

УДК 621. 548

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОВЫХ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УАС АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ

В.А. Дзензерский<sup>1</sup>, С.В. Тарасов<sup>1</sup>, И.Ю. Костюков<sup>1</sup>, С.Ю. Кремнёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днепропетровск, 49005, Украина, E-mail: ki@westa-inter.com*

<sup>2</sup> *Национальный Антарктический научный центр МОН Украины, бульв. Тараса Шевченко, 16, Киев 01601, Украина, E-mail: uac@uac.gov.ua*

**Реферат.** Рассмотрены особенности объектов электроснабжения, режимов потребления энергии, структурных схем и алгоритмов работы системы, соотношения потребляемой и вырабатываемой на станции мощностей, климатических условий, конструкции и технических характеристик ветроустановок, выбора площадки размещения ветроустановки и воздействия на популяции животных и птиц ветровой системы автономного электроснабжения украинской антарктической станции. На основании проведенного анализа определен комплекс требований к системе автономного электроснабжения, которые необходимо учитывать при ее разработке.

**Особливості застосування вітрових систем автономного енергопостачання на УАС Академік Вернадський.** В.О. Дзензерський, С.В. Тарасов, І.Ю. Костюков, С.Ю. Кремньов.

**Реферат.** Розглянуто особливості об'єктів енергозабезпечення, режимів споживання енергії, структурних схем та алгоритмів роботи системи, співвідношення потужностей, що споживаються та виробляються на станції, кліматичних умов, конструкції та технічних характеристик вітроустановок, вибору майданчика розміщення вітроустановки і впливу на популяції тварин та птахів вітрової системи автономного енергопостачання української антарктичної станції. На підставі аналізу визначено комплекс вимог до системи автономного енергопостачання, які необхідно враховувати при її розробці.

**Application Features of Independent-Power Supply Wind Systems at the Academician Vernadsky UAS.** V.A. Dzenzersky, d.t.sc., S.V. Tarasov, c.t.sc., I.Yu. Kostiukov, S.Yu. Kremnev

**Abstract.** Considered are the features of power supply facilities, energy consumption modes, design models and operation algorithms of the system, consumed- output power ratios, climatic conditions, design and wind power specifications, selection of wind power site and effect of the UAS independent-power supply wind systems on animal and bird species. A series of requirements for the independent-power supply system, which should be included at its development, have been found resulting from the study carried out.

**Key words.** Wind Power System, Wind Turbine, Antarctic Station

### 1. Введение

Во второй половине XX века на антарктических исследовательских станциях в качестве дополнительных источников энергии начали применять вместе с дизельными установками установки ветроэлектрические: Charcot, Франция, – в 1957 г., Mawson, Австралия, – в 60-х гг., Lake Vanda, Новая Зеландия, – в 1968 г., Suowa, Япония, – в 1973 г., Новолазоровская, Россия, – в 1985 г. В настоящее время на большинстве станций имеется опыт использования ветроустановок различной мощности как для автономных потребителей, так и в составе локальной сети станций совместно с дизельэлектрическими установками.

Такой повышенный интерес к ветроэнергетике в Антарктиде вызван несколькими обстоятельствами. Во-первых, использование ветровой энергии позволяет снизить потребление дизельного топлива, а значит и расходы на его приобретение, транспортировку и хранение, которые составляют значительную часть эксплуатационных расходов станций. Например, две ветроустановки Enercon E-30, подключенных в локальную сеть станции Mawson, обеспечивают около 60% ее потребности в электроэнергии, а энергообеспечение новой бельгийской станции Princess Elisabeth осуществляется только с помощью возобновляемых источников энергии, основным из которых является ветровая электростанция из девяти ветроустановок Proven WT 6000.

Во-вторых, автономные системы малой мощности с ветроустановками и аккумуляторами электроэнергии позволяют обеспечить круглогодичное функционирование измерительных приборов, системы GPS и другой исследовательской и коммутационной аппаратуры на удаленных от станций, необслуживаемых площадках. На британских антарктических станциях Halley и Rothera для энергообеспечения метеорологического оборудования, установленного на удаленных необслуживаемых площадках (например, на Эребусе), применяются ветроустановки мощностью до 100 Вт: Ampair 100, Rutland 910-3, Rutland 913, Forgen 500.

В-третьих, применение экологически чистых источников энергии позволяет уменьшить вредные выбросы дизельэлектрических установок в атмосферу, снизить риск проливов топлива при его перекачке с судна на берег, хранении и использовании на станциях, а также уменьшить шумовое воздействие дизельных установок на персонал станции и окружающую среду.

В-четвертых, Антарктида по сравнению с другими материками обладает самым высоким ветровым потенциалом. Даже в наиболее спокойных районах континента, которые расположены в глубине материка, среднегодовая скорость ветра превышает 5 м/с.

Среди множества ветровых систем автономного энергоснабжения, применяемых в Антарктиде, можно отметить единичные примеры систем действительно эффективных и надежных. Это системы электроснабжения австралийских станций Mawson с ветроустановками Enercon E-30 и Casey с ветроустановкой Vergnet GEV 7/10, станции Neumayer, Германия, с ветроустановкой H-Rotor 20/56, центра связи Black Island станции McMurdo, США, с ветроустановками HR-3, и некоторые другие. Указанные ветроустановки были специально адаптированы к условиям антарктических станций. Основной причиной неудачного применения в Антарктиде других ветровых систем электроснабжения является недостаточное изучение и исследование экстремальных климатических условий, специфических требований к монтажу и техническому обслуживанию оборудования, режимов потребления энергии, переходных процессов в системах при генерировании, накоплении, преобразовании и выдаче электроэнергии, а также других особенностей функционирования таких систем и создание систем электроснабжения антарктических станций без учета этих факторов.

Сегодня Швеция, Индия, США, Чили и ряд других стран проводят широкомасштабные исследования и проектные разработки ветровых систем автономного электроснабжения для применения на своих антарктических станциях.

Целью настоящей работы является исследование схемных, конструктивных, функциональных, монтажных, эксплуатационных и других особенностей ветровых систем автономного электроснабжения для их максимальной адаптации к условиям украинской антарктической станции Академик Вернадский.

## **2. Построение систем автономного электроснабжения**

### **2.1. Состав оборудования системы**

В общем случае система автономного электроснабжения объекта включает следующее оборудование:

- электрогенерирующие установки – ветроэлектрические установки, солнечные установки, дизельные установки, бензиновые установки, использующие для выработки электроэнергии различные источники (энергию ветра или солнца, дизельное топливо, бензин);

- выпрямительно-зарядное устройство, преобразующее вырабатываемую электрогенерирующими установками энергию в электроэнергию с параметрами, необходимыми для зарядки батареи аккумуляторов и питания инвертора;

- батарею аккумуляторов, предназначенную для аккумуляции электроэнергии и питания инвертора;

- предохранительно-распределительное устройство, распределяющее электроэнергию от выпрямительного и зарядного устройств и от батареи аккумуляторов, а также осуществляющего защиту этих устройств от нештатных режимов работы;

- инвертор DC/AC, преобразующий постоянный ток от выпрямительно-зарядного устройства или от батареи аккумуляторов в электроэнергию со стандартными параметрами для электроснабжения потребителей;

- коммутирующее устройство, осуществляющее электроснабжение потребителя от одного из источников: инвертора DC/AC, дизельной установки, бензиновой установки или одновременно от нескольких источников с их синхронизацией.



Общий вид Украинской антарктической станции Академик Вернадский с ветроустановками (коллаж)

Комплектация оборудования системы зависит от потребляемой мощности и характеристик объекта электроснабжения, потенциала возобновляемой энергии, состава существующей на станции системы электроснабжения и других факторов. Оборудование, применяемое в системах электроснабжения для генерирования, преобразования, накопления и распределения электроэнергии, должно, с одной стороны, в полной мере с гарантированной надежностью обеспечить потребности объекта в энергии, а с другой стороны – не быть избыточным и иметь минимальную стоимость.

В качестве примера можно привести оптимальную конфигурацию системы, применяемой для электроснабжения измерительных приборов, которые располагаются на удаленных необслуживаемых площадках. Большинство таких приборов использует постоянное напряжение, например, 12 В. Поэтому, применяя батарею-накопитель энергии с напряжением 12 В, мы исключаем из системы инвертор, который является одним из наиболее дорогостоящих ее компонентов, и обеспечиваем энергоснабжение приборов напрямую от батареи. Благодаря этому не только снижается стоимость системы, но и за счет уменьшения составляющих компонентов повышается ее надежность.

В зависимости от применяемых генерирующих источников мощности системы электроснабжения разделяются на дизельные, ветровые, солнечные, аккумуляторные. В случае применения генерирующих источников мощности различных типов системы электроснабжения разделяются на гибридные и интегрированные.

В гибридных системах в одной локальной сети объединены дизельэлектрические установки, работающие на органическом топливе, и ветровые или солнечные электрические установки, использующие возобновляемую энергию ветра и солнца. Baring-Gould I. и др. (2007) приводят предложенную S. Drouilhet нижеследующую классификацию ветродизельных систем электроснабжения по уровню возобновляемой энергии, определяемому как отношение вырабатываемой ветроустановками энергии к общему количеству энергии, потребляемой объектом:

- системы с низким уровнем возобновляемой энергии (менее 20%). В этих системах уровень энергии ветроустановки незначителен и нет необходимости в специальном регулировании и управлении работой системы. Т.к. дизельэлектрические установки учитывают кратковременные колебания в потреблении энергии, дополнительная ветровая энергия является для них просто отрицательной нагрузкой. Поэтому дизельэлектрические установки при колебаниях величины ветровой энергии обеспечат нормальное функционирование системы с помощью своего автоматизированного управления. Примером системы электроснабжения с низким уровнем возобновляемой энергии является система станции Neumaug, в которой ветроустановка H-Rotor 20/56 вырабатывает до 5% потребляемой энергии;

- системы среднего уровня возобновляемой энергии (до 50%). В таких системах дизельэлектрические установки используют для поддержания минимальной нагрузки системы. При выработке ветроустановками значительного количества энергии дизельная установка снижает нагрузку. Для регулирования напряжения в системе и поддержания необходимого баланса мощностей требуются дополнительные средства регулирования и устройства, обеспечивающие устойчивую работу системы (регулирование мощности ветроустановок, применение балластной нагрузки, применение батареи компенсирующих конденсаторов и др.). По сравнению с предыдущим классом системы среднего уровня более сложные и дорогие. Однако увеличение их стоимости необходимо соотносить с уменьшением потребления дизельного топлива и временем работы дизельной установки. Система среднего уровня, включающая ветростанцию из восьми ветроустановок, функционирует на чешской станции Gregor Mendel;

- системы с высоким уровнем возобновляемой энергии (выше 50%) могут вырабатывать ветровой энергии больше, чем требуется для электроснабжения объекта. При этом обязательным является наличие в системе дополнительного оборудования, обеспечивающего стабильность и качество электроэнергии в периоды, когда дизельные установки, регулирующие эти параметры, отключены. Тогда любые излишки энергии ветроустановок должны направляться на управляемые вторичные нагрузки (батарея конденсаторов, батарея аккумуляторов, распределение нагрузки, силовые преобразователи энергии). Для создания запаса энергии, обеспечивающего качество и стабильность электроснабжения, применяют накопление и хранение энергии в батарее аккумуляторов или инерционном маховике. Такие системы требуют сложной технологии и совершенных средств регулирования, что увеличивает их стоимость. Однако при этом значительно снижаются потребление органического топлива, время работы и число запусков дизельных установок. Lindquist A. (2004) приводит пример станции Mawson, где с 2003 года эксплуатируется система электроснабжения высокого уровня, включающая две ветроустановки общей мощностью 600 кВт и дизельную установку мощностью 480 кВт.

В интегрированных системах в одной локальной сети совместно работают только источники возобновляемой энергии, например, ветровые и солнечные электрические установки.

Режимы работы системы, условия включения режимов, значения управляющих установок различных параметров, порядок включения и выключения оборудования системы, аварийные ситуации определяются алгоритмом управления системой электроснабжения.

## 2.2. Объекты энергоснабжения

Все объекты энергоснабжения антарктических станций по функциональному назначению и потребляемой мощности Leowenstein R. и др. (2003) условно делят на следующие группы:

- объекты, расположенные на территории станции. Мощность объектов станции, обеспечивающих ее жизнедеятельность, бытовые и хозяйственные нужды, проведение исследовательских и других работ, составляет десятки, сотни, а на больших станциях –

тысячи кВт. Системы электроснабжения станций могут использовать только дизельэлектрические установки (Академик Вернадский, Украина), только возобновляемые источники энергии (Princess Elisabeth, Бельгия) или применять комбинацию дизельных и ветровых электрических установок (Mawson, Австралия). Такие системы находятся под постоянным контролем обслуживающего персонала, имеют резервирование генерирующих мощностей и достаточно надежно обеспечивают энергоснабжение объектов станции;

- полевые объекты и экспедиции. К данной группе относятся обслуживаемые и необслуживаемые исследовательские, измерительные станции и павильоны, пункты связи, вынесенные за пределы базовой станции, а также непродолжительные экспедиции, проводящие исследования или какие-либо работы в окрестностях станций. Потребляемая мощность таких объектов составляет от нескольких до десятков кВт. Системы энергоснабжения для этих объектов могут быть стационарными (центр связи Black Island станции McMurdo, США) или передвижными (ветросолнечный модуль Umthombo Womlilo, проект TASC-1). Возможности резервирования генерирующих источников мощности в таких системах очень ограничены, а обслуживание и устранение неполадок связаны со сложностью прибытия на объект технического персонала;

- удаленные необслуживаемые объекты. К данной группе относятся отдельные автоматические измерительные приборы или аппаратура системы GPS, функционирующие круглогодично без обслуживающего персонала. Примером таких объектов является антенна GPS Sprit Bay на Heard Island, Австралия, или английский метеорологический пост на Эребусе. Потребляемая мощность объектов может составлять от десятка Вт до нескольких кВт. Возможности резервирования генерирующих источников мощности также очень ограничены, а обслуживание и устранение неполадок связано со сложностью доставки на объект технического персонала.

### **2.3. Основные режимы потребления энергии на станциях**

В зависимости от потребителей система энергоснабжения может работать в одном из следующих режимов:

- непрерывное потребление постоянной мощности (измерительные приборы непрерывного действия, например, датчик ветра);
- потребление энергии определенной мощности по заданному графику (измерительные приборы периодического действия);
- нерегламентированное по мощности и времени потребление энергии (бытовые и хозяйственные потребители станций);
- потребление энергии по мере ее выработки (нагрев воды).

Режим потребления электроэнергии определяет состав и характеристики оборудования системы электроснабжения и алгоритм ее работы. Например, при непрерывном потреблении постоянной мощности в систему должна быть включена батарея аккумуляторов, накапливающая энергию в ветровые периоды и обеспечивающая электроснабжение потребителей в безветренные паузы. А в случае потребления энергии по мере ее выработки для нагрева воды в батарее аккумуляторов нет необходимости.

### **2.4. Соотношение между потребляемой объектом и вырабатываемой системой мощностью**

В оптимальной системе электроснабжения должно соблюдаться относительное равновесие нагрузок, т.е. количество вырабатываемой энергии должно быть равным или немного превышать количество потребляемой энергии. Т.к. ветер является непредсказуемым источником энергии, то для гарантированного электроснабжения объекта запас энергии в системе может быть довольно большим. Если запас энергии будет недостаточным, то могут выйти из строя ветроустановка или батарея. Если запас будет избыточным, то система будет избыточна по стоимости. Dahi T. (2006) считает, что оптимальный запас энергии в

системе должен быть 25%. Запас энергии в системе с ветроустановкой, имеющей проверенные характеристики и размещенной на площадке с хорошо изученным ветропотенциалом, может быть снижен до 15%. Для системы с неизученной ветроустановкой или для площадки с неизвестным ветропотенциалом запас энергии должен быть не менее 35%.

### **3. Климатические условия эксплуатации в Антарктиде систем автономного электроснабжения**

#### **3.1. Низкие температуры окружающей среды**

Минимальная температура в Антарктиде находится в пределах от минус 35<sup>0</sup>С на побережье до минус 70<sup>0</sup>С на Южном полюсе. Такие экстремально низкие температуры в сочетании с продолжительными буревыми ветрами (50 м/с и выше) требуют применения специальных мер по обеспечению работоспособности ветроэнергетического оборудования в этих условиях.

При применении ветровых станций в условиях экстремально низких температур, как отмечает Гагач Д.К. и др. (2001), необходимо уделять особое внимание изменению характеристик металлов, пластмасс, композиционных материалов, смазок и масел, электромеханических и электронных изделий.

Стали, имеющие низкий порог хладоломкости и склонность к хрупкому разрушению, например, сталь Ст3, чугун СЧ 20, применяющиеся для деталей, которые эксплуатируются на открытом воздухе, должны быть заменены на конструкционные стали северного исполнения, например, сталь 09Г2С или сталь Ст3сп4, с малой чувствительностью к хрупкому разрушению при низких температурах.

Смазки и масла, применяемые на открытом воздухе, не должны изменять свою вязкость при низких температурах.

Электромеханические и электронные изделия (генераторы, реле, электромагниты, микросхемы, коммутационные устройства), эксплуатируемые в составе системы на открытом воздухе, должны иметь соответствующее климатическое исполнение, гарантирующее их безотказную работу при низких температурах.

При работе узлов ветроустановки не должно происходить значительного нагрева деталей в результате их трения, воздействия электромагнитного поля или др. факторов, т.к. после остановки и при дальнейшем быстром остывании и повышенной влажности в условиях низких температур детали могут примерзнуть и выйти из строя при следующем запуске ветроустановки.

При расчете выработки электроэнергии необходимо учитывать повышение плотности воздуха при понижении температуры. Так, например, плотность воздуха при температуре минус 20<sup>0</sup>С на 14% выше, а при минус 40<sup>0</sup>С на 32% выше, чем стандартное значение. Соответственно во столько же увеличится и выработка электроэнергии.

#### **3.2. Высокие скорости ветра**

Как отмечает Кампет Т. и др. (1993), применение ветроустановок становится экономически эффективным при средних скоростях ветра выше 4,9 м/с. На российской станции Новолазоровская, расположенной на расстоянии 75 км от побережья, среднегодовая скорость ветра составляет около 11 м/с, на финской станции Aboa, расположенной в 130 км от побережья, – 6,8 м/с, а на станции Amundsen-Scott South Pole, расположенной на Южном полюсе в наименее ветреном районе материка – 5,3 м/с. На склонах ледяного материкового купола действуют сильные кatabатические ветра, являющиеся потоками холодного воздуха, нисходящими из внутренних районов ледников к их периферии. Эти районы характеризуются низкими температурами и высокими скоростями ветра – до 50 м/с. Guichard А. и др. (1996) показали, что на станциях Casey, Dumont d'Urville, McMurdo скорость ветра в порывах может достигать 80 м/с и более. Прибрежные участки и острова, как правило,

также являются районами с сильными ветрами. Например, на восточном побережье Антарктиды обычными являются ветра со скоростью до 40 м/с. Даже Антарктический полуостров, не отличающийся ураганными ветрами, имеет превосходные условия для использования ветроэнергетики. Исследования ветропотенциала Тихоокеанского и Атлантического секторов антарктического побережья, проведенные Швель Н.И. и др. (2006), показали, что с начала 70-х годов XX века в этих районах, в том числе и на станции Академик Вернадский, наблюдается постоянный рост ветропотенциала, что способствует повышению эффективности ветроустановок в этом районе.

### **3.3. Налипание снега и льда**

При определенных погодных условиях (сочетание низкой температуры, тумана или осадков в виде дождя и снега) на всех элементах конструкции ветроустановок (мачта, растяжки, лопасти, головка) может происходить налипание снега или льда. При незначительном обледенении ветроустановка будет работать с пониженной эффективностью, что скажется на выработке электроэнергии. При сильном налипании слоя льда ветроустановка работать не сможет.

Обледенение ветроустановки приводит к увеличению нагрузок на ее элементы. Если при проектировании эти дополнительные нагрузки не будут учитываться, то в конструкции могут возникнуть повышенные напряжения, которые приведут к разрушению ветроустановки.

Определенную опасность представляют осколки льда, разлетающиеся с лопастей при вращении ветроустановки.

White S. (2008) по результатам испытаний ветроустановок на объектах станции McMurdo считает, что основными способами снижения интенсивности налипания и ускорения таяния снега и льда на лопастях являются нанесение черного блестящего или гидрофобного покрытий .

### **3.4. Снежная пыль**

Во время пурги мелкодисперсная снежная пыль может накапливаться под кожухами и во внутренних полостях узлов и механизмов ветроустановок, если они не герметизированы. Опасность этого явления заключается в том, что если наносы снега располагаются в местах перемещений штоков, рычагов или других деталей и узлов, то они будут препятствовать работе механизмов и могут привести к возникновению аварийных ситуаций. Для устранения наносов снега применяют герметизацию стыков конструкций или, наоборот, предусматривают возможность продувания мест накопления снега ветром.

### **3.5. Морской климат**

При эксплуатации ветроустановки в агрессивной окружающей морской среде необходимо принимать меры антикоррозионной защиты конструкции и электронных изделий. Способами защиты конструкции является нанесение антикоррозионных гальванических или лакокрасочных покрытий. Элементы электроники и электротехнические изделия ветроустановки для защиты от коррозии размещают в герметичных боксах или кожухах.

## **4. Конструкция и технические характеристики ветроустановок**

Современные ветроустановки отличаются разнообразием конструктивного исполнения основных узлов и систем. По аэродинамической схеме ротора они разделяются на два класса: горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветроустановки. В свою очередь вертикально-осевые ветроустановки классифицируются по типу ротора: ротор Дарье, Н-ротор Дарье, ротор Савониуса, ортогональные роторы. Горизонтально-осевые ветроустановки

различаются способом ориентации ротора на ветер, системой регулирования мощности и системой ограничения скорости вращения. Отличительной особенностью всех ветроустановок является тип опорной конструкции: трубчатая мачта с растяжками, цилиндрическая башня, ферменная конструкция. Ветроустановки различаются также по количеству лопастей, типу генератора, мультипликатора, тормозного устройства и по многим другим характеристикам.

Однако основными критериями выбора ветроустановки для применения в системе электроснабжения конкретного объекта являются количество вырабатываемой электроэнергии, надежность и стоимость.

Выработка электроэнергии зависит от следующих характеристик ветроустановки:

- минимальной рабочей скорости ветра;
- максимальной рабочей скорости ветра;
- номинальной скорости ветра;
- мощности ротора в зависимости от скорости ветра;
- алгоритма управления;
- способа регулирования мощности;
- высоты расположения ротора и др.

Надежность ветроустановки определяется:

- предельной скоростью ветра по критерию прочности конструкции;
- системой ограничения мощности;
- качеством применяемых конструкционных материалов;
- защитой по току цепей ветроустановки;
- технологией изготовления;
- простотой конструкции;
- техническим обслуживанием при эксплуатации и др.

Стоимость ветроустановки зависит от простоты конструкции и технологии изготовления.

## **5. Выбор площадки для размещения ветроустановок**

При выборе площадки для ветроустановки руководствуются целым рядом критериев, основными из которых являются:

- ветровой потенциал;
- рельеф местности и отсутствие препятствий для ветрового потока;
- подъездные пути для транспортировки оборудования;
- поверхность (грунт или ледяной покров) площадки для строительства фундамента;
- технология монтажа и подъема ветроустановки;
- расстояние до объекта электроснабжения.

Для условий антарктической станции необходимо дополнительно рассмотреть несколько специфических требований:

-влияние работающих ветроустановок на популяции животных и птиц. При работе ветроустановок возникает несколько видов воздействия на окружающую среду, которые могут отрицательно повлиять на расположенные недалеко от станции популяции котиков и пингвинов. К таким воздействиям относятся механические и аэродинамические шумы, генерируемые вращающимся ротором высокочастотные колебания, воздействие визуального восприятия вращающегося ротора. Работающие ветроустановки являются источниками аэродинамических шумов, образующихся при движении лопастей в воздушном потоке, и механических шумов от работающего генератора и поворотного устройства. Необходимо отметить, что в шумовом аэродинамическом спектре ветроустановки присутствуют инфразумы. Энергетическая составляющая инфразумов в общем спектре невелика. У горизонтально-осевых ветроагрегатов главный вектор распространения инфразумов направлен в плоскости ветроколеса по всем направлениям, а



у вертикально-осевых ветроустановок – вверх и вниз по оси вращения ветротурбины. Основные источники механических шумов горизонтально-осевых ветроагрегатов (генератор и мультипликатор) расположены в гондole на высоте опорной башни, в связи с чем радиус их затухания несколько больше, чем у вертикально-осевых ветроустановок, у которых это оборудование размещено на земле. Воздействие на поведение котиков и пингвинов шумов, высокочастотных колебаний ротора и мерцаний работающей ветроустановки требует дополнительного изучения с привлечением соответствующих специалистов. Одним из путей решения этой задачи может быть размещение ветроустановок вне видимости с мест расположения популяций этих животных и птиц;

-влияние помех от ветроустановок на работу радиоантенн. Результаты исследований, представленные Clarke A. (1989) и Бубенко П.Т. (1993), свидетельствуют, что выполнение лопастей ветроустановок из радиопрозрачных неметаллических материалов (пластмасса, композиционный материал) или расположение ветроустановок в стороне от направления движения радиоволн от источника к приемнику практически полностью исключают помехи на антенны. Проведение экспериментальной работы с моделированием ветроустановки как источника радиопомех и антенны как объекта воздействия радиопомех поможет изучить это явление, оценить степень воздействия радиопомех и при необходимости разработать способы их устранения;

-требования международных соглашений о защите окружающей среды в Антарктиде.

### Выводы

Проведен анализ особенностей системы автономного электроснабжения объектов УАС Академик Вернадский и определен весь комплекс сложных, а иногда и противоречивых требований к отдельным устройствам и системе в целом. Учет данных требований позволит создать систему электроснабжения, эффективно и надежно функционирующую в условиях украинской антарктической станции.

### Литература

**Бубенко П.Т., Ребров Л.В.** Отчет о результатах информационных обследований по теме «Экологическое обследование АВЭ-250С». Северо-Восточный научный центр Академии наук Украины, Харьков, 1993. – С.30–32, 55–62.

**Гагач Д.К., Мальцев В.К., Костюков И.Ю.** и др. Первая ветродизельная электростанция на Таймыре. Энергетик, №9, 2001. – С.10–12.

**Кампет Т., Усевич В., Дросте Д.** и др. Руководство по сооружению ветроэнергетических установок. Комиссия ЕЭС, Генеральный директорат по Энергетике DG XVII, 1993. – С. 29.

**Швень Н.І., Петренко К.В., Клок С.В.** Деякі особливості циркуляції атмосфери в районі Антарктиди. УАЖ, № 4-5, 2006. – С.301–306.

**Baring-Gould I., Corbus D.** Status of Wind-Diesel Applications in Arctic Climates. Arctic Energy Summit Technology Conference, Anchorage, Alaska, October 15–18, 2007. – P. 3–7.

**Clarke A.** New Scientists, 27.05.89. – P. 62–66.

**Dahi T.** Wind Power Systems. <http://www.polarpower.org/static/docs/windpower05april06.pdf> – P. 22.

**Guichard A., Magill P., Godon P.** et al. Potential for Significant Wind Power Generation at Antarctic Station. SCALOP, Cambridge, United Kingdom, 6-7 August 1996. – P. 8.

**Lindquist A.** Wind power in Antarctica – a feasibility study for Wasa. Uppsala University, Sweden Division for Electricity and Lightning Research, 2004. – P. 28–30.

**Loewenstein R., Markowsky G.** Polar Science and Advanced Networking Report, NSF OPP/CISE, April 24-26, 2003. – P. 18–23.

**White S.** Summary Report on Forgen 500 Wind Turbine Performance. UNA VCO, 2008. – P. 1-5.