

УДК 621.311.24

**ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ПЛОЩАДКЕ ГИБРИДНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ  
ЧАСТЬ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК (ВЭУ)**

*И.А. Аккозиев, Г.В. Дерюгина, М.Г. Тягунов, Т.А. Шестопалова*

Обоснование целесообразности сооружения гибридных энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии зависит от методик, используемых для расчета параметров элементов ГЭК. Делается вывод, что большинство известных математических моделей восстановления данных по ветровым характеристикам, основанных на эмпирических соотношениях и коэффициентах, справедливы только для определенной территории.

*Ключевые слова:* вертикальный профиль ветра; энергетическая характеристика ВЭУ; модель; гибридный энергокомплекс (ГЭК); энергоэффективность.

---

**WINDMILLS ON A PLATFORM OF HYBRID POWER SYSTEMS  
PART 1: DETERMINATION OF PARAMETERS WINDMILLS (WIND TURBINES)**

*I.A. Akkoziev, G.V. Deriugina, M.G. Tjagunov, T.A. Shestopalova*

Rationale for the construction of hybrid energy complex on the basis of renewable energy depends on the methods used to calculate the parameters of the elements of HES. It concludes that most of the known mathematical models of wind data recovery performance based on empirical correlations and the odds are valid only for a specific territory.

*Key words:* vertical wind profile; macrobiotic characteristic wind turbine model; the hybrid power complex (HES); energy efficiency.

Энергетическая стратегия-2030, принятая Правительством РФ 13 ноября 2009 г. № 1715-р, отмечает недостаточное развитие малой энергетики и низкую вовлеченность в энергобалансы местных источников энергии регионального и локального значения. Это делает актуальным развитие малой энергетики в зоне децентрализованного энергоснабжения за счет повышения, прежде всего, использования местных энергоресурсов, сокращения объемов потребления привозных углеводородных видов топлива. Доля распределенной генерации к 2030 г. может достичь 15 % в производстве электроэнергии на тепловых электростанциях.

Использование установок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в распределенных энергосистемах создает новые возможности для развития возобновляемой энергетики. В-первых, это относится к масштабам сооружаемых установок, что позволит применять иные подходы к обоснованию эффективности их использования, отличные от принятых в больших энергетиче-

ских системах. Во-вторых, проектирование малых и распределенных энергосистем, по сути, является проектированием гибридных энергетических комплексов (ГЭК), состоящих из множества источников первичной энергии, комплекса установок преобразования первичной энергии в электрическую, механическую энергию и тепло, систему передачи и распределения энергии между конечными потребителями, состав и виды конечных потребителей. При этом понятие баланса мощности энергосистемы понимается не как однозначное удовлетворение потребностей энергопотребителей в любой момент времени, а как создание такого энергопроизводящего и энергопотребляющего комплекса, параметры которых будут взаимозависимыми и взаимопределяющими. В таком комплексе в первую очередь нужно будет выделить потребителей, как требующих, так и не требующих гарантированного энергоснабжения в любой момент времени. То есть необходимы разделяющие графики производства и потребления энергии во времени и для потреби-

телей-регуляторов, работа которых инициируется по мере появления необходимости в компенсации избыточной энергии, производимой действующими энергогенерирующими установками.

Баланс энергии в указанном случае строится как равенство генерации и потребления по каждому из типов потребителей: с гарантированным, негарантированным и компенсирующим энергообеспечением, что в значительной степени меняет качественные и количественные характеристики энергосистем [1].

В состав генерирующих источников ГЭК включаются гидро-, ветро-, фотоэлектрические установки, солнечные коллекторы и теплонасосные установки (ТНУ), дизель-генераторы и иные энергетические установки на основе термодинамических циклов. В перспективе в состав генерирующих источников ГЭК будут включаться установки нетрадиционной энергетики – термоэмиссионные и др.

В данной статье ветроэнергетика рассматривается как один из элементов энергообеспечения потребителей распределенных энергосистем или как один из генерирующих элементов ГЭК.

Особенностью обоснования параметров ГЭК на ранних стадиях проектирования является отсутствие надежной информации о приходе возобновляемых ресурсов к проектируемому установкам. Это является основным отличием проектной задачи от эксплуатационной, для которой информация о ресурсах, основанная на натурных измерениях, в той или иной мере существует.

Определение расчетных гидрологических характеристик производится, практически, в условиях полного отсутствия данных гидрометрических наблюдений, что требует применения метода аналогии или использования Глобальных информационных систем (ГИС).

Данные о поступлении ветровой энергии в предполагаемом месте установки ВЭУ определяются по данным ближайших метеостанций (МС) с поправкой на высоту оси установки ветроколеса и ландшафтные условия, или по данным ветромониторинга в точке предполагаемого сооружения ГЭК [2, 3]. Если наблюдения в этой точке имеют малую продолжительность, необходимо продлить наблюдений ряд по данным измерений на ближайшей МС известными в климатологии методами подобия.

Для определения климатических характеристик района предполагаемого сооружения ГЭК (температуры воздуха, влажности, осадков и т. д.), используемых для оценки параметров потребителей и теплонасосных установок (ТНУ) с отбором тепла из окружающего воздуха или водоема, могут быть использованы источники, аналогичные ранее перечисленным.

Таким образом, можно утверждать, что на ранних стадиях проектирования достоверность данных о гидро-, ветро- и климатических характеристиках местности предполагаемого сооружения ГЭК крайне низка. Частичной компенсацией этого служит использование методик, основанных на расчетах по смоделированным рядам наблюдаемых параметров притока воды, скорости и направления ветра, погоды, осадков и т. д. за прошедшие периоды наблюдений с последующей статистической обработкой полученных результатов [2].

Большинство известных математических моделей восстановления данных по ветровым характеристикам основаны на эмпирических формулах и коэффициентах, справедливых только для определенной территории. Как показали проведенные авторами исследования, попытка их применения для расчетов на территории России приводит к существенным ошибкам. Таким образом, для использования моделей учета климатических и ландшафтных особенностей для расчетов на территории России требуется модификация известных моделей, которой и посвящена данная статья.

**Методика выбора типа и определения параметров ВЭУ на площадке ГЭК.** Модели поступления первичной энергии и показатели потенциальных технических решений создаваемого ГЭК разрабатываются в соответствии со схемой обоснования структуры и параметров ГЭК [1].

Модель поступления ветровой энергии на площадку ГЭК строится по рядам наблюдений характерных параметров (скорость ветра, направление ветра и температура воздуха) на ближайшей МС на высоте флюгера 10 м, позволяющих провести расчет использования энергоресурса на заданном интервале времени. Поскольку могут быть рассмотрены различные типы ВЭУ, имеющие различную высоту башни, то также необходим расчет вертикального профиля ветра, проводимый в данной методике на основе данных ближайшей аэрологической станции (АМС). Точность и достоверность модели поступления ветровых энергоресурсов на площадку ГЭК определяется правильностью выбора МС-аналога и АМС-аналога.

Модель определения технического потенциала ветровых энергоресурсов на площадке ГЭК определяет параметры ВЭУ, соответствующие рассматриваемым техническим решениям, например подъема гондолы ВЭУ на различную высоту над поверхностью земли. Модель ориентирована на все доступные данные об условиях использования предполагаемых типов ВЭУ на площадке, которые, например, могут быть ограничены транспортной доступностью для спецтехники, использование которой необходимо при определенных значениях

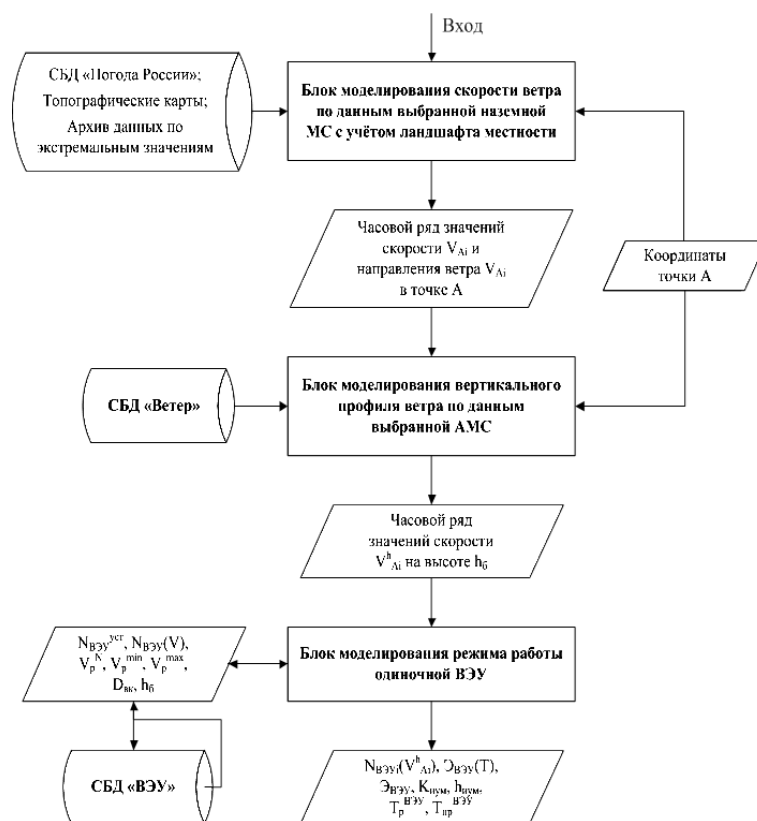


Рисунок 1 – Увеличенная блок-схема выбора типа и определения параметров ВЭУ на площадке ГЭК

параметров конструкции ВЭУ, если высота башни ВЭУ определяет необходимость использования тяжелой подъемной техники. В качестве критерия перспективности использования предполагаемого типа ВЭУ на площадке ГЭК был принят среднелетний коэффициент использования установленной мощности  $K_{\text{нум}} = 28\%$ , принятый в качестве мирового ориентира для ВЭС сухопутного базирования на 2012–2014 гг. [4].

Увеличенная блок-схема алгоритма выбора типа и параметров ВЭУ на площадке ГЭК представлена на рисунке 1. Исходными данными являются координаты площадки ГЭК (в дальнейшем называемая точкой А): широта, долгота, высота над уровнем моря (в м). Выходными данными модели являются: параметры ВЭУ и режим ее работы по среднечасовым значениям мощности за период времени  $T$ .

Первичная информация о ветровых ресурсах на территории России содержится в составленных в разное время Ветровых Атласах России [5, 6] и научно-технических справочниках по климату: Справочник по климату СССР (Л.: Гидрометеоздат, 1966–1969 гг.); Научно-прикладной справочник по климату СССР (СПб.: Гидрометеоздат, 1992).

Периодические метеоданные могут быть получены из СБД, размещенных на соответствующих сайтах в сети Интернет. Архивы метеонаблюдений в них ежедневно пополняются измеренными через равные промежутки времени  $Dt$  ( $Dt = 1, 3, 4, 6$  и  $8$  часов, а на метеостанциях аэропортов – от 10 до 30 мин) значениями. Наиболее известные СБД: “Погода России” [7] и “Расписание Погоды” [8]. Составление информации из этих СБД за одинаковые периоды времени на 280 МС различных регионов России не выявило существенного расхождения в приведенных в них рядах наблюдений. Поэтому для определенности в качестве основного информационного источника по ветровым ресурсам была выбрана СБД “Погода России”, поскольку в ней представлена информация за более длительный период времени (с 1 декабря 1998 г. по настоящее время), чем в СБД “Расписание Погоды” (с 1 января 2005 г. по настоящее время). Метеоданные СБД “Погода России”, правда, требуют коррекции в соответствии с методическими указаниями [9].

В разработанной специалистами кафедры “Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии” Национального исследовательского университета “МЭИ” НВИЭ (НИУ “МЭИ”) СБД “Ве-

тер” накоплены данные по 160 АМС, расположенных на территории России и стран бывшего СССР. В ней представлены среднегодовые, среднемесячные, среднечасовые для характерных часов суток ( $t = 1, 7, 13, 19$  час) значения скорости ветра на высоте 10, 100 и 200 м.

Из архива данных по экстремальным значениям могут быть получены максимальные значения скорости ветра и температуры по регионам России, зафиксированные за 5, 10 и 50 лет.

В СБД “ВЭУ”, разработанной специалистами кафедры НВИЭ НИУ “МЭИ”, представлена информация об основных характеристиках и параметрах ВЭУ российских и зарубежных производителей (около 500 типов): установленная мощность ВЭУ  $N_{ВЭУ}^{уст}$ , энергетическая характеристика  $N_{ВЭУ}(V)$ , расчетная скорость ветра  $V_p^N$ , минимальная и максимальная расчетная скорость ВЭУ  $V_p^{min}$  и  $V_p^{ma}$ , диаметр ветроколеса  $D_{вк}$ , высота башни ВЭУ  $h_b$  и т. д.

Для многих типов ВЭУ заводы-изготовители указывают диапазон рекомендуемых значений высоты башни ВЭУ, что также необходимо учитывать при выборе ее оптимальных параметров. Проведенные расчеты выявили, что с ростом высоты башни ВЭУ относительный прирост (в %) годовой энергии и среднегодового  $K_{дум}$  замедляется. Следовательно, окончательно выбор высоты башни рассматриваемой ВЭУ может быть сделан после проведения экономических расчетов (рисунок 2).

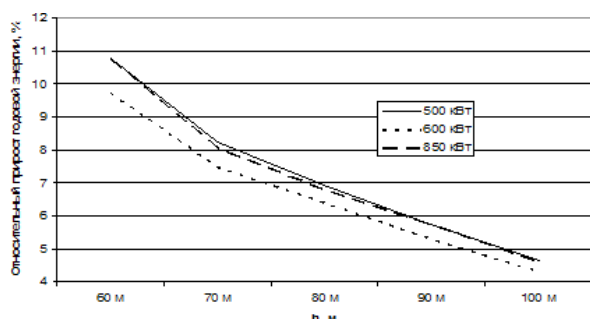


Рисунок 2 – Относительный прирост годовой энергии трех типов ВЭУ (Turbowinds t-500, Elecon T 600 – 48DS, Vestas V52-850) с увеличением высоты башни  $h$  на площадке ГЭК в 10 км от МС “Дербент”

### Литература

1. Афонин В.С и др. Системные свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии / В.С. Афонин, А.Г. Васильков, Г.В. Дерюгина, М.Г. Тягунов, Т.А. Шестопалова // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. № 2. С. 20–27.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справочное и методическое пособие / П.П. Безруких. М.: ИД “Энергия”, 2010. 320 с.
3. Бурмистров А.А. и др. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии: учеб. пособие / А.А. Бурмистров, В.И., Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Д.Н. Кунакин, Н.К. Малинин, Р.В. Пугачев. М.: Изд-во МЭИ, 2008. 144 с.
4. Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития ветроэнергетики в России / В.Г. Николаев. М.: АТМОГРАФ, 2011. 504 с.
5. Борисенко М.М., Стадник В.В. Атласы ветрового и солнечного климатов России. СПб., 1997.
6. Атлас ветров России / А.Н. Старков, Л. Ландберг, П.П. Безруких, М.М. Борисенко. М.: “Можайск–Терра”, 2000. 560 с.
7. Российский метеорологический сайт “Погода России” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meteo.infospace.ru>.
8. Российский метеорологический сайт “Расписание погоды” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rp5.ru>
9. Методические указания проведения изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок. РД 52.04.275–89. М.: Государственный комитет СССР по Гидрометеорологии, 1990.
10. Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПЭУ-7 и построению карт климатического районирования. СТО 56947007 – 29.240.055 – 2010. Стандарт организации ОАО “ФСК ЕЭС”, 2010.