

УДК: 621.311.24

Сто лет развития ветроэнергетики в России. Часть 1.Бутузов Виталий Анатольевич^[0000-0003-2347-9715]¹,Безруких Павел Павлович^[0000-0003-0906-1339]²,Грибков Сергей Владимирович^[0000-0002-6174-7437]³¹Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар²Национальный исследовательский университет "МЭИ", Россия, Москва³Научно-инженерный центр "Виндэк", Россия, Москва¹E-mail: butuzov@newmail.ru²E-mail: bezruky80veter@yandex.ru³E-mail: windec@mail.ru

Аннотация. Ветроэнергетика мира в 2019 г. при мощности 650,7 ГВт занимала второе место в возобновляемой энергетике (ВЭ). В России мощность ветроэлектростанций (ВЭС) в том же году составила 630,5 МВт. Указаны финансовые механизмы для стимулирования строительства ВЭС, основные инвесторы и изготовители оборудования. Представлен анализ 100 летнего развития отечественных научных школ, реализации их концепций, основные конструкции ВЭУ. Отмечена роль основателя российской ветроэнергетики членкора Н.Е. Жуковского и его учеников, деятельность институтов ЦАГИ, Центрального ветроэнергетического, Института электрификации и механизации сельского хозяйства, НПО «Ветроэн». Указаны основные достижения советской ветроэнергетики: ВЭС в Балаклаве (100 кВт, 1931 г.), ветродвигатели ВД-8 (1300 шт., 1936 г.), арктические ветроэлектростанции ЦВЭИ-Д-12 (15 кВт, 1936 г.), ветродизельная станция (ВДС) в Казахстане (400 кВт, 1957 г.). Описаны первые ветропарки стран СНГ, в Крыму общей мощностью 110 МВт на основе ВЭУ КБ «Южное» (г. Днепрпетровск), в п. Куликово Калининградской области – 5,1 МВт. Приведен перечень основных ВЭС и ВДС России. Дана оценка перспектив развития российской ветроэнергетики.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроустановка (ВЭУ), ветроэлектростанция (ВЭС), ветродвигатель, ветроколесо, ветродизельная станция (ВДС), ветряные мельницы, лопасти, мачта, электрогенератор, инерционный аккумулятор, Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), Северный морской путь (СМП).

1 Вступление

По данным всемирной ассоциации ветроэнергетики WWEA 2019 г. установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) мира составляла 650,7 ГВт. В России по состоянию на 01.09.2020 г. установленная мощность наиболее крупных 22 сетевых ВЭС составляла 336 МВт. Самая большая российская ветростанция мощностью 150 МВт была построена в 2020 г. в Республике Адыгея (рис. 1). Определенное развитие в изолированных энергорайонах Крайнего Севера и Камчатки получили ветро-дизельные комплексы. Ускорение темпов развития российской ветроэнергетики с 2019 г. определялось государственной поддержкой и созданием законодательной базы, участием мощных финансовых структур ГК «Росатом», ГК «РосНАНО» и ПАО «ЭНЕЛ Россия» с организацией в России на шести заводах производства оборудования ВЭУ. Россия имеет столетнюю историю развития научных и конструкторских ветроэнергетических школ, опыт серийного производства и эксплуатации ВЭС, в том числе для арктических и антарктических условий. В ближайшие годы в России предстоит воссоздать научные и инженерные ветроэнергетические организации.



Рис. 1. Адыгейская ВЭС

2 Научно-техническая школа Н.Е. Жуковского

Теоретические основы ветроэнергетики России в начале XX века были заложены член-корреспондентом Российской Императорской Академии наук (АН), профессором московского технического училища (ИМТУ) Николаем Егоровичем Жуковским (1847-1921гг.) (рис. 2), и его учениками, докторами технических

наук В.П. Ветчинкиным, Н.В. Красовским, Г.Х. Сабининым, Г.Ф. Проскурой. Владимир Петрович Ветчинкин (1888-1950 гг.) (рис. 3) был самым близким учеником Н.Е. Жуковского. Его отличала широта научного кругозора: аэрогидродинамика, ветроэнергетика, теория ракетного движения и космических полетов. В.П. Ветчинкин в 1914 г. на основе теории Н.Е. Жуковского идеального гребного винта ввел понятие коэффициента преобразования энергии ветра и предложил теорию идеального ветряка, а в 1920 г. Н.Е. Жуковский в статье «Ветряные мельницы НЕЖ» и двух других статьях дополнил ее до так называемой классической теории ветряка [1]. В созданном Н.Е. Жуковским, 1 декабря 1918 г. Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ) В.П. Ветчинкин возглавил отдел № 1 по общетеоретическим исследованиям. Д.т.н. В.П. Ветчинкин был главным экспертом СССР по ветроэнергетике и блестящим ее популяризатором.

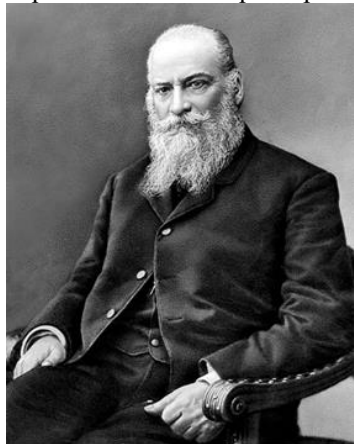


Рис. 2. Жуковский Н.Е.



Рис.3 Ветчинкин В. П.

Николай Валентинович Красовский (1891-1957гг.) (рис. 4), выпускник ИМТУ, в 1919 г. возглавил отдел ветряных двигателей (ОВД) ЦАГИ. В 1923 г. он завершил сооружение ветряной испытательной станции в ЦАГИ (Москва) [2]. Н.В. Красовский, Г.Х. Сабинин, В.Р. Секторов в 1930 г. разработали проект первой советской сетевой Балаклавской ВЭС мощностью 100 кВт. В ОВД ЦАГИ под руководством Н.В. Красовского А.И. Макаревичем были разработаны методы расчета на прочность крыльев и башен ветродвигателей [3]. Григорий Харлампиевич Сабинин (1884-1968гг.) (рис. 5), участвовал в разработках всех конструкций ветродвигателей ЦАГИ. Основное направление его деятельности – разработка систем регулирования частоты вращения ветродвигателей, создание поворотных лопастей и управление ими с помощью вспомогательного стабилизатора-руля (1922 г.), одновременно исполняющего функцию регулирующего органа [4]. В 1926 г. он опубликовал статью о расчете поворотных лопастей [5], а в 1927-1928 гг. испытал их в натуральных условиях. Результаты исследований идеального ветряка были изложены им в 1929 г. в статье [6], а в 1931 г. теория аэродинами-

ческого расчета ветряных двигателей была описана в работе [7], согласно которой, максимальный коэффициент использования энергии ветра ветроколесом равен 0,687.



Рис.4 Красовский Н.В.



Рис.5. Сабинин Г.Х.

3 Ветроустановки ЦАГИ: концепции и конструкции

В основе создаваемых ветродвигателей ЦАГИ были результаты теоретических и экспериментальных работ. В 1923 г. был построен ветросиловой испытательный стенд ЦАГИ, а в 1924 г. под руководством Н.В. Красовского была спроектирована, изготовлена и установлена на Бакинских нефтяных промыслах первая, работающая ветроустановка ЦАГИ с самоустанавливающимися лопастями и регулятором, предложенным Г.Х. Сабининым, для привода глубинных насосов нефтяных скважин с диаметром рабочего колеса 14 м и мощностью 36,8 кВт[4]. В последующие годы работа ЦАГИ по ветроэнергетике велась по двум основным направлениям. Для сельскохозяйственного назначения (привод насосов, мельниц) были созданы многолопастные тихоходные ветродвигатели ТВ-5, ТВ-8, УВД-8 с диаметрами рабочих колес соответственно 5 и 8 м. Ветродвигатель ТВ-5 при мощности 1,8 кВт имел 18-24 лопастей и обеспечивал подъем воды с расходом 3,5 м³/час на высоту 70 м. Наибольшим спросом пользовались ветродвигатели ТВ-8, производство которых в 1936 г. достигло 1300 шт.

Второе направление деятельности ЦАГИ – создание быстроходных трехлопастных ветродвигателей и ветроустановок с регулированием числа оборотов за счет изменения углов поворота лопастей с помощью регулятора стабилизатора-руля разработки Г.Х. Сабинина.

По заказу дирекции Северного Морского пути (СПМ) ЦАГИ, а с 1930 г. его преемник Центральный ветроэнергетический институт (ЦВЭИ) разработали несколько конструкций ВЭУ, которые эксплуатировались на десятках полярных станций от Баренцева моря до Чукотки при аномальных атмосферных условиях: скорость ветра до 40 м/с, температура воздуха до минус 40°С. Были разработаны,

изготовлены и испытаны трехлопастые быстроходные ветродвигатели: ЦВЭИ Д-8, ЦВЭИ Д-10 с диаметром рабочих колес 8 м. В 1935г. был создан ветродвигатель ЗЦВИЭ Д-12 с диаметром ветроколеса 12 м и мощностью генератора до 15 кВт. Конструкция этих ветроустановок предусматривала вертикальную червячную трансмиссию от ветроколеса к электрогенераторам у основания башни[8]. Практическое применение этих ВЭУ с 1932 г. по 1945 г. позволило определить, что они обладают наилучшими эксплуатационными показателями. В СССР больше всего было произведено ветродвигателей Д-12 разных типов – 1500 шт. Были созданы полярные ветро-дизельные станции (ВДС) в составе ветродвигателя с генератором мощностью 15 кВт, дизельной станции такой же мощности, электрических аккумуляторов из расчета времени запуска резервной дизельной станции. Срок эксплуатации таких ВЭС в арктических условиях превышал 12 лет[8].

В 1931 г. по чертежам ЦАГИ была построена первая в СССР сетевая Балаклавская ВЭС под г. Севастополем мощностью 100 кВт (рис. 6), которая до 1940 г. была самой мощной ВЭС мира. Главным теоретиком создания аэродинамической схемы ВЭС был В.П. Ветчинкин, а испытателем – В.Р. Секторов. Технические решения оказались удачными и обеспечили ее работу до 1942 г. (11 лет) до разрушения во время войны. Конструкция данной ВЭС предвосхитила современную концепцию создания ветроэлектростанций: трехлопастное рабочее колесо, с возможностью регулирования углов поворота лопастей, соосное расположение рабочего колеса, редуктора и генератора в гондоле. В статье [9] представлены результаты опытной эксплуатации ВЭС с 1931 по 1933 г.г., в том числе при скоростях ветра 30 м/с. В статье [10] В.Р. Секторов приводит результаты опытной эксплуатации ВЭС, на многие годы определившей развитие мировой ветроэнергетики.



Рис. 6. Ветродвигатель ВИМЭ Д-30 в Балаклаве

Под руководством В.П. Ветчинкина и при финансовой поддержке ЦАГИ в 1931 г. было завершено сооружение Курской ВЭС мощностью 3,5 кВт с первым в мире инерционным аккумулятором. Изобретатель Анатолий Георгиевич Уфимцев (1880-1936 гг.), получил охранное свидетельство СССР на эту станцию еще в 1918 г. Её строительство с участием государственных и частных средств, в т.ч. М. Горького продолжалось с 1923 по 1931 г. У своего дома в центре Курска А.Г. Ефимцев построил башню высотой 42 м с трехлопастным колесом диаметром 10 м. Лопасты имели регулируемые углы поворота. Перед генератором постоянного тока, мощностью 3,5 кВт, впервые в мире был установлен инерционный аккумулятор в виде стального диска диаметром 950 мм и весом 328 кг, размещенного в вакуумированном корпусе. Это устройство позволяло сглаживать пульсации ветра и обеспечивать работу генератора при его отсутствии. Данная ВЭС обеспечивала электроснабжение и отопление дома, мастерской А.Г.Ефимцева и уличного освещения до 1936 г. ВЭС и при скорости ветра 4 м/с выдавала мощность 1,5 кВт и при отсутствии ветра могла работать до 16 часов.

На Первой Всесоюзной ветроэнергетической конференции (1932 г., г. Харьков) отмечалось, что в СССР разработкой ветродвигателей занимаются в основном ЦВЭИ (г. Москва) и Украинский институт промэнергетики (г. Харьков, руководитель лаборатории д.т.н., а впоследствии академик УАН Г.Ф. Проскура). В 1931 г. в СССР работало 100 тыс. ветряных мельниц единичной мощностью от 2 до 8 кВт и с общей установленной мощностью 515 МВт [11].

По ряду причин деятельность ЦВЭИ была прекращена в 1935 г., а отдел ветроэнергетики в ЦАГИ был воссоздан только в 1946 г. по инициативе В.П. Ветчинкина. В последующие годы ЦАГИ, несмотря на наличие ведущих специалистов в области ветроэнергетики, не удалось восстановить свой былой научный потенциал, и возглавить возрождение ветроэнергетики в России.

4 Проекты мегаваттных ВЭС

По результатам успешной работы Балаклавской ВЭС по инициативе руководителя тяжелой промышленности (Наркомтяжпром СССР) Григория Константиновича Орджоникидзе (1886-1937) в 1932 г. был объявлен конкурс на разработку эскизного проекта ВЭС мощностью 5 МВт. В конкурсе участвовали три организации. Институтом ЦВЭИ (ведущий конструктор В.В. Уткин-Егоров) был представлен проект ВЭС типа ЦВЭИ – Д-100 мощностью 5 МВт с высотой мачты 65 м и диаметром трехлопастного ветроколеса 100 м. Такая станция имела свой аналог, как указывает Секторов В.Р. в статье [10], что Балаклавская ВЭС была уменьшенной копией ЦВЭИ-Д-100. Ранее этот же институт разработал проект ВЭС ЦВЭИ-Д-50 мощностью 1 МВт для электрификации Хибин Кольского полуострова и ирригации Заволжья

Второй участник конкурса – Украинский институт промышленной энергетики (г. Харьков) представил проект ВЭС мощностью 4,5 МВт с высотой мачты 150 м и четырехлопастным ветроколесом. Победителем конкурса в 1933 г. стал эскиз-

ный проект «Икар» далекого от ветроэнергетики Проектного бюро № 14 угольной промышленности (авторы Юрий Васильевич Кондратюк (1897-1941 г.г.) и П.К.Горчаков). Проект ВЭС-2-Д-60 предусматривал строительство 165 м железобетонной башни, сооружаемой методом скользящей опалубки, с тросами растяжки (конструктор этой и будущей Останкинской телевизионной башни - Н.В. Никитин). На башне одно под другим располагались два трехлопастных ветроколеса диаметром по 60 м для мощности ВЭС 5 МВт. Разворот ВЭС на ветер производился всем стволом с опорой на гидравлический подпятник фундамента основания. Между рабочими колесами и генераторами были предусмотрены гидравлические мультипликаторы для повышения числа оборотов с 20 до 600 об/мин. Расчетные параметры, описание конструкции ВЭС приведено в статье [12]. При решении вопроса о победителе конкурса большое значение имела поддержка конструкции Ю.В. Кондратюка ведущим экспертом СССР по ветроэнергетике В.П. Ветчинкиным.

В 1936 г. в Крыму в 4 км от горы Ай-Петри был построен железобетонный фундамент ВЭС мощностью 5 МВт. Работа над техническим проектом ВЭС-2-Д-60 продолжалась до апреля 1938 г., когда было принято решение о разработке и изготовления уменьшенной модели ВЭС-2-Д-20 мощностью 100 кВт с двумя ветроколесами диаметром по 20 м. ВЭС-2-Д-20 была изготовлена в 1941 г. на Перовском механическом заводе (г. Москва), однако начало войны и гибель на ней Ю.В. Кондратюка прекратили дальнейшее развитие этого проекта. Фундамент и мачта ВЭС-2-Д-20 высотой 60 м была смонтирована у платформы Перловка на экспериментальной базе Проектно-экспериментальной конторы треста «Теплоэлектропроект».

5 Ветродвигатели института механизации сельского хозяйства

После ликвидации ЦВЭИ развитие его идей и конструкций в СССР осуществлялось в основном в ВНИИ механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ), куда в 1936 г. был назначен руководителем лаборатории ветроэнергетики Ефим Михайлович Фатеев (1890-1965) (рис. 7), работавший в 1925-1930 г.г. инженером в ЦАГИ, а в 1930-1932 г.г. в ЦВЭИ. Под его руководством с учетом опыта эксплуатации в арктических условиях в тридцатые годы была создана ветроустановка 3 ЦВЭИ – ВИМЭ Д-12, мощностью 10 кВт., а после войны совместно с В.И.Сидоровым установка ВИМЭ Д-18с вертикальной трансмиссией, мощностью 28 л.с. при скорости ветра 8 м/с, показавшая хорошие эксплуатационные показатели, как в арктических условиях, так и при использовании в сельском хозяйстве [13].



Рис. 7 Фатеев Е.М.

По завершению войны в 1945 г. в ВИМЭ были разработаны новые конструкции ветряных двигателей типа Д-8, Д-10, Д-12. ВИМЭ, а с 1957 г. ВИЭСХ имел опытный завод в Москве, испытательный полигон в Армавире и был основным разработчиком зарядных ВЭС малой мощности. Им были в 1938 г. созданы зарядные ветроустановки ВИМЭ Д-3 мощностью 300 Вт и ВИМЭ Д-5 мощностью 2 кВт с регулируемыми лопастями. Аналогичные ВЭС разрабатывал и производил Всесоюзный институт сельскохозяйственного машиностроения в Москве – ВИСХОМ Д-3 мощностью 1 кВт. В таблице 1 представлены данные об основных разработчиках ВЭС в СССР. В 1946 г. был разработан ветродвигатель ВИМЭ Д-18 ГУСМП с трехлопастным рабочим колесом со стабилизатором регулирования с вертикальной трансмиссией и на его основе ВЭС с синхронным генератором мощностью 25 кВт и генератором постоянного тока мощностью 40 кВт.

Таблица 1. Основные институты – разработчики ветроэнергетики СССР с 1920 по 1995 гг.

Годы	Институты-разработчики	Марки серийных ветродвигателей, ветроустановки ветроэлектростанций
1	2	3
1920-1930	Центральный аэро-гидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ), Москва	<u>ВЭС</u> Д-14 (Баку) Д-30 (Балаклава) Курская ВЭС <u>Ветро двигатели:</u> ТВ-5; ТВ-8

1930-1935	Центральный ветроэнергетический институт (ЦВЭИ), Москва	<u>ВЭС</u> ЦВЭИ-8, 3ЦВЭИ-12; ЦВЭИ-30; ЦВЭИ-Д-50 ЦВЭИ-Д-100
1932-1941	Украинский институт промышленной энергетики, Харьков	<u>Крымская ВЭС</u> ВЭС-2-Д-60
1935-1945	Всесоюзный институт сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ), Москва	<u>ВЭУ</u> ВИСХОМ Д-3
1935-1967	Всесоюзный институт механизации и электрификации сельского хозяйства, (ВИМЭ), г. Москва, с 1957 - ВИЭСХ	<u>ВЭУ и ВЭС</u> 3ЦВЭИ – ВИМЭ Д-12; ВИМЭ Д-18
1954-1975	Истринский филиал ВНИИ электромеханики (ВНИИЭМ), Московская область	<u>ВЭУ</u> Д-18-СУ-3
1975-1995	НПО «Ветроэн» г. Истра Московская область	<u>ВЭУ и ВЭС</u> АВЭУ-6-4 АВЭС-16 АВЭС-100 АВЭС-250

6 Всесоюзный институт сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ)

ВИСХОМ - Научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения им. Горячкина В.П., был создан в 1928 г. Им было разработано ряд ветроэнергетических установок малой мощности, в том числе модернизированная установка ВИСХОМ Д-3, которая изготовлялась из менее дефицитных материалов и обеспечивала возможность массового выпуска [14]. ВЭУ комплектовалась генератором постоянного мощностью 1 кВт.

В 1940 г была разработана ветроэлектрическая установка ВИСХОМ РД– 1,5, отличающаяся сравнительно простой конструкцией. ВЭУ имела центробежный регулятор частоты вращения ветроколеса, за счет поворота лопастей относительно маха 2 в сторону флюгерного положения лопасти.

В 1941г. по заданию СМП для электроснабжения арктической автоматической радиометеостанции была разработана ветроустановка с прямым приводом магнитоэлектрического многополюсного генератора от ветроколеса ВИСХОМ УД – 1,9 с центробежным регулятором, который мог работать в широком диапазоне ветров вплоть до 50 м/с. Автором разработки был Уткин-Егоров[13].

В 90-е годы НИИ был приватизирован, после чего его деятельность начала постепенно угасать. И в 2016 году ВИСХОМ прекратил существование.

7 Арктический опыт эксплуатации ВЭС

После сельскохозяйственных объектов вторым по объемам применения рынком ветродвигателей в СССР были полярные станции Северного Морского пути (СМП) в Арктике. Инициатором их массового применения был начальник СМП И.Д. Папанин, а непосредственным внедрением и обслуживанием руководил Владимир Иосифович Сидоров (рис.8). Он с 1934 г. занимался эксплуатацией арктических ВЭС, а на полярной станции острова Новая Земля в 1936 г. проводил эксперименты по получению водорода методом электролиза на ВЭС и работе на нем поршневой электростанции взамен бензина (в течение часа).



Рис.8. В.И. Сидоров

В его книге [8] представлен анализ результатов эксплуатации ветродвигателей на станциях СМП с 1932 по 1945 г.г. После войны там работало 49 ветроэлектростанций, в т.ч. 17 ВЭС Д-12 мощностью по 15 кВт, 22 ВЭС Д-5, мощностью по 2,6 кВт и 10 ВЭС ВИСХОМ Д-3 мощностью по 1 кВт. При этом ВЭС -12 работали по 12 лет, а ВЭС типа ВИСХОМ УД – 1,9 мощностью 100 Вт для электропитания радиостанций без обслуживания работали по 20 месяцев. Срок окупаемости ВЭС составлял 4-5 лет. С 1932 г по 1940 г. за счет эксплуатации ВЭС количество завозимого топлива уменьшилось в три раза. Интерес представляют рекомендации по устройству фундаментов, борьбе с инееобразованием и прочее. Приведена 10-летняя статистика отказов и экономических показателей эксплуатации ВЭС. Практика арктической эксплуатации показала следующую конфигурацию энергоустановки: ВЭУ мощностью 15 кВт, резервная дизельная электростанция, емкость электрических аккумуляторов выбиралась из расчета времени запуска резервной ДЭС. В 1946 г. на полярных станциях СМП были установлены ВЭС ВИЭМ Д-18 с синхронным генератором мощностью 40 кВт и вертикальной

трансмиссией. Был сделан вывод, что для бесперебойной надежной работы ветроустановок любой мощности требуется грамотное техническое обслуживание, что весьма актуально и в наши дни. В.И.Сидоров в 1947 г. на Всесоюзной научно-технической конференции доложил результаты создания и многолетней эксплуатации ветроводородной системы в арктических условиях.

8 Истринский филиал ВНИИ электромеханики

В 1948 г. в составе СМП под руководством В.И. Сидорова была организована Научно-исследовательская лаборатория (НИЛ), а в 1949 г. на ее базе постановлением правительства СССР в г. Истре Московской области, также под руководством В.И. Сидорова, была создана Центральная научно-исследовательская лаборатория по ветродвигателям и ветроустановкам (ЦНИЛВ) с подчинением союзному министерству тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. В 1954 ЦНИЛВ во главе с В.И. Сидоровым была преобразована в Истринский филиал ВНИИ электромеханики, (ВНИИЭМ), в котором было создано конструкторское бюро и опытное производство. В 1949 г. в г. Истра была построена ВЭС мощностью 50 кВт с полным циклом получения водорода по новой технологии электролиза воды. Дальнейшее развитие водородной энергетики В.И. Сидоров связывал со строительством 5 мегаваттных ВЭС конструкции Ю.Н. Кондратюка. В 1957 г. Истринский филиал ВНИИЭМ (ИФ ВНИИЭМ) построил в совхозе «Авангард» Целиноградской области Казахстана ветродизельную электростанцию (ВДС) мощностью 400 кВт. Она состояла из двенадцати трехлопастных ВЭС типа Д-18-СУ-3 с соосным расположением генераторов постоянного тока и лопастей единичной мощностью по 40 кВт, которые были установлены на расстоянии 200-260 м друг от друга. ВЭС работали совместно с двумя дизель-генераторами мощностью по 200 кВт. Их совмещение обеспечивалось преобразователями постоянного тока. Данная ВЭС успешно работала 7 лет с 1957 по 1964 г. В отдельные месяцы выработка ВЭС достигала 55 % [13,14].

В ИФ ВНИИЭМ под руководством лауреата Государственной премии В.И. Сидорова велись работы по созданию серии новых ветроэнергетических установок мощностью от 1 до 30 кВт вплоть до 1975 года.

9 Объединение «ВЕТРОЭН»

В конце пятидесятих годов в СССР научные и конструкторские работы продолжались в ЦАГИ, ВИМЭ (с 1957 г. – ВИЭСХ), ВИСХОМ, ВНИИЭМ. Ветро-двигатели производились 44 заводами, а максимальное их количество (9142 шт.) было выпущено в 1955 г. В 1956 г. в стране работали 3000 шт. зарядных ВЭС (ВЭ-2) мощностью по 100 Вт. В регионах, например в Краснодарском крае ветродвигатели ТВ-8 обеспечивали до 30% энергопотребления животноводства. В пятидесятые годы в связи с массовой электрификацией колхозов и совхозов с их подключением к централизованному электроснабжению началось сворачивание

ветроэнергетики. В стране практически остались только три две организации разработчиков ветродвигателей: ЦАГИ, ВИЭСХ в Москве и ВНИИЭМ в г. Истра. Эти организации в 1960 – 70 годах разработали для сельского хозяйства более 5 новых ветряных водоподъемных установок [14].

В 1975 г. на базе коллектива отдела ветроэнергетики, руководимого В.И. Сидоровым Истринского филиала ВНИИЭлектромеханики, В.И. Сидоровым было организовано НПО «Ветроэн» Министерства водного хозяйства СССР, в задачи которого входили: научные и конструкторские разработки, выполнение проектов привязки ВЭС, серийное производство, обслуживание и ремонт. По существу это было единственным в СССР предприятием полного цикла изготовления оборудования ветроэнергетики.

Производство ВЭУ было организовано в ряде филиалов НПО «Ветроэн»: в г. Астрахань, в г. Уфа, а также в Киргизии (г.Фрунзе) и в Казахстане (Караганда).

Самой работоспособной конструкцией ветродвигателя НПО был АВЭУ-6-4, мощностью 4 кВт (рис. 9), разработанная к.т.н. В.Е. Федотовым в Истринском филиале ВНИИЭМ и представленная на госиспытания в 1970 г. Она имела рабочее колесо с двумя лопастями диаметром 6 м. Высота опорной мачты 9 м, диапазон рабочих скоростей ветра 5-40 м/с, виндрозный механизм разворачивал двигатель на ветер. Главное достоинство этого агрегата – надежность и устойчивость в работе, высокое качество работы центробежно-аэродинамического регулятора частоты вращения ветроколеса. Длительные испытания АВЭУ-6-4 на Мархотской испытательной базе НПО (п. Кабардинка г. Геленджик) показали, что при скорости ветра 40 м/с частота тока генератора четко ограничивается верхним пределом частоты 52,5 Гц. [16]. В 1972 г. производство АВЭУ-6-4 было начато на заводе «Тяжелэлектромаш» в г. Фрунзе, а с 1977 г. на астраханском заводе «Ветроэнергомаш». В восьмидесятые годы на этом заводе ежегодно производились до 500 ВЭУ типа АВЭУ-6-4. В 1990, г. в РСФСР только в сельском хозяйстве эксплуатировались 2000 АВЭУ-6-4. Положительный пяти летний опыт эксплуатации этих агрегатов был накоплен на Новолазаревской антарктической станции при температурах до минус 50 °С и скорости ветра до 40 м/ч. В 1981-1985 г.г. там работали на обогрев помещений 4 агрегата, а с 1986 г. – шесть, каждый из которых в год замещал 4 т дизельного топлива. Наибольшее количество АВЭУ-6-4 – 26 шт. на одном объекте (рыбзавод) было установлено в восьмидесятых годах XX века на острове Саарема в Эстонии, которые обеспечивали подогрев воды. Новое некомпетентное руководство НПО «Ветроэн» додумалось объединить большинство этих ВЭУ и на параллельную работу. В результате чего большинство из них довольно быстро вышло из строя. Чем серьёзно было подорвано доверие к малой ветроэнергетике.

НПО «Ветроэн» также серийно производило зарядные ветроагрегаты мощностью 100-250 Вт и водоподъемные агрегаты механического типа производительностью до 1 м³/ч. Удачными конструкциями отличались электродиализная опреснительная установка УВЭО-0,5 со среднесуточной производительностью при скорости ветра 4 м³ при минерализации воды до 6 г/л, двухлопастная ВЭУ с центробежным регулятором вращения ветроколеса «Шексна-05» мощностью 500 Вт, выпускавшиеся Рыбинским заводом радиоприборостроения.

В девяностые годы прошлого века главным конструктором Л.И. Терентьевым были разработаны перспективные модели АВЭУ-16, АВЭС-100, АВЭС-250. Двухлопастная ветроустановка АВЭУ-12 мощностью 16 кВт предназначалась к производству на заводе в Уфе, однако производство так и не было начато. АВЭС-100, мощностью 100 кВт была разработана для автономного режима работы, а АВЭС-250 – для параллельной работы с энергосистемой. В этих моделях созданных Л.И. Харитоновым [14] применялось ветроколесо с тремя стеклопластиковыми лопастями, гидравлический привод разворота лопастей, устройство автоматической раскрутки кабеля. В 1992 г. производство АВЭС – 250 было начато в НПО «Южное» (г. Днепропетровск).

На Воркутинской ВЭС (на водозаборе в 32 км от г. Воркуты) в экспериментальном режиме работали пять из шести установленных АВЭС – 250 с 1995 по 2006 гг. В сооружении и эксплуатации в первые годы Воркутинской и Анадьрской ветростанций определяющую роль сыграл руководитель «Ветроэна» тех лет Новак Юрий Иванович и главный инженер Шеин Василий Яковлевич. Особо следует отметить очень сильный в те годы коллектив научно- исследовательского и проектного института «ПечорНИИпроект» (г. Воркута), специалисты которого в содружестве с Воркутинским филиалом бывшего Всесоюзного института мерзлотоведения им. Герсенванева (СОНИИОПС) разработали и запатентовали уникальную конструкцию сборного железобетонного "надземного" фундамента ВЭУ для вечномерзлых грунтов. Конструкция этого фундамента была применена и на Анадьрской ВЭС

В 2001 г. на мысе Обсервация Чукотского автономного округа НПО «Ветроэн» совместно с ГКБ «Южное» (г. Днепропетровск, Украина) была построена Анадьрская ВЭС мощностью 2,5 МВт, на которой были установлены 10 ветроагрегатов АВЭ-250 СМ в северном исполнении, произведенные ГКБ «Южное». На первом этапе до 2002 г. ВЭС работала параллельно с ДЭС поселков Шахтерский и Угольные Копи. Были опробованы режимы поагрегатной остановки двигателей ДЭС до полного замещения при порывах ветра до 40 м/с и температуре воздуха до минус 40°С [15]. В 2002 г. ВЭС была переключена на совместную работу с Анадьрской ТЭЦ мощностью 10 МВт. В 2016-2018 гг. 6 шт. агрегатов АВЭ -250 СМ были заменены на 6 датских установок Micon 530 единичной мощностью по 250 кВт, а также выполнена модернизация 4 шт. АВЭ – 250СМ.

К середине 80-х годов относится серьезнейшая попытка возродить на новом техническом уровне ветроэнергетику Советского Союза, предпринятая Бюро Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу. Результатом сложнейшей аналитической, согласовательной и организационной работы ученых, сотрудников министерств, Комитетов и Бюро по ТЭК явилось Постановление Совета Министров СССР от 17 сентября 1987 года № 1052 "Об ускоренном развитии ветроэнергетической техники в 1989-1995 годах".

На одного из авторов этих строк были возложены обязанности "выпускающего" этого Постановления и контроль за его выполнением. Как единственный из оставшихся в живых свидетель "борьбы" за утверждение Постановления свидетельствую о решающей роли в продвижении Постановления Председателя

Бюро СМ СССР по ТЭК, заместителя Председателя Совета Министров СССР Бориса Евдокимовича Щербины. С его непосредственной помощью были преодолены основные трудности в согласовании документа на уровне Президиума Совмина СССР. Всего в Постановлении задействовано 9 Министерств и Комитетов, АН СССР, 5 Союзных республик. Нельзя не отметить комплексный характер Постановления, в котором предусмотрены государственные цели по выпуску ветроустановок, определена производственная база, предусмотрено соответствующее финансирование, названы конкретные исполнители, а также предусмотрены меры по преодолению существующих в то время организационных и экономических барьеров.

В соответствии Постановлением направлением создания и использования ветроустановок:

- на научно-производственное объединение "Ветроэн" Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР возлагались функции головной организации по созданию и внедрению в народное хозяйство автономных ветроэнергетических установок мощностью до 100 кВт.

- на Министерство энергетики и электрификации СССР возлагались функции головного министерства по проектированию, строительству и эксплуатации ветроэлектрических станций мощностью более 100 кВт, предназначенных для работы в энергосистемах, а также разработку технических требований на оборудование таких станций.

К тому времени существовало небольшое производство автономных ВЭУ. В Постановлении было предусмотрено резкое его расширение, а именно произвести ветроэлектрические установки единичной мощности до 100 кВт в 1988-1990 годах 14,3 тыс. комплектов общей мощностью 67 МВт, а в 1991-1995 годах – 43 тыс. комплектов общей мощностью 217 МВт.

Что касается "системных" ВЭУ, то на момент выпуска Постановления не было серьезных исследований по возможному размещению ВЭС, а также отсутствовали серьезные работы по конструкции ВЭУ, отсутствовала и производственная база. Т.е. весь научный и производственный потенциал бы фактически потерян.

Надо сказать, что руководство НПО "Ветроэн" оказалось не способно ни технически, ни организационно к выполнению поставленных задач, хотя и выступало одним из инициаторов в подготовке Постановления. Они решили спрятаться за непоставку Минэлектротехпромом СССР генераторов мощностью 4, 8, 16 и 30 кВт и таким образом уйти от ответственности, угробив порученное дело.

В Министерстве энергетики и электрификации СССР под руководством заместителя Министра Дьякова А.Ф. были разработаны проекты системных ВЭУ единичной мощностью 250 и 1000 кВт и проект Калмыцкой ВЭС мощностью 22 МВт. В МКБ "Радуга" (г.Дубна, Московской обл.) под руководством академика РАН Селезнева И.С. был разработан, изготовлен и впоследствии смонтирован на упомянутой ВЭС первый агрегат мощностью 1000 кВт. Однако, из-за недофинансирования довести ветроустановку не удалось и работы были прекращены на долгие годы.

Продолжение в следующем номере

Литература

1. Жуковский Н.Е. Полное собрание сочинений, публицистика. Том 6. Винты, ветряки, вентиляторы. Аэродинамическая труба. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР. Главная редакция авиационной литературы. 1937.
2. Красовский Н.В. Новое крыло для русской ветряной мельницы / Труды ЦАГИ. Выпуск №3 . 1923.
3. ЦАГИ. Основные этапы научной деятельности 1918-1968. М.: Машиностроение. 1976. 352с.
4. Энциклопедия по машиностроению XXL оборудование, материаловедение, механика. <https://mashxxl.info/page/111.204197022095020254060128125183030078204157081/9/07/2020>
5. Сабинин Г.Х. Гироскопический эффект ветряных двигателей и расчет поворотных ветряков / Труды ЦАГИ. Выпуск 22.1926.
6. Сабинин Г.Х. Теория идеального ветряка / Труды ЦАГИ. Выпуск 32. 1929.
7. Сабинин Г.Х. Теория аэродинамический расчет ветряных двигателей //Труды ЦАГИ. Выпуск 104. 1931.
8. Сидоров В.И. Ветро двигатели в Арктике. Издание второе дополненное. Издательство СМПИ. М.-Л. 1946. 169с.
9. Секторов В.Р. Балаклавская опытная ветроэлектростанция // Электричество. 1933. №19. С.51-54
10. Секторов В.Р. Современное состояние проектирования и опытного строительства крупных ветроэлектрических станций. //Электричество. 1933. №2. С.9-13.
11. Ананьев А.А., Седых С.Г., Шаманин В.С. Проблема использования ветра в СССР // Электричество. 1932. №14. С.716-718.
12. Горчаков П.К., Кондратьев Ю.В. Основные характеристики и перспективы ветроэнергетики // Электрические станции. 1939. № 10,11. С. 24-30.
13. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. М. ОГИЗ – Сельхозиздат. 1948.
14. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М.2006.
15. Лось С.И. Козак А.Р. Ветро дизельные станции на основе ветроэлектрических агрегатов АВЭ -250 СМ // Развитие возобновляемых источников энергии в России: возможности и практика (На примере Камчатского края) Сборник М.: ОМННО «Совет Гринпис»2006. С.49-51
16. Затопляев Б.С. Ветропарк в пос. Куликово Калининградской области // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С.58-65.

References

1. Zhukovskij N.E. Polnoe sobranie sochinenij, publicistika. Tom 6. Vinty, vetryaki, ventilyatory. Aerodinamicheskaya truba. M.-L.: ONTI NKTP SSSR. Glavnaya redakciya aviacionnoj literatury. 1937.
2. Krasovskij N.V. Novoe krylo dlya russkoj vetryanoj mel'nicy / Trudy CAGI. Vypusk №3 . 1923.
3. CAGI. Osnovnyye etapy nauchnoj deyatel'nosti 1918-1968. M.: Mashinostroenie. 1976. 352s.

4. Enciklopediya po mashinostroeniyu XXL oborudovanie, materialovedenie, mekhanika. <https://mashxxl.info/page/111.204197022095020254060128125183030078204157081/9/07/2020>
5. Sabinin G.H. Giroskopicheskij effekt vetryanyh dvigatelej i raschet povorotnyh vetryakov / Trudy CAGI. Vypusk 22.1926.
6. Sabinin G.H. Teoriya ideal'nogo vetryaka / Trudy CAGI. Vypusk 32. 1929.
7. Sabinin G.H. Teoriya aerodinamicheskij raschet vetryanyh dvigatelej //Trudy CAGI. Vypusk 104. 1931.
8. Sidorov V.I. Vetrodvigateli v Arktike. Izdanie vtoroe dopolnennoe. Izdatel'stvo SMP. M.-L. 1946. 169s.
9. Sektorov V.R. Balaklavskayaopytnayavetroelektrostanciya // Elektrichestvo. 1933. №19. S.51-54
10. Sektorov V.R. Sovremennoe sostoyanie proektirovaniya i opytnogo stroitel'stva krupnyh vetroelektricheskijh stancij.//Elektrichestvo. 1933. №2. S.9-13.
11. Anan'ev A.A., Sedyh S.G., SHamanin V.S. Problema ispol'zovaniya vetra v SSSR // Elektrichestvo. 1932. №14. S.716-718.
12. Gorchakov P.K., Kondratyuk YU.V. Osnovnye harakteristiki i perspektivy vetroener-getiki // Elektricheskie stancii. 1939. № 10,11. S. 24-30.
13. Fateev E.M. Vetrodvigateli i vetroustanovki. M. OGIZ – Sel'hozizdat. 1948.
14. Haritonov V.P. Avtonomnye vetroelektricheskie ustanovki. M.2006.
15. Los' S.I. Kozak A.R. Vetrodizel'nye stancii na osnove vetroelektricheskijh agregatov AVE-250 SM // Razvitie vozobnovlyaemyh istochnikov energii v Rossii: voz-mozhnosti i praktika (Na primere Kamchatskogo kraja) Sbornik M.: OMNNO «Sovet Gripis»2006. S.49-51
16. Zatoplyayev B.S. Vetropark v pos. Kulikovo Kaliningradskoj oblasti // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2018. № 2. S.58-65.

The Hundred Years of Wind Industry Development in Russia. Part 1

Butuzov Vitaly¹, Bezrukikh Pavel², Gribkov Sergey³

¹Kuban' State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

²National Research University MPEI, Moscow, Russia

³Technical Center Windeq, Moscow, Russia

¹E-mail: butuzov@newmail.ru

²E-mail: bezruky80veter@yandex.ru

³E-mail: windec@mail.ru

Abstract. The world wind industry in 2019 with a capacity of 650.7 GWB was in the second place among renewables. The total capacity of Russian wind plants at the same year was 630.5 MW. The article point on the financial arrangements for wind station development, the principle investors and equipment producers.

The work presents an analysis of 100-year development of the Russian scientific school, implementations of their concepts, the principle designs of wind turbine. There are noticed the roles of N.E. Zhukovsky as a founder of Russian wind industry, and of his pupils, activities of such institutions as CAHI, Central Wind-Industrial, Electrification and Mechanization of Agriculture, NPO Vetroen. There are pointed on the principle achievements of the Soviet wind industry: a wind power plant in Balaklava (100 kW, 1931), wind engines VD-8 (1300 units, 1936), Arctic wind power stations CVEI-D-12 (15 kW, 1936), a wind-diesel station in Kazakhstan (400 kW, 1957).

The article reviews the first wind plants in the CIS countries, in Crimea - 110 MW on the base of the KB Yuzhnoe (Dnepropetrovsk) wind turbines, at Kulkovo village in Kaliningrad region – 5.1 MW, gives a list of the major wind and wind-diesel plants and evaluates the prospects of Russian wind industry development.

Key words: wind industry, wind turbine, wind plant, wind engine, wind wheel, wind-diesel plant, wind mills, wind blades, mast, electricity generator, inertial energy-storage device, Central Aero-and-Hydrodynamical Institute (CAHI), Northern Sea Route (NSR).