



(05)-0098-1

АНАЛІЗ ПРОСТОРОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ ОЖЕЛЕДНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ РОЗСТАНОВКИ МЕТЕОПОСТІВ НЕК "УКРЕНЕРГО" НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Є.В. Горохов, С.В. Турбін

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

Отримана 8 липня 2005; прийнята 9 вересня 2005

Анотація. У статті розглянуті питання просторової кореляції кліматичних, у тому числі ожеледно-вітрових навантажень та впливів. Цій аналіз дозволяє не тільки оцінити імовірність викидів показників окремих метеорологічних станцій при побудові ізополів навантажень, а також виконати оцінку масштабності екстремальних прояв ожеледно-вітрових навантажень, які можуть призвести до відмов повітряних ліній електропередачі. Результати за наведеним аналізом були застосовані при розстановці автоматизованих ожеледно-вітрових метеопостів НЕК "Укренерго".

Ключові слова: ожеледі навантаження, повітряні лінії електропередачі, автоматизований метеопост.

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРЕЛЯЦИИ ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ РАССТАНОВКИ МЕТЕОПОСТОВ НЭК "УКРЭНЕРГО" НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Е.В. Горохов, С.В. Турбин

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

Получена 8 июля 2005; принята 9 сентября 2005

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы пространственной корреляции климатических, в том числе гололедно-ветровых нагрузок и воздействий. Данный анализ позволяет не только оценить случайность выбросов показателей отдельных метеостанций при построении изополей нагрузок, но и оценить масштабность экстремальных проявлений гололедно-ветровых нагрузок, которые могут привести к отказам воздушных линий электропередачи. Результаты проведенного анализа использованы при расстановке автоматизированных гололедно-ветровых метеопостов НЭК "Укрэнерго".

Ключевые слова: гололедные нагрузки, воздушные линии электропередачи, автоматизированный метеопост.

ANALYSIS OF SPATIAL CORRELATION OF ICING LOADS FOR NEC "UKRENERGO" WEATHER-STATIONS ARRANGEMENT ON UKRAINIAN TERRITORY

Ye. V. Horokhov, S. V. Turbin

*Department of metal structures, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.
E-mail: sergey@icm.dn.ua*

Received 8 July 2005; accepted 9 September 2005

Abstract. The article is devoted to the questions of a spatial correlation of climatic loads, including icing combinations with the wind. This analysis allows to estimate random overloads in the data of weather stations under territory zoning and scale of extreme overloads which may lead to failures of overhead of transmission lines. The results of carried out analysis were used for NEC "Ukrenergo" weather-stations arrangement on the Ukrainian territory.

Keywords: icing loads, overhead lines, automated icing monitoring system.

Введение

Украина занимала одно из первых мест в бывшем СССР по количеству отказов воздушных линий электропередачи при действии гололедно-ветровых нагрузок и воздействий. В настоящее время ситуация существенно ухудшилась в связи со старением основных производственных фондов, и в первую очередь, механической части воздушных линий электропередачи.

При статистическом анализе отказов конструкций воздушных линий [1] было установлено, что больше половины отказов опор ВЛ происходит из-за широкомасштабных гололедно-ветровых штормов, которые охватывают территорию более 10 000 км². Причем гололедные нагрузки на территории Украины отличаются существенной скоростью нарастания, что ставит оперативность определения гололедных нагрузок одним из определяющих требований к мониторингу гололеда и сопутствующих параметров. Для возможности оперативного слежения за метеоситуацией специалистами ДОННАСА были разработаны автоматизированные гололедно-ветровые метеопосты [2].

Другой немаловажной проблемой борьбы с гололедно-изморозевыми отложениями является оперативное наблюдение за гололедно-ветровой ситуацией. Анализ репрезентативности метеопостов и метеостанций по территории, в данном случае позволяет оптимально расставить метеопосты для охвата как можно большей площади.

Для получения подобной информации о гололедообразовании место расположения метеопостов должно соответствовать местам концентрации воздушных линий электропередачи НЭК «Укрэнерго». На первом этапе данные измерения предполагается проводить путем установки метеопостов на подстанциях, однако в дальнейшем, при необходимости, возможна постановка автоматизированных метеопостов непосредственно на линиях.

В зависимости от климатических провинций сеть метеопостов должна быть различной. Так, на основной части Украины представительность измерений метеостанцией обеспечивается в радиусе 50-100 км. Однако на территориях, которые характеризуются повышенными гололедными нагрузками (Донецкий кряж), существенным отличием нормируемых гололедных нагрузок [1] от зафиксированных в последнее время [3] (Причерноморская низменность), для горных районов Украины (Карпаты, Крым) сеть метеопостов должна быть более плотной. Причем для горных районов представительность измерений существенно зависит от топографических особенностей местности и отображает только ситуацию в радиусе 1-5 км. Следующим аспектом расстановки постов по территории Украины должен быть анализ статистических данных существующих метеостанций Украины. В первую очередь необходимо оценить пространственную корреляцию гололедных нагрузок и количество «выбросов» на метеостанции.

Методические аспекты исследований

Целью данной работы является разработка методики расположения метеопостов на территории Украины, обладающих возможностью адекватно фиксировать проявление сверхнормативных климатических нагрузок, которые могут привести к аварии ВЛ на определенной территории, для чего необходимо оценить радиусы репрезентативности метеопостов.

Для оценки радиуса представительности метеопоста необходимо оценить пространственное распределение гололедных нагрузок. Одним из возможных вариантов является обработка годовых максимумов по метеостанциям при помощи взаимнокорреляционной функции. В связи с тем, что расчетные значения определяются исходя из годовых максимумов нагрузки, корреляция годовых максимумов позволит выявить не только возможное пространственное распределение нагрузок по территории, но и оценить репрезентативность метеостанции.

Перед началом анализа необходимо установить, обладает ли данная реализация процесса свойствами случайности и стационарности, что в последующем позволит значительно упростить некоторые методы анализа.

Коэффициент корреляции используется для количественной оценки взаимосвязи двух наборов данных, представленных в безразмерном виде. Коэффициент корреляции двух случайных величин определяется по формуле (1) и представляет собой ковариацию двух наборов данных (2), деленную на произведение их стандартных отклонений (3).

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (1)$$

$$\text{Cov}(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_X) \cdot (Y_i - \mu_Y) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_X^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_X)^2 \\ \sigma_Y^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \mu_Y)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Корреляционный анализ дает возможность установить, ассоциированы ли наборы данных

по величине, то есть, большие значения из одного набора данных связаны с большими значениями другого набора (положительная корреляция), или, наоборот, малые значения одного набора связаны с большими значениями другого (отрицательная корреляция), или данные двух диапазонов никак не связаны (корреляция близка к нулю). Причем, две независимые случайные величины всегда остаются некоррелированными, а некоррелированные величины не всегда являются независимыми.

Данное противоречие не сильно скажется на искомом минимальном радиусе репрезентативности метеопоста. Анализ пространственного распределения гололедных нагрузок по территории Украины позволяет сделать вывод о том, что при коэффициенте корреляции, полученном при помощи уравнения (1) и численно равном 0,2 и выше, ряды метеоданных можно считать коррелированными, т.е. проявление сверхнормативных нагрузок, которые могут привести к аварии на данной территории, будет зафиксировано метеопостом. В большинстве случаев коэффициент корреляции 0,2 является показателем как раз плохой корреляции, однако, в данном случае был выполнен сопоставительный анализ нескольких масштабных аварий и полученных коэффициентов корреляции, на основании чего и были сделаны данные выводы. Столь низкий показатель корреляции связан также со следующими допущениями, связанными с формой представления исходной информации.

В связи с тем, что количество случаев гололеда на различных метеостанциях различно, имеет смысл анализировать пространственную корреляцию только годовых максимумов, а это приводит к возможному временному дисбалансу данных соседних метеостанций в течение года. Следующей немаловажной проблемой при обработке данных метеостанций является четкая идентификация года измерений, т.к. наблюдения производятся зимой и, как правило, датируются 1956-1957 гг. Также оказывает определенное влияние на качество получаемых результатов тот факт, что метеостанции вводились в работу в разное время, что не позволяет при анализе использовать все данные, а только соответствующие по датам, как показано в табл. 1.

Таблица 1. Годовые максимумы данных метеостанций, используемые при корреляционном анализе (выделены серым цветом).

Год	Голубинка	Орлиное	Херсонесский маяк	Почтовое	Алушта	Евпатория
1953					4,79	7,99
1954	0,00				0,00	1,11
1955	0,00			4,69	0,00	1,49
1956	0,82			1,49	0,00	8,86
1957	0,65	0,55		1,23	0,77	1,73
1958	0,82	1,47	1,42	4,15	0,68	6,23
1959	0,00	0,00	0,81	2,00	0,00	6,23
1960	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00	3,62
1961	11,63	0,00	0,00	14,42	0,00	7,11
...
...
1984	0,00	0,00	0,48	0,84	0,00	6,23
1985	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	3,26
1986	1,80	0,00	0,00	1,70	10,45	4,27
1987	10,43	0,00	0,44	2,01	12,49	1,49
1988			0,44	7,55	0,00	7,11
1989			0,00	1,46	7,15	0,86
1990			0,40	0,91	0,00	1,33
1991			0,83	0,94	0,37	
1992			1,83	1,31	0,00	
1993			0,44	2,21	0,00	
1994			0,46	3,61	0,00	
1995			0,51	3,61	1,92	
1996				3,61	0,00	
1997				1,44	2,84	
1998				2,37		
1999				3,98		
2000				4,35		

В результате проведенных исследований по всем метеостанциям Украины была сформирована таблица, фрагмент которой представлен в табл. 2, в которой цветом были выделены метеостанции с хорошей и плохой корреляцией, причем рассматривались следующие варианты:

- ($\rho_{X,Y} > 0,5$) – хорошая корреляция (все процессы на метеостанциях практически одинаковы);
- ($0,5 > \rho_{X,Y} > 0,2$) – (удовлетворительная корреляция (максимумы гололедно-ветровых нагрузок, которые могут привести к отказу на метеостанциях одинаковы);

- ($0,2 > \rho_{X,Y} > -0,2$) – (корреляция данных отсутствует);
- ($-0,2 > \rho_{X,Y} > -1$) – (метеостанции работают в противофазе).

Исследование пространственной корреляции метеопараметров на территории Украины

На основании рядов годовых максимумов метеостанций, отнесенных к среднему по данной метеостанции значению, были получены коэффициенты корреляции для сочетаний рядов

Таблица. 2. Численные значения коэффициентов корреляции рядов гололедных нагрузок по метеостанциям горного Крыма.

Метеостанция	Орлиное	Голубинка	Севастополь	Почтовое	Алушта	Евпатория	Симферополь	Караби-Яйла	Белогорск	Клепенино	Феодосия	Нижнегорский	Владиславовка	Мысовое	Керчь
АйПетри	-0,24	-0,06		-0,03				0,27							
Орлиное		-0,11	-0,21												
Голубинка			-0,07	0,51	0,38										
Севастополь				0,22		-0,09									
Почтовое					0,13	0,26	0,06								
Алушта							-0,10	-0,04							
Симферополь								-0,13	0,32	0,20					
Караби-Яйла									-0,13		0,08				
Белогорск										0,18	0,39	0,29			
Феодосия															
Владиславовка									0,39			-0,01	0,14	0,41	
Керчь														0,12	
Мысовое											-0,02				
Нижнегорский										0,31					
Клепениное						0,22									
Воронки						-0,06									
Черноморское						-0,04									

соседних метеостанций, анализ которых позволил сделать следующие выводы (см. рис. 1-2):

- при значениях коэффициентов корреляции 0,2 и более метеостанции можно считать расположенными в одинаковых условиях и достаточно хорошо коррелированными (см. рис. 1);
- при коэффициентах корреляции менее 0,2 метеостанции слабо коррелированы либо их данные не репрезентативны (рис. 2). Данные территории нуждаются в повышенном внимании.

В табл. 3 приведены коэффициенты корреляции данных метеостанций Ивано-Франковской и Тернопольской областей с данными метеостанции Ивано-Франковск. Высокая корреляция метеоданных, в данном случае, обусловлена данными за 1974 год, во время широкомасштабного гололедного шторма, который повлек за собой значительное количество от-

казов линий электропередач. Анализ полученных коэффициентов корреляции без данных 1974 года показывает, что выбранное пороговое значение коэффициента корреляции равно 0,2 можно считать соответствующим.

На основании полученных результатов на рис. 3 приведено примерное размещение ведомственных метеопостов при установке их на подстанциях НЭК «Укрэнерго». Границы репрезентативности метеопостов соответствуют полученному коэффициенту корреляции 0,2.

Таким образом, анализ полученных данных (см. рис. 3) позволяет сделать следующие выводы:

- основное количество метеопостов должно быть установлено в Южной и Юго-Западной системах;
- количество метеопостов в Северной и Центральной системах может быть несколько снижено из-за достаточно низких значений

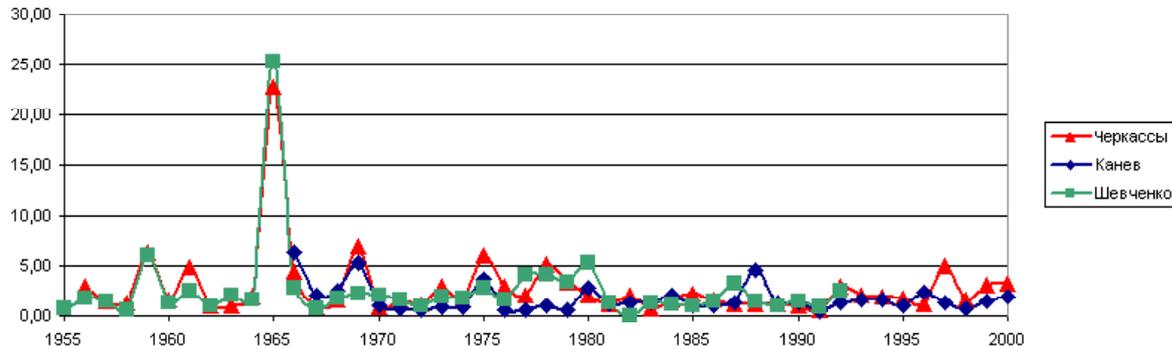


Рис. 1. Ход случайной величины (вес гололеда) по метеостанциям с коэффициентами корреляции 0,5 и выше.

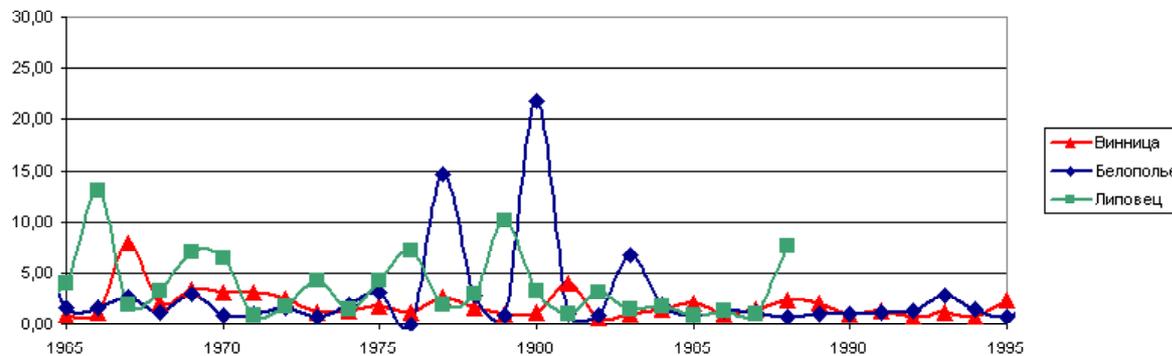


Рис. 2. Ход случайной величины (вес гололеда) по метеостанциям с коэффициентами корреляции 0 и ниже.

гололедной нагрузки (ранее – первый и второй гололедные районы);

- все выкладки справедливы при удовлетворительном рабочем состоянии строительных конструкций ВЛ. Так, в Донбасской, Крымской и Днепровской системах необходима установка метеопостов, в связи со значительным сроком эксплуатации линий электропередачи.

Аналогичные вычисления также были проведены для ветра при гололеде. В данном случае данные метеостанций коррелированы еще лучше, что свидетельствует о том, что расчетное значение совместной гололедно-ветровой нагрузки проявляется на больших территориях и репрезентативность метеопостов для данного нагрузочного уровня также будет соблюдена.

Полученные результаты по пространственной корреляции рядов метеопараметров для гололеда и ветрового напора при гололеде приведены на рис. 3 и 4 соответственно. На основании полученных результатов на рис. 3 и 4

приведено примерное размещение ведомственных метеопостов НЭК «Укрэнерго» при установке их на следующих подстанциях:

Южная ЭС:

1. Ново-Одесская; 2. Арцыз; 3. Котовская; 4. Херсонская; 5. Ново-Каховская;

Юго-Западная ЭС:

6. Винницкая; 7. Тернопольская; 8. Шепетовка;

Западная ЭС:

9. Ивано-Франковская; 10. Мукачево; 11. Стрий; 12. Львов-Южная; 13. Луцк;

Центральная ЭС:

14. Белая Церковь; 15. Нежин;

Северная ЭС:

16. Конотоп; 17. Лозовая; 18. Купянск;

Днепровская ЭС:

19. Украинская; 20. Кировская; 21. ДДЗ; 22. ДД; 23. Мелитополь;

Донбасская ЭС:

24. Победа; 25. Южно-Донбасская;

Крымская ЭС:

26. Джанкой; 27. Островская; 28. Симферополь.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции рядов гололедных нагрузок метеостанций с метеостанцией Ивано-Франковск.

Название метеостанции	Коэффициенты корреляции рядов гололедных нагрузок	
	с данными 1974 года	без данных 1974 года
Бережаны	0,93	0,21
Чертков	0,85	0,2
Коломия	0,95	0,23
Яремча	0,58	-0,08
Долина	-0,08	-0,01

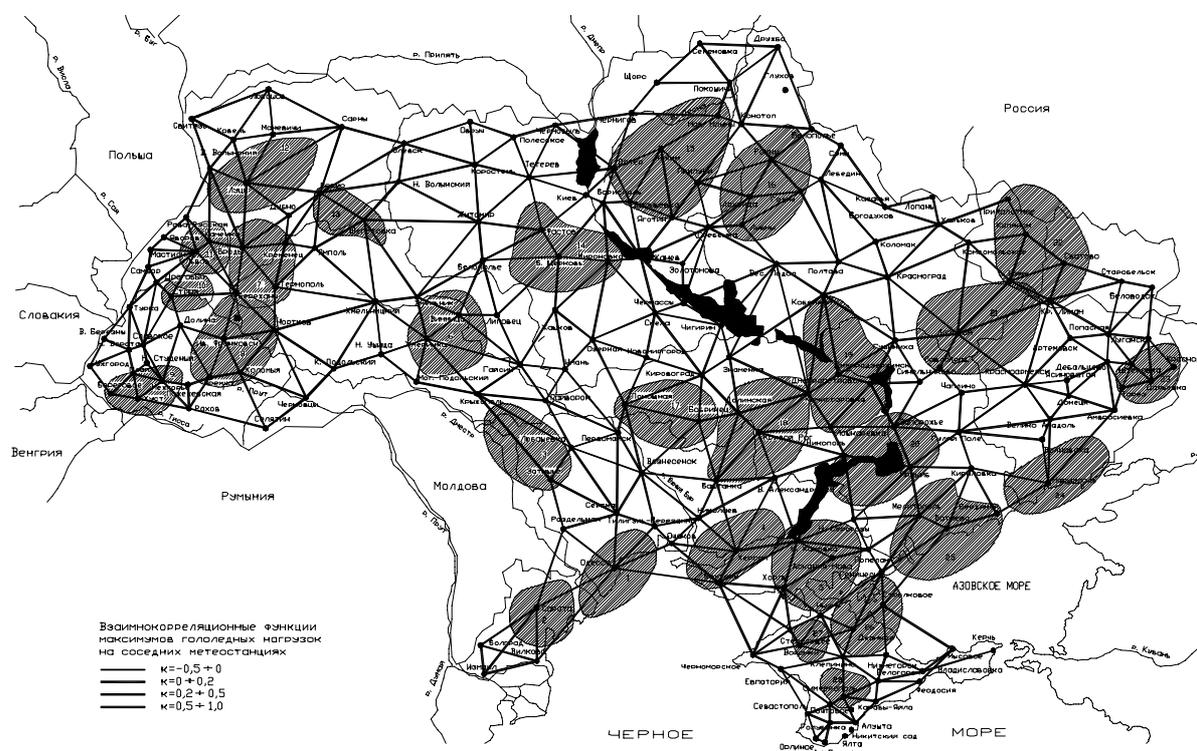


Рис. 3. Корреляционные функции максимумов гололедных нагрузок на соседних метеостанциях и границы репрезентативности метеопостов.

Предлагаемые варианты установки являются примерными, т.к. получены графически путем совмещения границ репрезентативности метеопостов, соответствующих коэффициенту корреляции 0,2 с картой магистральных воздушных линий электропередачи НЭК «Укрэнерго».

Ряд метеопостов, расположенных в горной либо предгорной местности, имеют небольшой радиус «действия» и вполне могут быть заменены на линейные. Достоинством линейных метеопостов является то, что их можно разме-

стить на территории с ярко выраженными топографическими либо микроклиматическими особенностями местности, что позволит расширить их радиус репрезентативности.

Приведенный выше порядок ввода в эксплуатацию метеопостов является рекомендуемым. В первую очередь необходимо установить метеопосты на территории Южной, Юго-Западной систем и западной части Днепровской системы. Причем, из-за увеличения радиуса репрезентативности метеопоста при экстремальных нагрузках желательно проводить их

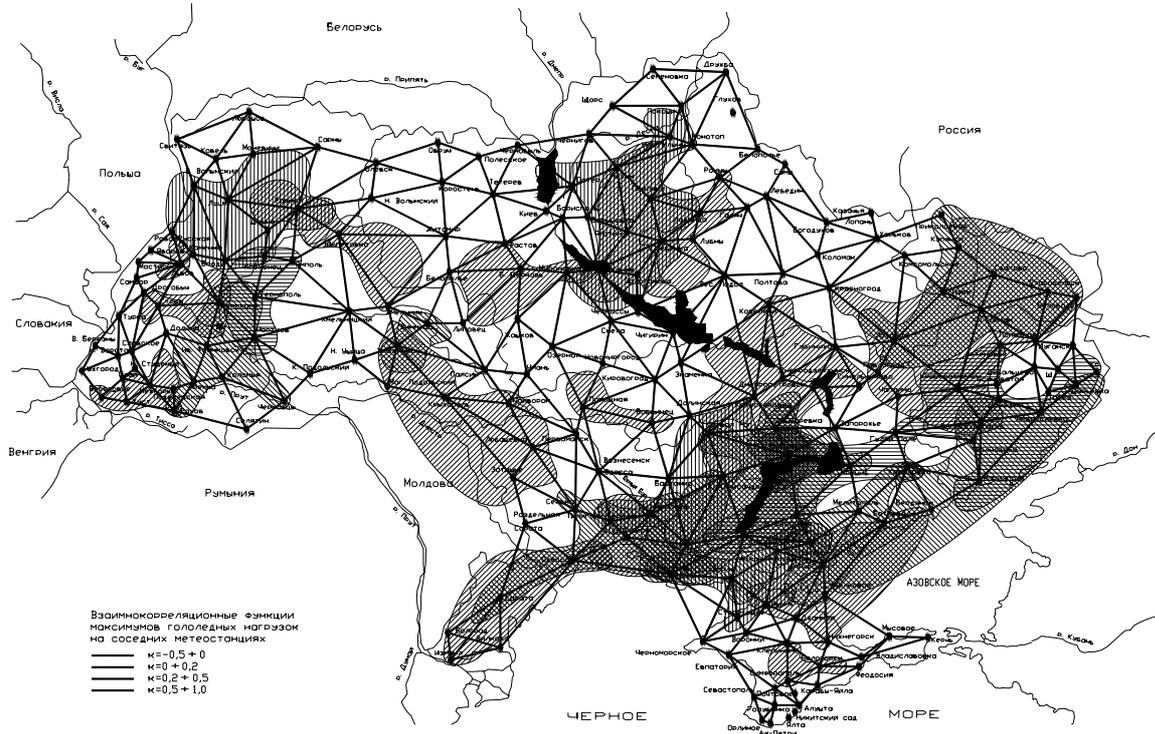


Рис. 4. Корреляционные функции максимумов гололедно-ветровых нагрузок на соседних метеостанциях и границы репрезентативности метеопостов.

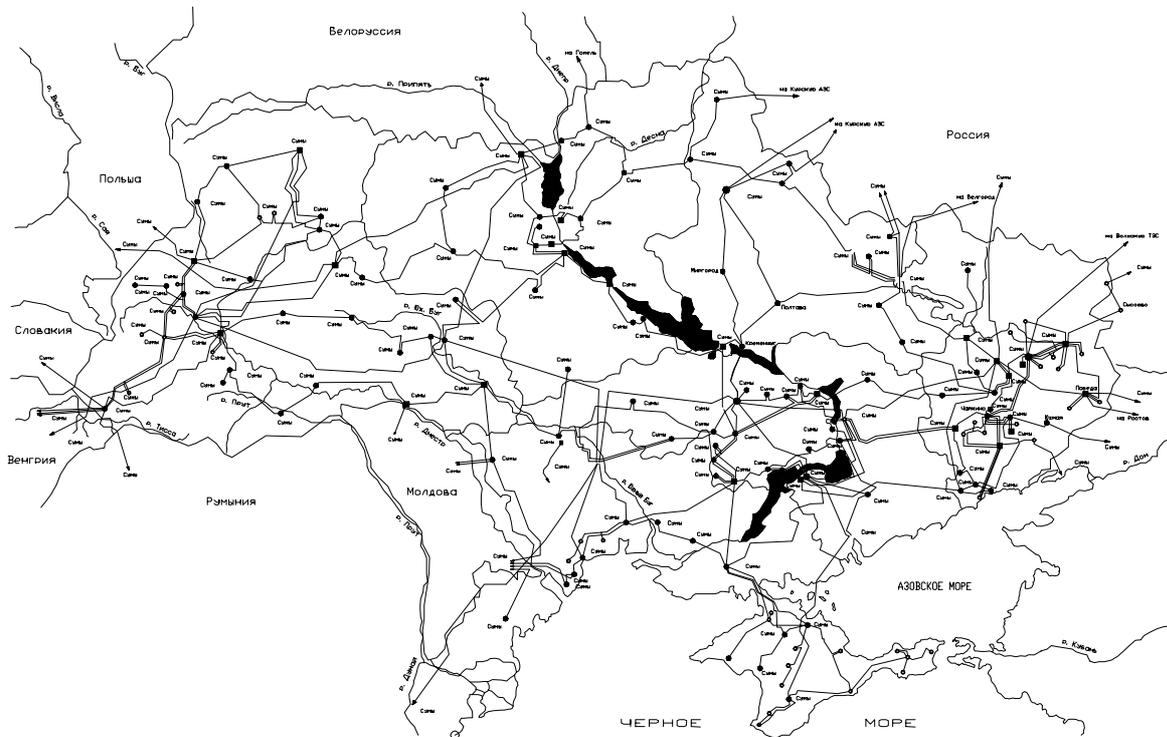


Рис. 5. Схема расположения магистральных воздушных линий НЭК «Укрэнерго».

установку в различных энергосистемах поочередно. Это позволит более качественно использовать их показания в процессе построения сети метеопостов.

Литература

1. Horokhov Ye.V., Turbin S.V., Grimud G.I. Principles of Overhead Line Reliability and Longevity Increasing under Ice and Wind Loads // 15 Internationale Baustofftagung. – Weimar. Bundesrepublik Deutschland. – 2003. – Band 1. – P. 1427-1439.
2. Горохов Е.В., Гримуд Г.И., Турбин С.В., Некрасов Ю.П. Принципы надежной и безопасной эксплуатации строительных конструкций электрических сетей при действии гололедных нагрузок // Вестник ДонГАСА. – Макеевка. – 2003. – №2003-2 (39). – С. 76-83.
3. Horokhov Ye.V., Turbin S.V. Wind and Ice Loads on Structures. Recommendations for Ukrainian National Building Code // Proceedings of 10 International Workshop on Atmospheric Icing of the Structures. Czech Republic. Brno. 2002. – Session 8. № 3.

Горохов Євген Васильович працює завідувачем кафедри "Металеві конструкції", ректором Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Президент Української асоціації з металевих конструкцій, закордонний член Російської академії будівництва, Академік Академії Вищої освіти та Академії будівництва України. Член Міжнародного комітету по вивченню впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

Турбін Сергій Володимирович є доцентом кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, Член робочих груп WG 16 "Метеорологія для повітряних ліній електропередачі" и WG 06 "Проектування повітряних ліній" комітету В2 "Повітряні лінії електропередачі" Міжнародного комітету по великих електроенергетичних системах (СІГРЕ). Наукові інтереси: ожеледні та вітрові навантаження та впливи на будівельні конструкції, надійність повітряних ліній електропередачі.

Горохов Евгений Васильевич является заведующим кафедрой "Металлические конструкции", ректором Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Иностраный член Российской Академии строительства, Академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины. Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

Турбин Сергей Владимирович является доцентом кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Член рабочих групп WG 16 "Метеорология для воздушных линий электропередачи" и WG 06 "Проектирование воздушных линий" комитета В2 "Воздушные линии электропередачи" Международного комитета по большим электроэнергетическим системам (СИГРЕ). Научные интересы: гололедные и ветровые нагрузки на строительные конструкции, надежность воздушных линий электропередачи.

Horokhov Yevhen Vasylyovych is a Principal of Metal Structures department, rector of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a president of Ukrainian Association of Metal Constructions. Foreign Member of Russian Building Academy, Member of High School and Building Academy of Ukraine, Member of International Working group in Wind Engineering. His research interests include the reliability of existing metal structures, climatic loads on buildings and structures.

Turbin Sergiy Volodymyrovych is an Associate Professor of Metal Structures department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Constructions. Member of working group 16 "Meteorology for overhead lines", working group 06 "Principles of Overhead Line Design" of International Conference On Large High Voltage Electric System (SIGRE). His research interests include the icing and wind loadings in structural design and reliability of overhead lines.

