



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

2015, ТОМ 21, НОМЕР 3, 147–165

УДК 624.03

(15)-0334-1

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ (КОМПЛЕКС РОБІТ ТА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ДІЮЧИХ ПЛ)

С. М. Бакаєв, Н. С. Смирнова, В. В. Моргай

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

Отримана 31 серпня 2015; прийнята 25 вересня 2015.

Анотація. Проаналізовано результати натурного огляду ряду ліній, видані пропозиції щодо ефективних способів усунення дефектів і пошкоджень конструкцій та елементів. Враховуючи конструктивні та експлуатаційні особливості об'єкта дослідження, встановлено необхідність розробки комплексної багаторівневої системи безпеки. У статті наведена схема основних етапів експертизи вимог технологічної безпеки. Надані необхідні рекомендації для забезпечення технологічності та експлуатаційної безпеки ПЛ при будівництві, експлуатації, а також ремонту і реконструкції. Прописані основні положення технічного звіту, необхідні для відображення результатів обстеження.

Ключові слова: опори ПЛ, оцінка технічного стану, заходи щодо підвищення надійності і довговічності ПЛ, керування технологічною безпекою ПЛ.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ (КОМПЛЕКС РАБОТ И ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ДЕЙСТВУЮЩИМ ВЛ)

С. Н. Бакаев, Н. С. Смирнова, В. В. Моргай

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

Получена 31 августа 2015; принята 25 сентября 2015.

Аннотация. Проанализированы результаты натурного освидетельствования ряда линий, выданы предложения по эффективным способам устранения дефектов и поврежденных конструкций и элементов. Учитывая конструктивные и эксплуатационные особенности объекта исследования, установлена необходимость разработки многоуровневой комплексной системы безопасности. В статье приведена схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности. Даны рекомендации, необходимые для обеспечения технологичности и эксплуатационной безопасности ВЛ при строительстве, эксплуатации, а также ремонте и реконструкции. Прописаны основные положения технического отчета, необходимые для отражения результатов обследования.

Ключевые слова: опоры ВЛ, оценка технического состояния, мероприятия по повышению надежности и долговечности ВЛ, управления технологической безопасностью ВЛ.

RELIABILITY GROWTH OF OPERATION OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES (SET OF WORKS AND SUGGESTION ACCORDING TO ACTING OPL)

Sergii Bakayev, Nataliia Smirnova, Vadim Morgay

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: natashaligina@mail.ru*

Received 31 August 2015; accepted 25 September 2015.

Abstract. The results of full-scale inspection of series of lines have been analyzed, suggestions according to powerful technique of defect and structural and units damage correction have been given. Taking into account constructional and operating features of research subject, the necessity of development of multilevel integrated security system has been found out. In the article circuit design of main phase of expert review of process safety orders has been given. References, which are needed to determine guarantee of processibility and operating safety of overhead transmission lines in the process of civil engineering operation, and also in the process of maintenance and reconstruction have been given. Fundamental principles of engineering report, which are needed to determine representation of findings have been provided.

Keywords: supporting structures OPL, estimation of engineering status, measures according to growth of reliability and durability OPL, process safety control OPL.

В настоящее время в инженерной практике все чаще встает вопрос об обеспечении надежности и долговечности конструкций, в частности ВЛ при их эксплуатации, реконструкции и переоборудовании.

Анализируя возникшие проблемы с передачей электроэнергии в Украине [5, 12, 13], не трудно увидеть, что в последнее время массовые повреждения ВЛ определенно вызваны старением основных фондов, однако не стоит исключать такие факторы, как изменение расчетных нагрузок и переоборудование линий [4, 10–14].

Существенным отличием воздушных линий от всех других типов сооружений является большая протяженность. Вследствие этого не исключена возможность попадания отдельных участков ВЛ в зоны, где микроклимат существенно отличается от расчетных климатических условий района строительства [12]. Аварийность ВЛ в ряде случаев обусловлена недостаточным учетом всех климатических факторов в зоне прохождения трасс ВЛ. Существенное количество отказов опор вызвано действием сверхрасчетных гололедно-ветровых нагрузок на провода,

тросы и строительные конструкции. Обычно они являются следствием недоучета при проектировании фактических ветровых и гололедных нагрузок, их сочетаний, а также динамических нагрузок [7–9].

Надежность работы ВЛ обусловлена совокупностью ряда факторов. Выявить истинные причины отказов ВЛ и наметить пути по усовершенствованию ВЛ можно только на основании статистических данных о повреждаемости их элементов. Отказы являются одним из основных критериев проверки правильности практических решений и теоретических предпосылок [1–3, 6].

Основным условием долговечной эксплуатации опор ВЛ является достоверная оценка их технического состояния и эксплуатационных качеств. При этом должны быть учтены, с одной стороны, специфичность материалов, изготовления, монтажа и работы конструкций, а с другой, – особенности внешних и технологических воздействий на них с целью выявления действительных условий работы, определяющих факторов разрушения и их количественных значений.

По результатам анализа натурального освидетельствования ряда линий были выданы предложения по эффективным способам устранения дефектов и повреждений конструкций и элементов ВЛ. В данной статье представлен ряд объектов, по которым проведены проектные, изыскательские и ремонтные работы.

**«Криворожская ТЭС – Новокаховская»
участки № 394–399, 404–418 Южной ЭС ГП
НЭК «Укрэнерго»**

В связи со значительным сроком эксплуатации конструкций в условиях агрессивной воздушной среды без проведения ремонтно-восстановительных мероприятий возникла необходимость в выполнении оценки технического состояния и разработке мероприятий по повышению их надежности и долговечности.

Проект исследуемой воздушной линии электропередачи был разработан Харьковским ОКП Украинского отделения института «Энергосеть-проект» в 1968 г. На этапе проектирования предполагалось устройство ВЛ «Криворожская ГРЭС-2 – Джанкой».

Воздушная линия электропередачи ВЛ 330 кВ «Криворожская ТЭС – Новокаховская» на рассматриваемых участках располагается на одноцепных и двухцепных опорах.

На основании предоставленной документации на участке № 394–399 установлены одноцепные анкерно-угловые типа У35ми+5 и промежуточные опоры П25мпк. На участке опор № 404–418 ВЛ «Криворожская ТЭС – Новокаховская» располагается на двухцепных опорах: промежуточных типа П28ми и анкерно-угловых типа У39ми, совместно с линией «Новокаховская – Херсонская». На участке № 394–399 на ВЛ применяется два грозозащитных троса (рис. 1). Проектной организацией конструкции базовых промежуточных опор были изменены относительно типовых применением тросостоек с двумя траверсами. На участке опор № 404–418 тросостойки также изготовлены с двумя тросовыми траверсами (рис. 2). Опоры установлены на железобетонные фундаменты. Согласно проектной документации на опорах применены грибовидные фундаменты. Анкерно-угловые опоры выполнены с распорками, установленными в уровне обреза фундаментов.

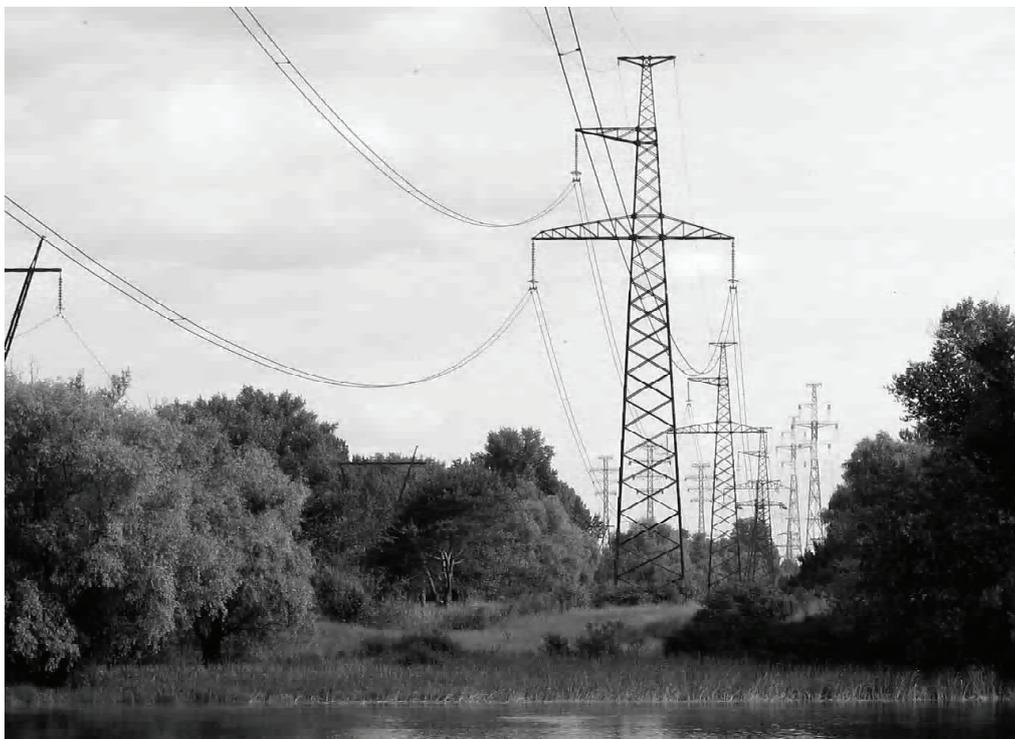


Рисунок 1. Общие виды участка ВЛ 330 кВ «Криворожская ТЭС – Новокаховская» № 394–399.

В процессе обследования конструктивных элементов опор ВЛ и фундаментов фиксировались:

- коррозия деталей опоры, дефекты болтовых и сварных соединений (рис. 3, 4);
- деформация элементов опоры (общие и локальные погнутости уголков) (рис. 5) и дефекты сварных швов;
- местные нарушения целостности элементов;
- изготовление элемента не в соответствии с проектом;
- трещины и повреждения наземной части фундаментов.

На техническое состояние конструкций оказывают влияние и условия эксплуатации:

- наблюдаются участки с затоплением, болотистые участки;

– отмечается наличие обильной растительности (рис. 6);

– в отдельных случаях отмечается засыпка элементов опорных зон грунтом (рис. 4);

– локально присутствуют случаи демонтажа посторонними лицами элементов.

В соответствии с данными обследования ВЛ 330 кВ «Криворожская ТЭС – Новокаховская» участков № 394–399, 404–418 Южной ЭС ГП НЭК «Укрэнерго» металлоконструкции опор и железобетонные фундаменты имеют множество дефектов и повреждений, которые не позволяют нормально эксплуатировать ВЛ и могут привести к аварии.

Проектом предусмотрен ряд мероприятий по устранению обнаруженных несовершенств:



Рисунок 2. Общие виды участка ВЛ 330 кВ «Криворожская ТЭС – Новокаховская» № 404–418.



Рисунок 3. Коррозионное поражение до 2,0 мм опорных фасонек, анкерного болта и гайки.



Рисунок 4. Коррозионное поражение опорных фасонек из-за наличия грунта в уровне среза фундамента.

- усиление оголовков фундаментов;
- усиление сварных соединений, имеющих дефекты и повреждения;
- усиление элементов приопорной зоны при значительных коррозионных поражениях;
- усиление отдельных элементов конструкций, сечение которых уменьшилось в результате коррозии более чем на 20 %, при наличии местных дефектов и повреждений в виде погнутостей полок уголков и вырезов в них;
- выправка изогнутых стержней либо их замена;
- установка при отсутствии отдельных болтов в болтовых соединениях;

- выполнение защитного антикоррозионного покрытия металлоконструкций опор.

В результате работы был разработан проект ремонта строительных конструкций опор.

«ЗАЭС – Днепровская 750» фундаменты опор № 23, 25, «ЗаТЭС–Ферросплавная 330» опоры № 19–23 перехода ВЛ 330 кВ Л-243/244 через Каховское водохранилище Днепровской ЭС ПП НЭК «Укрэнерго»

Это одно из интереснейших обследований с точки зрения уникальности и сложности, принимая во внимание то, что для выполнения работ по оценке технического состояния железобетонных



Рисунок 5. Общая погнутость опорного раскоса.



Рисунок 6. Обильная растительность вблизи опоры.



Рисунок 7. Общий вид фундамента опоры № 19 ВЛ 330 кВ «ЗаТЭС–Ферросплавная».

конструкций фундаментов были проведены водолазные работы с участием специалистов водолазов с использованием оборудования для подводной фотосъемки (рис. 7), а также учитывающая эксплуатацию конструкций в условиях движения значительных ледовых полей и неустойчивости рельефа дна реки.

Необходимым условием обеспечения работоспособности переходов ВЛ является наблюдение за техническим состоянием железобетонных конструкций в надводной и подводной зонах.

По результатам общего осмотра фундаментов намечались места для детальной проверки состояния конструкций. При осмотре отдельных элементов определялись количественные и качественные параметры дефектов и повреждений.

Натурным обследованием железобетонных конструкций фундаментов переходных опор выявлены следующие дефекты и повреждения:

- оголение крупного заполнителя на поверхности элементов;
- недостаточная величина защитного слоя бетона, проявление сети трещин на поверхности бетона вдоль арматуры панелей, оголение и коррозия арматуры стыков;
- усадочные трещины бетона на поверхности панелей и в узлах;
- локальное оголение и коррозия арматурных стержней;
- наличие полостей в панелях;
- вымывание цементного камня и продуктов разрушения бетона на поверхности конструкций;
- наличие зазоров и полостей в узлах замоналиченных стыков панелей;
- сколы на поверхности железобетонных элементов,
- значительные механические воздействия на монтажные петли панелей бортов, повреждения бетона и арматурных каркасов на участках анкеровки петель;
- механическое повреждение металлоконструкций площадок, швартовочных (буксировочных) элементов, в том числе и из-за несанкционированных действий посторонних лиц.

Применительно к конструкции дефекты представлены на рис. 8–11.

Данные дефекты с той или иной степенью развития отмечены как на фундаментах опор № 19–23 перехода ВЛ 330 кВ, так и на фундаментах опор № 23, 25 перехода ВЛ 750 кВ.

В условиях монтажа и эксплуатации в акватории водохранилища конструкциями были получены повреждения от ударов судов; тяжения тяговых тросов, швартовочных канатов; повреждения от действия циклов замораживания-оттаивания, движения ледовых полей; от действия коррозионных процессов на границах вода–бетон–воздух, вода–металл–воздух.

Отмеченные при обследовании дефекты железобетонных конструкций для несущей способности фундамента опасности не представляют, однако снижают надежность и долговечность.

В связи с ответственностью конструкции, а также наличием сложных условий эксплуатации следует обратить внимание на указанные дефекты с точки зрения планирования мероприятий по восстановительному ремонту.

Учитывая указанные факторы, рекомендовалось предусмотреть работы по восстановлению защитного слоя бетона на участках повреждения в графиках проведения ремонтных мероприятий конструкций.

Заключение о техническом состоянии является основным документом при принятии решений о возможности дальнейшей эксплуатации и ремонта конструкций.

По результатам оценки технического состояния были выданы рекомендации по восстановлению конструкций и принципиальные проектно-технические решения по обеспечению нормальной эксплуатации фундаментов переходных опор ВЛ.

«Н. Каховская – Джанкой» Джанкойских МЭС Крымской ЭС ГП НЭК «Укрэнерго» (ВЛ 330 кВ) конструкции опор 303–304

Авария, приведшая к каскадному разрушению ВЛ при сверхрасчетных климатических условиях, во время которой было повреждено 16 металлических промежуточных опор, принесла колоссальные убытки не только государству в лице энергоснабжающих компаний, но и потребителям электроэнергии в лице предприятий и населения полуострова.

Авария, в результате которой были разрушены промежуточные опоры № 305–318, потребовала выполнить оценку технического состояния

опор № 303 и 304, находящихся в том же анкерном пролете, на предмет возможности их дальнейшей эксплуатации.

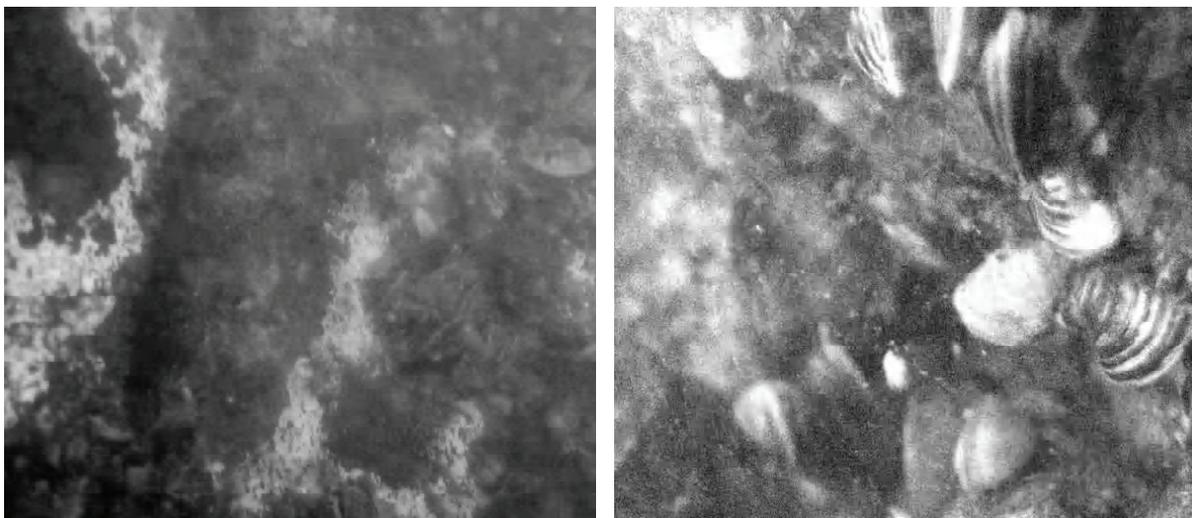


Рисунок 8. Подводное обследование состояния конструкции фундамента. Общие виды состояния конструкций. Наросты ракушек. Коррозия закладной детали.



Рисунок 9. Наличие полостей глубиной до 15–20 мм.

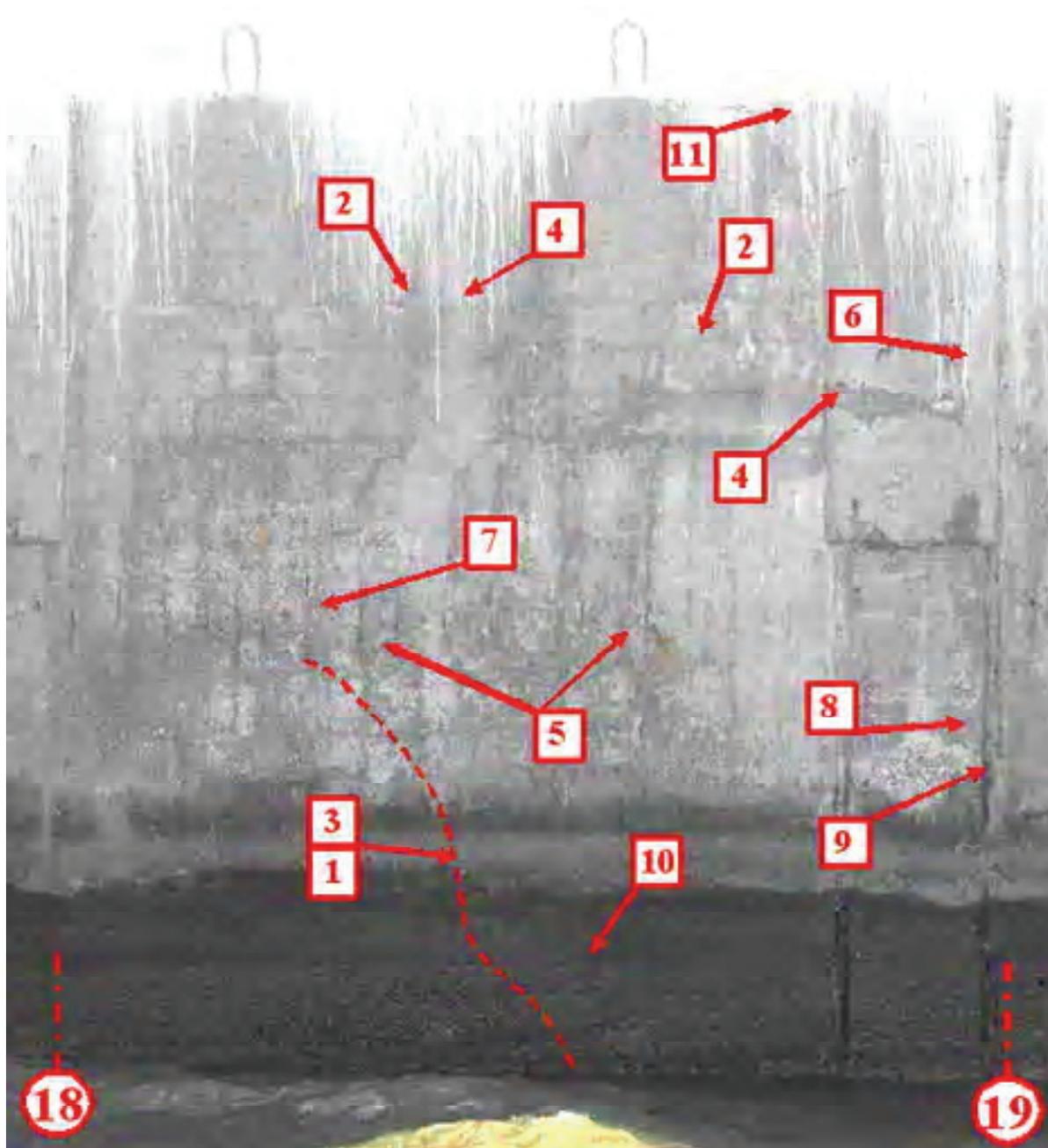


Рисунок 10. Условные обозначения дефектов грани 18–19 фундамента опоры № 23 перехода ВЛ 750 кВ: 1 – оголение крупного заполнителя на поверхности элемента; 2 – недостаточная величина защитного слоя бетона, проявление сети трещин; 3 – усадочные трещины бетона на поверхности панели; 4 – локальное оголение и коррозия арматурных стержней; 5 – вымывание цементного камня на поверхности; 6 – наличие полостей в узле; 7 – разрушение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры стыков; 8 – усадочные трещины в узле; 9 – вымывание цементного камня, оголение крупного заполнителя замоноличенного ребра; 10 – вымывание цементного камня, вымывание крупного заполнителя бетона на участке контакта с водой на глубину до 10 мм; 11 – скол на поверхности бортовой панели, повреждение защитного слоя бетона, оголение арматуры.

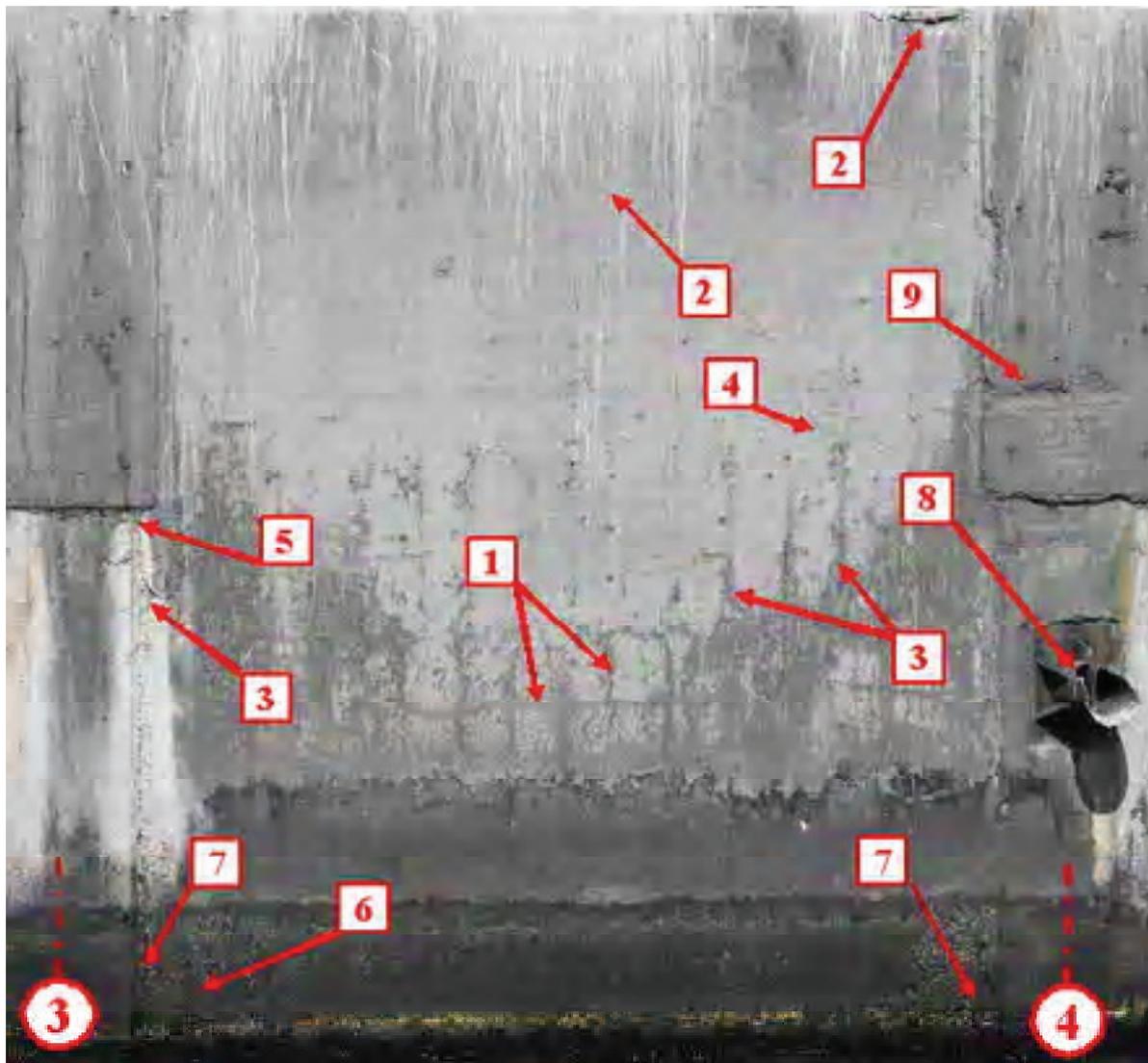


Рисунок 11. Условные обозначения дефектов грани 3–4 фундамента опоры № 25 перехода ВЛ 750 кВ: 1 – недостаточная величина защитного слоя бетона, проявление сети трещин на поверхности бетона вдоль арматуры; 2 – локальное оголение и коррозия арматурных стержней панели; 3 – разрушение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры стыка панелей; 4 – усадочные трещины в узлах; 5 – вымывание продуктов разрушения бетона, оголение крупного заполнителя; 6 – выщелачивание, вымывание цементного камня, вымывание крупного заполнителя бетона на участке контакта с водой на глубину до 20 мм; 7 – нарушение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматурных элементов; 8 – механическое повреждение металлоконструкции швартовочного элемента; 9 – локальные сколы бетона на поверхности элементов.

Воздушная линия электропередачи ВЛ 330 кВ «Н. Каховская – Джанкой» (рис. 12) является одноцепной. Все рассматриваемые опоры являются промежуточными типа ЦП 25И, в конструктивном отношении – башенные свободностоящие, выполненные из углового проката болтовыми.

Выполнено обследование гололедно-изморозевых отложений и расчет превышения нагрузок. Было установлено, что на момент аварии имелось значительное превышение нагрузок на провода (таблицы 1, 2), а также зафиксировано обледенение металлических конструкций опор ВЛ.



Рисунок 12. Общий вид участка ВЛ 330 кВ «Н. Каховская – Джанкой».

Таблица 1. Сравнение нормативных нагрузок на погонный метр провода для соответствующих расчетных режимов с фактическими нагрузками во время стихийных явлений 19 декабря 2009 г.

Вид нагрузки	Значение нагрузки			
	Проект (ПУЭ 1965)	Фактическая нагрузка		Коэффициент превышения
		d=27,5	d=10	
Стенка гололеда, мм	15	33,9	42,6	2,3 (2,8)
Вес гололеда, кг/м	2,04	6,03	6,03	3,0
Вес провода с гололедом, кг/м	3,96	7,95	–	2,0
Ветровое давление (максимальное), кг/м ²	50	–	–	–
Ветровое давление при гололеде, кг/м ²	14	39	39	2,8
Действие ветра на провод ВЛ с гололедом, кг/м	0,97	3,84	3,84	4,0

Таблица 2. Сравнение нормативных нагрузок для соответствующих расчетных режимов с фактическими нагрузками во время стихийных явлений 19 декабря 2009 г.

Нагрузки на опору ВЛ ЦП-25и	Значение нагрузки			
	Проект (ПУЭ 1965)	Фактическая нагрузка		Коэффициент превышения
		d=27,5	d=10	
Вес гололеда на проводах ВЛ, кг	1470	4342	4342	3,0
Вес проводов ВЛ с гололедом, кг	2850	5722	–	2,0
Ветровое давление на провода ВЛ (максимальное), кг	845	–	–	–
Действие ветра на провода ВЛ с гололедом, кг	700	2766	2764	4,0

В результате обследования установлено, что 19.12.2009 г. на проводах ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» началось отложение льда при температуре наружного воздуха +2 °С скорость ветра составляла 15–20 м/с с порывами до 25 м/с, обледенение сопровождалось интенсивной пляской проводов.

Пляска проводов возникает при сочетании условий, способствующих возникновению и развитию динамических колебаний проводов. Сочетание этих условий наиболее вероятно в режиме гололедно-ветровых нагрузок.

Возникающие при пляске проводов циклические динамические нагрузки разрушают в первую очередь узлы и детали, имеющие жесткую конструкцию и воспринимающие максимальные нагрузки. В рассматриваемом случае это оказался разрыв узла крепления гирлянды изоляторов на фазе «А» опоры № 310.

По результатам исследований было установлено, что авария имела следующую последовательность:

- инициирование аварии произошло в пролете между опорами № 309–311 в результате обрыва двух проводов фазы «А» на опоре № 310 из-за одновременного воздействия сверхрасчетных гололедно-ветровых нагрузок и пляски проводов;
- провода фазы «А» на опоре № 310 упали на нижнюю траверсу (фаза «С»), чем было обусловлено ее разрушение;
- динамическое воздействие от одновременно падения проводов двух фаз (фаза «А» и фаза

«С») в пролете № 309–311 вызвало перераспределение усилий, действующих на опоры № 309 и 311, что при одновременном действии со сверхрасчетными гололедно-ветровыми нагрузками обусловило падение данных опор;

- каскадное распространение аварии в противоположные стороны к опорам № 303 и 318.

Основными причинами повреждений во время стихийных явлений являются:

- отличие микроклимата от расчетных климатических условий района строительства;
- интенсивное образование сверхнормативных гололедно-изморозевых отложений высокой плотности, имевшее место 19.12.2009 г., тип отложений – гололед стекловидный;
- действие сверхрасчетных гололедно-ветровых нагрузок на провода, тросы и строительные конструкции в результате интенсивного гололедообразования (см. расчет фактических нагрузок на ВЛ 330 кВ «Н. Каховская – Джанкой» во время стихийных явлений 19.09.2009 г.);
- интенсивная пляска проводов, возникающая при сочетании условий, способствующих возникновению и развитию динамических колебаний проводов (сверхнормативное гололедообразование с интенсивным ветровым давлением);
- циклические динамические нагрузки, воздействующие на узлы крепления изоляторов, имеющие жесткую конструкцию и воспринимающие максимальные нагрузки (причем возникающая при пляске величина динамической

горизонтальной составляющей приложена в направлении наименьшей механической прочности узла).

Натурным обследованием строительных конструкций опор № 303–304 воздушной линии электропередачи выявлены и установлены следующие дефекты и повреждения:

- закручивание ствола и траверс опор;
- локальный износ цинкового покрытия металлоконструкций элементов опор, коррозионное поражение метизов;
- погнутость поясного уголка тросостойки опоры № 303 и поясного и раскосного уголка опоры № 304;
- отсутствие контрольных гаек анкерных болтов опор, локальное нарушение защитного слоя бетона фундаментов с оголением и коррозией арматурных стержней № 303;
- отсутствие распорки нижней грани верхней траверсы опоры № 304;
- крен верхней секции ствола опоры № 304, выход из горизонтального положения траверс фазы «А» и фазы «С».

По результатам обследования было выдано заключение о невозможности дальнейшей эксплуатации опор № 303–304 и необходимости их демонтажа с последующим проектированием новых конструкций.

«Н. Каховская – Джанкой» Джанкойских МЭС Крымской ЭС ГП НЭК «Укрэнерго» (ВЛ 330 кВ) конструкции опор 181–195

После воздействия гололедно-ветровых нагрузок 02.12.2010 г. на ВЛ пересечения Крымская ЭС и НЭК «Укрэнерго» совместно с проектными и научно-исследовательскими институтами были разработаны мероприятия (приказы, протоколы технических совещаний), которые в целом направлены на усиление механической прочности элементов ВЛ от влияния гололедно-ветровых нагрузок – это замена сцепной арматуры, замена металлических опор на железобетонные с уменьшением пролетов, установление гасителей пляски проводов. Реализация этих мероприятий рассчитана до 2012 года. Выполненные в 2010 году меры не обеспечили надежную работу ВЛ линии Украина – Крым в условиях сверхнормативных гололедно-ветровых нагрузок. Вследствие чего 2 декабря 2010 года произошла

авария, в результате которой были повреждены промежуточные опоры № 181 и 195 (рис. 13, 14).

Все рассматриваемые опоры являются промежуточными типа П-25МПи, в конструктивном отношении – башенные свободностоящие, выполненные из углового проката болтовыми.

Было выполнено обследование гололедно-изморозевых отложений и расчет превышения нагрузок. Было установлено, что на момент аварии имелось значительное превышение нагрузок на провода (таблица 3), а также зафиксировано обледенение металлических конструкций опор ВЛ.

Было установлено, что основными причинами повреждений, произошедших на опорах № 181 и 195 ВЛ 330 кВ «Н. Каховская – Джанкой» во время стихийных явлений 2 декабря 2010 г. являются:

- отличие микроклимата от расчетных климатических условий района строительства;
- интенсивное образование сверхнормативных гололедно-изморозевых отложений высокой плотности, имевшее место 02.12.2010 г., тип отложений – гололед стекловидный;
- действие сверхрасчетных гололедно-ветровых нагрузок на провода, тросы и строительные конструкции в результате интенсивного гололедообразования.

Были выданы рекомендации о невозможности последующей эксплуатации опор № 181 и 195 и необходимости проектирования новых опор на участке ВЛ 330 кВ «Н. Каховская – Джанкой» с учетом реальных климатических нагрузок.

Проанализировав две последние аварии, несложно прийти к выводу, что основные недостатки эксплуатации проекта, конструкции, изготовления, строительно-монтажных и наладочных работ, которые способствовали возникновению и развитию нарушения или препятствовали его локализации, следующие:

- не принято техническое решение о дальнейшей эксплуатации ВЛ 330 кВ Каховская – Джанкой, которая отработала свой ресурс;
- за время длительной эксплуатации ВЛ 330 кВ не были выявлены и устранены отдельные дефекты болтовых и сварных соединений несущих конструкций опор, которые были допущены при монтаже. В случае отсутствия болтов при наличии отверстий под болты металлические конструкции опор сварные, а сварные швы не отвечают требованиям про-

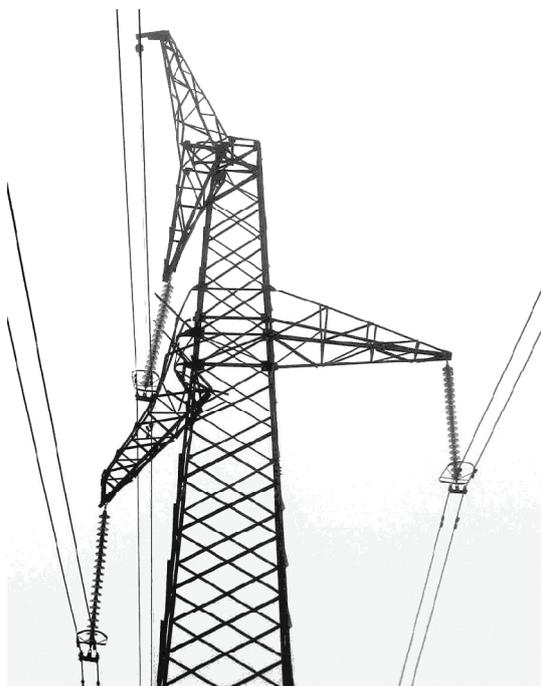


Рисунок 13. Разрушение металлоконструкций опоры № 181.

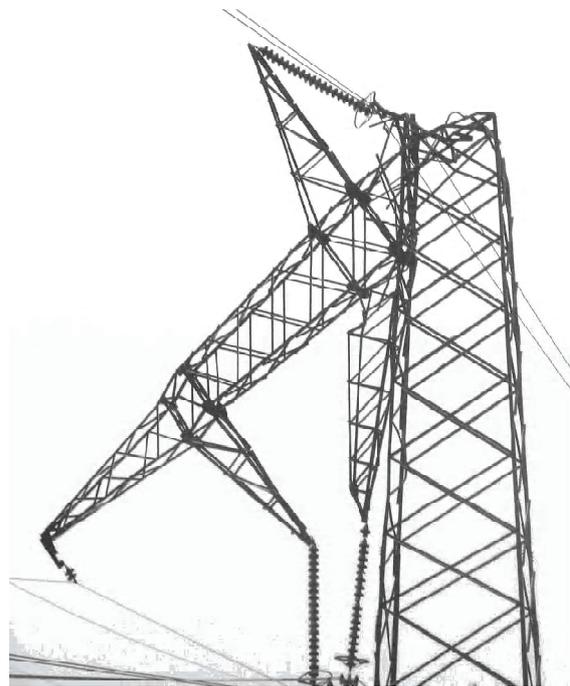


Рисунок 14. Разрушение металлоконструкций опоры № 195.

Таблица 3. Сравнение нагрузок для проектных климатических условий с фактическими нагрузками во время стихийных явлений 2 декабря 2010 г.

Нагрузки на опору ВЛ П-25МПи	Значение нагрузки		
	Проектные климатические условия	Фактические климатические условия	Коэффициент превышения
Вертикальная составляющая нагрузки на траверсу от провода с гололедом, кг	1970,4	2378,8	1,21
Горизонтальная составляющая нагрузки на траверсу от ветра, кг	734,16	2481,9	3,38
Вертикальная составляющая нагрузки на тросостойку от троса с гололедом, кг	655,5	881,22	1,34
Горизонтальная составляющая нагрузки на тросостойку от ветра, кг	81,624	219,64	2,69

ектной документации данного вида опор (опор типа П-25МПи);

- не завершено в установленный срок выполнение институтом «Киевэнергопроект» технического обследования ВЛ 330 кВ Каховская – Джанкой;
- не выполнены требования приказа № 202 от 22.07.1975 г. относительно разработки и выполнения совместно с институтами меропр-

ятий по повышению надежности действующих ВЛ, на которые механические нагрузки превышали расчетные. То есть начиная с 1975 года не приняты меры по устойчивой работы ВЛ от влияния аномальных природных явлений в регионе;

- не составлен, не согласован и не утвержден Минтопэнерго долгосрочный план технического переоснащения данной ВЛ.

Рекомендации по проведению мероприятий, необходимых для технологической и эксплуатационной безопасности ВЛ

В последние годы определились новые подходы к решению проблемы обеспечения надежности ВЛ. Рассмотрение этой непростой проблемы диктуется необходимостью разработки комплексной многоуровневой системы **государственного** регулирования безопасности, определяющей действия административных структур предприятий и организаций с целью предупреждения аварийных ситуаций на ВЛ. Требуется определенно более широкое понимание задач обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики как неотъемлемой составляющей государственной политики национальной безопасности. Анализ требований, определяющих безопасность, надежность и долговечность строительных объектов при длительной эксплуатации и в экстремальных ситуациях, позволяет рассматривать основные направления развития технологий обеспечения безопасности.

Существенным этапом в создании стратегии формирования программ обеспечения надежности на основе решения задач анализа возможных причин и последствий отказов и оценки критичности отказов является систематизация наиболее важных исследовательских и технологических задач. С целью обеспечения анализа и планирования систем безопасности, функциональных программ и программ освоения новых технологий следует предусмотреть возможности научно-технического сопровождения проблем ресурса в региональных экспертных центрах, способных работать конструктивно с хозяйственными подразделениями при комплексной постановке и реализации задач технологической безопасности. С учетом данных анализа безопасности выполняется техническое обслуживание и материально-техническое обеспечение, задаются требования по контролю технических параметров ремонтпригодности конструкций сооружений.

Организационная структура управления технологической безопасностью ВЛ должна включать:

- систему технического обслуживания и надзора за состоянием конструкций, основанную на процессном подходе, которую можно было бы

подвергать менеджменту и улучшать при необходимости; (менеджменту совокупность принципов, форм, методов, приемов и средств управления);

- систему восстановления работоспособности на основе управления **финансовыми и материальными** ресурсами при проведении ремонтных работ и реконструкции;

Первоочередные меры по менеджменту технологической безопасности включают разработку стандарта предприятия, регулирующего требования к **профессиональной квалификации специалистов** и функционирования системы технического надзора за объектами производственно-технического и хозяйственно-бытового назначения:

- положения об объектной службе технической эксплуатации конструкций;
- положения о службе технического надзора;
- положения о безопасном проведении ремонтных, монтажных, строительных и других видов работ на оборудовании, конструкциях ВЛ в условиях эксплуатации.

Среди основных этапов научного сопровождения разработки порядка обслуживания и надзора следует выделить системный анализ возможных причин и последствий отказов, определение расчетных ситуаций для оценки предельных состояний с учетом технологических и эксплуатационных рисков, уточнение состава параметров при экспертном диагностировании, разработку математических моделей показателей надежности на основе методов функционально-стоимостного анализа.

Обеспечение технологической и эксплуатационной безопасности ВЛ ставит в качестве основной задачи разработку системы мониторинга конструкций по фактическому состоянию. Мониторинговые экспертные системы представляют программные средства для автоматизированного сбора, хранения информации об эксплуатационном состоянии конструкций, расчетной оценки показателей надежности при воздействии природных и техногенных факторов, анализа технических и организационных мер обеспечения безопасности, инженерной защиты и управления для предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций. Система мониторинга включает блоки информационного, диагностического обеспечения и принятия управленческих

решений. Результаты систематизированного сбора, обработки и анализа данных мониторинга предназначены для стимулирования и регулирования инновационной деятельности по поддержанию работоспособности, модернизации, реконструкции основных фондов при обслуживании по фактическому состоянию. Схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности представлена ниже (рис. 15).

Повреждаемость опор в первую очередь зависит от срока их службы и применения прогрессивных технических решений и современных технологий и материалов. Исходя из этого в перечень первоочередных проектов необходимо включить разработку унифицированных конструкций

опор на базе многогранных гнутых стоек, позволяющих проводить сооружение новых линий и реконструкцию старых с учетом проведения технического перевооружения и реконструкции во всех климатических районах с необходимым уровнем надежности от внешних воздействий. Также при проектировании опор необходимо обеспечивать стойкость к вандализму [15].

К настоящему времени назрела необходимость в коренном обновлении электрических сетей, создании линий нового поколения, отвечающих экономико-экологическим требованиям и современному техническому уровню по долговечности и надежности.

Одним из направлений развития электрических сетей является применение новых



Рисунок 15. Схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности.

конструкций и материалов, позволяющих довести срок службы вновь строящихся и реконструируемых линий до 70 и более лет.

Для обеспечения технологичности и эксплуатационной безопасности ВЛ необходимо:

1. При строительстве обеспечить технический контроль за производством работ и не допускать необоснованного отклонения от проекта, приводящего к снижению надежности и долговечности ВЛ.
2. При эксплуатации:
 - повысить уровень диагностики, так как существующая система диагностики состояния ВЛ недостаточно эффективна, что связано как с отсутствием на объектах электрических сетей технических средств в необходимом объеме, так и недостаточностью методической базы по всему спектру возможных систем диагностики;
 - проводить обязательное специальное обследование элементов линий электропередачи ВЛ, эксплуатируемых более 30 лет с целью определения объемов реконструкции или ремонта [1, 3];
 - считать обязательным восстановление защитных покрытий при коррозионных потерях;
 - проводить своевременно ремонт элементов ВЛ.
3. При ремонте и реконструкции:
 - при техническом перевооружении и реконструкции ВЛ довести их техническое состояние до требований [6] и других нормативных документов [16, 17];

- применять современные технологии и материалы;
- учитывать изменения условий эксплуатации;
- использовать специальные механизмы и средства малой механизации, позволяющие повысить производительность труда и уровень техники безопасности.

Технический отчет, отражающий результаты проведенного обследования, должен содержать:

- анализ нормативной и технической документации по ВЛ (проектной, исполнительской, эксплуатационной);
- материалы обследования элементов ВЛ;
- оценку условий эксплуатации;
- уточненные данные о нагрузках на элементы ВЛ;
- оценку технического состояния элементов ВЛ;
- рекомендации по поддержанию надежности элементов ВЛ;
- рекомендации по дальнейшей эксплуатации и срокам выполнения ремонтно-восстановительных работ.

Вся информация о состоянии элементов ВЛ, собранная в процессе обследования и геодезической съемки трассы, должна быть классифицирована и занесена в электронные таблицы – базы данных служб эксплуатации, которые позволяют хранить, просматривать, корректировать, накапливать и распечатывать информацию, полученную при обследовании ВЛ.

Литература

1. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель та споруд [Текст]. – Київ : Держбуд України, Держнаглядохоронпраці України, 1997. – 145 с.
2. 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. – 78 с.
3. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35 кВ до 750 кВ. [Текст]. Частина 2. Конструктивні елементи ліній : СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007 : Методичні вказівки. – Київ : ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. – 92 с.
4. Назим, Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на ВЛ на

References

1. Statutory documents regarding to researches, passportization, safety and dependable service of industrial buildings and constructions. Kyiv: State budget of Ukraine, State control of work safety of Ukraine, 1997. 145 p. (in Ukrainian)
2. DBN V.1.2-2:2006. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects. Kyiv: Minbud of Ukraine, 2006. 78 p. (in Ukrainian)
3. Evaluation of technical state of overhead transmission lines by voltage from 35 to 750 kV. The second part. Structural units of lines: SOUN EE 20.571:2007. Kyiv: OEP «GRIFRE», 2007. 92 p. (in Ukrainian)
4. Nazim, Ya. V.; Leshchenko, A. A.; Kostin, V. V. A comparative analysis of the approaches to the determination of climatic loads on the high-voltage lines

- примере Крымской ЭС [Текст] / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // Металлические конструкции. 2010. Том 16, № 1. С. 61–74.
5. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» [Текст] / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.] // Металлические конструкции. 2010. Том 16, № 2. С. 81–97.
 6. 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. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
 7. Кліматичні навантаження на повітряних ліній електропередачі з урахуванням топографічних особливостей [Текст]. Методика : СОУ-Н ЕЕ 20.667:2007. – К. : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. – 39 с.
 8. Кліматичне забезпечення будівництва та експлуатації електричних мереж [Текст] : СОУ-НН 21.262:2008. – К. : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2008. – 36 с.
 9. Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання [Текст]. Методика опрацювання : СОУ-Н ЕЕ 20.579:2009. – К. : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2009. – 94 с.
 10. Назим, Я. В. Внедрение новых разработок нормативной документации в сфере климатического обеспечения электросетей в практические расчеты [Текст] / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2009. Вип. 2009–5(79) : Матеріали VIII Міжнародної конференції молодих вчених, аспірантів, студентів. Том 1. С. 22–25.
 11. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи [Текст] / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим [и др.]; ред. Е. В. Горохов. – Донецк : [б. и.], 2005. – 348 с. – ISBN 966-7477-50-9.
 12. Прогнозирование и предупреждение аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок [Текст] / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев, А. А. Лещенко // Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине / Под ред. Е. В. Горохова и Г. И. Гримуда. – Макеевка : ДонНАСА, 2008. – С. 54–65.
 13. Ржевский, С. С. Уроки системной аварии из-за пляски проводов на ВЛ 400–500 кВ [Текст] / С. С. Ржевский // Электро. 2006. № 6. С. 9–15.
 14. CIGRE Technical Brochure 322. State of the art of conductor galloping [Текст] / Task Force B2.11.06. – June 2007. – Paris : CIGRE, 2007. – 140 p. – ISBN 978-2-85873-011-7.
 15. Гаранжа, И. М. Эффективность применения многогранных гнутых стоек (МГС) для опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) в условиях современной Украины [Текст] / И. М. Гаранжа, illustrated by the Crimean power plant. In: *Metal Constructions*, 2010, Volume 16, Number 1, С. 61–74. (in Russian)
 5. Gorokhov, E. V.; Bakayev, S. N.; Nazim, Ya. V.; Morgay, V. V.; Popov, M. S. Failure Cause and Consequence Analysis at the High-Voltage (330 kV) Line Sections of the Dzhankoy Local Electrical Power Station of the Crimean Electrical Power System of the NEC «Ukrenergo». In: *Metal Constructions*, 2010, Volume 16, Number 2, p. 81–97. (in Russian)
 6. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p. (in Ukrainian)
 7. Climate-relevant impact on overhead transmission lines considering topographical features. Methodology: SOU-NEE 20.667:2007. Kyiv: NTSEU, OEP «GRIFRE», 2007. 39 p. (in Ukrainian)
 8. Climate supporting of building and operation of power network: SOU-NN 21.262:2008. Kyiv: NTSEU, OEP «GRIFRE», 2008. 36 p. (in Ukrainian)
 9. Climatic data for determining loads on overhead transmission lines. Processing procedure: SOU-NEE 20.579:2009. Kyiv: NTSEU, OEP «GRIFRE», 2009. 94 p. (in Ukrainian)
 10. Nazim, Ya. V.; Leshchenko, O. O.; Kostin, V. V. The introduction of new elaborations of the standard documentation in the sphere of climatic electric systems supply into practical calculations. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2009, Issue 2009–5(79): Materials of the 8th International conference of young scientists, post-graduate students, students, Volume 1, p. 22–25. (in Russian)
 11. Gorokhov, Y.; Kazakevitch, M.; Turbin, S.; Nazim, Y. [et al.]; Edited by Gorokhov, Y. Wind and ice loading on the overhead power transmission lines. Donetsk: DonNASEA, 2005. 348 p. ISBN 966-7477-50-9. (in Russian)
 12. Gorokhov, Ye. V.; Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. N.; Leshchenko, A. A. Forecasting and accident prevention on overhead transmission lines during extreme ice and wind load. In: *Efficiency of energetic building industry and operations in Ukraine / Edited by Gorokhov, Ye. V. and Grimud, G. I. Makeevka: DonNASEA*, 2008, p. 54–65. (in Russian)
 13. Rzhetskii, S. S. Examples of system collapse over conductor galloping upon overhead transmission lines of 400–500 kV. In: *Electro*, 2006, Number 6, p. 9–15. (in Russian)
 14. CIGRE Technical Brochure 322. State of the art of conductor galloping / Task Force B2.11.06. June 2007. Paris: CIGRE, 2007. 140 p. ISBN 978-2-85873-011-7.
 15. Garanzha, I. M.; Vasylev, V. N. Efficiency of using many-sided bent frames for overhead power line towers (OPL) in Ukraine today. In: *Metal Constructions*, 2008, Volume 14, Number 3, p. 163–168. (in Russian)
 16. DBN V.2.6-98:2009. The constructions of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete

- В. Н. Васылев // *Металлические конструкции*. 2008. Том 14, № 3. С. 163–168.
16. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положенні [Текст]. – Замість СНиП 2.03.01-84* ; надано чинності 2011–06–01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
17. 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 3.03.0187 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78–4.134 ; чинні від 2011–12–01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
- structures. Basic principles. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 71 p. (in Ukrainian)
17. 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)

Бакаєв Сергій Миколайович – доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: забезпечення надійної роботи і довговічності конструкцій опор повітряних ліній, порталів і стійок під обладнання відкритих розподільчих пристроїв електричних підстанцій в умовах підвищення потужностей енергоспоживання та з урахуванням умов і відмінностей їх експлуатації, проектування конструкцій з гарантованими показниками довговічності.

Смирнова Наталія Сергіївна – асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність і довговічність електромережових конструкцій, забезпечення безвідмовності повітряних ліній електропередавання на основі теорії управління ризиками.

Моргай Вадим Валерійович – сертифікований експерт з обстеження будівель і з'єднань електроенергетичної галузі. Наукові інтереси: забезпечення надійної роботи і довговічності конструкцій опор повітряних ліній, порталів і стійок під обладнання відкритих розподільчих пристроїв електричних підстанцій в умовах підвищення потужностей енергоспоживання та з урахуванням умов і відмінностей їх експлуатації, проектування конструкцій з гарантованими показниками довговічності.

Бакаев Сергей Николаевич – доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: обеспечение надежной работы и долговечности конструкций опор воздушных линий, порталов и стоек под оборудование открытых распределительных устройств электрических подстанций в условиях повышения мощностей энергопотребления и с учетом условий и различий их эксплуатации, проектирования конструкций с гарантированными показателями долговечности.

Смирнова Наталья Сергеевна – ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, обеспечение безотказности воздушных линий электропередачи на основе теории управления рисками.

Моргай Вадим Валериевич – сертифицированный эксперт по обследованию зданий и соединений электроэнергетической отрасли. Научные интересы: обеспечение надежной работы и долговечности конструкций опор воздушных линий, порталов и стоек под оборудование открытых распределительных устройств электрических подстанций в условиях повышения мощностей энергопотребления и с учетом условий и различий их эксплуатации, проектирования конструкций с гарантированными показателями долговечности.

Bakayev Sergii – PhD (Engineering), Associate Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: reliable operation supply and durability of the transmission line supports structures, portal frames and pillars underneath the equipment of outdoor switchgears of electric substation in terms of the power consumption stepping up and with regards to the conditions and distinctions of their operation, structural designing work with the guarantee indices of durability.

Smirnova Nataliia – Assistant; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: operational reliability and durability of power supply structures, no failure supply of overhead power lines on the basis of the risk management theory.

Morgay Vadim – qualified expert in inspection of constructions and links of electric power industry. Research interests: providing reliable and durable operation of power transmission tower structures, portals and equipment racks for open distribution devices of the electric power substations under higher energy and capacity conditions regarding conditions and differences in their operation, design of structures with a guaranteed performance durability.