



(06)-0126-1

УДОСКОНАЛЮВАННЯ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

С.В. Турбін

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

Отримана 15 вересня 2006; прийнята 18 жовтня 2006

Анотація. У статті наведена методика визначення кліматичних навантажень за профілем траси ВЛ 330 кВ «Ладизинська ТЕС – Дністровська ГРЕС», опори 1-448», що значний час знаходиться в експлуатації. Основною метою даних досліджень було виявлення «слабких» місць, у яких зусилля від зовнішніх впливів будуть найбільшими. Дана методика базується на основних методичних положеннях розділу 2.5 ПУЕ-2006 і є складовою частиною проекту методичних вказівок з оцінки технічного стану повітряних ліній електропередачі. У результаті проведених досліджень були виявлені ділянки, що у першу чергу мають потребу в проведенні ремонтно-відновлюваних заходів.

Ключові слова: повітряна лінія, кліматичні навантаження, металеві та залізобетонні опори, кліматичні навантаження, топографічні особливості місцевості, висотний фактор, оцінка технічного стану.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

С.В. Турбин

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

Получена 15 сентября 2006; принята 18 октября 2006

Аннотация. В статье приведена методика определения климатических нагрузок по профилю трассы ВЛ 330 кВ «Ладзжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС», опоры 1-448», которая значительное время находится в эксплуатации. Основной целью данных исследований являлось выявление «слабых» мест, в которых усилия от внешних воздействий будут наибольшими. Данная методика базируется на основных методических положениях главы 2.5 ПУЭ-2006 и является составной частью проекта методических указаний по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи. В результате проведенных исследований были выявлены участки, которые в первую очередь нуждаются в проведении ремонтно-восстановительных мероприятий.

Ключевые слова: воздушная линия, металлические и железобетонные опоры, климатические нагрузки, топографические особенности местности, высотный фактор, оценка технического состояния.

DEVELOPMENT OF METHODS TO DETERMINE CLIMATIC LOADS ON OVERHEAD POWER LINES

S.V. Turbin

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

Received 15 September 2006; accepted 18 October 2006

Abstract. There is given the method of determining climatic loads along the route “Ladyzhinskaya TEP – Dnestrovskaya HEP” on the 330 kV power line tower S-448 that has operated for a long time. The main purpose of these investigations is to reveal “weak” places that will suffer of external actions most of all. These methods are based on the main methodical statements of Section 2.5. of PUE-2006 [1] and is a constituent of the project of methodical instructions on the estimation of a technical state of the overhead power lines. In the result of the investigations carried out, there were fixed those sections of the 330 kV line “Ladyzhinskaya TEP – Dnestrovskaya HEP” that need repair-and-renewal operations in the first place.

Keywords: overhead power line, climatic loads, technical state estimation.

Введение

Для оценки технического состояния эксплуатируемых конструкций воздушных линий электропередачи необходимо не только выполнить обследование и оценку технического состояния опор, но и произвести детальный учет нагрузок и воздействий.

За счет расстановки опор по профилю трассы и вариации климатических нагрузок с учетом топографических и микроклиматических особенностей рельефа местности нагрузки на опоры ВЛ могут отличаться в несколько раз, что существенно влияет на эксплуатационную надежность воздушных линий электропередачи. Поэтому на первом этапе наиболее важным является определить реальные нагрузки на компоненты ВЛ с определенной обеспеченностью и выполнить ранжирование конструкций по степени их загрузки. Таким образом, возможно определить наиболее нагруженные места, которые в первую очередь определяют надежность линии в целом. Данные участки в первую очередь нуждаются в натурном освидетельствовании и последующей реконструкции.

Основные проектные данные

Для сбора нагрузок на строительные конструкции ВЛ 330 кВ «Ладыжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС», опоры 1-448» необходимы следующие проектные данные:

Типы опор. На линии в основном используются металлические анкерные опоры У-330 и промежуточные железобетонные опоры с горизонтальным расположением проводов П-330. Высоты опор, монтажные стрелы провеса взяты из типовых чертежей.

Расстановка опор по профилю трассы. Из профилей трассы использовались пролеты и высоты опор, а также выполнялась привязка профиля трассы к карте масштаба 1:100 000 для анализа микроклиматических и топографических условий местности.

Тип проводов. На данной линии используются провода 2АС 300 и 2 АС 400.

Трасса воздушной линии ВЛ 330 кВ «Ладыжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС», опоры 1-448» проходит по равнинной местности на территории Винницкой области.

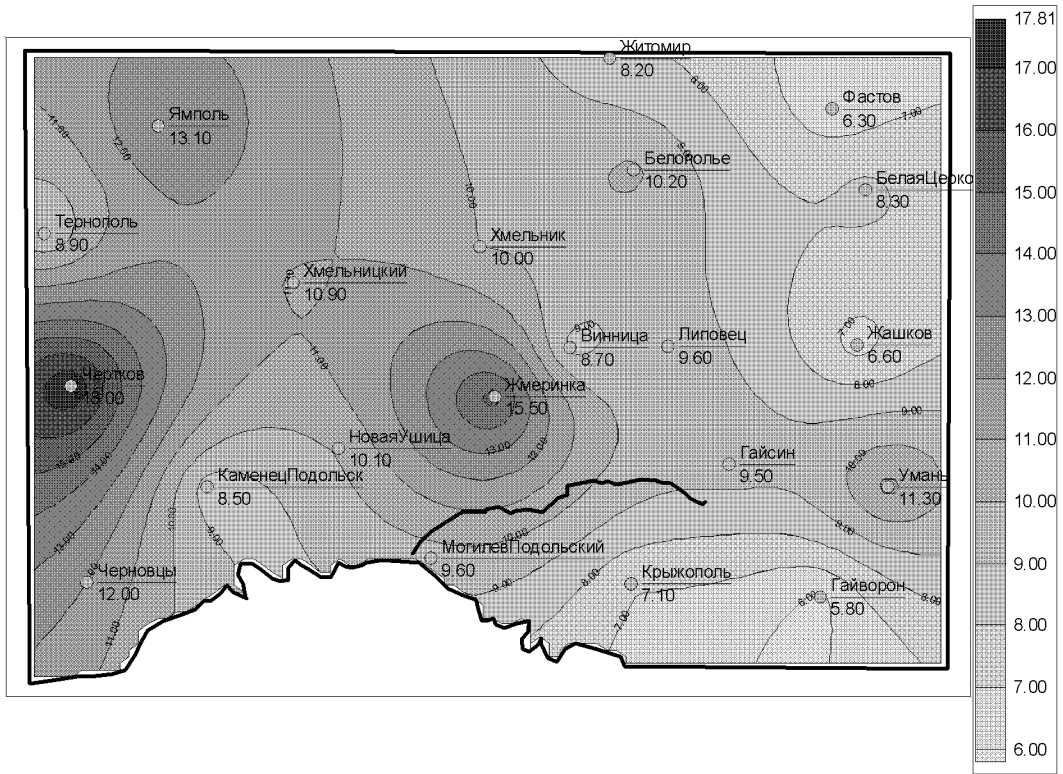


Рис. 1. Карта районирования исследуемой территории по погонной ветровой нагрузке на провод, покрытый гололедом, Н/м.

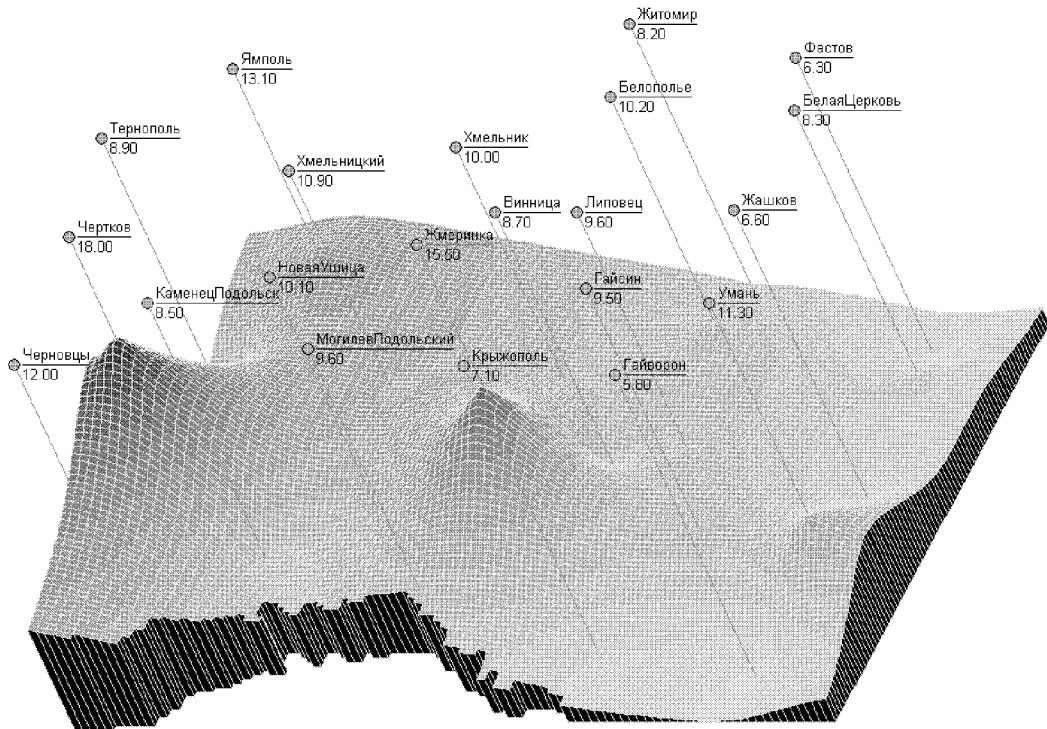


Рис. 2. Трехмерный вид карты районирования территории по погонной ветровой нагрузке на провод, покрытый гололедом, Н/м.

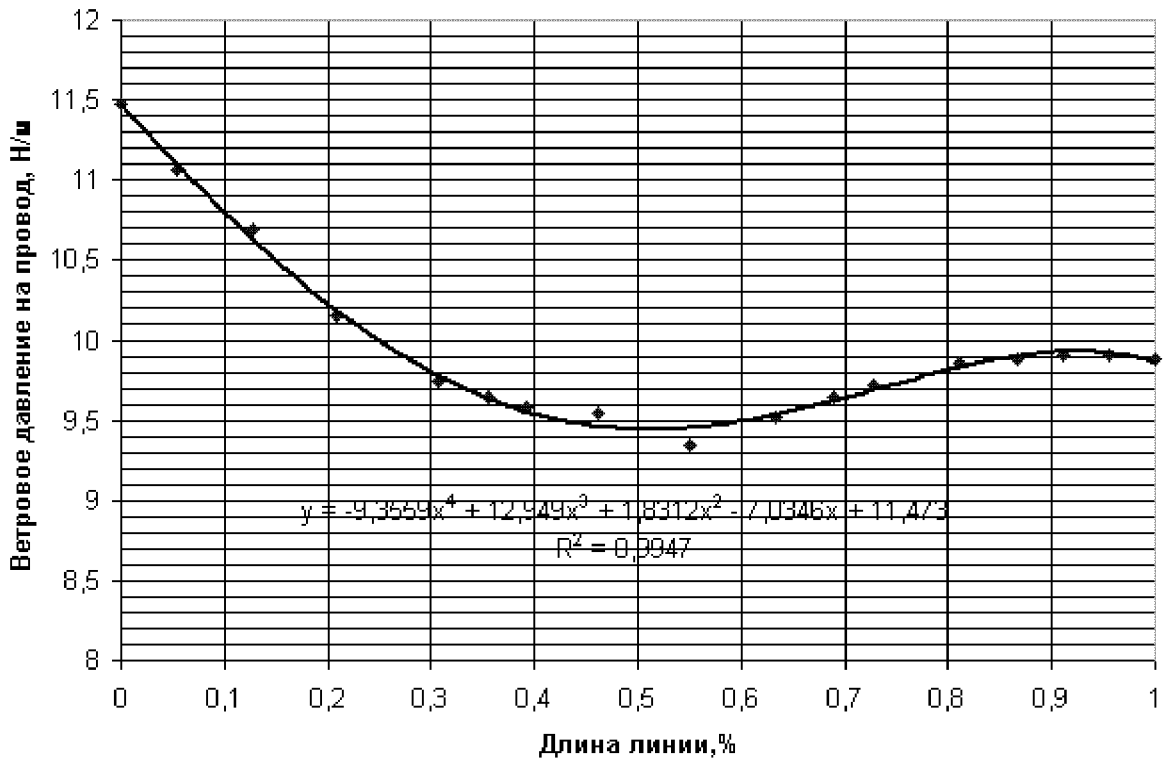


Рис. 3. Аппроксимация графика распределения ветрового давления на провод с периодом повторяемости 50 лет по профилю трассы ВЛ 330 кВ «Ладьжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС», опоры 1-448», Н/м.

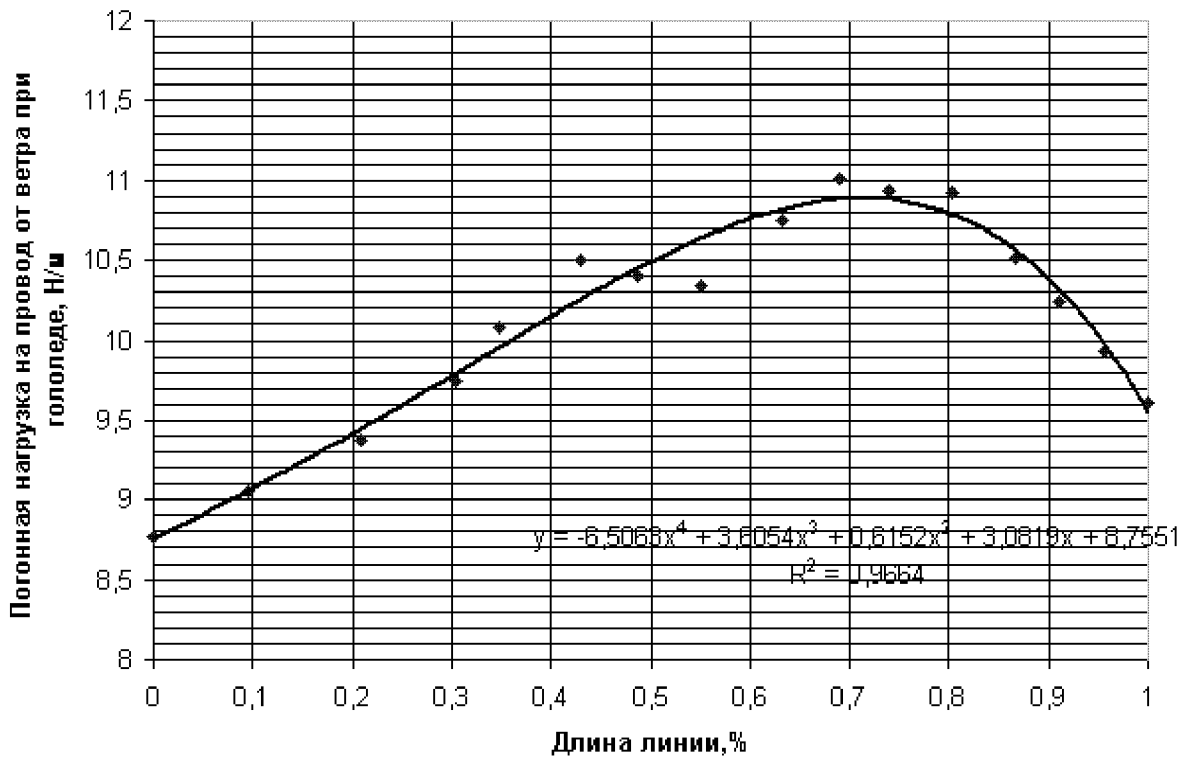


Рис. 4. Аппроксимация графика распределения ветрового давления на провод покрытый гололедом с периодом повторяемости 50 лет по профилю трассы ВЛ 330 кВ «Ладьжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС», опоры 1-448», Н/м.

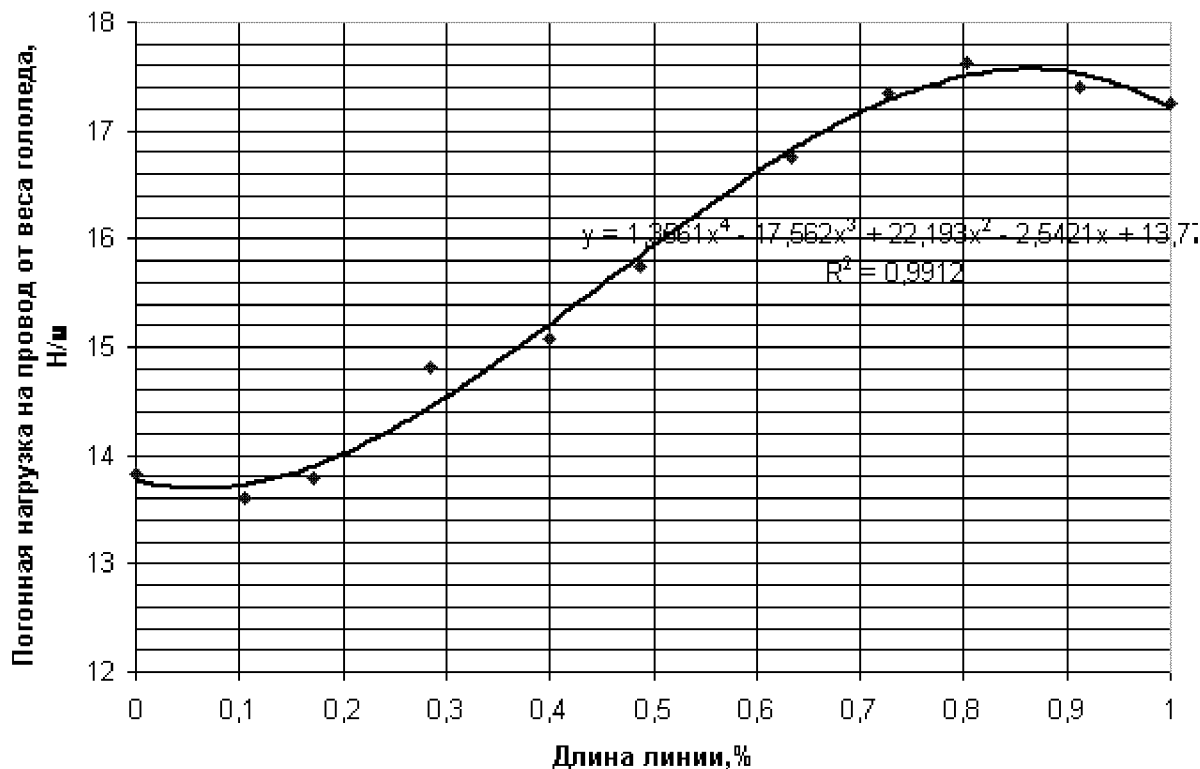


Рис. 5. Аппроксимация графика распределения веса гололеда с периодом повторяемости 50 лет по профилю трассы ВЛ 330 кВ «Ладьжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС», опоры 1-448», Н/м.

Линия проходит в непосредственной близости от двух метеостанций: Могилев-Подольский (западный участок) и Гайсин (восточный участок). Однако для возможности оценки средних значений по территории и исключения возможных выбросов в расчетах использовались данные 21 метеостанции.

Климатические условия по профилю трассы ВЛ

При обработке данных метеостанций использовалась методика, положенная в основу ПУЭ-2006 [1, 2]. Топографические особенности местности определялись согласно следующих нормативных документов [3, 4]. При помощи известных методических положений и программных комплексов [5] результаты обработки метеоданных были представлены в виде ряда трехмерных поверхностей, на которые был нанесен профиль трассы исследуемой воздушной линии. Построения осуществлялись для погон-

ной нагрузки на 1 метр реального провода, диаметром 25 мм, расположенного на высоте 10 м от поверхности земли. Для нивелирования различных выбросов климатических параметров была применена методика [6], согласно которой математическое ожидание случайного поля исследуемого параметра для любой точки местности определяется путем сглаживания ординат.

Далее проекция ВЛ накладывалась на различные трехмерные климатические карты и выполнялось построение продольного профиля нагрузки, который затем аппроксимировался, для удобства проведения дальнейших вычислений, функцией (см. рис. 3-5) в процентном отношении к длине воздушной линии.

На основании полученных графиков с высокой точностью можно определить базовые климатические нагрузки на любой участок воздушной линии, причем подобная операция позволяет существенно повысить автоматизацию расчетов.

Анализ конструктивных особенностей ВЛ

Следующим шагом после определения базовых расчетных нагрузок является учет особенностей конструктивного решения ВЛ. В данном случае в расчет вводились усредненные высотные отметки проводов и тросов, их диаметр, а также реальные длины пролетов. Все указанные операции производились согласно требованиям норм [1].

Предельная ветровая нагрузка P , на провода и тросы, для каждого расчетного режима с учетом конструктивных особенностей ВЛ определяется по формуле:

$$P = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C_c \cdot C_{aer} \cdot C_g \cdot C_L \cdot d \cdot L_{вес} \cdot \sin^2 \varphi, \quad (1)$$

где

C_{aer} – аэродинамический коэффициент, принимаемый равным: 1,1 для проводов и тросов диаметром 20 мм и более, свободных от гололеда, 1,2 для всех проводов и тросов, покрытых гололедом, и для проводов и тросов диаметром менее 20 мм, свободных от гололеда;

C_g – коэффициент, учитывающий динамическую составляющую на провода и тросы от ветрового давления, который определяется в зависимости от типа местности, в которой расположен объект и от высоты над уровнем земли, который определяется по требованиям [7].

C_L – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку, равный 1 при длине пролета до 200 м, 0,85 при длине пролета более 800 м, а для промежуточных значений определяемый по формуле:

$$C_L = 1,05 - 0,15 \cdot (L/600) \quad (2)$$

d – диаметр провода либо троса, (при гололеде с учетом характеристической толщины стенки гололеда);

$L_{вес}$ – весовой пролет;

φ – угол между направлением ветра и осью ВЛ.

Расчетное значение распределенной по длине гололедной нагрузки (Н/м) для проводов ВЛ следует определять по формуле:

$$G_e = G_k k \mu_1, \quad (3)$$

где

G_k – вес гололеда, определяемый по картам, Н/м;

k – коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте h ;

μ_1 – коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра элементов кругового сечения d .

Анализ ветровой и гололедной нагрузки на опоры в данном случае не производился, в связи со сложностью алгоритмизации и несущественным влиянием на несущую способность (большинство опор – железобетонные и наименее выгодное расчетное сочетание нагрузок – комбинация ветра с гололедом).

Оценка изменения гололедной нагрузки с высотой

В связи с тем, что линия проходит по холмистой местности и наивысшая точка (отм. 316,72 м) более чем на 100 метров превышает низшую отметку (184 м), необходимо выполнить анализ высотной изменчивости веса гололеда.

Изменение веса гололедных отложений в зависимости от высоты расположения участка ВЛ определяется на основании высотной зависимости, полученной по данным исследуемых метеостанций (см. рис. 6).

Зависимость от материала опор и количества опор в анкерном пролете

Согласно рекомендациям МЭК [7], при определении нагрузочных параметров на анкерные участки, которые содержат более 10 опор, используется зависимость (4):

$$k_n = e^{0,014n}, \quad (4)$$

где n – количество промежуточных опор в анкерном пролете;

k_n – коэффициент, учитывающий количество промежуточных опор в анкерном пролете.

Аналогичный коэффициент может быть выведен для сопоставительного анализа металлических и железобетонных опор, однако в данном случае ранжирование конструкций осуществляется отдельно для анкерных и промежуточных опор.

Ранжирование опор ВЛ в зависимости от действующих на них нагрузок

На основании разработанных методических положений были определены нагрузки на все 448 опор воздушной линии электропередачи

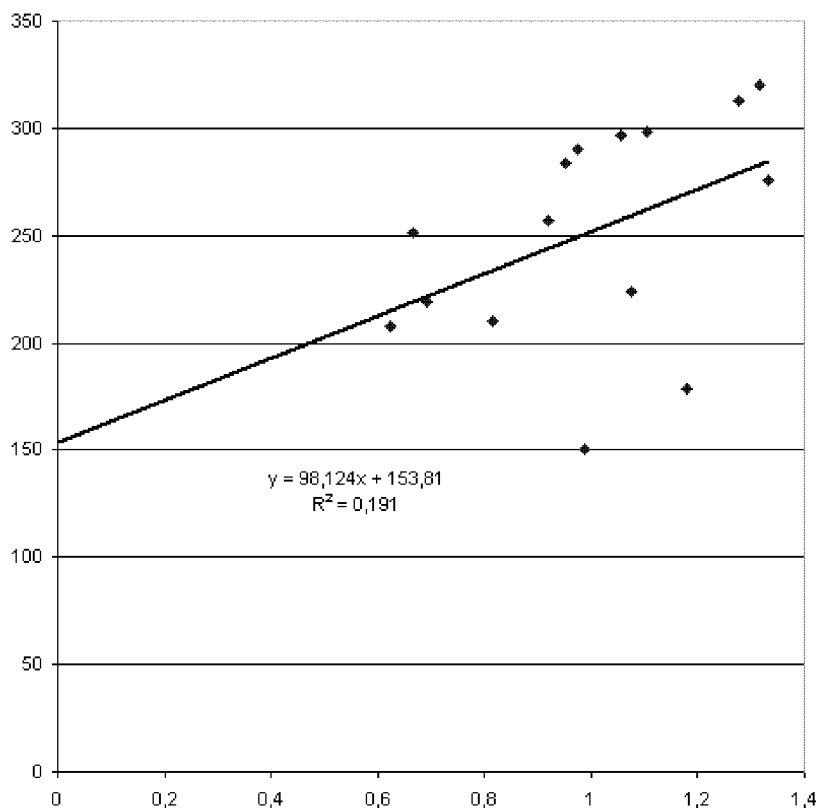


Рис. 6. Коэффициент увеличения массы гололедных отложений в зависимости от высоты расположения участка ВЛ.

330 кВ «Ладыжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС». Так, в табл. 1 в порядке уменьшения приведены опоры ВЛ, на которые нагрузки максимальны (верхняя часть), «золотая середина» и опоры ВЛ, нагрузки на которые минимальны.

Сравнивая данные нагрузки с проектными, уже можно сделать определенные выводы о техническом состоянии опор ВЛ. Так, опоры, которые расположены в верхней части таблицы необходимо обследовать в первую очередь, а опоры, которые находятся в конце таблицы пока могут не подвергаться обследованию и плановым ремонтам, из-за того, что нагрузки на них в несколько раз меньше чем проектные.

Заключение

Изложенные выше положения позволяют оптимально управлять эксплуатационной надежностью строительных конструкций опор ВЛ, т.е. на линии могут быть найдены наиболее ослабленные участки, которые в первую очередь

нуждаются в проведении ремонтно-восстановительных мероприятий. Другим аспектом внедрения данных положений является поиск резервов несущей способности не только в конструкционной области, но и в области нагрузочной, что, в свою очередь, позволяет обоснованно минимизировать финансовые затраты на восстановление эксплуатационной пригодности строительных конструкций воздушных линий электропередачи.

Помимо описанных в данной статье методов определения климатических нагрузок существуют методики определения степени влияния на климатические нагрузки топографических особенностей местности, высотных зависимостей, изменения шероховатости подстилающего слоя, оценки степени влияния выбросов гололедных нагрузок, интерполяции данных метеостанций в любой точке территории и т.д. Также следует упомянуть весьма перспективную возможность анализа строчных данных метеостанций при оценке влияния преоблада-

Таблица 1. Нагрузки на опоры ВЛ 330 кВ «Ладжинская ТЭС – Днестровская ГРЭС» от проводов (фрагмент).

Номер опоры	Тип опоры	Ветровая нагрузка на опору	Нагрузка от ветра при гололеде	Гололедная нагрузка на опору
392	ПБ330-3	6740,139	7149,566	11944,9
329	ПБ330-3	6597,57	7402,201	11772,07
322	ПБ330-3	6536,663	7359,193	11654,51
413	ПБ330-3	6753,72	6951,175	11900,46
347	ПБ330-3	6520,401	7236,642	11637,95
401	ПБ330-3	6664,4	6990,446	11785,09
...
300	ПБ330-3	3018,808	3422,392	5353,603
441	ПБ330-1	3186,696	3115,69	5569,139
363	ПБ330-3	3048,131	3337,711	5432,623
364	ПБ330-3	3049,203	3335,773	5433,792
365	ПБ330-3	3050,297	3333,716	5434,948
65	ПБ330-3	3654,36	3168,877	4756,045
345	ПБ330-3	3026,185	3364,785	5401,738
275	ПБ330-1	3018,181	3422,596	5293,886
274	ПБ330-1	3017,461	3421,35	5289,988
326	ПБ330-1	3003,143	3375,54	5356,719
124	ПБ330-3	3367,551	3289,743	4887,264
64	ПБ330-3	3633,225	3142,884	4719,401
374	ПБ330-3	3034,31	3287,253	5398,676
350	ПБ330-1	3008,19	3331,811	5368,454
114	ПБ330-3	3400,203	3260,536	4843,282
284	ПБ330-1	2977,73	3379,16	5245,162
...
30	ПБ330-1	1722,736	1390,818	2130,884
23	ПБ330-1	1725,466	1375,673	2118,231
45	ПБ330-1	1678,892	1397,259	2118,777
71	ПБ330-1	1604,122	1406,612	2106,632
25	ПБ330-3	1688,542	1350,45	2076,716
...

ющего направления ветра с учетом ориентации воздушной линии, которую еще предстоит разработать.

В настоящее время готовятся к выходу в свет три нормативных документа Министерства топлива и энергетики, в которых будут освещены основные положения указанных методик, однако определенные части, такие как, назначение степени ответственности реконструируемой линии либо значений характеристических нагрузок в зависимости от остаточного срока эксплуатации ВЛ еще нуждаются в обсуждении.

Литература

1. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» // Київ. ОЕП «ГРІФРЕ». – 2006. – С. 32-190.
2. Горохов Є.В., Турбін С.В., Гримуд Г.І., Лях В.В. Нормування ожеледно-вітрових навантажень для Українських ПУЕ // Металеві конструкції. Том 7. № 1. – 2004. – С. 13-20.
3. A new Norwegian wind loading standard. Draft NS 3491-4 // 1st International Codification workshop for wind loads. Bochum (Germany). – 2000. – 7 p.

4. Draft Australian/New Zealand Standard for comment (DR 99419) / Part 2: Wind actions. Committee BD/6. - Standards Australia, Sydney. — 1999. — 84 p.
5. Горохов Е.В., Казакевич М.И., Турбин С.В., Назим Я.В. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи // Донецк. — Компьютер-Норд. — 2005. 348 с.
6. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України. — К.: УкрНДІПСК, 1999. — 185 с.
7. IEC 60826 Design criteria of overhead transmission lines // 11/165A/CDV. — Ed. 3. 2002. — 186 p.

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 з великих електроенергетичних систем (СІГРЕ). Наукові інтереси: ожеледні та вітрові навантаження та впливи на будівельні конструкції, надійність повітряних ліній електропередачі.

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.

Turbin Sergiy Volodymyrovych is an associated professor of the Metal Structures Department at the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. A member of working group 16 "Meteorology for Overhead Power Lines", working group 06 "Principles of Overhead Power Line Design" of the International Conference On Large High Voltage Electric System (SIGRE). His scientific interests include the ice and wind loadings on structural designs and reliability of overhead power lines.