



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
METAL CONSTRUCTIONS**

N1, TOM 16 (2010) 61-74

УДК 624.042

(10)-0209-1

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НА ПРИКЛАДІ КРИМСЬКОЇ ЕС**

**Я. В. Назім, А. А. Лещенко, В. В. Костін**

*Кафедра "Металеві конструкції", Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.  
E-mail: ksv@dgasa.dn.ua*

*Отримана 20 січня 2010; прийнята 22 січня 2010*

**Анотація.** В статті розглянуто питання надійності електропостачання Кримського півострова в зв'язку з масштабною аварією 18-19 грудня 2009 року, що відбулася одночасно на двох повітряних лініях електропередавання, що проходять по території Перекопського перешийка. На даний час ще працює комісія з розслідування аварії, висновки щодо причин аварії попередні. В статті розглянуті основні проектні дані ПЛ, виконаний аналіз орографічних умов місцевості і метеорологічної ситуації під час аварії. Авторами застосований порівняльний підхід до визначення нормативних кліматичних навантажень на ПЛ на прикладі чотирьох методик з використанням в якості джерел інформації даних кліматичного районування "Правил улаштування електроустановок" (ПУЕ) у двох редакціях 1965 і 2006 року, а також даних найближчих метеостанцій за 50-річний період спостережень з метою уточнення мікрокліматичного районування. Виконано порівняння питомих навантажень на ПЛ за ПУЕ-1965 і ПУЕ-2006 для відповідних розрахункових режимів з фактичними навантаженнями на момент аварії, а також порівняння навантажень від проводів на опорі ПЛ 330 кВ. Аналіз кліматологічної інформації дозволив зробити висновок, що методики ПУЕ-2006 забезпечують найбільшу надійність конструкцій. Проте в ході стихійних метеорологічних явищ можуть виникати навантаження, що істотно перевищують нормативні. Для відповідальних елементів електроенергетичної системи України слід застосувати додаткові засоби для запобігання аварійним ситуаціям.

**Ключові слова:** повітряні лінії електропередачі (ПЛ), метеорологічна ситуація, метеодані, геостатистичні методи, кліматичне і мікрокліматичне районування, надійність.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ПРИМЕРЕ КРЫМСКОЙ ЭС**

**Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин**

*Кафедра "Металлические конструкции", Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.  
E-mail: ksv@dgasa.dn.ua*

*Получена 20 января 2010; принята 22 января 2010*

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос надежности электроснабжения Крымского полуострова в связи с масштабной аварией 18-19 декабря 2009 года, произошедшей одновременно на двух воздушных линиях электропередачи, проходящих по территории Перекопского перешейка. На данный момент еще работает комиссия по расследованию аварии, выводы относительно причин аварии предварительные. В статье рассмотрены основные проектные данные ВЛ, выполнен анализ орографических условий местности и метеорологической ситуации во время аварии. Авторами

применен сравнительный подход к определению нормативных климатических нагрузок на ВЛ на примере четырех методик с использованием в качестве источников информации данных климатического районирования Правил устройства электроустановок (ПУЭ) в двух редакциях 1965 и 2006 года, а также данных ближайших метеостанций за 50-летний период наблюдений с целью уточнения микроклиматического районирования. Выполнено сравнение удельных нагрузок на ВЛ по ПУЭ-1965 и ПУЭ-2006 для соответствующих расчетных режимов с фактическими нагрузками на момент аварии, а также сравнение нагрузок от проводов на опору ВЛ 330 кВ. Анализ климатологической информации позволил сделать вывод, что методики ПУЭ-2006 обеспечивают наибольшую надежность конструкций. Тем не менее, в ходе стихийных метеорологических явлений могут возникать нагрузки, существенно превышающие нормативные. Для ответственных элементов электроэнергетической системы Украины следует применять дополнительные средства для предотвращения аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи (ВЛ), метеорологическая ситуация, метеоданные, геостатистические методы, климатическое и микроклиматическое районирование, надежность.

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPROACHES TO THE DETERMINATION OF CLIMATIC LOADS ON THE HIGH-VOLTAGE LINES ILLUSTRATED BY THE CRIMEAN POWER PLANT

**Ya. V. Nazim, A. A. Leshchenko, V. V. Kostin**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture  
2, Derzhavina Str., Makeyevka 86123, Ukraine  
E-mail: ksv@dgasa.dn.ua*

*Received 20 January 2010; accepted 22 January 2010*

**Abstract.** The article is devoted to the problem of power supply reliability on the Crimean peninsula because of the scale failure on December 18-19, 2009 which happened simultaneously on two overhead power transmission lines on the territory of the Perekop isthmus. The board of the failure inquiry still works; its conclusions are tentative for the present. In the article there are considered the main design data by the overhead power transmission lines, the analysis of the topographical conditions of the area and the meteorological situation in time of the failure was carried out. The authors applied a comparative approach to the determination of the normative climatic loads on overhead power transmission lines by the example of four methods, the Rules of electricity generating plant arrangement (in two editions, -1965 and 2006), the data of the climatic zoning and the data of the nearest weather stations for the observation period of 50 years being used as the sources of information to specify the micro-climatic zoning. There was performed a comparison of the specific loads on the overhead power transmission lines by the "The Rules...-1965" and "The Rules...-2006" for the corresponding design conditions with the actual loads at the failure, as well as a comparison of the cable loads on the overhead power transmission tower of 330 kV. Analysis of the climatological data made it possible to conclude that the methods of "The Rules...-2006" provide a larger reliability of structures. Nevertheless, in the course of elemental meteorological phenomena, loads can turn out to be larger than the basic ones. Some additional means should be applied to the parts of the electrical power system of Ukraine to prevent emergency situations.

**Keywords:** overhead power transmission lines, meteorological situation, weather data, geo-statistical methods, climatic and micro-climatic zoning, reliability.

### 1. Введение

Электроэнергетическая система Автономной Республики Крым связана с объединенной электроэнергетической системой Украины 4-мя магистральными воздушными линиями электропередачи, 3 из которых проходят по Перекопскому перешейку.

В Крымской электроэнергетической системе (ЭС) в районе г. Красноперекопска в ночь с 18 на 19 декабря 2009 года вследствие интенсивного гололедообразования при сильном северо-восточном ветре аварийно отключились сначала (в 21ч. 47мин.) ВЛ 330кВ "Каховская — Островская", а затем (в 01ч. 47мин.) ВЛ 330кВ

"Каховская — Джанкой". Толщина муфты гололеда на проводах составляла от 80 до 100 мм. От механических перегрузок, превышающих проектные данные, разрушались узлы крепления поддерживающих подвесок проводов, а на ВЛ 330кВ "Каховская — Джанкой" было разрушено 14 металлических промежуточных опор в анкерном участке 302-319. В условиях интенсивной пляски проводов, одновременно с превышающими расчетные гололедно-ветровыми нагрузками, началось разрушение опор на участках опор №№302-319 с разрыва узла КПП 12-1 на промежуточной опоре №310 и падения проводов фазы А на траверсу фазы С с ее дальнейшим обрушением. Динамические воздействия от падения проводов двух фаз на участке №№309-311 вызвали перераспределение усилий на опоры и падение смежных опор в обоих соседних пролетах. Далее пошло каскадное

распространение разрушений в противоположные стороны к опорам №303 и №318.

Несмотря на то, что указанные повреждения ВЛ не сопоставимы с крупнейшей аварией в истории электроэнергетической системы Украины, произошедшей зимой 2000 года, тем не менее они представляли серьезную угрозу полного отключения электроснабжения АР Крым.

## 2. Основные проектные данные

Воздушные линии электропередачи, подверженные повреждениям в указанный период (рис. 1), были спроектированы в соответствии с ПУЭ 1965 года издания. На ВЛ были установлены металлические опоры 330 кВ типа ЦП-25и с расположением проводов по треугольнику и железобетонные опоры с горизонтальным расположением проводов.

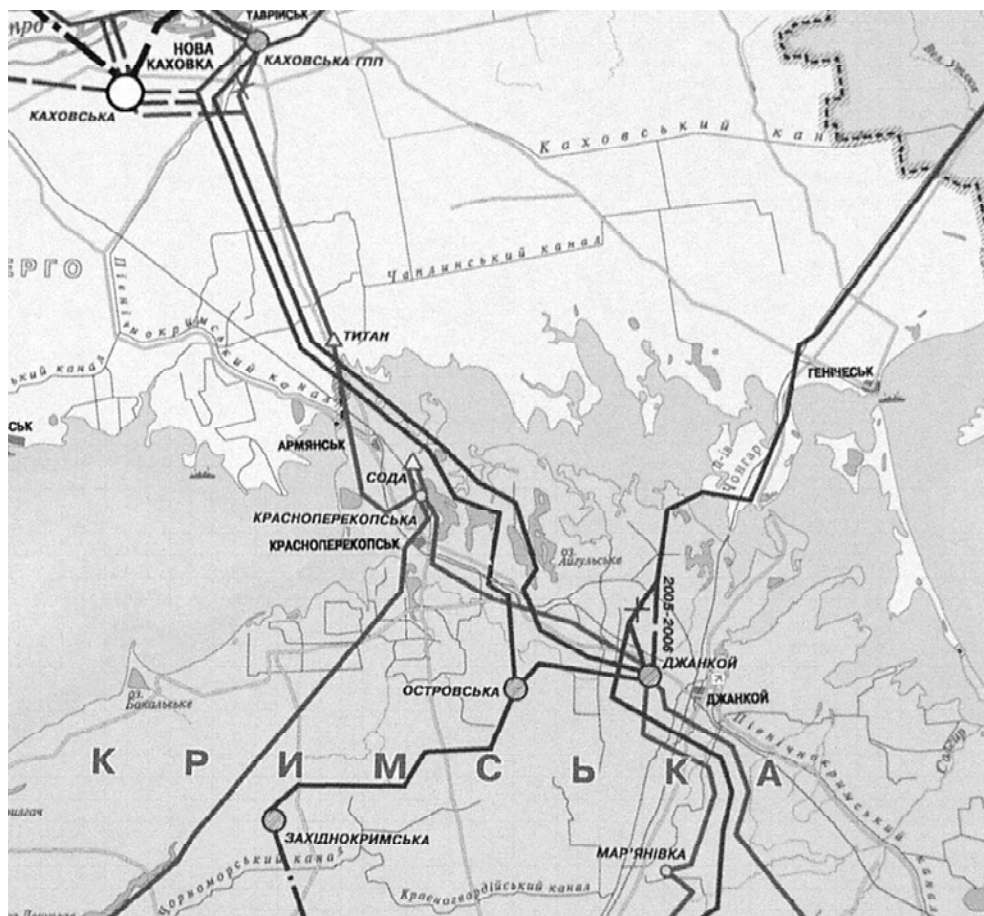


Рис. 1. ВЛ 220 и 330 кВ, соединяющие Крымскую ЭС с Объединенной ЭС Украины.

ВЛ 330кВ "Каховская — Джанкой" введена в эксплуатацию в 1969 году, общая протяженность 151,3 км (в т.ч. 48,9 км — опоры №№1-174 Днепровской ЭС, 102,4 км — опоры №№174-494 Джанкойских МЭС Крымской ЭС). Участок ВЛ длиной 24 км (опоры №№218-301) введен в эксплуатацию в 1978 году. Марка провода 2хАСО-400, марка троса С-70.

ВЛ 330кВ "Мелитополь — Джанкой" введена в эксплуатацию в 1970 году, общая протяженность 200,33 км (в т.ч. 99,73 км — опоры №№1-426 Днепровской ЭС, 100,6 км — опоры №№427-818а Джанкойских МЭС Крымской ЭС). Марка провода 2хАСО-300, марка троса С-70.

ВЛ 330кВ "Каховская — Островская" введена в эксплуатацию в 1978 году, общая протяженность 137,9 км (в т.ч. 56,3 км — опоры №№1-176 Днепровской ЭС, 81,6 км — опоры №№176-474 Джанкойских МЭС Крымской ЭС). Марка провода 2хАСО-400, марка троса С-70.

### 3. Анализ орографических условий местности

Перекопский перешеек расположен в северной части Автономной Республики Крым, его длина составляет 30 км, ширина на юге — 23 км, на севере — 9,2 км (рис. 2). Перекопский перешеек омывается водами двух морей: с запада — Черным, с востока — Азовским. Залив Сиваш, содержит поваренную соль, йодобромные и магниевые соединения в значительной концентрации.

Территория перешейка расположена в ландшафтной зоне сухих степей и относится к степному климатическому району. Рельеф района равнинный. Несмотря на близость больших водных массивов (озер Айгульское, Ян-Гул, Старое, Красное, Кыятское, Керлеутское), климат региона континентальный с умеренно мягкой зимой и жарким сухим летом. Характерны значительные годовые и суточные колебания температур, поэтому скорость постоянных ветров бывает очень большой. Среднегодовая температура воздуха  $+10^{\circ}\text{C}$ . Наиболее теплые месяцы — июль и август ( $+22^{\circ}\text{C}$ ), а холодные —

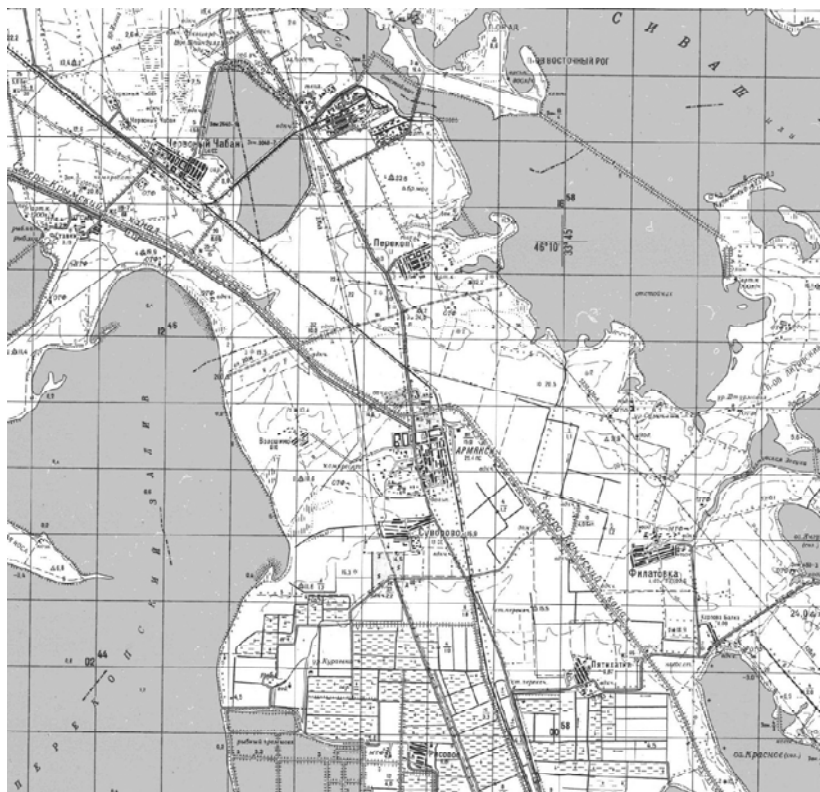
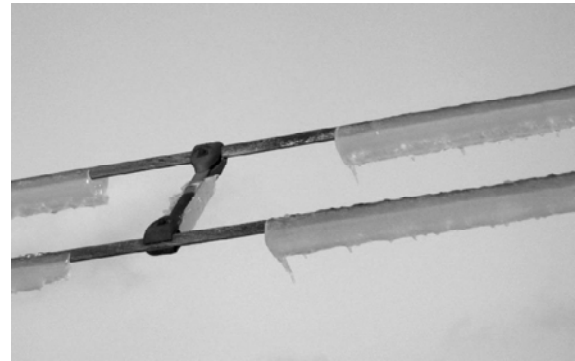


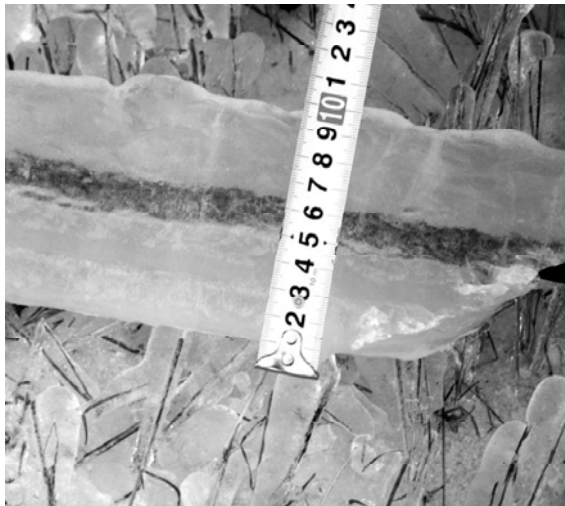
Рис. 2. Перекопский перешеек.



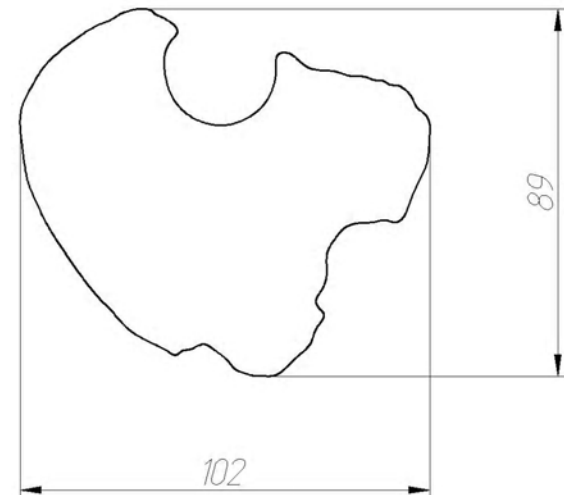
**Рис. 3.** Стихийные метеорологические явления по данным Укргидрометцентра в южной части Украины зимой 2009/10 года.



**Рис. 4.** Гололедные отложения на проводах ВЛ 330 кВ.



**Рис. 5.** Гололедные отложения на проводах ВЛ 330 кВ "Каховская — Джанкой".



**Рис. 6.** Данные инспекционных замеров гололедных отложений на проводах ВЛ 330 кВ "Каховская — Джанкой".

январь и февраль ( $-4^{\circ}\text{C}$ ). Среднегодовое количество осадков составляет 360 мм.

#### 4. Метеорологическая ситуация во время аварии

В Крымской ЭС в районе г. Красноперекопска 18 декабря 2009 года создались сложные метеорологические условия (рис. 3): снижение температуры воздуха до  $-4^{\circ}\text{C}$ , выпадение осадков в виде дождя, мокрого снега, ледяной крупы при северо-восточном ветре скоростью 15-20 м/с с порывами до 25 м/с, направленном

перпендикулярно ВЛ, что сопровождалось образованием гололеда на проводах ВЛ (рис. 4). Ситуация осложнялась тем, что в сложившихся метеоусловиях возникли явления аэродинамической неустойчивости проводов: маятниковые качания, галопирование в спутной струе для проводов расщепленных фаз, интенсивная пляска проводов.

По данным инспекционных замеров на ВЛ 330кВ "Каховская — Островская" на участке опор №№260-261 толщина гололедной муфты составляла около 80 мм на проводах и более 50 мм — на тросах, конструкциях опор, изоляторах. На ВЛ

330кВ "Каховская — Джанкой" на участке опор №№277-280 толщина гололедной муфты на проводах составляла около 80 мм на проводах (рис. 5), а на участках опор №№302-№319 — более 100мм (рис. 6) на проводах, тросах, конструкциях опор, изоляторах.

### 5. Источники информации о климатических нагрузках на ВЛ

Основным источником информации о климатических нагрузках является нормативный документ — Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Рассматриваемые линии проектировались в соответствии с действующим на тот момент изданием 1965 года [1]. В данное время действующим является издание 2006 года [2]. Дополнительным источником информации являются данные метеостанций. Основные параметры нагрузок, используемые при расчетах ВЛ, приведены в справочном документе Министерства топлива и энергетики Украины

"Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання" [5].

Последние два десятилетия нормативная база Украины претерпевала неоднократные совершенствования методов определения климатических нагрузок на ВЛ [12-15, 6-7], итог исследований воплощен в документах [2-4]. К настоящему времени собран достаточный объем статистической информации о метеорологических условиях во всех регионах страны, позволивший получить распределения годовых максимумов всех типов климатических нагрузок на ВЛ. Статистическая обработка данных метеостанций показывает [9], что распределения Гумбеля (тип I), Фишера—Типпетта (тип II) и Вейбулла (тип III) аппроксимируют данные наблюдений практически равноценно в области малых периодов повторяемости (5, 10 и 25 лет). Т.е., замена одного типа распределения другим не может существенно повлиять на результаты оценки надежности. Значения климатических нагрузок, вычисленных для больших

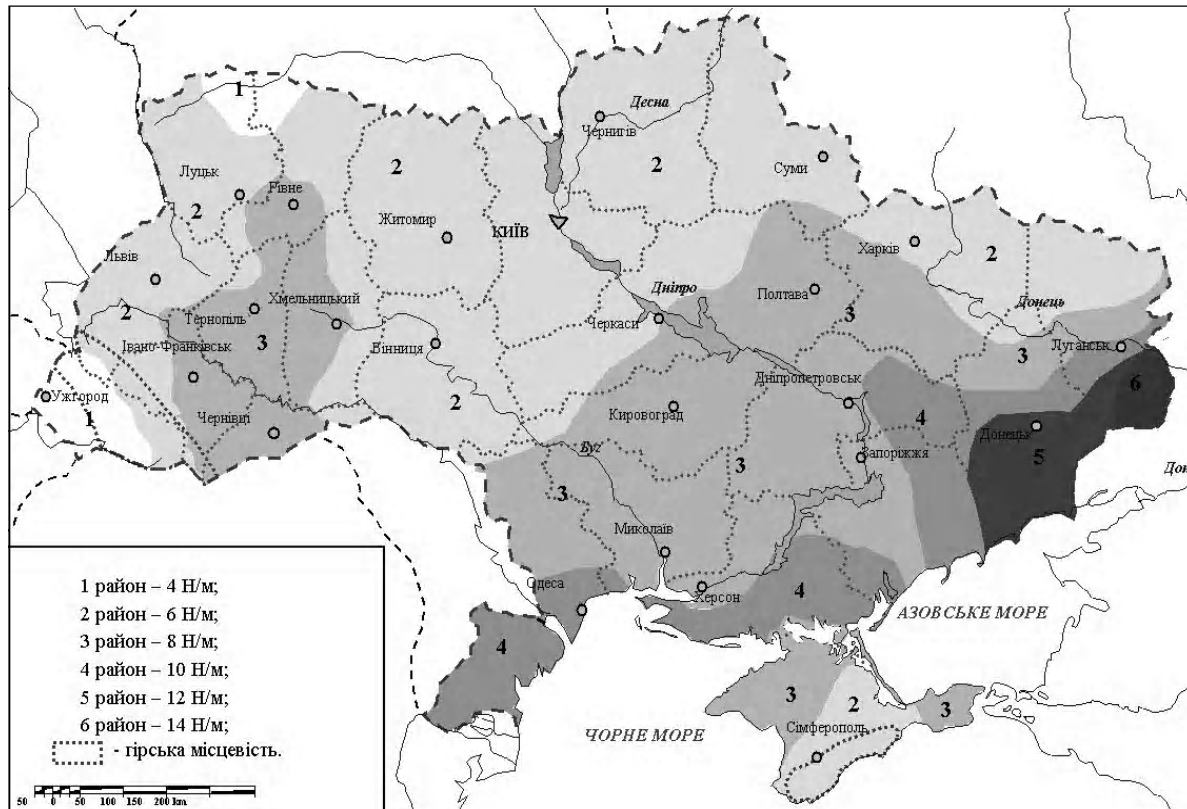


Рис. 7. Районирование территории Украины по характеристическому значению действия ветра на провод, покрытый гололедом.

периодов повторяемости (50–500 лет), существенно различаются в зависимости от типа используемого распределения. Для распределений первого и третьего типов разница составляет в среднем 15%. Величины нагрузок, вычисленные с использованием второго типа распределения, завышены в среднем на 40%, а в отдельных случаях — более чем на 100%. При этом метеорологические параметры достигают значений, не свойственных данной местности, а нередко и данному параметру. Наилучшую корреляцию с результатами наблюдений дает распределение типа I. Для отдельных метеостанций лучшая аппроксимация различных видов нагрузок достигается при использовании разных типов распределений, т.е. выбор вида функции является задачей, не имеющей однозначного решения.

Эти выводы подтверждаются исследованиями зарубежных ученых. Зарубежными исследователями [21-25] было проанализировано распределение статистических повторяемостей предельных климатических нагрузок. В ходе этого анализа было установлено, что в большинстве случаев это распределение соответствует типу I экстремальной функции Гумбеля, реже — типу II. В большинстве стран в расчетах используют функцию распределения типа I. Для вычисления параметров распределения используют следующие соотношения:  $a=1,282/\bar{x}$ ;  $u=\bar{x}\sigma-0,577/a$  ( $\bar{x}$  — среднее значение). Кроме того, для определения нагрузок на электросетевые конструкции Международная электротехническая комиссия

[16,19] рекомендует использовать распределение типа I — распределение Гумбеля [8,19]. Распределение экстремальных значений типа I имеет вид:

$$f_{1\max}(x) = a \exp\{-a(x-u) - \exp[-a(x-u)]\}, \quad (1)$$

Параметры  $a$  и  $u$  выражения (1) определяют по формулам:

$$a = c_1/s; \quad u = \bar{x} - c_2/s, \quad (2)$$

где  $c_1, c_2$  — коэффициенты, зависящие от количества наблюдений;  $\bar{x}$  — среднее значение членов ряда;  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение.

Распределение Гумбеля дает возможность экстраполировать ряд на продолжительность, большую, чем период наблюдений с наименьшими ошибками. Последнее обстоятельство очень важно потому, что периоды наблюдения на метеостанциях составляют 35-50 лет, а расчетные нагрузки на ВЛ в соответствии с предложениями МЭК должны определяться с повторяемостью 50-500 лет [16]. Значения климатических параметров для любого периода повторяемости  $T$  равно:

$$x_T = \frac{1}{a} \left\{ -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} + u, \quad (3)$$

Значения нагрузок, рассчитанных по ПУЭ [2], вследствие подходов к нормированию, заложенных в данный нормативный документ (сглаживание, районирование и т.д.) носят несколько обобщенный характер (рис. 7).

Использование данных метеостанций [5]

Таблица 1. Характеристики климатических нагрузок по метеостанции Ишунь [5].

МС: ИШУНЬ Координаты: $x = 45,53$ ; $y = 33,49$ Высота над уровнем моря: 3,0 м Год открытия: 1946, действующая		Температура воздуха, С°					
		Макс.: +40		Ср. год: +10,2		Мин.: -30	
Учт. годы	Вид нагрузки	Математическое ожидание		Коэффициент вариации		Характеристич. значение нагрузки	
		символ	значение	символ	значение	символ	значение
50	Вес гололеда на проводе, Н/м	$m_g$	2,03	$C_g$	0,92	$g_o$	7,4
51	Ветровое давление (макс.), Па	$m_w$	205,74	$C_w$	0,38	$W_o$	435
50	Ветровое давление при гололеде, Па	$m_{wg}$	71,66	$C_{wg}$	0,67	$W_{og}^o$	210
50	Действие ветра на провод с гололедом, Н/м	$m_Q$	1,91	$C_Q$	0,82	$Q_o$	6,5

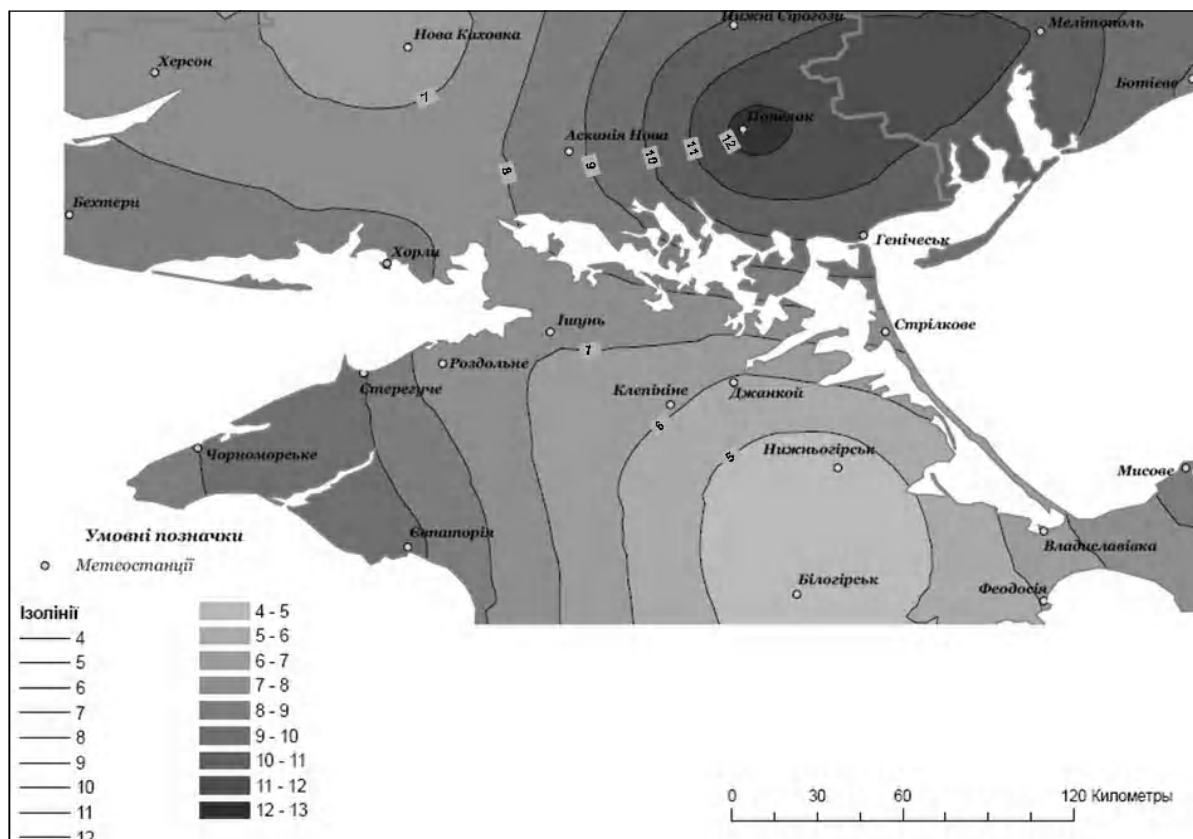
позволяет в отдельных случаях получить более точные значения. При этом допускается рассматривать как данные отдельной метеостанции (см. табл. 1), расположенной наиболее близко к исследуемому району, но, и как правило, необходимо учитывать информацию по нескольким ближайшим метеостанциям (рис. 8), используя микроклиматическое районирование.

В качестве примера данного подхода на рис. 8 приводится выполненное авторами микрорайонирование фрагмента территории Украины по характеристическому значению действия ветра на провод, покрытый гололедом, для построения которого использовался программный комплекс ArcGIS.

Модуль ArcGIS Geostatistical Analyst использует значения в опорных точках, расположенных в различных частях ландшафта. Опорные точки — это точки, в которых измерены

значения какого-либо параметра. Модуль Geostatistical Analyst строит поверхность, используя значения в измеренных точках для интерполирования значений в каждой точке ландшафта. В модуле Geostatistical Analyst возможно применение двух групп методов интерполяции: детерминистских и геостатистических. Все методы построения поверхности основаны на сходстве точек, которые расположены близко к опорным. Детерминистские методы используют для интерполяции математические функции. Геостатистика опирается как на статистические, так и на математические методы, которые могут быть использованы для построения поверхности и для оценки ошибки интерполяции. С помощью этих методов можно не только построить искомую поверхность, но и получить некую количественную оценку точности интерполяции.

При построении карт нагрузок использовал-



**Рис. 8.** Микрорайонирование территории юга Украины по характеристическому значению действия ветра на провод, покрытый гололедом.



**Таблица 2.** Статистические характеристики нагрузки на ВЛ 330 кВ.

Период повторяемости, лет	Обеспеченность (вероятность превышения) нагрузки	Срок службы (период эксплуатации)			
		40 лет		50 лет	
		Надежность нагрузки	Степень риска	Надежность нагрузки	Степень риска
10	0,9	0,01	0,99	0,01	0,99
150	0,993	0,76	0,24	0,70	0,3

**Таблица 3.** Характеристические (нормативные) значения нагрузок, полученные с использованием различных методик.

Вид нагрузки	Значение нагрузки			
	Проектные (ПУЭ 1965)	ПУЭ 2006	МС Ишунь	Микроклиматическое районирование
	Период повторяемости нагрузки			
	T=10 лет	T=50 лет		
Стенка гололеда, мм	15	20	12	15
Вес гололеда, кг/м (Н/м)	1,06 (10,4)	1,73 (17)	0,76 (7,4)	1,12 (11)
Ветровое давление (максимальное), кг/м <sup>2</sup> (Па)	51 (500)	56,1 (550)	44,4 (435)	48 (470)
Ветровое давление при гололеде, кг/м <sup>2</sup> (Па)	14,3 (140)	35,7 (350)	21,4 (210)	24 (235)
Действие ветра на провод с гололедом, кг/м (Н/м)	1,29 (12,6)	0,82 (8)	0,66 (6,5)	0,82 (8)

**Таблица 4.** Значения нагрузок с учетом коэффициентов надежности ПУЭ 2006 в сравнении с проектными данными.

Вид нагрузки	Значение нагрузки			
	Проектные (ПУЭ 1965)	ПУЭ 2006	МС Ишунь	Микроклиматическое районирование
	Период повторяемости нагрузки			
	T=10 лет	T=150 лет		
Стенка гололеда, мм	15	23	14	18
Вес гололеда, кг/м (Н/м)	1,06 (10,4)	2,2 (21,3)	0,94 (9,2)	1,41 (13,8)
Ветровое давление (максимальное), кг/м <sup>2</sup> (Па)	50 (490)	70,2 (688)	51,6 (506)	60 (588)
Ветровое давление при гололеде, кг/м <sup>2</sup> (Па)	14 (137)	45 (441)	26,1 (256)	30,2 (296)
Действие ветра на провод с гололедом, кг/м (Н/м)	1,29 (12,6)	1,02 (10)	0,81 (7,9)	1,02 (10)

ся кригинг-метод. Кригинг относится к семейству геостатистических методов, которые основаны на статистических моделях, учитывающих автокорреляцию (статистические взаимоотношения между опорными точками). Кригинг аналогичен методу взвешенных расстояний (IDW) в том, что опорным точкам из окрестности искомой точки, для получения ее значений, присваиваются веса. Однако веса основаны не только на расстоянии между измеренными точками и искомой точкой, но и на распределении опорных точек в пространстве в целом. Чтобы учесть расположение в пространстве, придавая точкам весовые коэффициенты, необходимо количественно определить пространственную автокорреляцию.

#### **6. Результаты расчетов фактических климатических нагрузок на ВЛ во время аварий в декабре 2009 года и сравнение со значениями, полученными по различным нормативным документам**

Проектирование рассматриваемых ВЛ выполнялось в соответствии с ПУЭ 1965 года [1]. В указанном нормативном документе для ВЛ классом напряжения 330 кВ принят период повторяемости 10 лет. В ПУЭ 2006 года класс напряжения ВЛ 330 кВ соответствует третьему классу безотказности (ЗКБ) с периодом повторяемости 150 лет. С увеличением периода повторяемости климатических нагрузок уменьшается вероятность появления нагрузок, пре-

вышающих заданные величины, т.е. снижается степень риска. Значения параметров надежности приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены значения нагрузок, полученные для базовых периодов повторяемости в соответствии с ПУЭ 1965, ПУЭ 2006, по данным ближайшей к району аварии метеостанции (МС Ишунь), а также интерполированное значение, полученное по данным метеостанций в радиусе 100 км от Перекопского перевала с использованием микроклиматического районирования.

В расчетах использовались климатические характеристики следующих метеостанций: Херсон, Бехтеры, Новая Каховка, Нижние Серогозы, Хорлы, Аскания Нова, Попелак, Геничск, Мелитополь, Ботиево, Стрелковое, Джанкой, Клепинино, Раздольное, Стерегущее, Нижнегорск. Все указанные метеостанции находятся в сходных климатических и топографических условиях. Кроме того, их данные достаточно коррелированы между собой. Значения нагрузок по метеостанции Ишунь вычислены по методике в соответствии с прил. А к ПУЭ 2006 [2] на основании информации справочника климатических данных [5], а также методик [3,4].

В табл. 4 приведено сравнение значений нормативных нагрузок ПУЭ 1965, ПУЭ 2006 и значений по данным МС Ишунь с учетом коэффициентов надежности по нагрузке, соответствующих классу ЗКБ с периодом повторяемо-

**Таблица 5.** Конструктивные характеристики ВЛ 330 кВ "Каховская – Джанкой".

<b>Характеристики</b>	<b>Значение</b>
Пролет, м	360
Тип опоры	ЦП-25и
Высота опоры, м	39,0
Высота подвеса провода фазы А, м	30,5
Высота подвеса провода фазы В и фазы С, м	20,5
Стрела провеса провода (принятая для расчета нагрузок), м	10
Средняя высота крепления проводов к изоляторам, м	28,3
Высота расположения приведенного центра тяжести проводов, м	17,17
Провод	АСО-400
Диаметр провода, мм	27,5

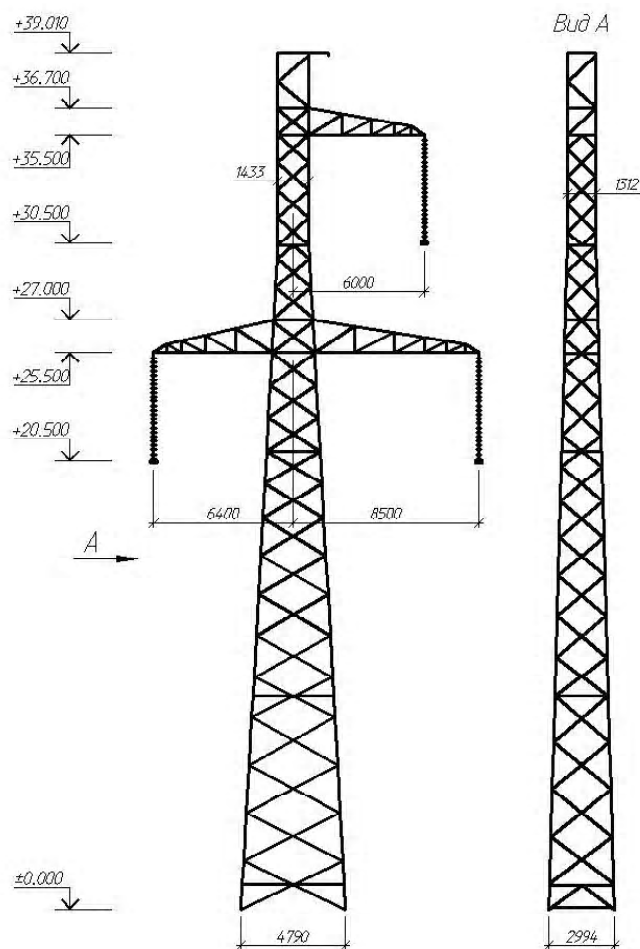


Рис. 9. Металлическая опора ВЛ 330 кВ типа ЦП-25и.

Таблица 6. Сравнение удельных нагрузок на ВЛ 330 кВ по ПУЭ-1965 и ПУЭ-2006 для соответствующих расчетных режимов (с учетом конструктивных факторов) с фактическими нагрузками во время стихийных явлений 19 декабря 2009 года.

Вид нагрузки	Значение нагрузки				
	Проектные (ПУЭ 1965)	ПУЭ 2006	Фактическая нагрузка	Коэффициент превышения	
				ПУЭ 1965	ПУЭ 2006
Стенка гололеда, мм	15	22	33,9	2,26	1,54
Вес гололеда, кг/м (Н/м)	2,04 (20)	3,05 (29,7)	6,03 (59,1)	2,96	1,98
Вес провода с гололедом, кг/м (Н/м)	3,96 (38,8)	4,97 (48,7)	7,95 (77,9)	2,01	1,60
Ветровое давление (максимальное), кг/м <sup>2</sup> (Па)	50 (490)	80,8 (792)	–	–	–
Ветровое давление при гололеде, кг/м <sup>2</sup> (Па)	14 (137)	45 (441)	39 (382)	2,79	0,87
Действие ветра на провода ВЛ, покрытые гололедом, кг/м (Н/м)	0,97 (9,5)	1,87 (18,3)	3,84 (37,6)	3,96	2,05

сти 150 лет.

В табл. 5 и на рис. 9 приведены основные конструктивные характеристики ВЛ 330 кВ "Каховская – Джанкой", используемые при вычислении климатических нагрузок.

В табл. 6 и 7, соответственно, приведены значения удельных нагрузок и нагрузок на опору ВЛ 330 кВ ЦП-25и с использованием методик, реализованных в ПУЭ-1965 и ПУЭ-2006, а также значения фактических нагрузок в момент аварии.

## 7. Выводы

Сравнение значений нагрузок (см. табл. 4), полученных с использованием различных методик, применительно к рассмотренным орографическим условиям прохождения трасс воздушных линий электропередачи, показало:

- данные отдельно взятой ближайшей метеостанции несущественно отличаются от проектных данных, и в значительной степени ниже значений, определенных на основании микроклиматического районирования по ближайшим метеостанциям в радиусе 100 км, что обусловлено нехарактерным расположением МС Ищунь относительно преобладающего гололедно-ветрового потока;
- применительно к данной местности, с учетом отсутствия данных метеостанций над поверхностью Азовского и Черного морей, а также преобладающих северо-восточных ветров с территории Азовского моря, реали-

зованное в ПУЭ-2006 сглаживание данных позволяет получить более точные значения нагрузок на ВЛ, обладающие большей обеспеченностью.

Выполненное сравнение фактических нагрузок во время стихийных явлений 19 декабря 2009 года с расчетными нагрузками от проводов на опору ВЛ 330 кВ для соответствующих расчетных режимов показало (см. табл. 7), что фактическое превышение механических нагрузок на опору в соответствии с проектными данными составило 2-4 раза. При этом значения нагрузок, определенных по методикам ПУЭ-2006, в день стихии были превышены в 1,6-2 раза.

Таким образом, анализ климатологической информации на основании приведенных выше подходов к определению значений нагрузок показывает, что ВЛ, рассчитанные по ПУЭ-2006, обладают большей надежностью вследствие большей обеспеченности нагрузки. Тем не менее, в определенных случаях в ходе стихийных метеорологических явлений могут возникать нагрузки, существенно превышающие нормативные. Следовательно, для элементов электроэнергетической системы Украины, ответственных за энергетическую безопасность целых регионов, как например, магистральные ВЛ на Перекопском перешейке, следует применять дополнительные мероприятия для предотвращения аварийных ситуаций, включающие: внедрение схем плавки гололеда на проводах и тросах; установку изоляционных междуфазных распорок и гасителей пляски проводов; приме-

**Таблица 7.** Сравнение нагрузок от проводов на опору ВЛ 330 кВ для соответствующих расчетных режимов с фактическими нагрузками во время стихийных явлений 19 декабря 2009 года.

Нагрузки на опору ВЛ ЦП-25и	Значение нагрузки				
	Проектные (ПУЭ 1965)	ПУЭ 2006	Фактическая нагрузка	Коэффициент превышения	
				ПУЭ 1965	ПУЭ 2006
Вес гололеда на проводах ВЛ, кг (Н)	1470 (14406)	2182 (21384)	4342 (42552)	2,95	1,99
Вес проводов ВЛ с гололедом, кг (Н)	2850 (27930)	3562 (34907)	5722 (56076)	2,01	1,61
Ветровое давление на провода ВЛ (максимальное), кг (Н)	845 (8280)	1600 (15676)	–	–	–
Действие ветра на провода ВЛ, покрытые гололедом, кг (Н)	700 (6860)	1402 (13740)	2766 (27107)	3,95	1,97

нение проводов новых типов, в меньшей степени подверженных образованию гололеда; внедрение автоматизированной информационной системы наблюдения за гололедом [17,18] и др.

## Литература

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. 4-е издание. — М.: Энергоатомиздат, 1965.
2. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 "Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ". — Київ: ОЕП "ГРІФРЕ", 2006. — С. 32-190.
3. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Кліматичні навантаження на повітряні лінії електропередачі з урахуванням топографічних особливостей. — НТСЕУ, ОЕП "ГРІФРЕ", 2007. — 39 с.
4. СОУ-НН 21.262:2008. Кліматичне забезпечення будівництва та експлуатації електричних мереж. — НТСЕУ, ОЕП "ГРІФРЕ", 2008. — 36 с.
5. Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання. Методика опрацювання. — НТСЕУ, ОЕП "ГРІФРЕ", 2008. — 94 с.
6. Аэродинамика электросетевых конструкций / Горохов Е.В., Казакевич М.И., Шаповалов С.Н., Назим Я.В. / Под. ред. Горохова Е.В., Казакевича М.И. — Донецк, 2000. — 336 с.
7. Гололедные и ветровые воздействия на воздушные линии электропередачи / Горохов Е.В., Казакевич М.И., Турбин С.В., Назим Я.В. / Под. ред. Горохова Е.В. — Донецк, 2005. — 348 с.
8. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. — М.: Мир, 1965. — 450 с.
9. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України. — К.: УкрНДІПСК, 1999.—185 с.
10. Кінаш Р.І., Бурнаєв О.М. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси в Україні. Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 1998.— 1152 с.
11. Кінаш Р.І., Бурнаєв О.М. Вплив кореляції між атмосферними навантаженнями на коефіцієнт їх сполучення // Вестник ДонГАСА. — 1999. — № 99-6 (20).—С. 35-43.
12. Княжевская С.Я. Климатическое обеспечение расчетов надежности систем электроснабжения / Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. — Вып. 47 "Надежность и безопасность стареющих систем энергетики". — Киев: Знание. — 1995. — С. 111-116.
13. Княжевская С. Я., Нарожный В. Б. Методы определения расчетных климатических условий при проектировании воздушных линий электропередачи // Известия ВУЗов. Энергетика. — 1986. — № 6. — С. 54-56.
14. Нарожный В.Б., Княжевская С.Я., Глей Л.В. Кліматичні навантаження на повітряні лінії електромереж — К.: Енергопрогрес, 1994. — 212 с.
15. Нарожный В.Б., Княжевская С.Я., Левкина Н.Е. Совершенствование методов определения климатических нагрузок при проектировании ВЛ // Энергетические станции. — 1987. — № 5. — С. 57-60.
16. Международная электротехническая комиссия. Технический комитет 11. Рекомендации для воздушных линий. — Париж, 1989. Перевод института "Энергосетьпроект". — М., 1990. — 155 с.
17. Назим Я.В., Лещенко А.А. Модернизация устройства измерения гололедной нагрузки для метеопостов // Металеві конструкції. — Макеевка, 2008. — Том 14.—№3. — С. 169-180.
18. Gorokhov Ye., Nazim Ya., Vasylev V., Kuznetsov S., Garkusheva V. Monitoring of Complex Design Systems of Special Structures // The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC-2008. Selected papers (June 26-29, 2008, Vilnius, Lithuania). Vilnius: Technika, 2008, P. 306 - 311.
19. IEC 60826 Design criteria of overhead transmission lines // 11/165A/CDV. Ed. 3. 2002. — 186 p.
20. Gumbel E. J. Statistics of Extremes. New York: Columbia Univ. Press 1958.
21. A new Norwegian wind loading standard. Draft NS 3491-4 // 1st International Codification workshop for wind loads. Bochum (Germany). — 2000. — 7 p.
22. AIJ Recommendations for Loads on Buildings // Architectural Institute of Japan, AIJ. Tokyo. — 1996.—pp. 83-112.
23. Draft Australian/New Zealand Standard for comment (DR 99419) / Part 2: Wind actions. Committee BD/6. Standards Australia, Sydney.— 1999. — 84 p.
24. National Building Code of Canada. NRC-CNRC. Live loads due to Wind/ Canadian Commission on Building and Fire Codes. National Research Council. — Canada. — 1995. — pp. 9 - 42.
25. Probabilistic design of overhead transmission lines. Companion document to "Improved design criteria of overhead transmission lines based on reliability concepts". "CIGRE Brochure No.109, December 1996" // Final version. July 2000. SC 22. WG 06. No. 22-00 (WG06)01. 124 p.

**Назім Ярослав Вікторович** — доцент кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури, член Української асоціації по металевих конструкціях. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність і довговічність електромережних конструкцій, динамічні навантаження на будівельні конструкції електромереж, особливості вітрових і ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

**Лещенко Олександр Олександрович** — аспірант кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості вітрових і ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

**Костін Віталій Вікторович** — магістрант кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості вітрових і ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

**Назім Ярослав Вікторович** — доцент кафедри "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, динамические нагрузки на строительные конструкции электросетей, особенности ветровых и гололедных воздействий на воздушные линии электропередачи.

**Лещенко Александр Александрович** — аспирант кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: особенности ветровых и гололедных воздействий на воздушные линии электропередачи.

**Nazim Yaroslav Victorovich** — an Associate Professor of Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. His research interests include operational reliability and longevity of power supply structures, dynamic loads on overhead line structures, wind and ice loadings and influences on overhead power transmission lines.

**Leshchenko Olexandr Olexandrovych** — a Ph.D. Student of Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests include wind and ice loadings and influences on the overhead power transmission lines.

**Kostin Vitalii Victorovich** — Master Studies Student of Metal Structures department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests include the wind and ice loadings and influences on the Overhead Power Transmission Lines.