



РЕКОНСТРУКЦІЯ ВЕЛИКОГО ПЕРЕХОДУ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ ЧЕРЕЗ Р. ДНІПРО В М. КРЕМЕНЧУК

Я. В. Назім, Є. В. Шевченко

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: yaroslav.nazim@gmail.com

Отримана 8 квітня 2014; прийнята 25 квітня 2014.

Анотація. Об'єктом дослідження в даній статті є дволанцюговий великий перехід ПЛ 154 кВ «КремГЕС – КремТЕЦ» через р. Дніпро. Відповідальність даної споруди обумовлена не тільки тим, що дана ПЛ є основною енергопостачальною лінією м. Кременчук, але і її міжсистемним призначенням. Розрахунки виконувалися за допомогою розробленого програмного комплексу, заснованого на чисельно-аналітичному методі визначення напружень і деформацій у конструктивних елементах ПЛ 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 в найбільш навантажених елементах опор. За результатами розрахунку в ході реконструкції виконано локальне підсилення конструкцій перехідних і кінцевих опор. У статті наводиться опис технології виконання робіт щодо заміни проводів і грозозахисних тросів в перехідних прольотах з застосуванням розкотування проводу з опусканням на воду, що дозволило скоротити терміни реконструкції і знизити монтажні навантаження на опори. В цілому, реалізація роботи дозволила підвищити показники електричної потужності, що передається, при істотному зниженні матеріаломісткості (без заміни існуючих опор), а також підвищити надійність міжсистемної ділянки ПЛ.

Ключові слова: повітряна лінія електропередавання (ПЛ), великий перехід, реконструкція, струмопровідний провід, перехідна опора.

РЕКОНСТРУКЦИЯ БОЛЬШОГО ПЕРЕХОДА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ Р. ДНЕПР В Г. КРЕМЕНЧУГ

Я. В. Назим, Е. В. Шевченко

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: yaroslav.nazim@gmail.com

Получена 8 апреля 2014; принята 25 апреля 2014.

Аннотация. Объектом исследования в данной статье является двухцепной большой переход ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремГЭЦ» через р. Днепр. Ответственность данного сооружения обусловлена не только тем, что данная ВЛ является основной энергоснабжающей линией г. Кременчук, но и ее межсистемным назначением. 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 токоведущих проводов и грозозащитных тросов в нормальных и аварийных режимах работы на конструкции опор ВЛ, а также усилия в наиболее нагруженных элементах опор. По результатам расчета в ходе реконструкции выполнено локальное усиление конструкций переходных и конечных опор. В статье приводится описание технологии производства работ по замене проводов и грозозащитных тросов в переходных пролетах с применением раскатки провода с опусканием на воду, что позволило сократить сроки реконструкции и снизить монтажные нагрузки на опоры. В целом, реализация работы

позволила повысить показатели передаваемой электрической мощности при существенном снижении материалоемкости (без замены существующих опор), а также увеличить надежность межсистемного участка ВЛ.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи (ВЛ), большой переход, реконструкция, токоведущий провод, переходная опора.

RECONSTRUCTION OF LARGE TRANSMISSION LINE CROSSING ON THE RIVER DNIEPER IN KREMENCHUK

Yaroslav Nazim, Yevgeny Shevchenko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: yaroslav.nazim@gmail.com

Received 8 April 2014; accepted 25 April 2014.

Abstract. The subject of research in this article is the double circuit large transmission line crossing 154 kV «Kremenchuk Hydroelectric Station – Kremenchuk Heat and Power Station» on the river Dnieper. The responsibility of the given construction is not established only by that fact, that given overhead transmission line is one of power supply lines of Kremenchuk, but also its intersystem value. 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 efforts in the most stresses elements of supports. According to the results of calculation during the reconstruction it was made the local strengthening of structures of towers and supports. This article describes the manufacturing process of works on replacement of conductors and overhead ground-wire cables by installation them on the surface of water, that allowed to reduce term of reconstruction and loads on the supports. On the whole, realization of work allowed raising indicators of imparted electrical power when the considerable reduction of materials-output ratio (without renewal of existing supports), and also to increase the reliability of the intersystem of OPTL section.

Keywords: overhead power transmission line (OPTL), large transmission line crossing, reconstruction, conductor line, tower.

Введение

Объектом исследования в данной статье является двухцепной большой переход ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» через р. Днепр (участок опор № 17–20 под дамбой Кременчугского водохранилища), который состоит из трех анкерных пролетов суммарной длиной 1 407 м, с максимальным пролетом 551 м на переходных опорах высотой 62 м. Ответственность данного сооружения обусловлена не только тем, что данная ВЛ является основной питающей линией г. Кременчуг Полтавской области, но и ее межсистемным назначением, т. к. ВЛ является перемычкой между Северной и Центральной электроэнергетическими системами НЭК «Укрэнерго». Все расчеты и технические решения по ре-

конструкции перехода ВЛ были выполнены специалистами Донбасской национальной академии строительства и архитектуры совместно с ООО «Содружество».

Характеристика объекта

Проект двухцепного перехода ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» через р. Днепр выполнен Харьковским отделением института Теплоэлектропроект в 1955 году. Характерной особенностью рассматриваемого участка ВЛ является то, что трасса линии пересекает р. Днепр по островам. Опора № 17 находится на берегу р. Днепр, опора № 18 на полуострове, опора № 19 на острове Ерик, опоры № 20а, 20б на острове Дидок.

Переход выполнен по схеме К–А–А–К, при этом пролет 17–18 является переходом через судоходный канал, пролеты 18–19 и 19–20 – переходами через р. Днепр (рис. 1).

Рассматриваемый участок ВЛ был построен и введен в эксплуатацию в конце 50-х годов прошлого столетия. Двухцепные опоры № 17–19 являются опорами башенного типа и представляют собой пространственную решетчатую сварную металлическую конструкцию с монтажными соединениями на болтах и сварке. Высота переходных опор № 18–19 – 62 м (рис. 2а), концевой опоры № 17 – 48 м (геометрическая схема опоры аналогична схеме опор № 18–19, без подставки). Одноцепные концевые опоры № 20а, 20б являются опорами порталного типа высотой 22 м (рис. 2б), выполненными из сварных решетчатых металлических секций с монтажными соединениями на болтах. Все опоры анкерные.

Токоведущие провода на участке между опорами № 17–20 бронзовые марки Б-120, грозозащитный трос марки С-50 в пролете 18–19, в остальных пролетах – С-35. За период эксплуатации ВЛ в пролете 17–18 бронзовые провода Б-120 были оборваны мачтами судов и заменены на провода АС-240/32.

Для обеспечения необходимой передаваемой электрической мощности на ВЛ потребовался провод с сечением алюминия 500 мм². На предварительном этапе проектирования рассматривались два варианта провода: АС-500/64 и АЕРО-Z 504-2Z. На основании технико-экономического анализа был принят провод АС-500/64. Про-

должный профиль реконструируемого участка ВЛ 154 кВ «Крем ГЭС – Крем ТЭЦ» через р. Днепр представлен на рис. 3.

Перерасчет участка перехода ВЛ

Перерасчет участка перехода ВЛ выполнялся в соответствии требованиями, регламентированными УкрПУЭ [14], с помощью разработанного программного комплекса «MISI1» [1], основанного на традициях отечественной школы проектирования [2–13], а также учитывающего зарубежный опыт [21–24]. 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 токоведущих проводов и грозозащитных тросов в нормальных и аварийных режимах работы на конструкции опор ВЛ, а также усилия в наиболее нагруженных элементах опор.

Климатические условия трассы ВЛ 150 кВ принимались следующие [14, 17]:

- характеристическое значение гололеда – 15 Н/м (3 район);
- характеристическое значение ветрового давления – 450 МПа (2 район);
- характеристическая нагрузка действия ветра на провода и тросы диаметром 10 мм, покрытые гололедом – 8 Н/м (2 район);
- среднегодовая температура воздуха +8 °С (3 район);

а)

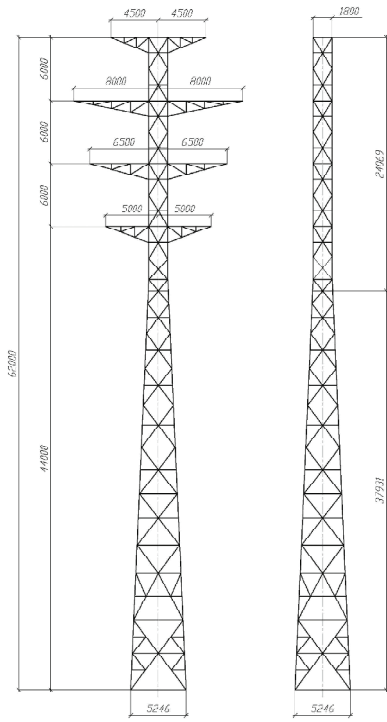


б)



Рисунок 1. Общий вид двухцепного перехода ВЛ 154 кВ: а) в пролете 17–18 (судоходный канал); б) в пролетах 18–19 и 19–20 (переход через р. Днепр).

а)



б)

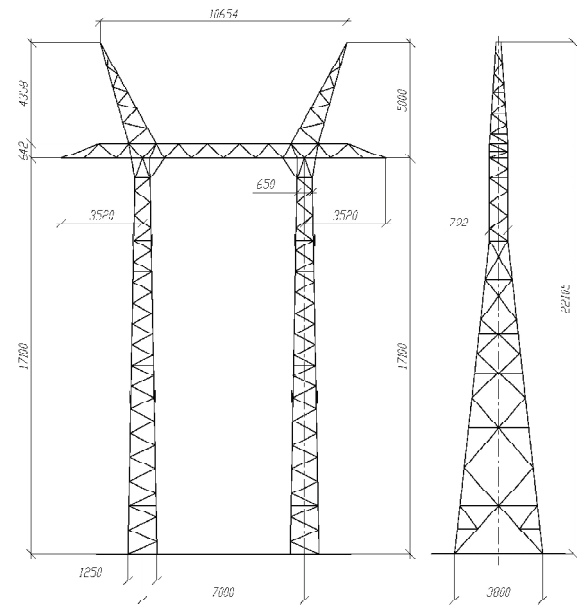


Рисунок 2. Геометрические схемы опор: а) переходных опор (№ 18–19); б) порталных анкерных опор (№ 20а, 20б).

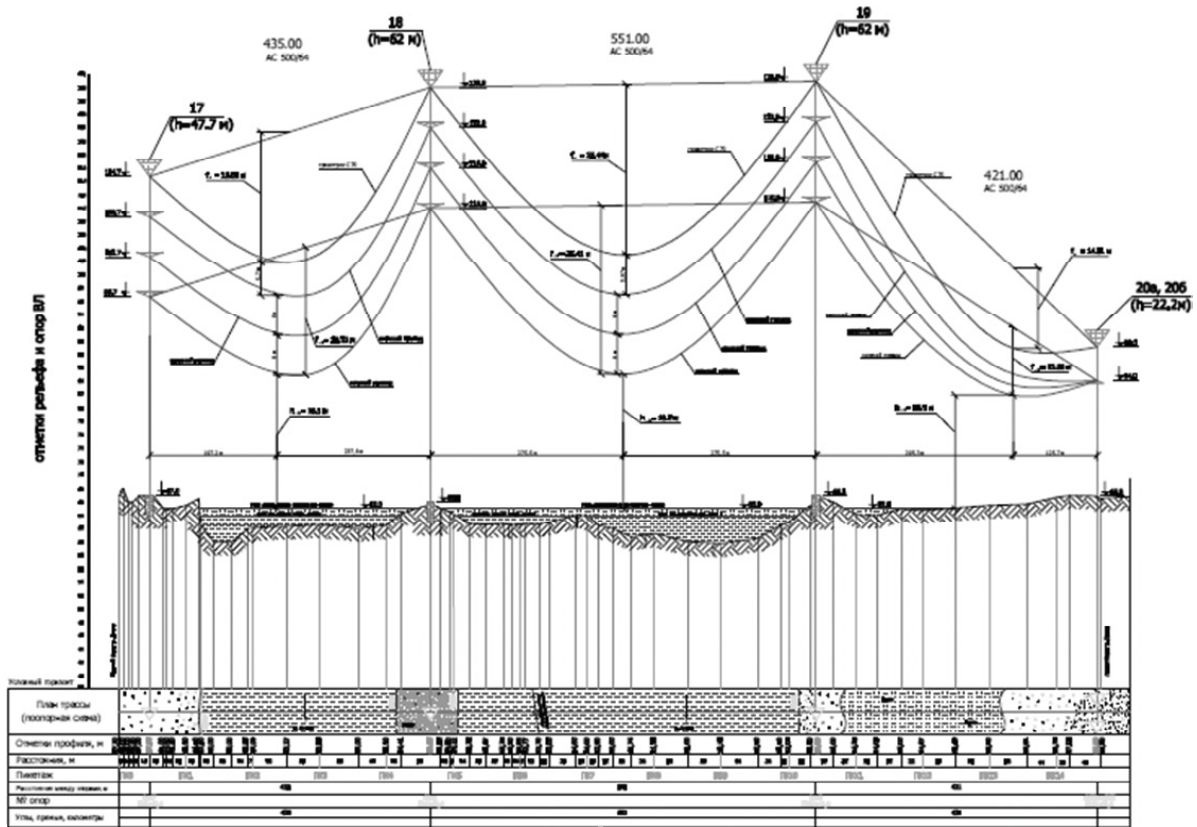


Рисунок 3. Продольный профиль по оси перехода ВЛ 154 кВ через р. Днепр.

- минимальная температура воздуха $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ (7 район);
- максимальная температура воздуха $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2 район).

Проверочный расчет опор перехода ВЛ выполнялся на нагрузки от всех схем загрузок из ПК «MISI1» в вычислительном комплексе «LIRA».

Для каждого расчетного режима определялись усилия в элементах конструкции, производился проверочный расчет сечений всех элементов опор [18]. На рисунке 4 показаны примеры визуализации результатов расчета переходной и концевой опоры для нормального режима (максимальный ветер под углом 90° к оси ВЛ).

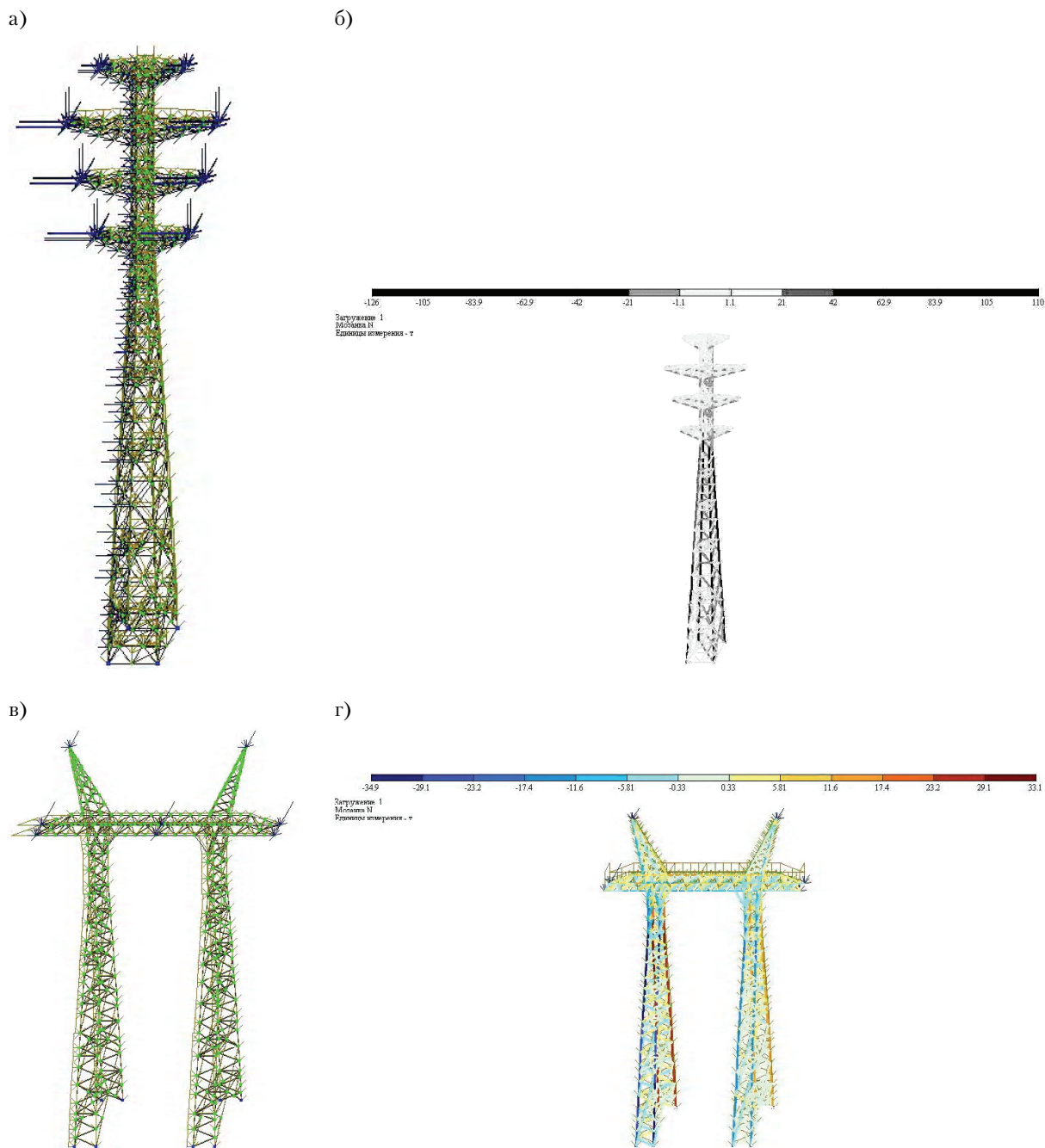


Рисунок 4. Примеры визуализации результатов расчета для нормального режима: а), б) расчетная модель переходной опоры и распределение усилий в ней, соответственно; в), г) расчетная модель порталной концевой опоры и распределение усилий в ней, соответственно.

Технические решения по реконструкции перехода ВЛ

В ходе реконструкции по результатам перерасчета было выполнено усиление металлических конструкций порталных опор за счет увеличения сечения поясов стволов дополнительными элементами (рис. 5а) или с помощью установки шпренгельных элементов решетки траверс пере-

ходных опор, выполнено усиление фундаментов опор пригрузочными монолитными ростверками (рис. 5б, 5г), а также по результатам натурного освидетельствования конструкций, регламентированного [15, 16], выполнена локализация мест щелевой коррозии с обваркой узлов (рис. 5в) и восстановление защитного лакокрасочного покрытия всех металлоконструкций опор.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 5. Усиление конструкций опор перехода ВЛ: а) увеличение сечения поясов; б), г) усиление фундаментов пригрузочными монолитными ростверками; в) локализация мест щелевой коррозии с обваркой узлов.

Принятое решение о реконструкции существующей ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремГЭЦ» без замены опор позволило избежать значительных материальных ресурсов и капиталовложений, а главное, сократить сроки отключения передачи электроэнергии и перекрытия р. Днепр только на период замены проводов и тросов. Продолжительность выполнения работ составила 21 сутки.

В свою очередь реализация методов производства работ по последовательной замене проводов и грозозащитных тросов в переходных пролетах с применением раскатки провода с опусканием на воду позволила сократить сроки реконструкции и снизить монтажные нагрузки на опоры.

Демонтаж существующих токоведущих проводов и грозозащитных тросов выполнялся анкерными участками, т. е. по пролетам 17–18, 18–19, 19–20, последовательно по одному проводу (тросу) в пролете ВЛ, с дальнейшим их использованием в качестве тягового троса для раскатки новых проводов.

Для расчета проводов и грозозащитных тросов использовался ПК «MISI1» [1], в котором реализован алгоритм определения напряженно-деформированного состояния гибких нитей с определением весовых, ветровых и критических пролетов для заданного профиля местности и десяти расчетных режимов для сочетаний климатических нагрузок, регламентированных УкрПУЭ [14]. Максимальные стрелы провеса наблюдаются при следующих режимах:

I режим – провода и трос покрыты гололедом, $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, скоростной напор ветра при гололеде;

III режим – максимальный скоростной напор ветра $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, гололеда нет;

VII режим – максимальная температура, ветра и гололеда нет.

ПК «MISI1» позволил также определить монтажные стрелы токоведущих проводов (табл. 1) и грозозащитных тросов.

Работы по монтажу проводов предусмотрено было выполнять по пролетам методом визирования (рис. 6). При монтаже провод должен быть

Таблица 1. Монтажные стрелы провода АС-500/64

Пролет	Длина пролета, м	Монтажные стрелы, м, (при температуре воздуха, $^{\circ}\text{C}$)															
		-36	-31	-26	-21	-16	-11	-6	-1	+4	+9	+14	+19	+24	+29	+34	+39
17–18	435,0	16.48	16.68	16.88	17.07	17.26	17.45	17.64	17.82	18.01	18.19	18.37	18.55	18.73	18.91	19.08	19.25
18–19	551,0	22.13	22.36	22.59	22.82	23.05	23.28	23.50	23.73	23.95	24.17	24.38	24.60	24.82	25.03	25.24	25.45
19–20	421,0	10.24	10.49	10.73	10.98	11.22	11.45	11.69	11.92	12.15	12.38	12.61	12.83	13.05	13.27	13.49	13.70

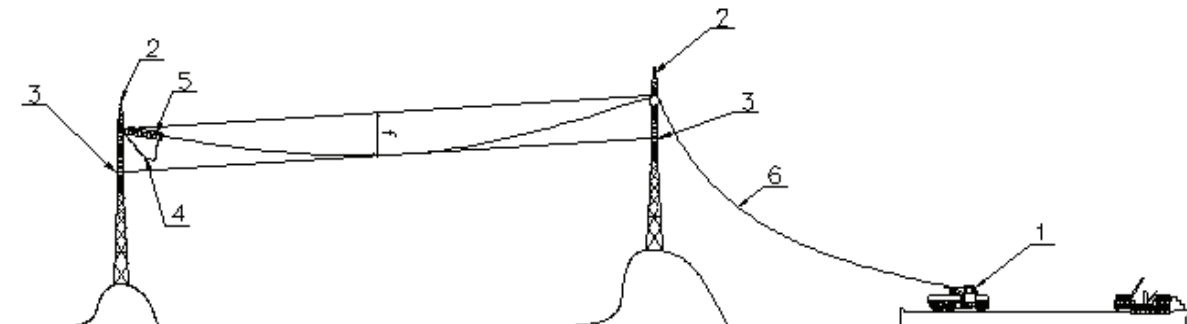


Рисунок 6. Натягивание и визирование проводов по стреле провеса: 1 – автомобиль с лебедкой на несамоходном судне; 2 – анкерная опора; 3 – визирная рейка; 4 – полупетля для обводного шлейфа; 5 – гирлянда изоляторов; 6 – натягиваемый провод (грозотрос).

подвешен с таким тяжением, чтобы напряжение в проводе во всех режимах соответствовало расчетным значениям. Тяжение провода может быть измерено непосредственно при помощи динамометра или определено косвенным путем по значению стрелы провеса. Последний способ дает более надежные результаты, поэтому при реконструкции перехода ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» необходимое тяжение определялось по замеру стрел провеса. Выбор способа визирования зависит от рельефа местности, по которой проходит трасса ВЛ. На переходе ВЛ измерялись стрелы путем визирования с опоры на опору. Визировка осуществлялась с подъёмом на опору с отметкой установки натяжных зажимов с помощью визирной рейки, краски или бечевки.

Провода монтировались последовательно по одному проводу в пролете, начиная с верхней правой траверсы, далее – левой, а затем – средних и нижних траверс в той же последовательности.

Последовательность работ при замене провода в пролете 17–18 следующая:

- подъем провода АС 500/64 на опору № 17 и поданкеровка осуществлялись с помощью электрической лебедки на автомобиле ГАЗ-66 и блок-ка, установленного на траверсе (рис. 7а);
- далее осуществлялась раскатка провода в пролете 17–18 с использованием буксирного теплохода с опусканием провода на палубы двух несамоходных судов. Для предотвращения опускания провода на дно р. Днепр в остальной части пролета применялись поплавки (надувные автомобильные камеры), закрепленные к проводу с помощью монтажных поясов с шагом 50 м. При раскатке расчет длины проводов и тросов с учетом фактической стрелы провеса выполнялся по формуле:

$$Z = l + \frac{8f^2}{3l} + \frac{\Delta h^2}{l},$$

- где l – длина пролета между точками крепления;
 f – стрела провеса по монтажным таблицам;
 h – перепад отметок между точками крепления;
- выполнялось натяжение провода в пролете с применением электрической лебедки на вездеходном автомобиле ЗИЛ-131, установленном на полуострове у опоры № 18 со стороны пролета 18–19;
 - производилось временное закрепление провода на опорах № 17 и 18;

- выполнялось визирование в пролете по визирным рейкам, в случае необходимости производилась подтяжка, после чего отмечалась необходимая длина провода;
- провод опускался у обеих анкерных опор, собирались монтажные гирлянды на деревянном настиле, определялась их фактическая длина в вытянутом состоянии, полученные длины исключались из длины провода;
- опрессовывались натяжные зажимы на обоих концах отрезков провода;
- поднимался провод с гирляндой и закреплялся на опоре;
- по визирным рейкам проверялось соответствие стрел провеса проектной величине, в случае необходимости производилась подрегулировка длин провода промзвеньями в натяжных гирляндах.

В такой же последовательности выполнялась замена остальных 5-ти проводов в пролете 17–18. Монтаж проводов в пролетах 18–19 и 19–20 выполнялся аналогично описанному выше, но с размещением автомобилей с электрическими лебедками на несамоходных судах грузоподъемностью 1 000 т, доставленных буксирным теплоходом к островам Эрик и Дидок в непосредственной близости к опорам (рис. 7б, 7в). В качестве наглядного примера на рис. 8 показаны этапы замены проводов в переходном пролете 19–20.

Заключение

Реализация работ по реконструкции перехода без замены существующих опор ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ» позволила повысить показатели передаваемой электрической мощности для г. Кременчуг при существенном снижении материалоемкости, а также увеличить надежность межсистемного участка ВЛ. Примененная технология локального усиления конструкций опор и фундаментов обеспечила сокращение сроков отключения передачи электроэнергии и перекрытия р. Днепр только на период замены проводов и тросов. Реализация методов производства работ по последовательной замене проводов и грозозащитных тросов в переходных пролетах с применением раскатки провода с опусканием на воду позволила сократить сроки реконструкции и снизить монтажные нагрузки на опоры.

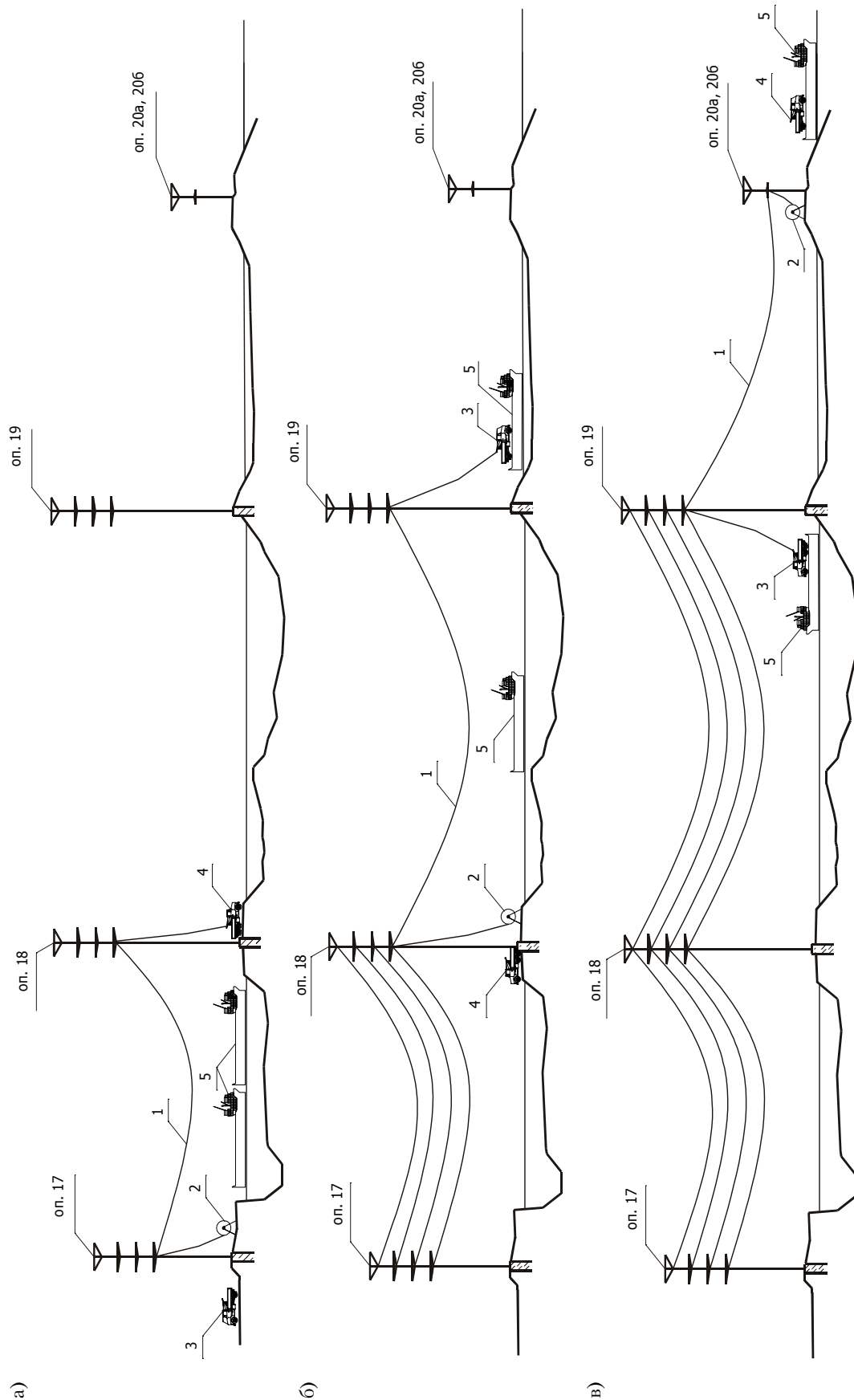


Рисунок 7. Натягивание проводов (грозозащитных тросов): а) в пролете 17–18; б) в пролете 18–19; в) в пролете 19–20. 1 – натягиваемый провод (грозоотрос); 2 – катушка с проводом (грозоотросом); 3 – автомобиль с лебедкой для поданкеровки; 4 – автомобиль с лебедкой для натягивания провода (грозоотроса); 5 – несамходное судно (баржа).

а)



б)



в)



г)



Рисунок 8. Замена проводов в переходном пролете 19–20: а) демонтаж проводов; б) опрессовка новых шлейфов; в) раскатка провода с опусканием на воду с применением поплавков; г) поданкеровка провода на переходной опоре.

Литература

1. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи [Текст] / Е. В. Шевченко. – [2-е изд.]. – Макеевка : ДонГАСА, 1999. – 169 с.
2. Крюков, К. П. Переходы воздушных линий через большие водные пространства [Текст] / К. П. Крюков. – Л. : Энергоатомиздат, 1982. – 224 с.
3. Виноградов, Д. Е. Строительство линий электропередачи 35–500 кВ с тяжелыми трассами [Текст] / Д. Е. Виноградов. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
4. Виноградов, Д. Е. Монтаж переходных опор [Текст] / Д. Е. Виноградов. – Л. : Энергоатомиздат, 1981. – 112 с.
5. Крюков, К. П. Конструкция и расчёт металлических и железобетонных опор линий электропередачи [Текст] / К. П. Крюков, А. И. Курносов, Б. П. Новгородцев. – Л. : Энергия, 1975. – 456 с.
6. Крюков, К. П. Конструкция и механический расчёт линий электропередачи [Текст] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – Л. : Энергия, 1979. – 312 с.

References

1. Shevchenko, Ye. V. Improvement of steel construction support of overhead transmission line. Second Edition. Makeyevka: DonSASEA, 1999. 169 p. (in Russian)
2. Kriukov, K. P. Transmission line crossings over great water space. Leningrad: Energoatomizdat, 1982. 224 p. (in Russian)
3. Vinogradov, D. E. Construction of overhead transmission line of 35–500 kV with advanced profiles. Leningrad: Energoatomizdat, 1983. 216 p. (in Russian)
4. Vinogradov, D. E. Erection of support for transmission line crossing. Leningrad: Energoatomizdat, 1981. 112 p. (in Russian)
5. Kriukov, K. P.; Kurnosov, A. I.; Novgorodtsev, B. P. Structure and calculation of steel and reinforced concrete supports of overhead transmission line. Leningrad: Energy, 1975. 456 p. (in Russian)
6. Kriukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Structure and mechanical calculation of overhead transmission lines. Leningrad: Energy, 1979. 312 p. (in Russian)
7. Trofimov, V. I. Stability analysis and load bearing capacity of metal structures such as transmission

7. Трофимов, В. И. Исследование устойчивости и несущей способности металлических конструкций типа опор линий электропередачи [Текст] / В. И. Трофимов. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.
8. Барг, И. Г. Воздушные линии электропередачи: Вопросы эксплуатации и надёжности [Текст] / И. Г. Барг, В. И. Эдельман. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
9. Назим, Я. В. Обследование больших переходов воздушных линий электропередачи Днепровских магистральных сетей [Текст] / Я. В. Назим // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 1998. – Вип. 98–4(12). – С. 155–162.
10. Горохов, С. В. Про особливості роботи великих переходів повітряних ліній електропередачі [Текст] / С. В. Горохов, С. М. Шаповалов, Я. В. Назим // Металеві конструкції. – 1999. – Том 2, № 1. – С. 13–19.
11. 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.
12. Григорьев, Ю. Е. Справочник по строительству линий электропередачи [Текст] / Ю. Е. Григорьев, Р. И. Зильberman, Б. В. Кашкаров ; под ред. А. Д. Романова. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Энергия, 1971. – 560 с.
13. Справочник по строительству и реконструкции линий электропередачи напряжением 0,4–750 кВ [Текст] / под ред. Е. Г. Гологорского. – М. : ЭНАС, 2007. – 560 с.
14. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст] / Міністерство палива та енергетики України. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 125 с.
15. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35–750 кВ [Текст]. Частина 1. Металеві та залізобетонні опори. Паспортизація ліній. – К. : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. – 124 с.
16. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35–750 кВ [Текст]. Частина 2. Конструктивні елементи ліній. – К. : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. – 92 с.
17. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007–01–01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с. – (Державні будівельні норми).
18. ДБН В.2.6-163:2010. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. 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 towers. Moscow–Leningrad: Gosenergoizdat, 1963. 320 p. (in Russian)
8. Barg, I. G.; Edelman, V. I. Overhead transmission lines. Aspects of operation and durability. Moscow: Energoatomizdat, 1985. 248 p. (in Russian)
9. Nazim, Ya. V. Researches of large transmission line crossings of Dniper power grid. In: *Proceeding of the Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 1998, Issue 98–4(12), p. 155–162. (in Russian)
10. Gorokhov, Evgeny V.; Shapovalov, Sergey N.; Nazim, Yaroslav V. Some features of transmission line crossings work. In: *Metal Construction*, 1999, Volume 2, Number 1, p. 13–19. (in Ukrainian)
11. 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)
12. Grigorev, Yu. E.; Zilberman, R. I.; Kashkarov, B. V.; Edited by Romanov, A. D. Reference book on engineering of power transmission lines. The third edition, revised and enlarged. Moscow: Energy, 1971. 560 p. (in Russian)
13. Gologorskiy, E. G. (Ed.). Reference book on engineering and reconstruction of power transmission lines by voltage. Moscow: ENAS, 2007. 560 p. (in Russian)
14. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: GRIFRE, 2006. 125 p. (in Ukrainian)
15. SOU-N EE 20.571:2007. Evaluation of technical state of overhead transmission lines by voltage from 35 to 750 kV. The first part. Steel and reinforced concrete supports. Line passportization Kyiv: NTSEU, GRIFRE, 2007. 124 p. (in Ukrainian)
16. SOU-N EE 20.571:2007. Evaluation of technical state of overhead transmission lines by voltage from 35 to 750 kV. The second part. Structural units of lines. Kyiv: NTSEU, GRIFRE, 2007. 92 p. (in Ukrainian)
17. DBN V.1.2-2:2006. System reliability and safety of construction projects. Loads and impacts. Design standards. Kyiv: Ukraine Ministry of Construction, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
18. DBN V.2.6-163:2010. Constructions of buildings and structures. Steel structures. Norms for design, fabrication and erection. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 202 p. (in Ukrainian)
19. Decree of National committee of Ukraine according to industrial safety, labour safety and mining notice number 62 dated back to 27.03.2007 «About adoption of the labour safety rules in the process of work running on the hight». In: *Official Bulletin of Ukraine*, 2007, Number 42, p. 106–159. (in Ukrainian)
20. Decree of Energy Department number 258 dated back to 25.07.2006 «About adoption of rules of technical operation of electric consumer». In: *Official Bulletin of Ukraine*, 2006, Number 44, p. 227–386. (in Ukrainian)
21. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines. Third Edition. Geneva, Switzerland: Interna-

- п.п. 4.78–4.134; чинні від 2011–12–01. – К.: Мінергобуд України, 2011. – 202 с. – (Державні будівельні норми).
19. Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті [Текст]: Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду № 62 від 27.03.2007 р. // Офіційний вісник України. – 2007. – № 42. – С. 106–159.
 20. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст]: Наказ Міністерства палива та енергетики № 258 від 25.07.2006 // Офіційний вісник України. – 2006. – № 44. – С. 227–386.
 21. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines [Текст]. – Third Edition. – Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2003. – 241 p. – (International Standard).
 22. Probabilistic design of overhead transmission lines [Текст]: Companion document to «Improved design criteria of overhead transmission lines based on reliability concepts». – Brochure 109, SC 22, WG 06. – Paris: CIGRE, 2000. – 124 p.
 23. EN 50341-1. Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV [Текст]. Part 1: General requirements – Common specifications. – Brussels: CENELEC, 2009. – 234 p. – (International Standard).
 24. Wadell, Brian C. Transmission Line Design [Текст]: handbook / Brian C. Wadell. – Norwood: Artech house, 2005. – 266 p.

Назим 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.

Шевченко Євген Володимирович – д.т.н., професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор, участь у розробці будівельних норм проектування.

Назим Ярослав Вікторович – к.т.н., доцент кафедри 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.

Шевченко Евгений Владимирович – д.т.н., профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, академик Академии строительства Украины. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор, участие в разработке строительных норм проектирования.

Nazim Yaroslav – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Metal Structures department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Construction, Member of the CIGRE. Scientific interests: operational characteristics, the longevity and the reliability of power supply structures.

Shevchenko Yevgeny – DSc (Eng.), Professor of Metal Structures Department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the Ukrainian Association on Metal Construction, an Academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine. Scientific interests: optimal design of overhead power transmission line and antenna support structures, participation in the development of the design building norms.