504-2Z. Рассмотрение варианта применения провода типа Аеро-Z при реконструкции перехода было обусловлено необходимостью снижения нагрузок на конструкции опор при увеличении пропускной способности передачи электроэнергии. Как показывали зарубежные и отечественные исследования, геометрия компактного провода позволяет увеличить токопроводящее сечение по сравнению с традиционным проводом такого же диаметра, а также проводам типа Аеро-Z в определенных климатических условиях характерно пониженное аэродинамическое сопротивление и интенсивность обледенения вследствие более гладкой

наружной поверхности и более высокой крутильной жесткости [6–10].

В результате расчета в программном комплексе «MISI1» определены стрелы провеса токопроводящих проводов и грозозащитных тросов. Стрелы провеса (в м) для двух вариантов токопроводящих проводов по десяти расчетным режимам приведены на рис. 4.

### Перерасчет конструкций переходных опор

В данной статье в качестве примера приводится информация о результатах расчета применительно к переходной опоре № 18, как самой нагруженной на участке перехода ВЛ.

Схемы расчетных нагрузок для переходной опоры № 18 в случае подвеса провода марки АС-500/64, определенные с помощью ПК «MISI1», приведены на рис. 5. Геометрическая схема опоры приведена на рис. 6а, пространственная расчетная модель переходной опоры – на рис. 6б.

Перерасчет опор перехода ВЛ выполнялся на нагрузки всех схем загрузок из ПК «MISI1» в программном вычислительном комплексе «SCAD», дополнительный проверочный расчет – в вычислительном комплексе «LIRA». Для каждого режима определялись усилия в элементах конструкции. В качестве расчетных усилий принимались максимальные значения. Расчетные усилия для всех элементов переходной опоры № 18 приведены в табл. 2.

Таблица 1. Расчетные режимы (сочетания нагрузок) для расчетов проводов и тросов

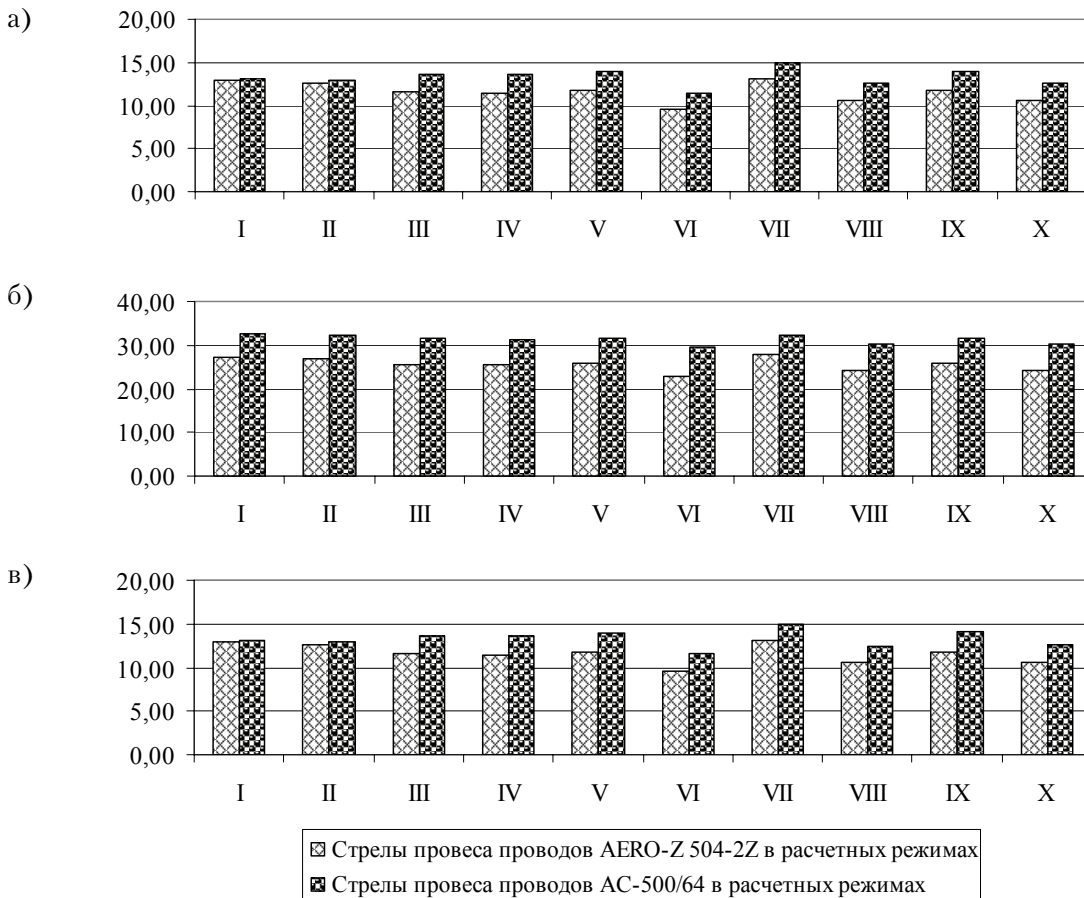
Расчетный режим	Сочетание климатических условий
I	Провода и трос покрыты гололедом, $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , скоростной напор ветра при гололеде
II	Провода и трос покрыты гололедом, $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ветра нет
III	Максимальный скоростной напор ветра, $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , гололеда нет
IV	Среднегодовая температура, ветра и гололеда нет
V	$t = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ветра и гололеда нет
VI	Низшая температура, ветра и гололеда нет
VII	Максимальная температура, ветра и гололеда нет
VIII	$t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , скоростной напор ветра при монтаже 62,5 Па, гололеда нет
IX	$t = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , скоростной напор ветра при грозových перенапряжениях ( $q=0,1q_{\max}$ ; если $q < 62,5$ Па, то $q=62,5$ Па)
X	$t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ветра и гололеда нет

Сравнение расчетных усилий в элементах опоры № 18 (в % разницы усилий для двух вариантов подвеса проводов АС-500/64 и Аеро-Z 504-2Z) приведено на рис. 7.

Анализ полученных результатов показал, что применение провода АС-500/64 (по сравнению с проводом Аеро-Z 504-2Z) на участке перехода ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремГЭЦ» через р. Днепр приводит к уменьшению значений расчетных усилий в поясных элементах в нижней части ствола опор до 18,6 %, в поясах траверс опор – до 15,3 %, диафрагм – до 18,7 %. В то же время в случае варианта с применением провода АС-500/64 значения расчетных усилий в элементах решетки траверс увеличиваются до 27,4 %, в элементах решетки ствола – до 22,8 % (за исключением элементов решетки ствола в зоне нижней траверсы, где значения усилий снижаются на 26,5 %).

### Рекомендации по усилению металлоконструкций и фундаментов опор

На основании полученных расчетных усилий в стержнях конструкций опор был произведен перерасчет всех сечений элементов переходных опор. Анализ полученных напряжений в стержнях конструкций переходных опор при действии максимальных нагрузок позволил установить, что в целом для конструкций переходных опор напряжения в элементах не превышают расчетное сопротивление стали. При этом в элементах средних и верхних траверс всех переходных опор (№ 17, 18 и 19) было отмечено превышение расчетного сопротивления стали до 15 %. Основываясь на имеющемся опыте реконструкции и повышения надежности электросетевых конструкций [11–13], авторами было принято решение усилить боковые и нижние грани средних и верх-

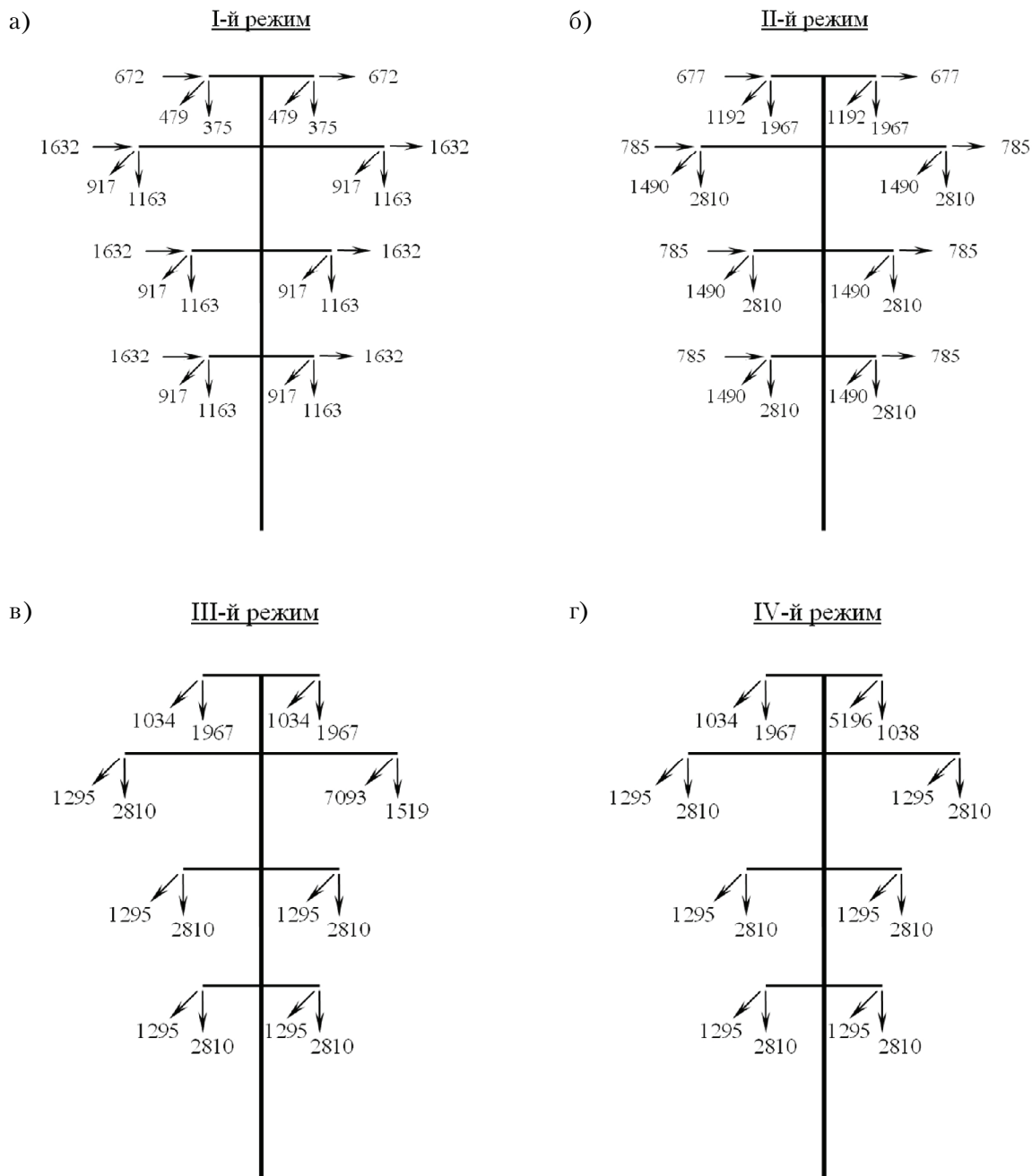


**Рисунок 4.** Стрелы провеса (м) проводов Аеро-Z 504-2Z и АС-500/64 в расчетных режимах: а) в пролете № 17–18; б) в пролете № 18–19; в) в пролете № 19–20.

них траверс (рис. 8) посредством установки дополнительных элементов – шпренгелей.

Это позволило уменьшить расчетные длины, а соответственно снизить напряжения в элемен-

тах до значений, не превышающих указанных в расчетном листе по проекту. Таким образом, переходные опоры № 17, 18 и 19 после местного усиления смогут воспринимать нагрузки от



**Рисунок 5.** Схемы расчетных сочетаний нагрузок для 4-х режимов расчета переходной опоры № 18 (в случае подвеса провода марки АС-500/64): а) режим I – нормальный режим: максимальный скоростной напор ветра,  $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , гололеда нет; б) режим II – нормальный режим: провода и трос покрыты гололедом,  $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , скоростной напор ветра при гололеде; в) режим III – аварийный режим: обрыв провода крайней фазы, провода и трос покрыты гололедом,  $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ветра нет; г) режим VI – аварийный режим: обрыв грозозащитного троса, провода и трос покрыты гололедом,  $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ветра нет.

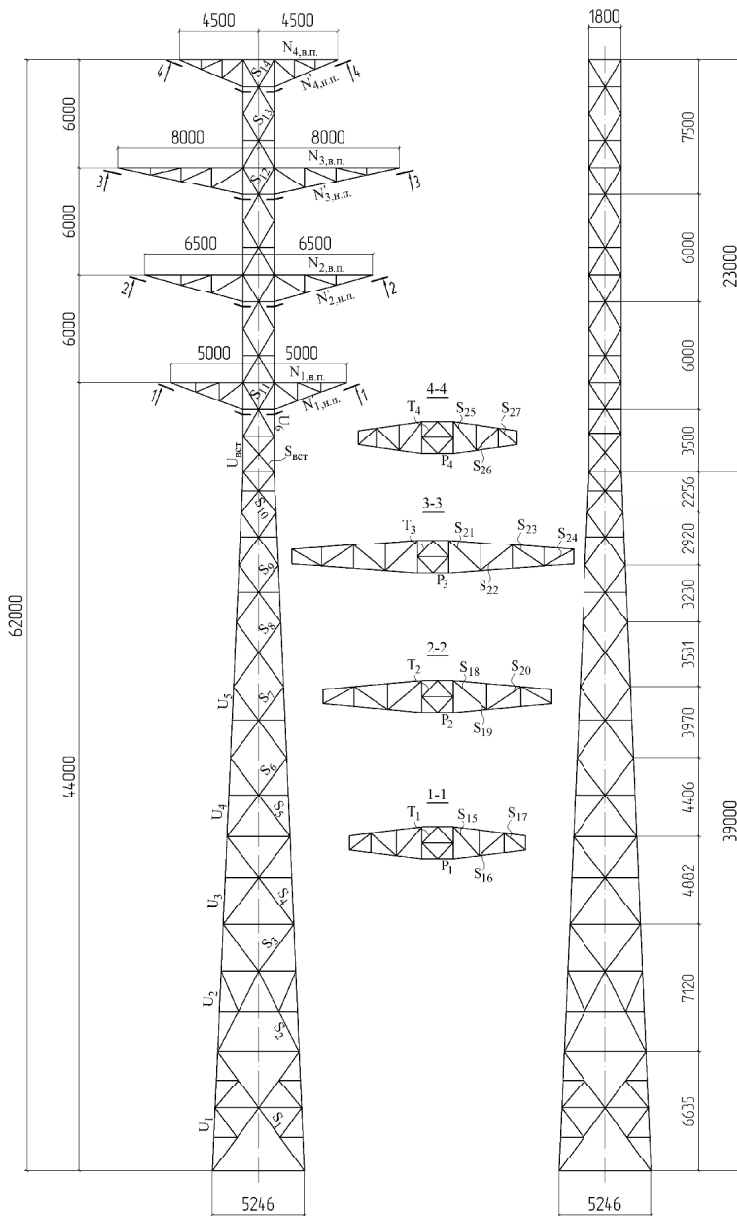
подвески как проводов марки Аеро-Z 504-2Z, так и АС-500/64. Аналогичным образом был выполнен перерасчет порталных опор № 20а и 20б, в результате которого были приняты решения по усилению поясов ствлов опор, поясов траверс и усилению фундаментов [14].

На основании технико-экономического обоснования сравнения вариантов применения двух типов проводов, с учетом значительной стоимости провода Аеро-Z 504-2Z и применяемой ли-

нейной арматуры, а также стоимости работ и необходимых технологических решений для его монтажа был принят вариант реконструкции с использованием традиционного провода АС-500/64.

В целом снижение металлоемкости при реконструкции двухцепного перехода ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» через р. Днепр на участке опор № 17–20 составило 90 % по сравнению с вариантом замены опор.

а)



б)

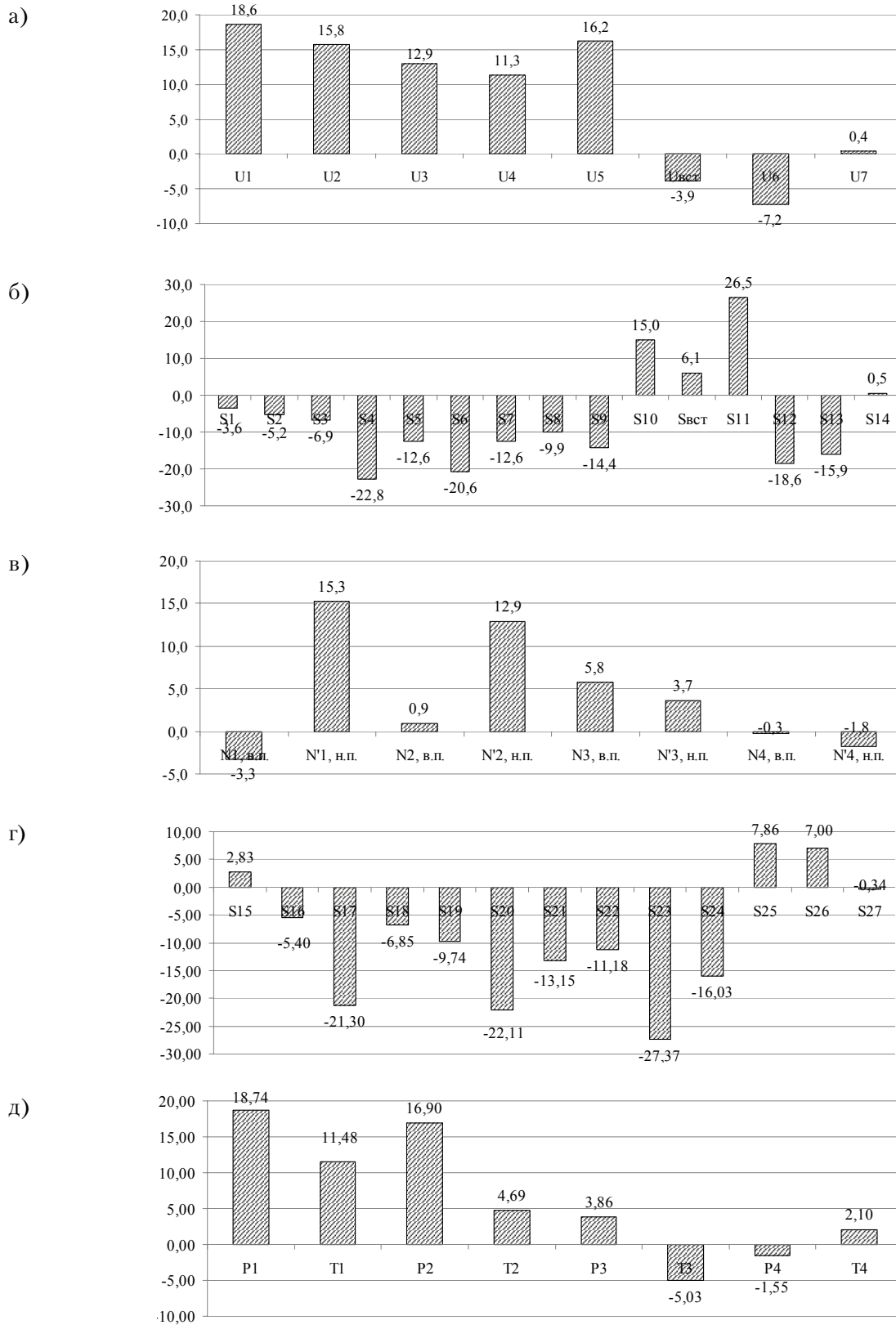


Рисунок 6. Переходная опора № 18: а) геометрическая схема; б) пространственная расчетная модель.



Таблица 2. Расчетные усилия в элементах переходной опоры № 18

Марка, наимен.	Код элемента (см. рис. 6а)	Сечение по проекту	Длина, см	Усилие по проекту (по расчетному листу), т	Усилие по перерасчету, т (провод АС-500/64)	Усилие по перерасчету, т (провод Аеро-Z 504-2Z)	Расчетный режим
АС-60-17, секция ствола	U <sub>1</sub>	└┘Г130×12	175	$\frac{-92,10}{+66,90}$	$\frac{-125,88}{+110,73}$	$\frac{-149,26}{+135,66}$	I
	S <sub>1</sub>	└┘L100×10	220	-6,15	-6,74	-6,50	III
АС-60-13, секция ствола	U <sub>2</sub>	└┘Г130×12	260	-85,5	-122,16	-141,45	I
	S <sub>2</sub>	└┘L100×10	255	-	-9,29	-8,81	III
	S <sub>3</sub>	└┘L100×10	329	-	-5,54	-5,16	III
АС-60-11, секция ствола	U <sub>3</sub>	└┘Г130×12	258	-78,3	-116,96	-132,09	I
	S <sub>4</sub>	└┘L120×10	387	-7,83	-6,54	-5,05	III
АС-60-8, секция ствола	U <sub>4</sub>	└┘Г120×12	232	-72,15	-110,60	-123,11	I
	S <sub>5</sub>	└┘L100×10	294	-8,70	-7,41	-6,48	III
	S <sub>6</sub>	└┘L100×10	265	-10,05	-8,29	-6,58	III
АС-60-7, секция ствола	U <sub>5</sub>	└┘Г120×12	190	-62,55	-99,64	-115,79	I
	S <sub>7</sub>	└┘L100×10	238	-11,15	-9,45	-8,26	III
	S <sub>8</sub>	└┘L100×10	213	-12,60	-10,71	-9,65	III
	S <sub>9</sub>	└┘L100×10	192	-14,20	-12,19	-10,44	III
	S <sub>10</sub>	└┘L100×10	150	-14,65	-12,63	-14,53	III
АС-60-18, секция ствола	U <sub>вет</sub>	└┘Г130×10	200	-	-70,98	-68,21	II
	S <sub>вет</sub>	└┘L90×8	270	-	-17,55	-18,62	III
АС-60-6, секция ствола	U <sub>6</sub>	└┘Г100×8	150	-47,08	-49,07	-45,53	II
	S <sub>11</sub>	└┘L120×10	175	-21,40	-26,18	-33,12	III
АС-60-5, секция ствола	U <sub>7</sub>	└┘Г75×8	150	-11,35	-17,39	-17,46	IV
	S <sub>12</sub>	└┘L100×10	175	-15,6	-19,58	-15,94	III
	S <sub>13</sub>	└┘L90×8	175	-8,46	-17,71	-14,89	III
	S <sub>14</sub>	└┘L65×8	175	-3,44	-8,00	-8,04	IV
Тросостойка	N <sub>4</sub> в.п.	└┘L60×6	121	-4,63	-3,43	-3,42	IV
	N <sub>4</sub> н.п.	└┘L60×6	129	-1,1	-7,92	-7,78	IV
	S <sub>25</sub>	└┘L60×6	208	-1,29	-1,40	-1,51	IV
	S <sub>26</sub>	└┘L60×6	183	-1,85	-2,00	-2,14	IV
	S <sub>27</sub>	└┘L60×6	161	-1,41	-2,91	-2,90	IV
	P <sub>4</sub>	└┘L75×8	90	-2,54	-7,09	-6,98	IV
Верхняя траверса	T <sub>4</sub>	└┘L75×8	127	-2,8	-1,43	-1,46	IV
	N <sub>3</sub> в.п.	└┘L90×10	178	-8,56	-11,22	-11,87	III
	N <sub>3</sub> н.п.	└┘L75×8	181	-5,33	-17,97	-18,63	III
	S <sub>21</sub>	└┘L63×6	246	-2,77	-2,51	-2,18	III
	S <sub>22</sub>	└┘L63×6	230	-2,98	-3,40	-3,02	III
	S <sub>23</sub>	└┘L63×6	216	-4,05	-4,64	-3,37	III
	S <sub>24</sub>	└┘L63×6	203	-	-5,99	-5,03	III
	P <sub>3</sub>	└┘L75×8	90	-6,68	-17,09	-17,75	III
Средняя траверса	T <sub>3</sub>	└┘L75×8	127	-8,84	-3,78	-3,59	III
	N <sub>2</sub> в.п.	└┘L75×8	187	-6,82	9,72	9,81	III
	N <sub>2</sub> н.п.	└┘L65×8	193	-4,13	-13,73	-15,50	III
	S <sub>18</sub>	└┘L65×8	252	-2,52	-2,92	-2,72	III
	S <sub>19</sub>	└┘L65×8	232	-3,68	-4,31	-3,89	III
	S <sub>20</sub>	└┘L65×8	215	-3,04	-6,15	-4,79	III
	P <sub>2</sub>	└┘L75×8	90	-5,45	-12,13	-14,18	III
Нижняя траверса	T <sub>2</sub>	└┘L75×8	127	-6,6	-2,77	-2,90	III
	N <sub>1</sub> в.п.	└┘L75×6	138	-5,17	-6,95	-6,72	III
	N <sub>1</sub> н.п.	└┘L75×6	145	-10,16	-10,27	-11,84	III
	S <sub>15</sub>	└┘L60×6	218	-2,23	-2,47	-2,54	III
	S <sub>16</sub>	└┘L60×6	194	-3,05	-3,52	-3,33	III
	S <sub>17</sub>	└┘L60×6	173	-2,35	-5,07	-3,99	III
	P <sub>1</sub>	└┘L75×8	90	-4,17	-9,18	-10,90	III
T <sub>1</sub>	└┘L75×8	127	-4,83	-1,83	-2,04	III	



**Рисунок 7.** Сравнение расчетных усилий (%) в элементах опоры для 2-х вариантов проводов (АС-500/64 и Аеро-Z 504-2Z): а) в элементах поясов ствoла; б) в элементах решетки ствoла; в) в элементах поясов траверс; г) в элементах решетки траверс; д) в элементах диафрагм траверс.



5. EN 50341-1: Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV [Текст]. Part 1: General requirements – Common specifications. – Brussels : CENELEC, 2009. – 234 p. – (International Standard).
6. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines [Текст] / J. Lamsoul, J. Rogier, P. Couneson, A. Van Overmeere. – CIGRE 2000 session documentation. Report CIGRE 22-206. Paris: CIGRE, 2000. – 6 p.
7. Increasing the ampacity of overhead lines using homogeneous compact conductors [Текст] / M. Gaudry, F. Chore, C. Hardy, E. Ghannoum. – CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-201. – Paris : CIGRE, 1998. – 7 p.
8. Improving the performance of existing high-voltage overhead lines by using compact phase and ground conductors [Текст] / P. Couneson, J. Lamsoul, D. Delplanque [et al.]. – CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-209. – Paris : CIGRE, 1998. – 8 p.
9. Назим, Я. В. Исследования крутильной жесткости проводов для воздушных линий электропередачи [Текст] / Я. В. Назим // Металлические конструкции. 2011. Том 17, № 3. С. 199–215.
10. Горохов, Е. В. Испытания на гололедофобность компактных и секторных проводов воздушных линий электропередачи в климатической камере [Текст] / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васильев, В. В. Лях // Металлические конструкции. 2012. Том 18, № 1. С. 73–84.
11. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций [Текст] : [Моногр.] / Е. В. Горохов, С. Н. Шаповалов, Е. И. Удод [и др.]; Под ред. Е. В. Горохова. – К. : Техніка, 1997. – 284 с.
12. Назим, Я. В. Повышение надежности и долговечности ВЛ при реконструкции [Текст] / Я. В. Назим, Е. В. Шевченко, Т. Е. Удод // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2007. Вип. 2007-6(68). С. 120–126.
13. Шевченко, Е. В. Исследование напряженно-деформированного состояния двухцепной анкерно-уголовой опоры ВЛ 330 кВ с использованием различных программных комплексов [Текст] / Е. В. Шевченко, В. А. Глухов, А. В. Танасогло // Металлические конструкции. 2010. Том 16, № 1. С. 31–39.
14. Назим, Я. В. Реконструкция большого перехода воздушной линии электропередачи через р. Днепр в г. Кременчуг [Текст] / Я. В. Назим, Е. В. Шевченко // Современное промышленное и гражданское строительство. 2014. Том 10, № 2. С. 83–95.
15. Назим, Я. В. Методика механического расчета воздушных линий электропередачи высокого класса безотказности в составе единой системы [Текст] / Я. В. Назим // Металлические конструкции. 2014. Том 20, № 2. С. 119–137.
6. Lamsoul, J.; Rogier, J.; Couneson, P.; Van Overmeere, A. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines. CIGRE 2000 session documentation. Report CIGRE 22-206. Paris: CIGRE, 2000. 6 p.
7. Gaudry, M.; Chore, F.; Hardy, C.; Ghannoum, E. Increasing the ampacity of overhead lines using homogeneous compact conductors. CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-201. Paris: CIGRE, 1998. 7 p.
8. Couneson, P.; Lamsoul, J.; Delplanque, D.; Capelle, Th.; Havaux, M.; Guery, D.; Delree, X. Improving the performance of existing high-voltage overhead lines by using compact phase and ground conductors. CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-209. Paris: CIGRE, 1998. 8 p.
9. Nazim, Ya. V. Researches torsional rigidity of wires for electricity transmission air-lines. In: *Metal Constructions*, 2011, Том 17, Number 3, p. 199–215. (in Russian)
10. Gorokhov, Yevgen; Nazim, Yaroslav; Vasylev, Volodymyr; Lyah, Volodymyr. Testing of icing process on the compacted and sectored conductors of overhead lines in climatic chamber. In: *Metal Construction*, 2012, Volume 18, Number 1, p. 73–84. (in Russian)
11. Gorokhov, Ye. V.; Shapovalov, S. N.; Udod, E. I. et al.; Edited by Gorokhov, Ye. V. Growth of reliability and life of the power supply network construction. Monograph. Kyiv: Technics, 1997. 284 p. (in Russian)
12. Nazim, Ya. V.; Shevchenko, Ye. V.; Udod, T. Ye. PTL reliability and longevity increase at reconstruction. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2007, Issue 2007–6(68), p. 120–126. (in Russian)
13. 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 Construction*, 2010, Volume 16, Number 1, p. 31–39. (in Russian)
14. Nazim, Yaroslav; Shevchenko, Yevgeny. Reconstruction of large transmission line crossing on the river Dnieper in Kremenchuk. In: *Modern Industrial and Civil Construction*, 2014, Volume 10, Number 2, p. 83–95. (in Russian)
15. Nazim, Yaroslav. Calculation procedure of the overhead power transmission lines of high reliability as part of unified mechanical system. In: *Metal Construction*, 2014, Volume 20, Number 2, p. 119–137. (in Russian)

**Назім Ярослав Вікторович** – к. т. н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, Міжнародної асоціації з великих систем енергетики – CIGRE. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережних конструкцій.

**Танасогло Антон Володимирович** – к. т. н., доцент кафедри 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.

**Назим Ярослав Викторович** – к. т. н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Международной ассоциации по большим системам энергетики – CIGRE. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций.

**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.

**Nazim Yaroslav** – PhD (Engineering), Associate Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, a member of Ukrainian Association of Metal Structures, a member of the CIGRE. Scientific interests: operational characteristics, the longevity and the reliability of power supply structures.

**Tanasoglo Anton** – PhD (Engineering), Associate 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.