



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

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

2014, ТОМ 20, НОМЕР 1, 55–63

УДК 621.315.1

(14)-0306-1

## **ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОКРЕМИХ ДІЛЯНОК МІЖСИСТЕМНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ**

**Я. В. Назім<sup>а</sup>, А. О. Квицинський<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька обл., Україна, 86123.*

<sup>б</sup> *Відокремлений підрозділ «Науково-технічний центр електроенергетики»  
державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго»,  
11/8, вул. Дорогожицька, м. Київ, Україна, 04112.  
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Отримана 17 грудня 2013; прийнята 24 січня 2014.*

**Анотація.** Визначальну роль при проектуванні та експлуатації конструкцій опор міжсистемних ліній електропередавання відіграє проблема забезпечення надійності конструктивних елементів під впливом кліматичних навантажень впродовж усього періоду експлуатації. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) встановлюють чотири класи безвідмовності залежно від напруги ліній електропередавання і, відповідно, регламентують визначення навантажень при розрахунках конструктивних елементів ПЛ за критерієм забезпеченості безвідмовної роботи механічної частини ПЛ під дією зовнішніх факторів за розрахунковий період експлуатації лінії. Однак масові аварії першого десятиліття XXI століття в електричних мережах України виявили недостатню надійність окремих ділянок повітряних ліній електропередавання, споруджених в 60–70 рр. минулого сторіччя, при підвищених ожеледно-вітрових впливах. На прикладі повітряних ліній електропередавання 330 кВ обґрунтовано необхідність підвищення надійності для ділянок ліній, що забезпечують роботу між системами. Сформульовано, в яких випадках з урахуванням накопиченого досвіду експлуатації електричних мереж допускається приймати ожеледно-вітрові навантаження на ПЛ на один клас безвідмовності вище.

**Ключові слова:** повітряні лінії електропередавання (ПЛ), надійність, безвідмовна робота, ожеледно-вітрові навантаження.

## **О НЕОБХОДИМОСТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ МЕЖСИСТЕМНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**Я. В. Назим<sup>а</sup>, А. А. Квицинский<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

<sup>б</sup> *Обособленное подразделение «Научно-технический центр электроэнергетики»  
государственного предприятия «Национальная электроэнергетическая компания «Укрэнерго»  
11/8, ул. Дорогожицкая, г. Киев, Украина, 04112.  
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Получена 17 декабря 2013; принята 24 января 2014.*

**Аннотация.** Определяющую роль при проектировании и эксплуатации конструкций опор межсистемных линий электропередачи играет проблема обеспечения надежности конструктивных элементов при воздействии климатических нагрузок в течение всего периода эксплуатации. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) устанавливают четыре класса безотказности в зависимости от напряжения

линий электропередачи и, соответственно, регламентируют определение нагрузок при расчетах конструктивных элементов ВЛ по критерию обеспеченности безотказной работы механической части ВЛ под действием внешних факторов за расчетный период эксплуатации линии. Однако массовые аварии первого десятилетия XXI столетия в электрических сетях Украины выявили недостаточную надежность отдельных участков воздушных линий электропередачи, сооруженных в 60–70 гг. прошлого столетия, при повышенных гололедно-ветровых воздействиях. На примере воздушных линий электропередачи 330 кВ обоснована необходимость повышения надежности для участков линий, обеспечивающих работу между системами. Сформулировано, в каких случаях с учетом накопленного опыта эксплуатации электрических сетей допускается принимать гололедно-ветровые нагрузки на ВЛ на один класс безотказности выше.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи (ВЛ), надежность, безотказная работа, гололедно-ветровые нагрузки.

## ABOUT THE NEED TO IMPROVE RELIABILITY OF CERTAIN SECTIONS OF INTERSYSTEM POWER TRANSMISSION LINES

Yaroslav Nazim <sup>a</sup>, Anatolii Kvytsynskyi <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture  
2, Derzhavin Str., Makiiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

<sup>b</sup> Separate Division «Scientific-Technical Center of Power Industry»  
of State Enterprise «National Power Company «UKRENERGO»  
11/8, Dorogozhicka Str., Kyiv, Ukraine, 04112.  
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua

Received 17 December 2013; accepted 24 January 2014.

**Abstract.** Defining role in the design and operation of support structures of intersystem power transmission lines plays the problem of reliability of structural components under the influence of climatic loads during the entire period of operation. Electrical Installations Code (PUE) establish four classes of reliability depending on the voltage power lines and thus regulate the determination of loads in the calculation of the structural elements of the HV on criteria to ensure trouble-free operation of the mechanical part of the HV under the influence of external factors for the settlement period of operation of the line. However, the massive failures of the first decade of XXI century in power networks of Ukraine have shown a lack of reliability of certain sections of overhead power lines that were built in sixties-seventies last century, with elevated icing and wind impacts. On the example of overhead power transmission lines 330 kV there was substantiated the necessity to improve the reliability of lines' sections, which provide work between systems. It have been formulated in which cases the experience of operation of electric networks it is allowed to make icing and wind loads on overhead lines at one class higher reliability.

**Keywords:** overhead power transmission lines (OPTL), reliability, trouble-free operation, icing and wind loads.

### Введение

Задачи безопасного, надежного и устойчивого функционирования электроэнергетической отрасли и ее максимального эффективного развития выводят на первый план вопросы обеспечения надежной эксплуатации существующих сетей электроэнергетики и проектирования новых воздушных линий, и в первую очередь межсистемного значения. Являясь основой системы передачи электрической энергии

от электрических станций до крупных районов электропотребления и распределительных узлов, межсистемные линии формируют системообразующие сети. Связи между электроэнергетическими системами предназначены для передачи больших потоков мощности целым регионам и выполняются в виде магистральных линий электропередачи на переменном токе. Одним из основных требований, предъявляемых к таким линиям, является обеспечение

надежности и устойчивости их работы, т. е. обеспечение работоспособности во всех возможных состояниях (режимах) – нормальных, ремонтных, аварийных. Решение этой задачи в значительной мере возлагается на большой комплекс устройств автоматики (управление релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматики), но и в не меньшей степени обеспечение работоспособности зависит от надежности строительных конструкций опор ВЛ.

Определяющую роль при проектировании и эксплуатации конструкций опор межсистемных воздушных линий электропередачи играет проблема обеспечения надежности конструктивных элементов при воздействии климатических нагрузок в течение всего периода эксплуатации. Несмотря на достаточно хорошо изученную «конструктивную» сторону обеспечения надежности, основные проблемы в расчетах при определении уровня надежности конструкций возникают при определении нагрузок, причем в первую очередь климатических. При этом основными особенностями строительных конструкций опор ВЛ являются их массовость, высокая степень ответственности каждого элемента и склонность к воздействию климатических нагрузок. В то же время массовые аварии первого десятилетия XXI столетия в электрических сетях Украины [1–3] выявили недостаточную надежность отдельных участков воздушных линий электропередачи, сооруженных в 60–70 гг. прошлого столетия, при повышенных гололедно-ветровых воздействиях.

Действующие в Украине Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [4] регламенти-

руют четыре класса безотказности ВЛ в зависимости от напряжения линий электропередачи: 1КБ – до 1 кВ, 2КБ – 1–35 кВ, 3КБ – 110–330 кВ, 4КБ – 500–750 кВ. При этом, четырехуровневые классы безотказности ВЛ установлены в соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии (IEC) и соответствуют следующим классам последствий (ответственности), нормированным ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Определение классов последствий (ответственности) и категории сложности объектов строительства» и ДБН 1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований»: 1КБ и 2КБ – СС1, 3КБ – СС2, 4КБ – СС3.

В соответствии с ПУЭ среднюю повторяемость расчетных нагрузок, зависящую от класса безотказности, в соответствии с ПУЭ следует определять по таблице 1.

#### Анализ эксплуатации и повреждаемости ВЛ

Существенным отличием межсистемных воздушных линий электропередачи от всех других типов линейных сооружений является их большая протяженность. Вследствие этого не исключена возможность попадания отдельных участков межсистемных ВЛ в зоны, где микроклимат существенно отличается от расчетных климатических условий района строительства [2, 5].

Рассмотрим вопросы обеспечения надежной эксплуатации существующих межсистемных линий объединенной электроэнергетической

Таблица 1. Средние периоды повторяемости

№ п/п	Расчеты	Средние периоды повторяемости для классов безотказности, лет			
		1КБ	2КБ	3КБ	4КБ
1	Расчеты несущей способности опор и фундаментов (первая группа предельных состояний)	30	50	150	500
2	Расчеты перемещений опор и фундаментов и трещиностойкости железобетонных конструкций (вторая группа предельных состояний)	5	10	15	25
3	Расчеты проводов, тросов, изоляторов, арматуры (допустимые напряжения и разрушающие нагрузки)	5	10	15	25

системы Украины (ОЭС) на примере магистральных воздушных линий электропередачи напряжением 330 кВ для участка энергоперетока «Украина – Крым». Крымская энергосистема НЭК «Укрэнерго» связана с объединенной электроэнергетической системой Украины четырьмя воздушными магистральными линиями электропередачи, три из которых проходят по Перекопскому перешейку и одна через полуостров Чонгар. Три межсистемные ВЛ – это линии напряжением 330 кВ «Мелитополь – Джанкой», «Каховская – Джанкой» и «Каховская – Островская», протяженностью соответственно 200,3 км, 151,3 км и 137,9 км (в эксплуатации с 1970 г., 1969 г. и 1978 г.), и одна – межсистемная ВЛ напряжением 220 кВ «Титан – Красноперекопск», протяженностью 32,8 км (в эксплуатации с 1962 г.). Поскольку в АР Крым практически отсутствуют электрогенерирующие предприятия, очевидна прямая зависимость надежности электроснабжения потребителей полуострова от надежности вышеперечисленных ВЛ как в целом, так и их составных частей. В этой связи стоит обратить внимание на характеристику повреждаемости указанных ВЛ (табл. 2), представленную по данным службы линий Крымской энергосистемы НЭК «Укрэнерго».

При этом наиболее масштабное повреждение ВЛ произошло на высоковольтной линии напряжением 330 кВ «Каховская – Джанкой» зимой 2009–2010 года [3] (рис. 1). Причиной тому явились метеорологические условия, при которых над территорией Крыма, как и над всем европейским континентом состоялось рас-

пространение масс холодного арктического воздуха. Это привело к столкновению с ним теплых, насыщенных влагой масс воздуха, сформированных над Азовским и Черным морями. В результате практически над всем полуостровом прошел дождь или мокрый снег, которые создали обледенение строений, объектов инфраструктуры полуострова. На опорах и проводах всех четырех высоковольтных линий, по которым передается электроэнергия для потребителей Крыма, образовалось огромное количество льда. В результате гололедно-ветрового шторма возле села Филатовка Красноперекопского района в ночь с 18 на 19 декабря 2009 года из-за обрыва узла крепления гирлянды подвеса изоляторов (КГП) на опоре № 310 и падения провода было полностью разрушено 14 опор на ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» на участке длиной около 5,6 км. Вся линия 330 кВ «Каховская – Джанкой», питающая сотни тысяч потребителей в Крыму, вышла из строя. Одновременно с этим, из-за обрывов проводов и в связи с отключениями на двух других линиях, эти события представили существенную угрозу электроснабжению всего полуострова.

Наряду со столь масштабной по своим последствиям аварией, каковым являлось каскадное падение металлических опор, последовали еще ряд технологических нарушений (отказы второй категории) на участках ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой», «Каховская – Островская» и «Мелитополь – Джанкой» [3], которые продолжались весь зимний период (рис. 2). Все они были также вызваны действием гололедно-

**Таблица 2.** Повреждаемость ВЛ 330 кВ на энергоперетоке «Украина – Крым»

Параметр ВЛ	Наименование ВЛ		
	Каховская – Островская	Каховская – Джанкой	Мелитополь – Джанкой
Средняя длина пролета, м	273,8	320,0	240,7
Марка провода	2×АСО-400	2×АСО-400	2×АСК-300
Года наблюдений	1980-2010	1980-2010	2007-2010
Количество случаев:			
- гололедообразования	26	13	2
- галопирования	13	9	1
- разрушения линейной арматуры	7	6	1
- обрыва проводов, тросов	0	4	0
- разрушения опор	0	14	0
Количество отключений	9	7	3

а)



б)

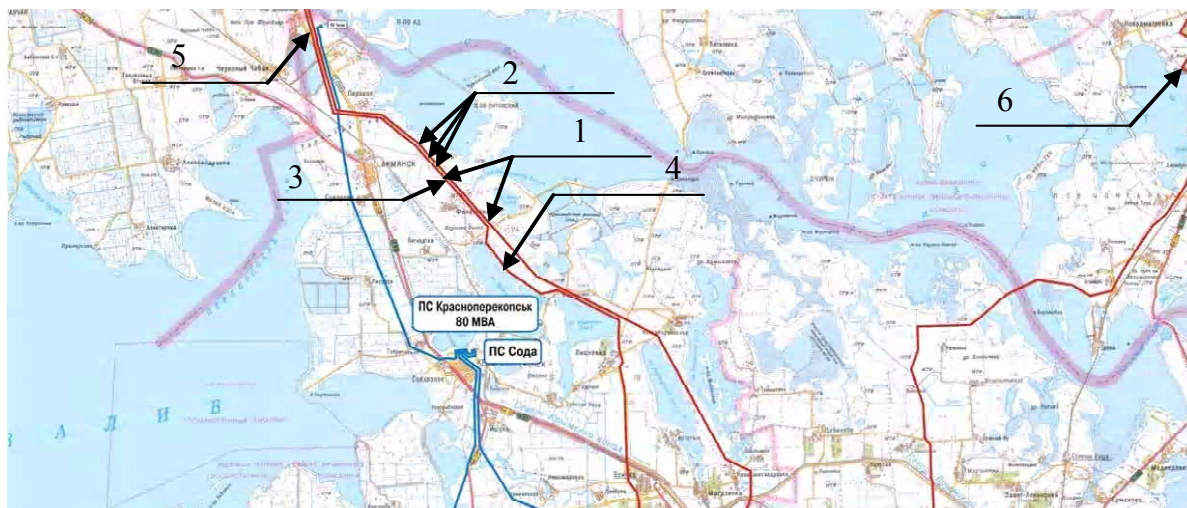


**Рисунок 1.** Каскадное разрушение металлоконструкции опор на участке ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой»: а) вид со стороны опоры № 307; б) вид со стороны опоры № 311.

ветровых нагрузок на провода, интенсивной пляской проводов, и заключались в основном в падении провода в результате разрыва линейной арматуры (узлов КГП либо скоб СК).

Анализ причин повреждаемости магистральных ВЛ напряжением 330 кВ, выполненный по данным Крымской энергосистемы, позволяет утверждать, что в значительной степени аварийность ВЛ обусловлена недостаточ-

ным учетом при проектировании всех климатических факторов и орографических особенностей местности в зоне прохождения трасс ВЛ [5]. При этом необходимо отметить, что основным фактором, который неблагоприятно влияет на техническое состояние магистральных ВЛ в зоне Перекопского перешейка и полуострова Чонгар, является интенсивная пляска проводов (галопирование) при наличии гололеда [6].



**Рисунок 2.** Аварии на ВЛ 330 кВ в зимний период 2009–2010 гг.: 1 – отказ первой категории (каскадное разрушение металлоконструкции опор №№ 303–318 на участке длиной 5,6 км) на ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» 19.12.2009; 2–6 – отказы второй категории на участках ВЛ 330 кВ, а именно: повреждения узлов крепления гирлянд изоляторов на опорах № 277 (обрыв скобы СК12), №№ 279–280 (разрыв КГП 12-1) на ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» 19.12.2009 (2); разрыв КГП 16-3 на опоре № 260 ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская» 18.12.2009 (3); разрыв КГП 12-1 на опоре № 299 ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская» 20.01.2010 (4); разрыв КГП 12-1 на опоре № 196 ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская» 12.02.2010 (5); разрыв КГП 12-1 на опоре № 473 ВЛ 330 кВ «Мелитополь – Джанкой» 12.02.2010 (6).

Способствуют галопированию провода ровная открытая местность и наличие расщепленных фаз на данных ВЛ. В случае галопирования проводов линейная арматура, изоляторы и элементы конструкций опор испытывают воздействие циклических нагрузок значительной величины, что ведет к разрушению линейной арматуры, обрыву проводов, повреждению распорок и элементов опор (траверс, тросостоек), разрушению и падению стоек опор и т. д. При этом сложность явления галопирования проводов такова, что методы борьбы с ним не могут быть достоверно проверены в лабораторных условиях, и сегодня создать способ, который бы гарантировал на 100 % предотвращение галопирования проводов ВЛ в естественных усло-

виях при любых сочетаниях скорости ветра и толщины стенки гололеда на проводе, невозможно.

Рассмотрим примеры временных рядов наблюдений по условиям образования гололеда и амплитуде галопирования проводов ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская», представленные по данным службы линий Крымской энергосистемы НЭК «Укрэнерго» (рис. 3–4).

Аналогичный временной ряд наблюдений образования гололеда на проводах ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская» приведен на рис. 5, анализ которого свидетельствует, что гололедные явления повторяются с периодом близким к 27 годам, что совпадает с периодичностью колебаний циркуляции атмосферы [7].

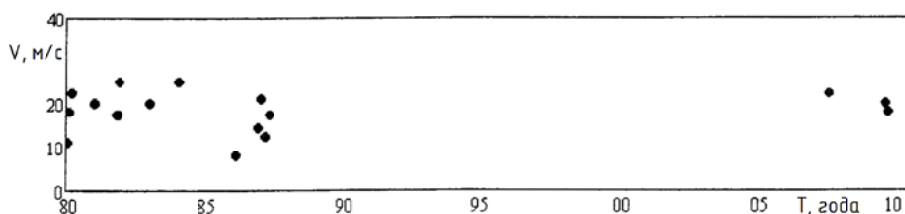


Рисунок 3. Средняя скорость ветра в случае галопирования проводов по годам наблюдений.

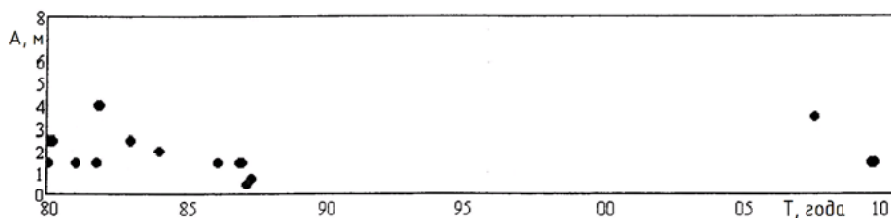


Рисунок 4. Амплитуда галопирования по годам наблюдений.

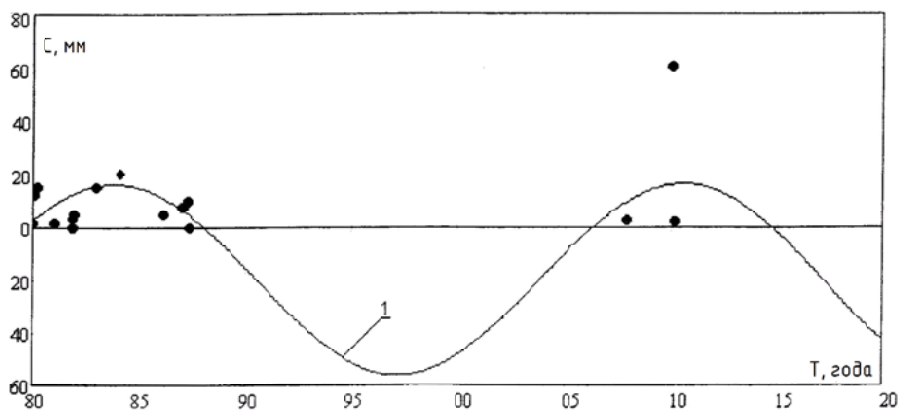


Рисунок 5. Средняя толщина стенки гололеда по годам наблюдений как функция обобщенного локального параметра колебаний циркуляции атмосферы (1).

При условии, что периодичность колебаний циркуляции атмосферы на протяжении ближайших лет не нарушится, можно предположить, что до конца 2015 года будет сохраняться высокая вероятность образования гололеда на проводах ВЛ в зоне Перекопского перешейка.

#### Применение параметров гололедно-ветровых нагрузок 4 класса безотказности в расчетах ВЛ 330 кВ

Характеристики классов безотказности ВЛ в соответствии с требованиями главы 2.5 ПУЭ [4] приведены в табл. 3.

ВЛ напряжением 330 кВ, проходящие в одном орографическом районе Перекопского перешейка и полуострова Чонгар, одновременно подвергаются неблагоприятным климатическим влияниям. Это создает потенциальную угрозу отключения двух и более линий электропередачи энергоперетока «Украина – Крым». В нормальном режиме эти линии обеспечивают максимальные перетекания электрической мощности между ОЭС Украины и Крымской ЭС на уровне 1 100–1 300 МВт. Максимальная пропускная способность магистральных ВЛ напряжением 220–330 кВ, которые соединяют Крымскую энергосистему с другими энергосистемами, составляет около 1500 МВт. Выход из строя одной из ВЛ в режимах, близких к максимальным нагрузкам (потеря 500 МВт мощности на энергоперетоке), вызывает угрозу того, что перегруженные ВЛ, которые остаются в работе, будут отключены. Это вынуждает ограничивать электропотребление всего хозяйственного комплекса Крымского полуострова в аварийных и ремонтных режимах.

При таких условиях вероятность ненарушения электроснабжения Крыма необходимо определять как произведение вероятностей безотказной передачи электрической мощности ВЛ напряжением 330 кВ определенного класса безотказности.

Вероятность безотказной передачи максимума электрической мощности тремя ВЛ напряжением 330 кВ класса безотказности 3КБ, которые находятся в одном орографическом районе и одновременно подвергаются неблагоприятным климатическим воздействиям, определяют как произведение вероятностей безотказной передачи каждой из трех ВЛ класса безотказности 3КБ:

– для одного года:

$$P_{\Sigma}^{(1)} = P_{КД}^{(1)} \cdot P_{МД}^{(1)} \cdot P_{КО}^{(1)} = 0,993^3 = 0,979; \quad (1)$$

– за весь период эксплуатации (Т=50 лет):

$$P_{\Sigma}^{(50)} = P_{КД}^{(50)} \cdot P_{МД}^{(50)} \cdot P_{КО}^{(50)} = 0,72^3 = 0,373. \quad (2)$$

Как видно из расчета, расположение трех ВЛ напряжением 330 кВ класса безотказности 3КБ в узком коридоре одного орографического района обеспечивает суммарный уровень безотказности, характерный для более низкого класса безотказности, т. е. 2КБ (см. табл. 3).

Вероятность безотказной передачи максимума электрической мощности тремя ВЛ напряжением 330 кВ класса безотказности 4КБ, которые находятся в одном орографическом районе и одновременно подвергаются неблагоприятным климатическим воздействиям, определяют как произведение вероятностей безотказной передачи каждой из трех линий класса безотказности 4КБ:

Таблица 3. Характеристики классов безотказности ВЛ

Класс безотказности	Напряжение ВЛ, кВ	Расчетный срок эксплуатации, лет	Уровень безотказности *		Средний период повторяемости нагрузок, лет	
			за 1 год	за весь период эксплуатации	предельных	эксплуатационных
1КБ	До 1	30	0,967	0,36	30	5
2КБ	1–35	50	0,980	0,36	50	10
3КБ	110–330	50	0,993	0,72	150	15
4КБ	500–750	50	0,998	0,90	500	25

\* Примечание: уровень безотказности – вероятность того, что на протяжении расчетного периода фактическая нагрузка не превысит проектную.

– для одного года:

$$P_{\Sigma}^{(1)} = P_{КД}^{(1)} \cdot P_{МД}^{(1)} \cdot P_{КО}^{(1)} = 0,998^3 = 0,994; \quad (3)$$

– за весь период эксплуатации (Т=50 лет):

$$P_{\Sigma}^{(50)} = P_{КД}^{(50)} \cdot P_{МД}^{(50)} \cdot P_{КО}^{(50)} = 0,90^3 = 0,729. \quad (4)$$

Как видно из расчета, расположение трех ВЛ напряжением 330 кВ класса безотказности 4 КБ в одном орографическом районе обеспечивает суммарный уровень безотказности, необходимый для ВЛ класса безотказности 3 КБ.

Таким образом, в отдельных обоснованных случаях, с учетом опыта эксплуатации электрических сетей, гололедные и гололедно-ветровые нагрузки для ВЛ напряжением до 330 кВ рекомендовано принимать на один класс безотказности выше. Основные критерии увеличения класса безотказности для ВЛ (или отдельных ее участков):

– несколько ВЛ (или их части), обеспечивающие электроснабжение целых регионов или крупных потребителей, проходят в одном коридоре;

– количество гололедно-ветровых аварий на ВЛ выше средней аварийности по региону;

– двухцепные ВЛ при условии, что цепи являются взаиморезервированными или по ВЛ осуществляется электроснабжение потребителей, не имеющих другого резервного электропитания;

– многоцепные ВЛ (более двух цепей) различного класса напряжения на общих опорах.

## Литература

1. Аэродинамика электросетевых конструкций [Текст] : [Моногр.] / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим ; Под ред. Е. В. Горохова, М. И. Казакевича. – Донецк : [б. и.], 2000. – 336 с.
2. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи [Текст] : Монография / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим] ; под ред. Е. В. Горохова. – Донецк : [б. и.], 2005. – 348 с.
3. 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. – Т. 16, № 2. – С. 75–92.

## Заключение

1. В условиях позитивных аномалий температуры воздуха в холодный период года и наличии микроклиматических особенностей местности, в том числе режима увлажнения в приморской зоне, когда сохраняется высокая вероятность стихийных явлений, является актуальным создание службы мониторинга климатических воздействий с целью предупреждения отказов и аварий в НЭК «Укрэнерго».
2. Поскольку расчетные нагрузки на конструктивные элементы ВЛ следует определять по критерию обеспеченности безотказной работы механической части ВЛ под действием внешних факторов за расчетный период эксплуатации линии, требования относительно уточнения климатических нагрузок по региональным картам климатических нагрузок, основанных на данных наблюдений на метеостанциях и опыте эксплуатации, должны быть обязательными для проектирования новых и реконструкции всех межсистемных ВЛ напряжением 220–330 кВ.
3. В отдельных обоснованных случаях, с учетом опыта эксплуатации электрических сетей, гололедные и гололедно-ветровые нагрузки для ВЛ напряжением до 330 кВ рекомендовано принимать на один класс безотказности выше.

## References

1. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Kazakevich, M. I. (Ed.); Shapovalov, S. N.; Nazim, Ya. V. Aerodynamics of the power supply structures. Monograph. Donetsk, 2000. 336 p. (in Russian)
2. Gorokhov, Ye. V.; Kazakevich, M. I.; Turbin, S. V.; Nazim, Ya. V. Edited by Gorokhov, Ye. V. Wind and iceforming influence on overhead transmission lines. Monograph. Donetsk: [s. n.], 2005. 348 p. (in Russian)
3. Gorokhov, E. V.; Bakayev, S. N.; Nazim, Ya. V.; Morgay, V. V.; Popov, M. S. Failure cause and consequence analysis at the highb-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. 75–92. (in Russian)



4. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст]. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
5. Назим, Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на ВЛ на примере Крымской ЭС [Текст] / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // Металлические конструкции. – 2010. – Т. 16, № 1. – С. 61–74.
6. Пути повышения надежности ВЛ с учетом координации прочности элементов в районах с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками [Текст] / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.] // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2010. – Т. 6, № 2. – С. 113–130.
7. Climate Change 2001 [Текст] : Synthesis Report / IPCC Secretariat, World Meteorological Organization. – Geneva : [s. n.], 2002. – 184 p.
8. Квицинский, А. А. Передовой опыт повышения гололедно-ветровой устойчивости электрических сетей [Текст] / А. А. Квицинский, В. И. Мартынюк // Электропанорама. – 2010. – № 12. – С. 16–19.
4. 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)
5. 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 illustrated by the Crimean power plant. In: *Metal Constructions*, 2010, Volume 16, Number 1, p. 61–74. (in Russian)
6. Gorokhov, Ye. V.; Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. M.; Leshchenko, O. O.; Garanzha, I. M.; Smirnova, N. S. Ways of increasing overhead power transmission line reliability regarding the coordination of component strength in the areas with a higher ice and wind loads. In: *Modern Industrial and Civil Construction*, 2010, Volume 6, Number 2, p. 113–130. (in Russian)
7. Climate Change 2001: Synthesis Report / IPCC Secretariat, World Meteorological Organization. Geneva, 2002. 184 p.
8. Kvytsynskyi, A. A.; Martyniuk, V. I. Progressive experience of improving of icing and wind stability of electrical services. In: *Electropanorama*, 2010, Number 12, p. 16–19. (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.

**Квицинський Анатолій Олександрович** – к.т.н., заступник директора, головний інженер відокремленого підрозділу «Науково-технічний центр електроенергетики» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго». Наукові інтереси: підвищення ефективності роботи електричних мереж.

**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.

**Квицинський Анатолій Олександрович** – к.т.н., заступитель директора, главный инженер обособленного подразделения «Научно-технический центр электроэнергетики» государственного предприятия «Национальная энергетическая компания «Укрэнерго». Научные интересы: повышение эффективности работы электрических сетей.

**Nazim Yaroslav** is a Ph.D. (Eng.), a Docent 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. His research interests include operational characteristics, the longevity and the reliability of power supply structures.

**Kvytsynskyi Anatolii** is a Ph.D. (Eng.), deputy director, chief engineer of Separate Division «Scientific-Technical Center of Power Industry» of State Enterprise «National Power Company «UKRENERGO». His research interests include improving the efficiency of electricity networks.