В. И. СИДОРОВ

ВЕТРОДВИГАТЕЛИ В АРКТИКЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЛАВСЕВМОРПУТИ
МОСКВА 1941 ЛЕНИНГРАД

КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТОК
СРОКОВ ВОЗВРАТА

КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА

Колич. пред. выдач

2020.

ООО «Типография «Полиграфист», Зак. 61. Тираж 20 000

В. И. СИДОРОВ

ВЕТРОДВИГАТЕЛИ В АРКТИКЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЛАВСЕВМОРПУТИ
Москва —1 9 4 1— Ленинград

ВВЕДЕНИЕ

Ветродвигатель — изобретение очень древних времен. Водяное колесо и ветряные установки были первыми двигателями, при помощи которых человек превращал силы природы в механическую работу.

В течение многих столетий устройство ветродвигателя оставалось почти неизменным. Использовался этот двигатель главным образом в сельском хозяйстве, самым примитивным способом. Поведение его целиком зависело от поведения ветра: ветер сильнее—ветровое колесо вращается быстрее, ветер порывистый—и колесо вращается неравномерно. Это могло быть допустимым только при таких несложных работах, как помол зерна или накачивание воды из водоемов. Но для других целей, например для промышленных, двигатель, обладающий такими свойствами, не мог быть использован. Поэтому до появления парового двигателя энергетической базой основных отраслей промышленности служило водяное колесо, работавшее более равномерно, чем ветродвигатель.

Во второй половине XVIII века в промышленность пришел паровой двигатель, а позднее—двигатель внутреннего сгорания. Люди научились получать и использовать всеобщую форму энергии—электричество. Индустриальная техника позволяла создавать мощные и сверхмощные энергоустановки, используя в качестве источников энергии нефть, уголь, торф, древесину и воду. Значение же ветряков, этих несложных и неприхотливых двигателей, перерабатывающих даровую энергию ветра, никем по-настоящему не было оценено.

Такое незаслуженно пренебрежительное отношение к ветротехнике привело к тому, что эта область энергетики во всех странах мира развивалась слабо. Исключение представляют только США, где еще в конце XIX века работало несколько заводов, изготовлявших ветродвигатели[1].

---

[1] Красовский, Как использовать энергию ветра.

Империалистическая война 1914—1918 гг., истощившая сырьевые базы горючего (например в Германии), вызвала интерес к ветроэнергетике и положила начало ее развитию на базе индустриальной техники.

В дореволюционной России ветродвигатели использовались только в сельском хозяйстве. Ветродвигатели были деревянные, кустарные, изготовлялись они на месте сборки. Промышленность ветродвигателями не занималась совершенно.

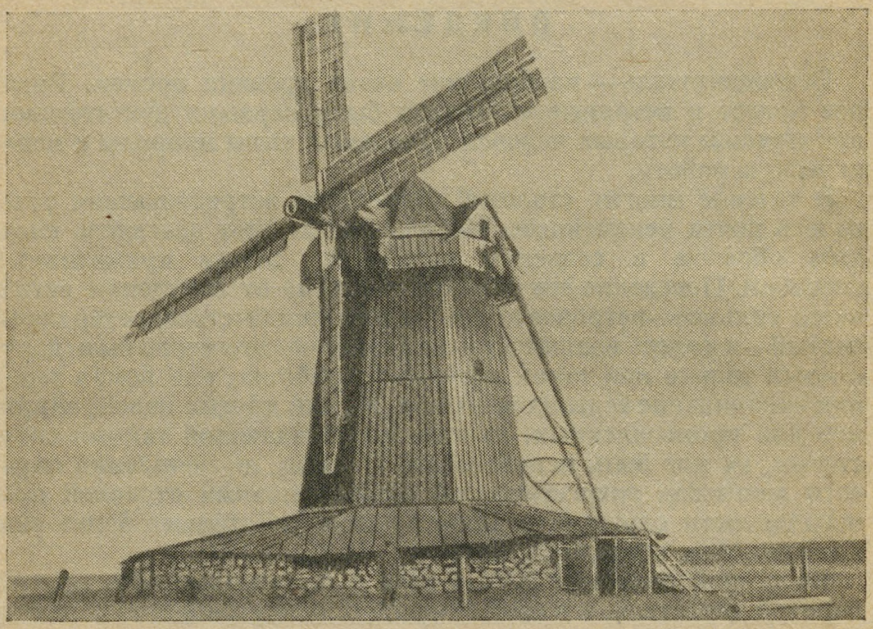


Рис. 1. Шатровая ветряная мельница кустарного типа

Для того чтобы ветродвигатель мог быть использован в такой же степени, как двигатель внутреннего сгорания или гидротурбина, он должен работать с постоянным числом оборотов, независимо от скорости ветра. Следовательно, нужно было создать ветродвигатель с автоматическим регулированием. Эта задача была успешно разрешена у нас в СССР только после Октябрьской революции.

Начало теоретической разработке ветроиспользования было положено отцом русской авиации—проф. Н. Е. Жуковским. Его работы были продолжены и углублены группой его учеников—Г. Х. Сабининым, Н. В. Красовским, И. В. Смирновым,

В. С. Шаманиным, В. В. Уткиным-Егоровым—и подтверждены опытами и экспериментами в специально оборудованной ветросиловой лаборатории при ЦАГИ. В результате многолетней работы Центрального ветроэнергетического института при ЦАГИ было создано несколько различных конструкций быстроходных ветродвигателей для целей электрификации мощностью от 150 *вт* до 1 000 *квт*.

Большинство этих ветродвигателей уже несколько лет находится в эксплоатации и показало прекрасные качества. Часть из них намечена к серийному, часть—к массовому выпуску. В ближайшие годы наша страна должна получить дополнительную энергетическую базу, которая усилит развитие механизации во многих отраслях нашего народного хозяйства и вместе с тем позволит сэкономить многие сотни тонн горючего.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ И РАБОТЕ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ

Основным рабочим механизмом современного ветродвигателя является ветровое колесо, вращающееся в вертикальной плоскости перпендикулярно потоку ветра.

Ветровое колесо устанавливается на горизонтальном валу головки ветродвигателя. Внутри головки размещен зубчатый передаточный механизм. Со стороны, противоположной ветровому колесу, к головке крепится хвост (руль поворота головки).

Все эти механизмы монтируются на высокой металлической башне, которая выносит ветровое колесо в более высокие слои воздушного потока, где нет препятствий, вызывающих завихрения. В нижней части башни помещается нижний передаточный механизм—редуктор, от которого идет передача на генератор или какой-либо другой агрегат. Нижняя передача связана с верхней посредством вертикальной трансмиссии, проходящей внутри башни.

Такова в общих чертах схема устройства наиболее распространенных типов ветродвигателей. Некоторые конструкции имеют отступления от указанной схемы. Например, у более мощных ветродвигателей рулем поворота служит не хвост, а две виндрозы; у ветродвигателей малой мощности основанием служит столб с растяжками и т. д. Особенности каждой из современных советских конструкций ветродвигателей будут рассмотрены в следующей главе. Здесь мы рассмотрим вкратце принципы работы ветродвигателя.

Устройство и работа ветрового колеса

На рис. 2 изображена схема устройства ветрового колеса. На горизонтальной оси *xx* закреплены крылья (в современных быстроходных ветродвигателях устанавливается от двух до четырех крыльев). Крыло состоит из маха *a* и лопасти *b*. Лопасть закрепляется на махе таким образом, что она образует угол с плоскостью вращения. Этот угол называется **углом заклинения**; обозначают его греческой буквой φ (фи). Угол, образуемый лопастью с направлением ветра, называется **углом атаки**; его обозначают буквой α (альфа).

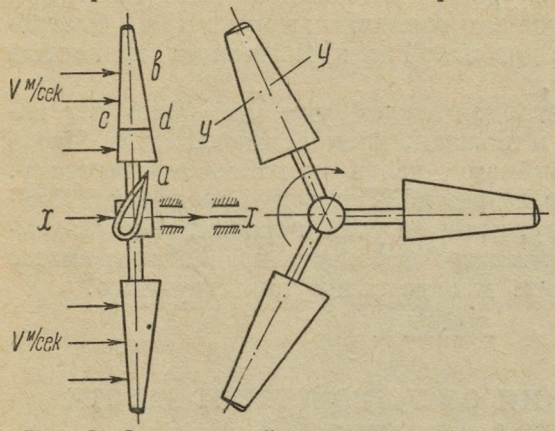


Рис. 2. Схема устройства ветрового колеса

Сечение крыла по *cd*, перпендикулярно его оси, показано на рис. 3. Вращение ветрового колеса происходит в плоскости *yy*. При набегании ветра на ветровое колесо на его крыльях возникает подъемная сила *R*, которая может быть разложена на две составляющие: силу P_x, действующую на плоскость ветрового колеса по оси *xx*, и силу P_y, действующую в плоскости вращения ветрового колеса в направлении движения лопастей. Эта сила приводит колесо во вращение. При конструировании ветродвигателей стремятся уменьшить силу P_x, как тормозящую движение ветрового колеса, и увеличить силу P_y.

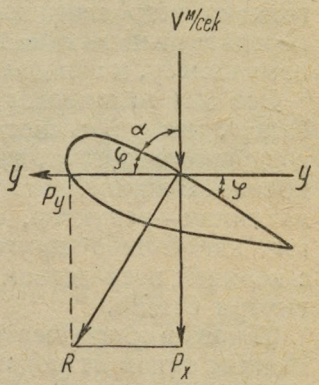


Рис. 3. Схема действия сил на лопасть ветрового колеса

При вращении ветрового колеса воздушный поток будет набегать на него с относительной скоростью ω, которая составляется из двух скоростей: скорости ветра и окружной скорости крыла. Окружной скоростью крыла называется та скорость, с которой перемещается какая-либо определенная точка лопасти в плоскости вращения ветрового колеса.

Пусть эта точка находится на расстоянии r от оси. За один оборот ветрового колеса она опишет путь, равный $2\pi r$ (длина окружности). Если ветровое колесо делает n оборотов в минуту, то путь, пройденный данной точкой в минуту, будет

$$S = 2\pi rn.$$

Разделив эту величину на 60, получим окружную скорость точки лопасти

$$u = \frac{2\pi rn}{60} = \frac{\pi rn}{30}.$$

Выражение $\frac{\pi n}{30}$ в полученной формуле показывает величину угла в радианах[1], проходимого данной точкой лопасти в 1 секунду. Эта величина называется угловой скоростью и обозначается буквой ω (омега):

$$\omega = \frac{\pi n}{30}.$$

Следовательно, окружную скорость точки лопасти можно выразить через угловую скорость:

$$u = \omega r.$$

Это выражение показывает, что окружная скорость зависит от расстояния r данной точки от оси ветрового колеса. Следовательно, чем больше это расстояние, т. е. чем дальше от центра рассматриваемый элемент лопасти, тем больше будет окружная скорость. При слишком большой окружной скорости на концах лопастей в плоскости вращения ветрового колеса возникают значительные лобовые сопротивления. Чтобы избежать излишних потерь на концах крыльев, угол заклинения φ, от величины которого зависит величина лобового сопротивления, делают переменным, т. е. по мере удаления от оси вращения ветрового колеса его уменьшают. Изменение угла заклинения вызывает изменение и угла атаки, поэтому лопасти крыла современного ветродвигателя имеют винтовую поверхность.

Установ на ветер

Количество энергии ветра, воспринимаемое ветровым колесом, зависит от положения ветрового колеса по отношению

---

[1] Радианом называется угол, дуга которого равна радиусу окружности; в градусной мере радиан равен 57°17′44,8″.

к направлению потока ветра. Наибольшее количество воздушной массы будет протекать через ветровое колесо в том случае, когда плоскость вращения ветрового колеса перпендикулярна направлению потока. Следовательно, ветродвигатель должен иметь механизм, автоматически устанавливающий ветровое колесо перпендикулярно потоку ветра.

Наиболее распространен способ установа на ветер с помощью рулевого хвоста.

Рулевой хвост закреплен на головке ветродвигателя перпендикулярно плоскости вращения ветрового колеса. Таким образом, поток ветра, перпендикулярный ветровому колесу, будет параллельным хвосту. При таком направлении ветра на оперении хвоста не возникает никаких сил, которые могли бы вызвать отклонение его в ту или другую сторону. Как только ветер изменит свое направление, на оперении возникает боковая сила, которая начинает повертывать хвост, а следовательно, и головку и поворачивает их до тех пор, пока хвост не станет параллельно потоку ветра, а ветровое колесо—перпендикулярно ему.

Установ на ветер с помощью рулевого хвоста применяется у ветродвигателей небольшой мощности—до 20 *л. с.* Для ветродвигателей мощностью от 20 до 150 *л. с.* такой способ не может быть применен, так как хвост получался бы слишком громоздким и тяжелым. У этих ветродвигателей ветровое колесо устанавливается на ветер при помощи виндроз. Виндрозами называются небольшие многолопастные ветровые колеса. Два таких колеса устанавливаются на головке ветродвигателя параллельно друг другу и перпендикулярно плоскости вращения ветрового колеса.

При потоке ветра, направленном перпендикулярно плоскости вращения ветрового колеса, виндрозы остаются неподвижными, так как по отношению к ним этот поток направлен параллельно и, следовательно, не оказывает на них никакого действия. Как только ветер изменит свое направление, виндрозы под его давлением начинают вращаться. От виндроз посредством шестеренной передачи получает вращение и головка ветродвигателя с ветровым колесом. Действие виндроз продолжается до тех пор, пока ветровое колесо не встанет снова в плоскость, перпендикулярную потоку ветра.

У ветродвигателей большой мощности—свыше 100 *л. с.*, предназначаемых для электрификации, ветровое колесо устанавливается на ветер электрическим способом—от электромотора, который автоматически включается в работу при изменении направления ветра.

Регулирование числа оборотов ветродвигателя

Энергия ветра чрезвычайно непостоянна. В течение короткого промежутка времени, исчисляемого секундами, скорость ветра может измениться два-три раза, а иногда и более. Так как энергия ветра пропорциональна кубу скорости ветра (об этом подробнее будет сказано ниже), то всякое изменение скорости ветра вызовет очень резкое изменение силы ветра, действующей на ветровое колесо, и, следовательно, резкое изменение числа оборотов его. Для работы ветродвигателя с любой машиной требуется, чтобы число оборотов ветрового колеса было постоянным, т. е. ветродвигатель должен регулироваться. Регулированием ветродвигателя называется такое изменение положения ветрового колеса или его лопастей по отношению к потоку ветра, которое позволяет сохранять при изменении скорости ветра заданное постоянное число оборотов.

Существуют два способа регулирования ветродвигателя: 1) выводом ветрового колеса из-под ветра; 2) поворотом лопасти или части ее около оси маха.

Первый способ основан на том, что при действии ветра на ветровое колесо под углом через площадь, ометаемую крыльями, протекает меньшее количество воздушной массы. Автоматическое регулирование по этому способу называется регулированием по системе «Эклипс». Оно может осуществляться двояко: при помощи лопаты, которая устанавливается сбоку за ветровым колесом, с правой или с левой стороны его оси вращения, или помещением оси вращения ветрового колеса эксцентрично, т. е. вправо или влево от вертикальной оси поворота головки ветродвигателя.

В советских конструкциях ветродвигателей применяется преимущественно способ регулирования поворотом всей лопасти или части ее вокруг оси маха.

Этот способ в различных конструкциях осуществляется поразному. Существуют системы регулирования проф. Сабинина и Красовского, инж. Шаманина, инж. Панкратова и инж. Уткина-Егорова. В системе проф. Сабинина и Красовского лопасть выводится из-под ветра при помощи стабилизатора, центробежной тяги и регулирующей пружины. Эти три элемента кинематически связаны трехплечими рычагами (см. рис. 5 и 6). Один трехплечий рычаг, помещающийся в начале лопасти—у тройника, связывает тягу с пружиной регулирования и с кольцевой муфтой останова; другой рычаг, находящийся в поворотной части лопасти, связывает верхний конец тяги с тягами стабилизатора. Стабилизатором называется

открылок, который крепится на стойках к поворотной части лопасти.

При повышении числа оборотов ветрового колеса сверх нормального тяга регулирования под действием больших центробежных сил передвигается от центра к концу лопасти, растягивая пружину регулирования. При этом изменяется угол, образуемый стабилизатором по отношению к потоку ветра. На стабилизаторе возникает подъемная сила, которая поверты-вает поворотную часть лопасти и выводит ее из-под ветра.

Таким образом создается торможение, и число оборотов ветрового колеса уменьшается. В связи с этим уменьшаются и центробежные силы, пружина регулирования возвращает стабилизатору прежний угол, и стабилизатор снова ставит лопасть в рабочее положение.

Инж. Шаманин использовал для регулирования моменты инерции массы лопасти и компенсирующих грузов, крепящихся к маху на штанге. Эти грузы и выводят лопасть из-под ветра при увеличении числа оборотов сверх нормального. Система регулирования инж. Шаманина изложена ниже, при описании ветродвигателя ВИСХОМ РД-1,5.

В системе регулирования инж. Панкратова лопасть поворачивается центробежными грузами, помещенными внутри лопасти, и пружиной, укрепленной на махе.

Система регулирования инж. Уткина-Егорова представляет дальнейшее развитие системы инж. Шаманина.

В регулировании по системе инж. Уткина-Егорова использованы момент инерции лопасти, стремящийся поставить ее в плоскость вращения ветрового колеса, и пружина, которая производит обратное действие, т. е. выводит лопасть из-под ветра.

Конструкция регулирования инж. Уткина-Егорова является позднейшей и наиболее совершенной из современных конструкций. Она позволяет ветродвигателю работать в любом диапазоне скоростей ветра с наперед заданной неравномерностью (от ± 2 до $\pm 0{,}5\%$). Повышение числа оборотов и выход из режима с увеличением скорости ветра при этой системе регулирования совершенно исключаются. Кроме того, эта система регулирования позволяет работать без добавочных инерционных грузов.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В этом разделе будут разобраны конструкции быстроходных ветродвигателей, применяемых в Советском Союзе для электрификации. В первую очередь к ним относятся ветродвигатели

Центрального ветроэнергетического института: ЦВЭИ Д-8, 3ЦВЭИ Д-12, 3ЦВЭИ—ВИМЭ Д-12, ВИМЭ Д-18, ЦВЭИ Д-30; быстроходные ветродвигатели малой мощности: ВИМЭ Д-3, ВИСХОМ Д-3 и ВИМЭ Д-5. Многие из этих ветродвигателей работают уже несколько лет в Арктике и завоевали себе прочные права гражданства и уважение полярников. Быстроходные ветродвигатели малой мощности работают в высокогорных экспедициях, где их используют для зарядки аккумуляторов, для питания радиостанций и освещения лагеря экспедиции. Вкратце будут рассмотрены также конструкции ветродвигателей, выпускаемых в промышленном масштабе за границей.

Ветродвигатели средней и большой мощности

Ветродвигатель ЦВЭИ Д-8 (рис. 4). Ветродвигатель ЦВЭИ Д-8 конструкции Центрального ветроэнергетического института—трехлопастный, быстроходного типа. Диаметр ветрового колеса—8 *м*. Мощность ветродвигателя—6 *квт*. Нормальное число оборотов ветрового колеса в минуту под нагрузкой—73, без нагрузки—76, передаточное число—9, следовательно число оборотов на шкиве редуктора $73 \times 9 = 657 \approx 660$. Система регулирования ветродвигателя ЦВЭИ Д-8 — проф. Сабинина: поворотом конца лопасти от стабилизатора.

Принцип регулирования ветродвигателя Д-8, значительно измененный и усовершенствованный, был применен в дальнейшем в конструкциях ветродвигателей большой мощности—ЦВЭИ Д-10, 3ЦВЭИ Д-12, ВИМЭ Д-18, ЦВЭИ Д-30 и ЦВЭИ Д-50 (мощностью в 1 000 *квт*).

Система регулирования с поворотом конца лопасти при помощи стабилизатора была создана не сразу. Вначале при тех же элементах, т. е. центробежных тягах и стабилизаторе, была разработана система регулирования поворотом не части лопасти, а всей лопасти около оси маха. Но в дальнейшем от регулирования поворотом всей лопасти отказались, так как это усложняло настройку ветродвигателя. Сложность обуславливалась наличием вредных моментов, возникающих в лопастях во время вращения ветрового колеса. Для уничтожения вредных моментов к лопасти добавлялись компенсирующие грузы, сильно утяжелявшие конструкцию.

Ветродвигатель ЦВЭИ Д-10. Ветродвигатель ЦВЭИ Д-10 является исключительно испытательным образцом. По этому образцу в лаборатории ветродвигателей ЦАГИ разработано регулирование для ряда быстроходных ветродвигателей—3ЦВЭИ Д-12 и других, более мощных.

У ветродвигателей ЦВЭИ Д-10 механизм регулирования всех трех крыльев связан в один узел муфтой останова, которая служит одновременно муфтой регулирования. Муфта регулирования связана с пружиной регулирования, помещенной

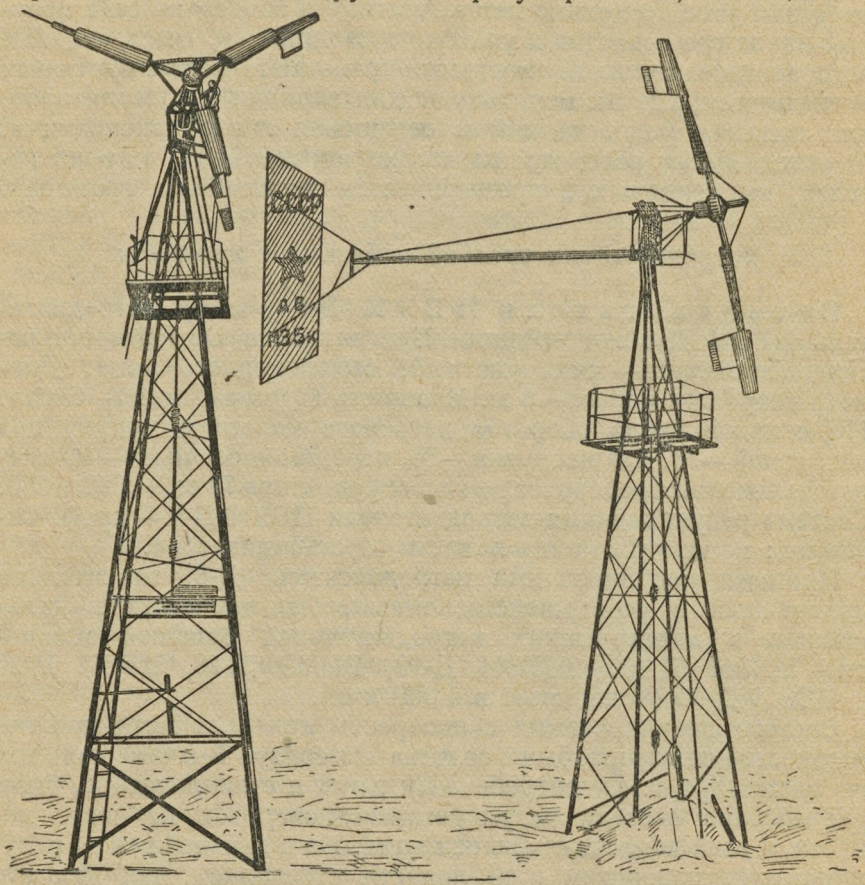


Рис. 4. Ветродвигатель типа ЦВЭИ Д-8

в передней части ветрового колеса (рис. 5). Колебания числа оборотов ветрового колеса у ветродвигателя ЦВЭИ Д-10 происходят в пределах $\pm 4\%$.

Ветродвигатель ЗЦВЭИ Д-12. Ветродвигатель ЗЦВЭИ Д-12 был оформлен конструктивно в конце 1934 г. и изготовлен в 1935 г.

Принцип регулирования этого двигателя тот же, что и у двигателя ЦВЭИ Д-10, но с некоторым конструктивным изменением.

Опыт показал, что система регулирования ЦВЭИ Д-10 вполне пригодна в тех случаях, когда ветродвигатель работает с электрической машиной непосредственно на сеть. Но испытания на полигоне показали, что общая для всех трех лопастей пружина регулирования не вполне удачна, так как часто для одной лопасти пружину регулирования надо затянуть больше, чем для другой. Кроме того, были случаи заедания муфты регулирования; муфта лопалась, и система регулирования выходила из строя.

При конструировании ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12 учли недостатки этой системы регулирования и внесли некоторые изменения в конструкцию механизма (рис. 6): вместо общей пружины поставили отдельные пружины для каждого крыла позади трубы маха и отдельную пружину для механизма пуска и останова, что придало системе большую гибкость, удобство в настройке и эксплоатации. Пределы колебания числа оборотов при этой системе—от $\pm 1{,}6$ до $\pm 2{,}4\%$. Это позволяет с еще большим успехом использовать ветродвигатель для работы с электрогенератором на электрическую сеть через буферную стационарную батарею, как это сделано на полярных станциях.

Ветродвигатель ВИМЭ Д-12. Ветродвигатель ВИМЭ Д-12 сконструирован Всесоюзным институтом механизации и электрификации сельского хозяйства на основе опыта

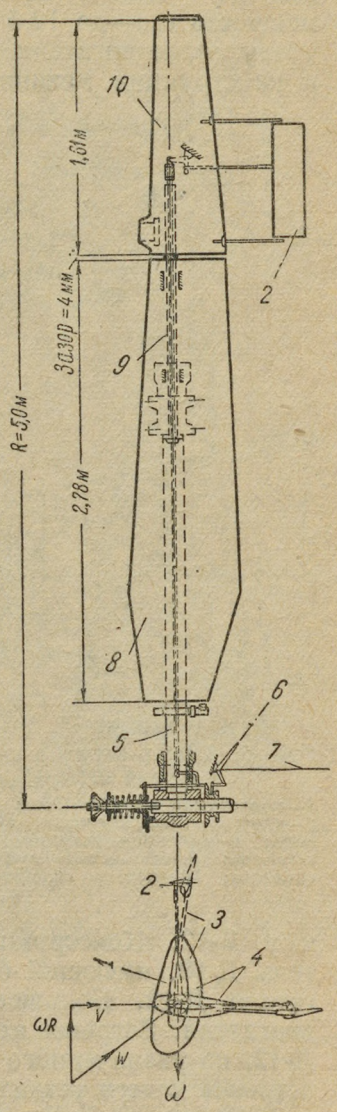


Рис. 5. Крыло ветродвигателя ЦВЭИ Д-10 с самоустанавливающейся частью лопасти:

1—жесткая часть лопасти; *2*—стабилизатор; *3*—рабочее положение стабилизатора; *4*—положение на останов; *5*—мах жесткой части лопасти; *6*—рычаг останова; *7*—положение рычага на останов; *8*—жесткая часть лопасти; *9*—мах средней части лопасти; *10*—самоустанавливающаяся часть лопасти

эксплоатации в Арктике ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12. В основном ветродвигатель ВИМЭ Д-12 (рис. 7) предназначен для сельского хозяйства. Это ветродвигатель облегченного типа, мощность его—до 12,5 *квт*. Механизм регулирования тот же, что у ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12. Некоторое отличие есть в конструкции механизма останова, механизма установа на ветер головки ветродвигателя и в нижней передаче. Ветровое колесо ВИМЭ Д-12 делает 70 оборотов в минуту, передаточное отношение от вала ветрового колеса к валу шкива редуктора $i=6$, число оборотов шкива в минуту—420. Редуктор имеет два шкива различных диаметров—800 и 500 *мм*, что позволяет использовать ветродвигатель одновременно на две различные нагрузки.

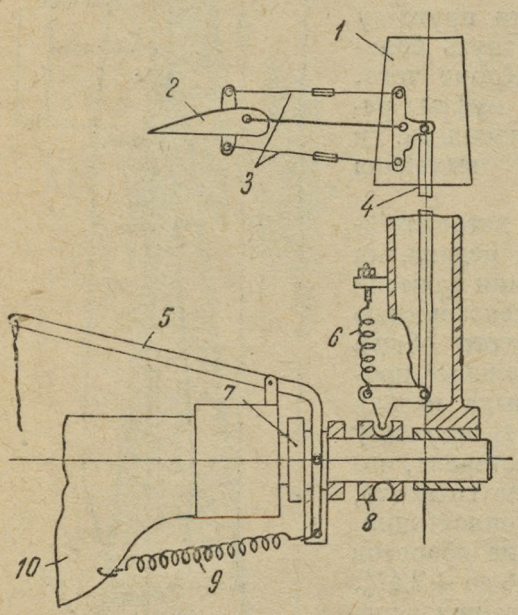


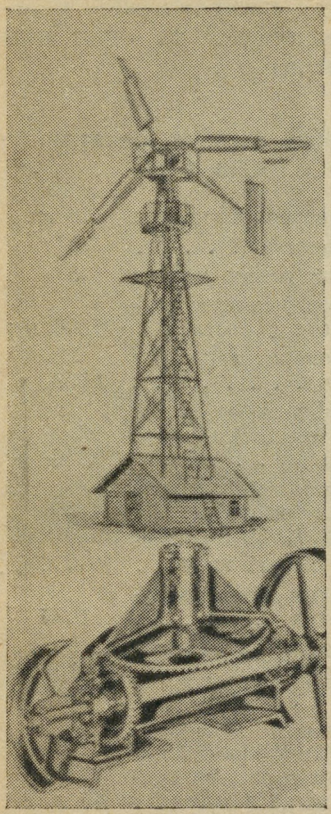
Рис. 6. Схема регулирования ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12:

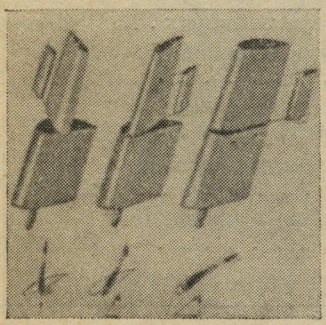
1—поворотная часть лопасти; *2*—стабилизатор; *3*—трос; *4*—тяга регулирования; *5*—рычаг останова; *6*—пружина регулирования; *7*—муфта останова; *8*—кольцевая муфта; *9*—пружина останова; *10*—картер головки ветродвигателя

Ветродвигатель ВИМЭ Д-18. Ветродвигатель ВИМЭ Д-18 (рис. 8) имеет ветровое колесо диаметром 18 *м*; колесо делает 50 оборотов в минуту; мощность при скорости ветра 8—9 *м/сек* — 35 *квт*.

Регулирование этого двигателя построено на том же принципе, что и у Д-12. Конструкцией же основных узлов ветродвигатель Д-18, имеющий бо̀льшую мощность, отличается от двигателя Д-12. Большое отличие имеет конструкция головки двигателя. Ветровое колесо у него такое же, как у двигателя Д-12, но увеличенного размера. У ветродвигателей Д-8 и Д-12 ветровое колесо устанавливается на ветер при помощи хвоста, у Д-18—при помощи двух виндроз.

Останавливается ветродвигатель Д-18 так же, как двигатель конструкции ВИМЭ Д-12, т. е. снизу, при помощи лебедки останова.





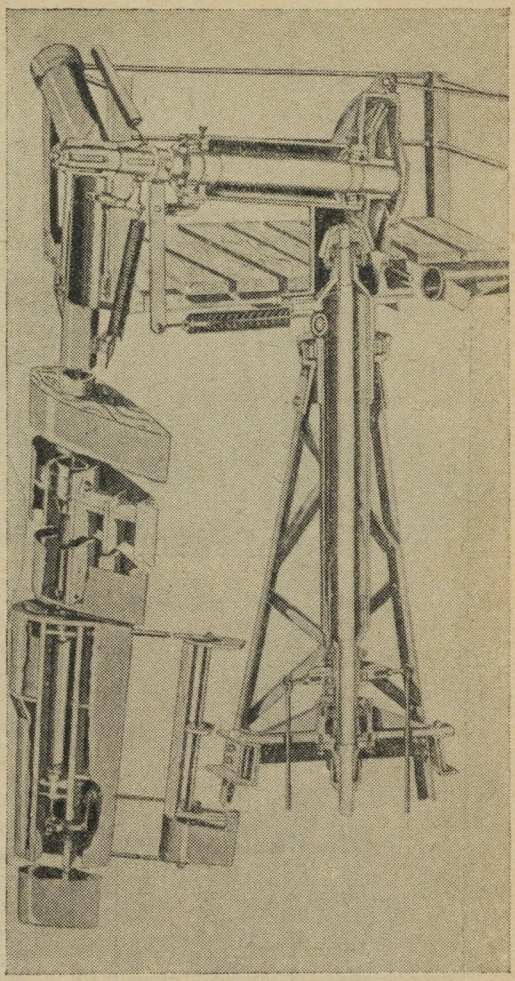
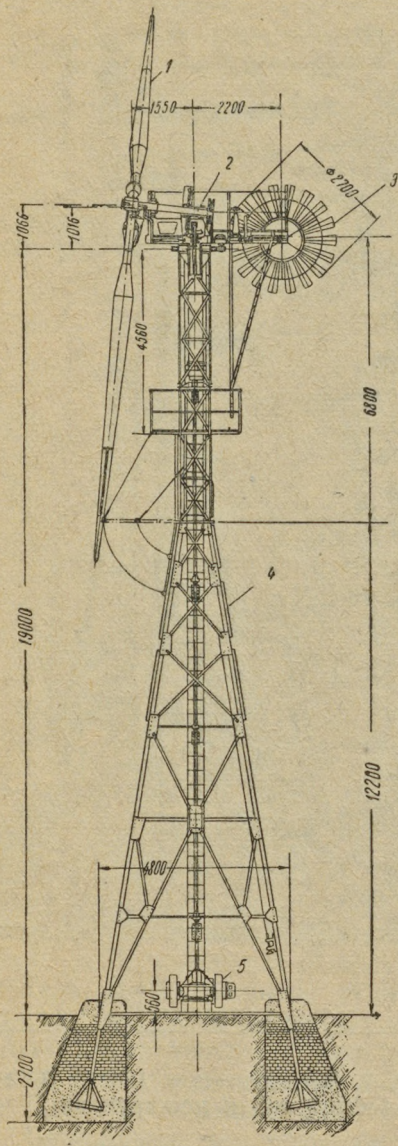


Рис. 7. Ветродвигатель ВИМЭ Д-12 (общий вид и конструкция)

Редуктор (нижняя передача) в этом ветродвигателе, выполненный по типу редуктора ВИМЭ Д-12, очень портативный. С двух его шкивов можно передавать мощность на один или два генератора.



Основные размеры двигателя ВИМЭ Д-18

Диаметр ветрового колеса	18 *м*
Число лопастей	3
Модуль ветрового колеса	5
Длина жесткозакрепленной части лопасти . .	6 060 *мм*
Длина поворотной части лопасти	2 955 »
Высота башни от земли до оси вращения ветрового колеса	20 066 »
Число оборотов ветрового колеса в минуту . . .	50
Неравномерность вращения ветрового колеса .	2—2,5%
Коэфициент использования ветра	0,33
Диапазон рабочих скоростей ветра	от 4,5 до 40 *м/сек*
Номинальная мощность ветродвигателя на шкиве редуктора при скорости ветра 9 *м/сек* . .	45 *л. с.*
Число оборотов шкива редуктора в минуту . .	450
Общее передаточное число	9
Раствор ног башни в основании	5 *м*
Общая площадь основания	5×5=25 $м^2$
Общий вес ветродвигателя	12,5 *т*

Рис. 8. Ветродвигатель ВИМЭ Д-18:

1—ветровое колесо; *2*—головка ветрового колеса; *3*—механизм установа на ветер (виндроза); *4*—башня; *5*—редуктор

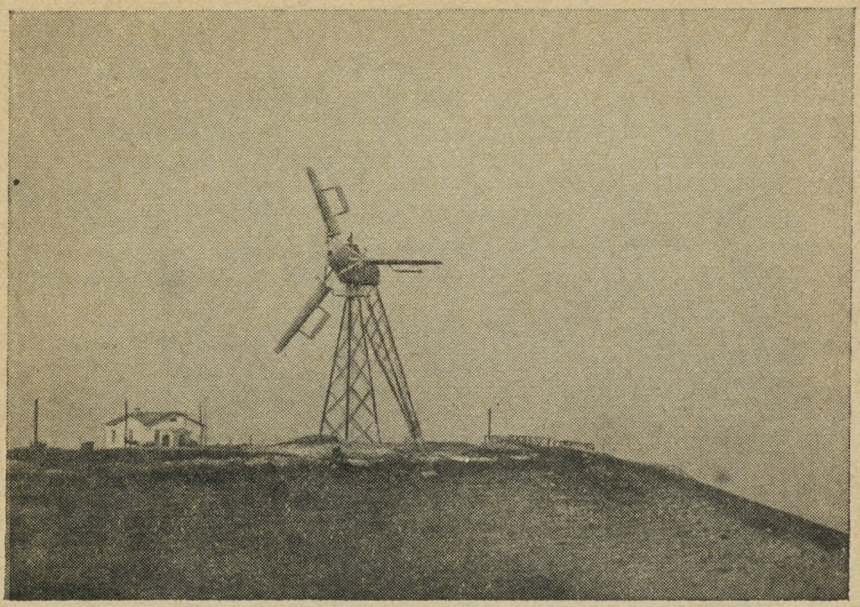


Рис. 9. Ветродвигатель ЦАГИ Д-30, установленный в Балаклаве

Мощность ветродвигателя ВИМЭ Д-18 в зависимости от скорости ветра указана в табл. 1.

Таблица 1

Скорость ветра в *м/сек*	5	6	7	8	9 и выше
Мощность на шкиве редуктора в *л. с.* . .	0,88	7,1	17,8	30,7	45

Ветродвигатель ЦВЭИ Д-30. Ветродвигатель Д-30 в первоначальной конструкции был разработан ЦАГИ в 1930 г. и установлен в Балаклаве (Крым). Работает он с генератором переменного трехфазного тока мощностью в 100 *квт* (рис. 9).

Система регулирования у ветродвигателя ЦВЭИ Д-30— проф. Г. Х. Сабинина и Н. В. Красовского—поворотом всей лопасти около оси маха при помощи стабилизатора.

Ветродвигатель Д-30 считается самой мощной в мире ветроэлектрической станцией; он имеет наиболее совершенную кон-

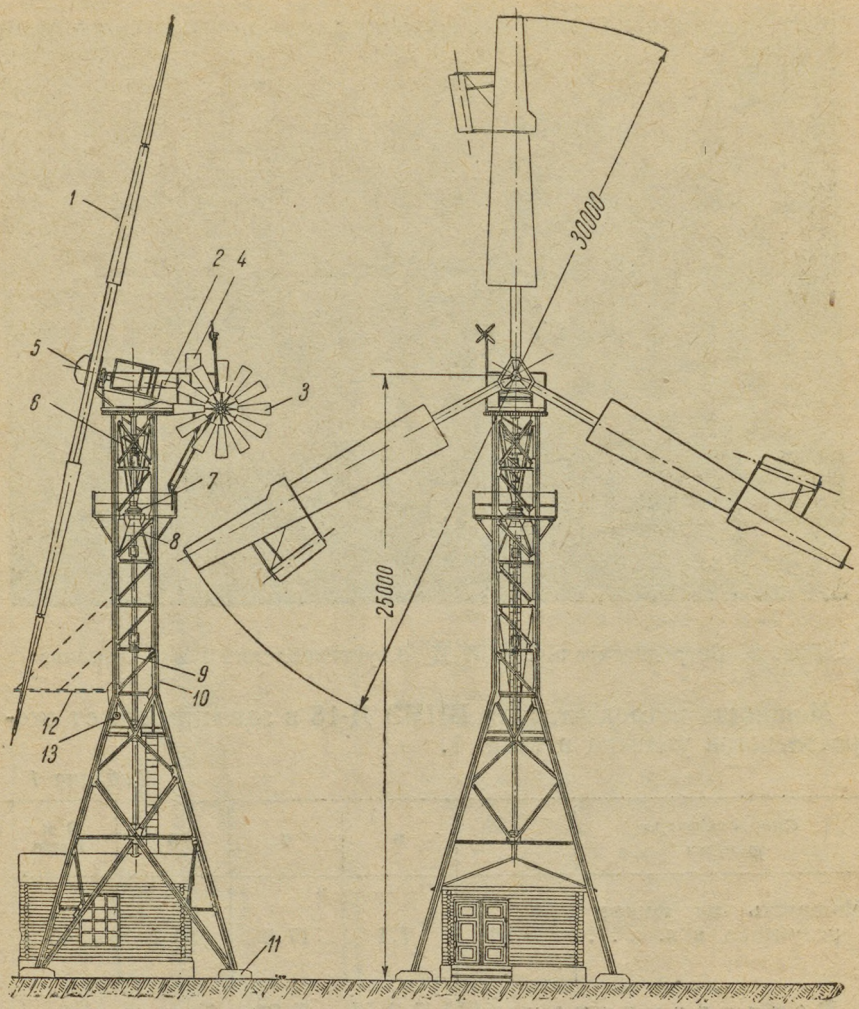


Рис. 10. Схема устройства ветродвигателя ЦВЭИ Д-30:

1—ветровое колесо; *2*—головка с балконом и подвижной лестницей; *3*—виндроза; *4*—контурная панель; *5*—цевочная передача от виндроз; *6*—опорный штырь; *7*—нижняя опора штыря; *8*—кольцевой токоприемник; *9*—вертикальный вал; *10*—башня; *11*—фундамент; *12*—откидной балкон; *13*—подъемный механизм балкона

струкцию регулирования, позволяющую двигателю работать на общую севастопольскую электрическую сеть.

В настоящее время создана измененная и несколько облегченная конструкция ветродвигателя ЦВЭИ Д-30 (рис. 10). В новой конструкции усовершенствовано регулирование, гене-

ратор из кабины головки перенесен вниз. Установлена вертикальная трансмиссия с нижней передачей, что уменьшило вес ветродвигателя. Ветровое колесо в этой конструкции устанавливается на ветер при помощи виндроз. Двигатель регулируется поворотом не всей лопасти, а части ее, как у ЗЦВЭИ Д-12, что намного упростило настройку регулирования ветродвигателя. У первой конструкции механизм регулирования был утяжелен компенсирующими грузами, которыми уничтожают вредные моменты, возникающие в лопастях во время работы ветрового колеса.

Основные показатели ветродвигателя ЦВЭИ Д-30

Диаметр ветрового колеса	30 *м*
Число лопастей	3
» оборотов ветрового колеса в минуту	25
Неравномерность вращения ветрового колеса	±2,5—3%
Число оборотов горизонтального вала нижнего редуктора в минуту	1 006
Диапазон рабочих скоростей ветра	от 5 до 60 *м/сек*
Мощность на горизонтальном валу редуктора	78 *л. с.*
Мощность на клеммах генератора при скорости ветра 8 *м/сек*	50 *квт*
Высота от земли до оси головки вала	25 *м*
Вес ветродвигателя	42 *т*

Мощность, развиваемая ветродвигателем в зависимости от скорости ветра, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Скорость ветра в *м/сек*	5	6	7	8	9
Мощность на клеммах генератора в *квт*	4,5	15	32,5	50	67,5
Мощность на горизонтальном валу редуктора в *л. с.*	12	30	55	78	103

В табл. 3 приведена потенциально возможная годовая выработка ветроустановки без учета работы резервного двигателя.

Таблица 3

Среднегодовая скорость ветра в *м/сек*	6	7	8
Годовая выработка в *квт-ч*	215 000	335 000	460 000

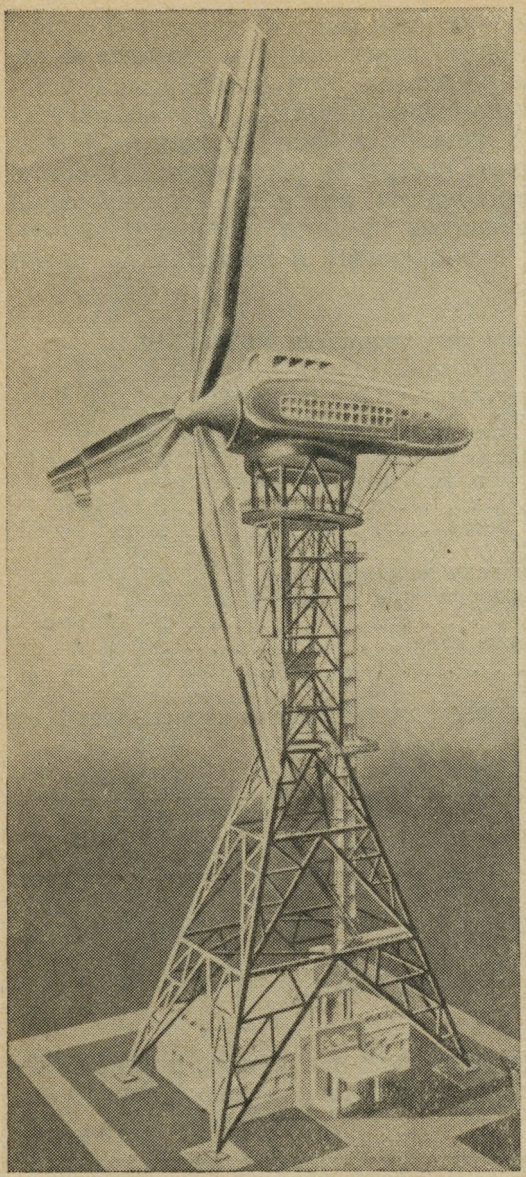


Рис. 11. Ветроустановка ЦВЭИ Д-50 мощностью 1 000 *квт*

Ветродвигатель ЦВЭИ Д-50. Ветродвигатель ЦВЭИ Д-50 мощностью в 1 000 *квт* конструкции Центрального ветроэнергетического института рассчитан на установку в комплекте с генератором переменного тока на 1 000 *квт*. Вся ветроустановка в целом называется ВЭС (ветроэлектростанция) ЦВЭИ Д-50.

Центральный ветроэнергетический институт сконструировал первую такую установку в 1934 г. для электрификации Хибин и ирригации Заволжья. Установка утверждена, имеются рабочие чертежи, но, к сожалению, она до сих пор не реализована.

Годом позднее (в 1935 г.) основные узлы двигателя Д-50 были переконструированы. Была разработана более совершенная механическая передача, улучшены аэродинамические показатели, внесены изменения в электрическую силовую часть (рис. 11 и 12).

Лопасти этого ветродвигателя такой же конструкции, как и у ветродвигателя Д-12

(с дужкой «Эсперо»). Механизм регулирования—как у ветродвигателей Д-12 и Д-30, только все детали его увеличены.

Ветровое колесо устанавливается на ветер автоматически от флюгарки при помощи электромотора, помещенного в поворотном поясе кабины. Все электрооборудование—генератор, электрораспределительный щит, редуктор—размещено на-

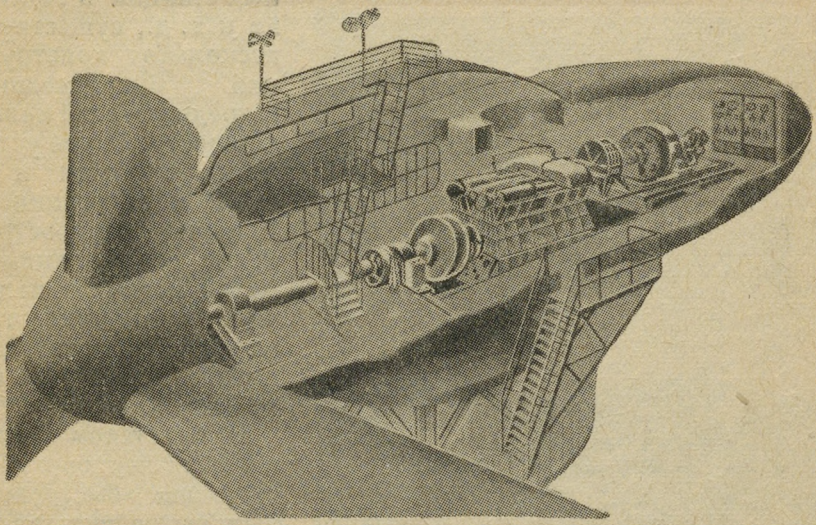


Рис. 12. Внутренний вид кабины ветроустановки ЦВЭИ Д-50

верху в удобообтекаемой кабине. В основании башни расположено помещение, в котором устанавливаются аппаратура трансформаторной подстанции и резервные двигатели.

Основные параметры ВЭС ЦВЭИ Д-50

Высота башни	65 *м*
Диаметр ветрового колеса	50 »
Количество лопастей	3
Мощность на клеммах генератора при скорости ветра 11 *м/сек*	1 000 *квт*
Число оборотов ветрового колеса в минуту	24
Число оборотов генератора в минуту	430
Вес ветрового колеса	20 *т*
» головки с генератором	20 »
» башни с лифтом и лестницей	52 »
» механической части двигателя	53 »

Ветродвигатели малой мощности

Для питания электроэнергией потребителей малой мощности, например аккумуляторов, мелких радиоустановок, радиотрансляционных узлов, индивидуального электроосвещения, полевых станов, лагеря высокогорных экспедиций, мелких полярных станций в Арктике и т. д., существует несколько конструкций быстроходных ветродвигателей малой мощности. Такие установки имеются и в СССР и за границей. Большое распространение ветроустановки малой мощности получили в Америке, где на нескольких заводах налажено массовое их производство.

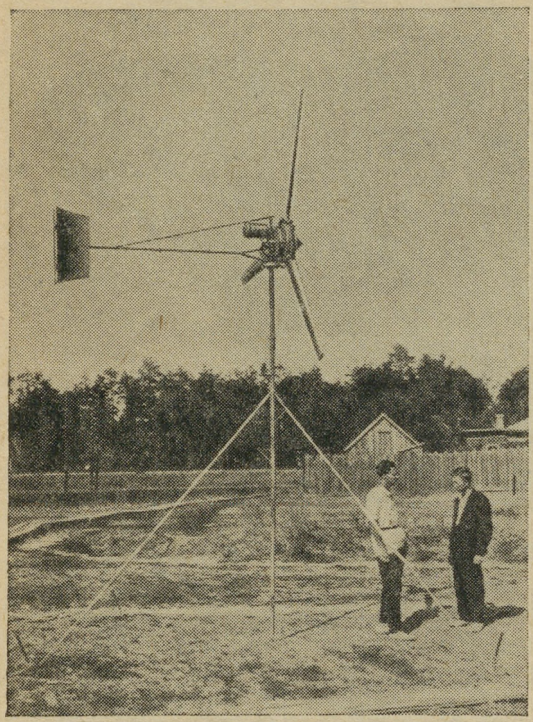


Рис. 13. Ветродвигатель ВИМЭ Д-3

В Советском Союзе имеются хорошие конструкции быстроходных ветродвигателей, но до сих пор не налажено не только массовое, но даже и серийное производство их, несмотря на огромный спрос. Изготовляются только мелкие партии — до нескольких десятков.

Ветродвигатель ВИМЭ Д-3. Этот ветродвигатель (рис. 13) сконструирован Всесоюзным институтом механизации и электрификации сельского хозяйства (1938 г.). Двигатель—цельнометаллический, быстроходный. Полная мощность—300 *вт* при скорости ветра 7,5 *м/сек* и при 320 оборотах в минуту. Ветровое колесо трехлопастное, диаметром 3 *м*; лопасть удобообтекаемой формы, каркасного типа, с металлической обшивкой. Число оборотов регулируется поворотом всей лопасти около оси маха при помощи центробежного аппарата, помещенного в кожухе головки ветродвигателя. Система

регулирования изображена на рис. 14. Такая система регулирования позволяет работать с постоянными оборотами в диапазоне скорости ветра от 5 до 40 *м/сек*.

Ветровое колесо, редуктор с двумя цилиндрическими шестернями, генератор и хвост помещаются на металлической мачте из цельнотянутых труб высотой 4 *м* от поверхности грунта с растяжками или на деревянном столбе. Сечение труб 65/50 *мм*. Генератор постоянного тока типа ГА-27 помещается в головке ветродвигателя. Для поддержания постоянным напряжения на клеммах генератора при любых колебаниях скорости ветра при генераторе имеется реле-регулятор типа РРА.

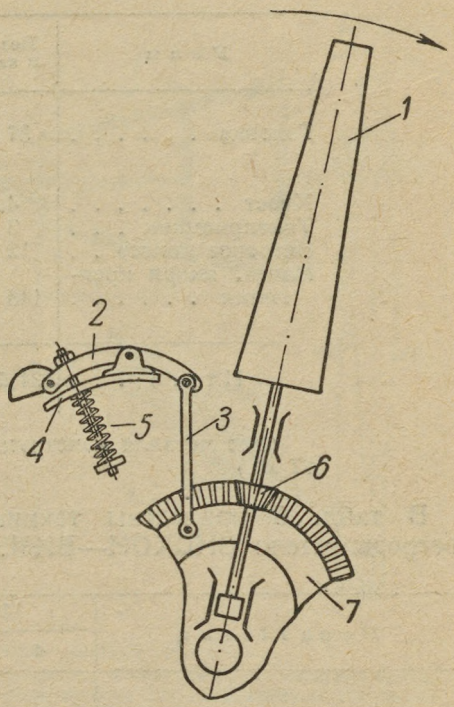


Рис. 14. Схема регулирования ветродвигателя ВИМЭ Д-3:

1—крыло; *2*—рычаг регулирования с грузом; *3*—тяга рычага регулирования; *4*—кожух; *5*—пружина регулирования; *6*—малая коническая шестерня; *7*—большая шестерня

Ветродвигатель ВИМЭ Д-3 может быть использован для зарядки аккумуляторных батарей напряжением в 12 *в*, емкостью до 200 *а-ч* и может работать с буферной батареей на низковольтную осветительную сеть; может снабжать электроэнергией небольшую экспедиционную радиостанцию, питать трансляционный радиоузел, освещать два-три чума; может быть применен на небольших гидрографических судах, в высокогорных экспедициях и т. д. В настоящее время две такие ветроустановки работают в высокогорных экспедициях Академии наук СССР и, по отзывам экспедиций, показали хорошие качества.

В 1939 г. в конструкцию регулирования этого ветродвигателя лаборатория ветродвигателей ВИСХОМ внесла ряд изменений по сравнению с конструкцией 1938 г. Конструкция 1938 г. этого ветродвигателя для уменьшения веса была рассчитана на изготовление из специальных авиационных материалов,

так как ветроустановка предназначалась для экспедиций. Измененная конструкция 1939 г. будет изготовляться из простых материалов и рассчитана на массовый выпуск. В табл. 4 указаны вес ветроустановки ВИСХОМ—ВИМЭ Д-3 (в последнем варианте) в целом и вес отдельных ее узлов.

Таблица 4

Узлы	Вес в *кг*	Примечание
Головка	57	В том числе вес генератора — 19,5 *кг*
Хвост	4,6	
Токоприемник . . .	3	
Ветровое колесо . .	12	
Мачта, якоря крепления	148	В том числе вес дерева—117 *кг*
Итого . . .	224,6	

(Вес металла конструкции без генератора—87 *кг*.)

В табл. 5 приведены технико-экономические показатели ветродвигателя ВИСХОМ—ВИМЭ Д-3.

Таблица 5

Показатели	Рабочие скорости ветра в *м/сек*			
	4	5	6	7 и выше
Мощность на клеммах генератора в *вт*	До 32	60—135	173—208	315—340
Возможное число часов работы в году при среднегодовой скорости ветра 4 *м/сек*	1 600	1 700	1 500	1 300—6 100
То же при скорости ветра 5 *м/сек*	1 310	1 500	1 800	2 500—7 110
То же при скорости ветра 6 *м/сек*	1 063	1 200	1 320	3 832—7 415
Выработка полезной мощности агрегата в *квт-ч* при среднегодовой скорости ветра 4 *м/сек*	51	230	310	440—1 031
То же при скорости ветра 5 *м/сек*	42	200	374	625—1 241
То же при скорости ветра 6 *м/сек*	34	162	275	1 340—1 811

Ветродвигатель ВИСХОМ Д-3. Ветроэлектрическая установка ВИСХОМ Д-3 спроектирована лабораторией ветродвигателей ВИСХОМ и изготовлена в 1939 г. по заказу Главсевморпути на заводе ВИМЭ для питания электроэнергией раций и освещения жилых помещений на полярных станциях.

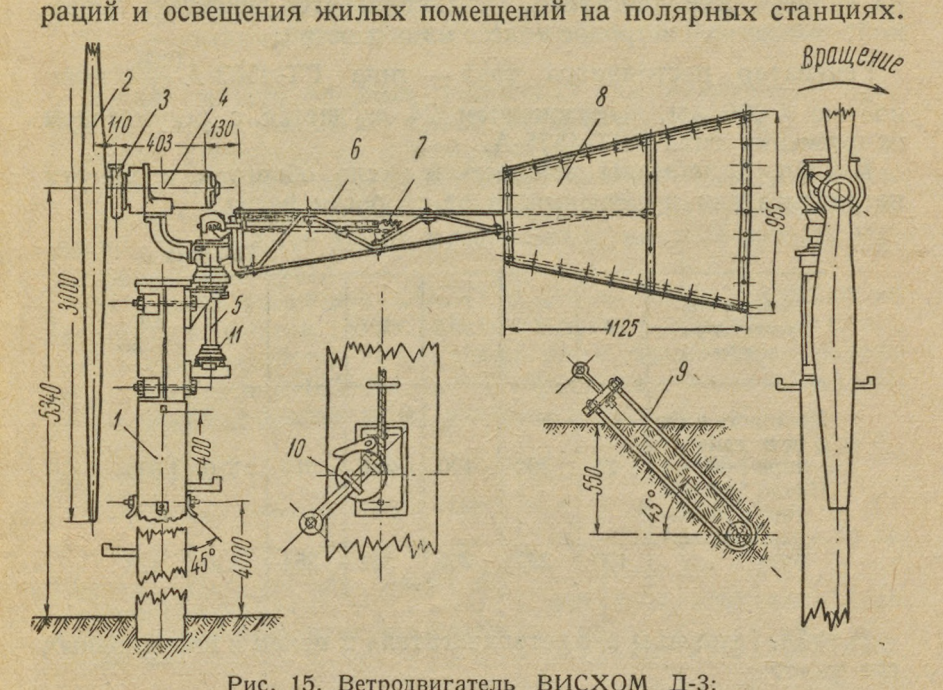


Рис. 15. Ветродвигатель ВИСХОМ Д-3:

1—мачта ветродвигателя; *2*—пропеллер; *3*—редуктор; *4*—генератор; *5*—опорная труба; *6*—ферма хвоста; *7*—пружина останова; *8*—перо хвоста; *9*—узел крепления растяжек; *10*—лебедка останова; *11*—токоприемник

ВИСХОМ Д-3 (рис. 15)—быстроходный ветродвигатель с ветровым колесом пропеллерного двухлопастного типа, диаметром 3 *м*, мощностью 1 *квт* (1,36 *л. с.*).

Пропеллер—деревянный, лакированный или металлический, сварной конструкции. Головка ветродвигателя—чугунное литье. Конструкция головки позволяет устанавливать на нее различные генераторы мощностью в 300 и 1 000 *вт*.

Ветродвигатель устанавливается на деревянном столбе с тремя металлическими растяжками.

Регулирование мощности и числа оборотов ветродвигателя осуществляется по системе «Эклипс», с добавлением специальной улитки конструкции инж. Уткина-Егорова. Ветродвигатель с улиткой может работать при скоростях ветра от 4 до 20 *м/сек*.

Неравномерность вращения пропеллера при этом способе регулирования составляет $\pm 15\%$.

Ветровое колесо устанавливается на ветер при помощи хвоста, состоящего из клепаной фермы, шарнирно укрепленной на головке ветродвигателя. Останавливается двигатель лебедкой, выводящей ветровое колесо из-под ветра.

Генератор постоянного тока — типа ГТ-4563-А$\frac{1000}{24}$, мощностью 1 000 *вт*, напряжением 24 *в*; дается с регулятором напряжения типа РРТ-4576-А.

В табл. 6. указаны мощность и число оборотов в минуту ветродвигателя в зависимости от скорости ветра.

Таблица 6

Рабочая скорость ветра в *м/сек*	4	5	6	7	8	9	10 и выше
Мощность в *вт* при генераторе 1 000 *вт*	25	100	190	320	510	770	1 000
Число оборотов пропеллера в минуту	190	239	286	342	384	430	478

В табл. 7 указаны вес ветродвигателя в целом и вес основных его узлов.

Таблица 7

Узлы	Вес в *кг*	Примечание
Пропеллер	12	Если головка и опорные детали сварной конструкции, вес этих деталей может быть уменьшен в два раза
Головка	57	
Хвост	33	
Башня (металлические части)	30	
Токоприемник . . .	10	
Лебедка останова .	11	
Крепление головки с мачтой	45	
Генератор	32	
Итого . . .	230	

Ветроустановка ВИСХОМ Д-3 мощностью в 1 000 *вт* в районах со среднегодовой скоростью ветра от 5 *м/сек* и выше может иметь разнообразное применение:

1) для питания аппаратуры, зарядки аккумуляторных батарей и освещения физических кабинетов сельских школ;

2) для питания маломощных радиоприемных и передающих станций;

3) для зарядки анодных накальных аккумуляторных батарей радиоприемников в клубах, интернатах и т. д.;

4) для освещения кинопередвижек;

5) для зарядки аккумуляторных батарей автотранспорта;

6) для освещения яранг, маяков, для изыскательских экспедиций; может быть также использована на дрейфующих гидрографических судах.

Пять ветроустановок ВИСХОМ Д-3 с 1939 г. работают на полярных станциях. Об их работе подробно будет сказано ниже.

Годовая выработка электроэнергии и число часов работы ветродвигателя ВИСХОМ Д-3 (теоретически возможные) при различных скоростях ветра указаны в табл. 8.

Таблица 8

Среднегодовая скорость ветра в *м/сек*	5	6	7	8	9
Годовая выработка при полной нагрузке (1 000 *вт*)	350	1 437	2 068	2 673	3 645
То же при неполной нагрузке (меньше 1 000 *вт*)	786	1 239	1 310	1 301	1 233
Итого	1 136	2 676	3 378	3 974	4 878
Число часов работы в год при полной нагрузке (1 000 *вт*)	350	1 437	2 068	2 673	3 645
То же при неполной нагрузке	2 761	3 611	3 620	3 479	3 124
Итого	3 111	5 048	5 688	6 152	6 769

Ветроустановка ПД-3. Ветроустановка ПД-3 (рис. 16) была спроектирована для питания рации дрейфующей полярной станции «Северный полюс». Максимальная мощность этого агрегата при диаметре 3 *м* составляет 240—250 *вт*.

Этот ветроагрегат рассчитывался для работы в арктических условиях, поэтому с целью уменьшения его веса и придания ему большей транспортабельности он был изготовлен из специальных (молибденовых) сталей и авиационных материалов.

Ветродвигатель ПД-3—быстроходного типа, двухлопастный. Мощность и число оборотов ветродвигателя регулируются с помощью торцовых клапанов и выводом ветрового колеса из-под ветра посредством боковой лопаты, т. е. регулирование здесь комбинированное. При таком регулировании ветродвигатель может работать при скорости ветра от 4 до 12 *м/сек*, при бо́льших скоростях ветра ветровое колесо складывается с фермой хвоста, не работает.

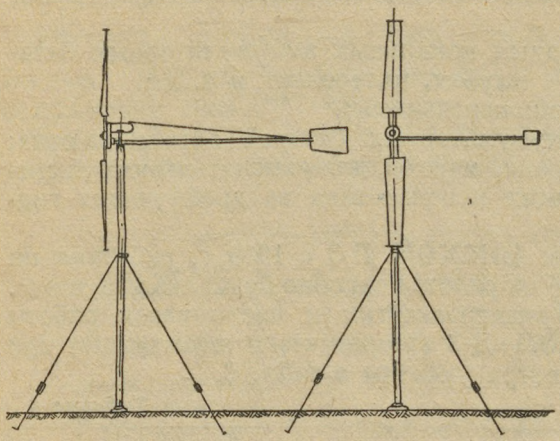


Рис. 16. Ветродвигатель ПД-3

Неравномерность вращения при этом способе регулирования составляет: с нагрузкой ±8% и без нагрузки ±12—15%.

Двигатель останавливается снизу тросом, который соединен с боковой лопатой и проходит внутри трубы мачты. Если потянуть трос, ветровое колесо складывается с фермой хвоста, и ветродвигатель останавливается.

Диаметр ветрового колеса—3 *м*, число лопастей—2. Динамомашина постоянного тока типа СФД мощностью 500 *вт*, перемотанная на 12 *в*, имела мощность 250 *вт*.

Вес основных узлов и ветродвигателя в целом указан в табл. 9.

Таблица 9

Узлы	Вес в *кг*	Примечание
Ветровое колесо	9	1. Весь ветродвигатель изготовлен из авиационных материалов
Головка с редуктором (без динамо)	13	2. Данных для простых материалов пока нет, но, надо полагать, вес будет гораздо бо́льшим
Хвост и лопата	4	3. Вес динамомашины в 41,4 *кг* не входит
Башня высотой 4,2 *м*	14	
Упаковка крыла	1,4	
Всего	41,4	

В табл. 10 приведены технико-экономические показатели ветроагрегата ПД-3.

Таблица 10

Среднемесячная скорость ветра в *м/сек*	3	3,5	4	4,5	5	6
Месячная отдача ветроустановки в *квт-ч*	23	29	35	47	57	75
Годовая выработка в *квт-ч*	276	348	430	565	680	900

Ветроустановка приспособлена главным образом для среднегодовых скоростей ветра от 3,5 до 5 *м/сек*. Пределы рабочих скоростей ветра, при которых этот ветродвигатель может работать,—от 4 до 12 *м/сек*; при рабочих скоростях 12—16 *м/сек* и выше ветродвигатель работать не может. Следовательно, для Арктики, где скорость ветра доходит до 40—50 *м/сек*, причем сильные ветры имеют большую повторяемость, этот ветродвигатель не годится.

Ветродвигатель ВИМЭ Д-5. Ветродвигатель ВИМЭ Д-5, разработанный во Всесоюзном научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства инж. Панкратовым, принадлежит к типу быстроходных ветродвигателей, регулирующихся поворотом всей лопасти относительно оси маха. Первый ветродвигатель этой конструкции был изготовлен в 1937 г. заводом ВИМЭ и испытан на полигоне ветросиловых установок в Армавире.

Испытаниями установлено, что ветродвигатель может дать достаточно высокую равномерность оборотов ($\pm$4,5%) в изменяющемся по скорости ветровом потоке, что позволяет с успехом применить ветродвигатель для работы с электрогенератором. В 1938 г., летом, на экспериментальном заводе ВИМЭ по заказу Главсевморпути была изготовлена первая серия (5 шт.) ветродвигателей ВИМЭ Д-5 для работы на полярных станциях (рис. 17).

Ветродвигатель ВИМЭ Д-5 имеет трехлопастное ветровое колесо диаметром 5 *м*. Мощность ветродвигателя при скорости ветра 8 *м/сек*—2,7 *л. с.* Спаривается с динамомашиной постоянного тока типа МП-504 мощностью 1,6—2 *квт*, напряжением 115/160 *в* и с числом оборотов 1 430 в минуту (завода ХЭТЗ или «Электросила»).

Ветродвигатель может работать при скорости ветра от 4 до 40 *м/сек*.

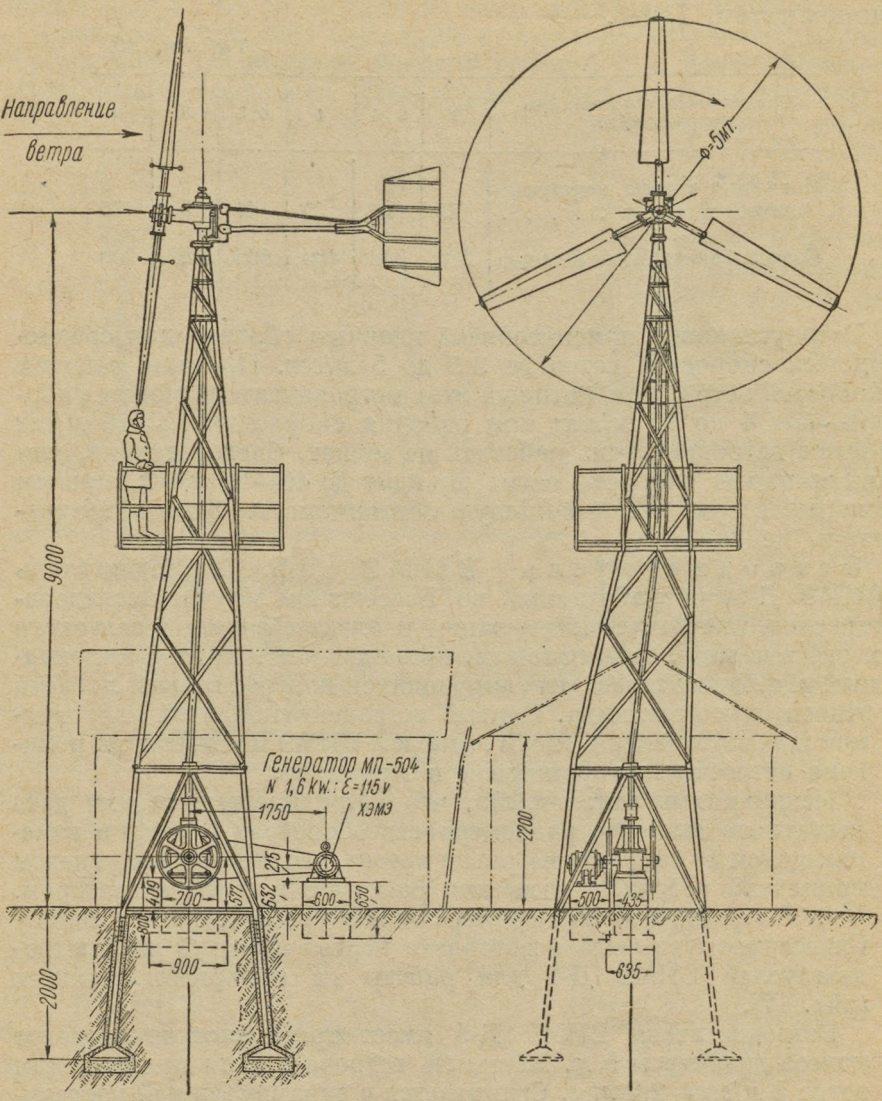


Рис. 17. Ветродвигатель ВИМЭ Д-5

При невысоких среднегодовых скоростях ветра (4—4,5 *м/сек*) для получения большей годовой выработки ветровое колесо следует регулировать на 130 оборотов в минуту; при больших

среднегодовых скоростях (6—7 *м/сек*) целесообразнее регулировать его на 160 оборотов в минуту.

Ветродвигатель имеет две пары конических передач: головки — с передаточным числом $i = 1:1,5$ и в нижнем редукторе — $i = 1,5$ (рис. 18). Общее передаточное отношение ветродвигателя в обеих зубчатых парах $i = 1,5 \times 1,5 = 2,25$.

Общий вес ветродвигателя и отдельных его узлов приведен в табл. 11.

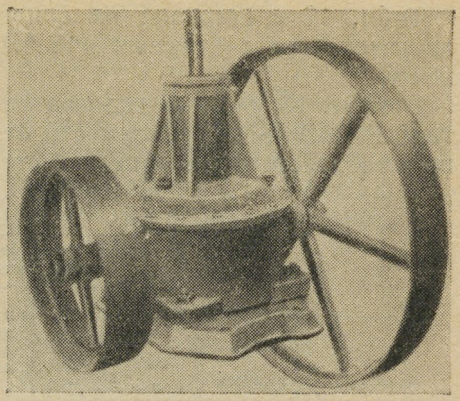


Рис. 18. Нижний редуктор ветродвигателя ВИМЭ Д-5

Таблица 11

Узлы	Вес в *кг*	Материал	Примечание
Ветровое колесо	146	Дерево, металл	
Головка	145	Чугун, сталь	
Хвост	89	Поделочная сталь № 3	
Редуктор	205,5	Чугун	
Валы вертикальной трансмиссии при 11-метровой башне	150		Для Арктики башня делается высотой 11 *м*, утяжеленная
Башня металлическая 16 *м*	1 500		
Общий вес	2 235,5		

Мощность ветродвигателя на клеммах генератора (в *квт*) в зависимости от скорости ветра приведена в табл. 12.

Таблица 12

Число оборотов ветрового колеса в минуту	Скорость ветра в *м/сек*				
	4	5	6	7	8 и выше
120	0,14	0,46	0,8	1,15	1,51
140	0,041	0,35	0,75	1,26	1,78
160	0	0,21	0,62	1,21	1,9
180	0	0,06	0,45	1,09	1,84

Табл. 12 составлена на основании характеристик данного двигателя, рассчитанных в ВИМЭ и подтвержденных испытанием.

В табл. 13 указано годовое число часов работы ветродвигателя ВИМЭ Д-5 в зависимости от среднегодовой скорости ветра при 130 оборотах в минуту ветрового колеса.

Таблица 13

Среднегодовая скорость ветра в *м/сек*	Годовое число часов работы ветродвигателя		Полное число часов работы ветродвигателя в году
	с номинальной мощностью при $v = 8$ *м/сек*	с переменной мощностью до номинального значения	
4	545	2 576	3 700
5	1 407	3 805	5 212
6	2 609	3 753	6 362
7	3 925	3 210	7 135
8	5 021	2 591	7 612

Годовая выработка электроэнергии ветродвигателем ВИМЭ Д-5 при различных среднегодовых скоростях ветра и 160 оборотах в минуту ветрового колеса приведена в табл. 14.

Таблица 14

Среднегодовая скорость ветра в *м/сек*	Годовая выработка электроэнергии в *квт-ч*		Полная выработка электроэнергии в *квт-ч*
	с номинальной мощностью при скорости 8 *м/сек* и выше	с переменной мощностью до номинального значения от 5 до 8 *м/сек*	
4	1 045	1 745	2 790
5	2 680	2 405	5 085
6	5 000	2 554	7 554
7	7 500	2 305	9 805
8	9 520	1 939	11 460

Ветродвигатель ВИМЭ Д-5 применяется в Арктике на полярных радиостанциях; он может обеспечивать электрическим током рации, освещение жилых и служебных помещений и т. д.

На основе опыта эксплоатации ветродвигателя в Арктике НТС ВИСХОМ утвердил конструкцию ВИМЭ Д-5 к серийному производству для питания электростанций, сельских телефонных станций, зарядки автотракторных аккумуляторов, питания радиоузлов и т. д. Этот ветродвигатель может быть использован на работе с центробежными насосами для водоснабжения из открытых водоемов или шахтных колодцев и для работы с кормоперерабатывающими сельскохозяйственными машинами.

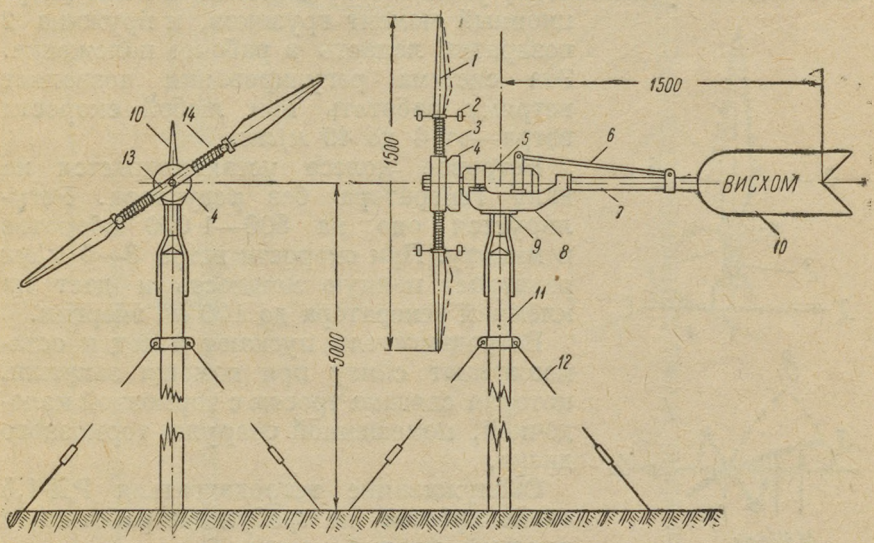


Рис. 19. Ветродвигатель ВИСХОМ РД-1,5:

1—двухлопастное ветровое колесо; *2*—компенсирующие грузы (выполняют и функции регулирующих); *3*—пружина регулирования; *4*—диск с колодочкой снаружи для останова; *5*—генератор типа ГАУ—100 *вт*; *6*—оттяжка хвоста; *7*—рейка или уголок хвоста; *8*—станина; *9*—приемник тока; *10*—перо хвоста; *11*—деревянный столб; *12*—растяжки; *13*—тройник; *14*—мах лопасти

Ветродвигатель ВИСХОМ РД-1,5 (рис. 19). Этот ветродвигатель предназначается для снабжения электроэнергией небольших батарейных приемников, освещения отдельных жилых домов, физических кабинетов, школ и т. д. Ветродвигатель—двухлопастный, работает с генератором ГАУ мощностью 100 *вт*, напряжением 6 *в*; устанавливается на столбе высотой 5—6 *м*.

Конструкция рассчитана на изготовление из простого черного металла, лопасти могут быть клеенные из дерева.

Регулируется ветродвигатель выводом из-под ветра лопасти, вращающейся вокруг оси маха. Механизм регулирования (системы инж. В. С. Шаманина) изображен на рис. 20.

Грузики *1* жестко связаны с лопастью. При увеличении числа оборотов лопасти возрастает момент инерции грузиков, который будет стремиться совместить их с плоскостью вращения. Так как грузики связаны с лопастью, то лопасть будет также поворачиваться вокруг оси маха. Когда лопасть выйдет из-под ветра, т. е. из положения a_1 займет положение $в_1$, она будет создавать торможение в плоскости вращения, число оборотов ветрового колеса уменьшится, уменьшится в связи с этим инерционный момент грузиков, и пружина *2* возвратит лопасть в рабочее положение. Эта система регулирования позволяет ветряку работать при любой скорости ветра—от 4 до 40 *м/сек*.

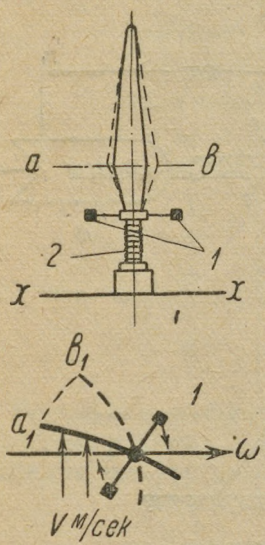


Рис. 20. Схема регулирования ветродвигателя РД-1,5

Ветровое колесо устанавливается на валу генератора без редуктора. Регулируется оно на 800—1 000 оборотов в минуту. При скорости ветра 8—9 *м/сек* развивает полную мощность и дает на клеммах генератора до 100 *вт* энергии.

Ветродвигатель пускают в ход и останавливают снизу при помощи защелки, которая связана тросом с тормозной колодочкой, помещенной снаружи тормозного диска.

Обслуживание ветродвигателя РД-1,5 очень простое, не требующее работников высокой квалификации.

В 1941 г. ветродвигатель передается в серийное производство.

Аналогичную конструкцию имеет ветродвигатель ВИСХОМ РД-3,5. Этот ветродвигатель работает с генератором типа ГТ мощностью 1 000—1 500 *вт* и напряжением 45 *в*. Реле-регулятор—типа РРТ. Ветровое колесо этого ветродвигателя, диаметром 3,5 *м*, делает 350 оборотов в минуту. Устанавливается оно, как и ветровое колесо РД-1,5, на мачте высотой 5—6 *м*. Система регулирования ветродвигателя — инж. Шаманина, электрическая часть агрегата разработана инж. Вершининым.

Ветродвигатель ВИСХОМ УД-1,5 (конструкции инж. В. В. Уткина-Егорова). Этот ветродвигатель рассчитан на работу с генератором переменного тока в течение полутора-двух лет без обслуживающего персонала.

Ветродвигатель—двухлопастный. Диаметр ветрового колеса—1,5 *м*. Ветровое колесо устанавливается на трубчатой

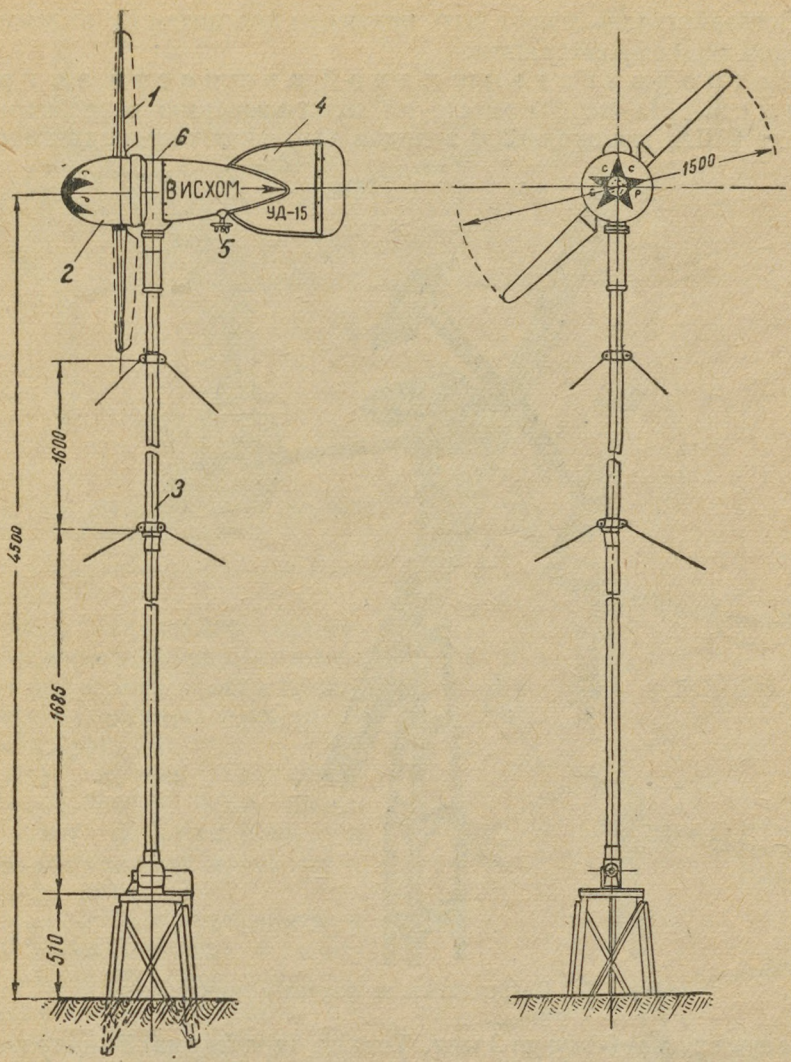


Рис. 21. Ветродвигатель ВИСХОМ УД-1,5:

1—лопасть; *2*—обтекатель механизма регулирования; *3*—мачта ветродвигателя; *4*—хвост ветродвигателя; *5*—механизм останова; *6*—генератор переменного тока

башне высотой 4,5 *м*. Ветродвигатель может работать при любой скорости ветра.

Число оборотов в минуту ветрового колеса—900, неравномерность хода $\pm 2\%$.

Ветродвигатель может быть применен для питания автоматической радиометеостанции.

Ветродвигатели малой мощности за границей. На первом месте по использованию ветроэнергии стоят США, где около 200 заводов выпускают ветродвигатели

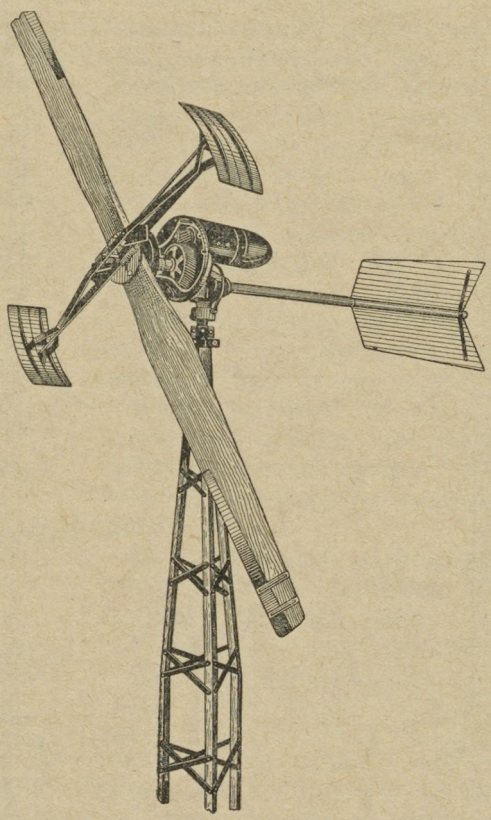


Рис. 22. Ветродвигатель фирмы «Винчарджер»

мощностью от 60 *вт* до 3 *квт*. Только одна фирма «Винчарджер» выпускает в год до 200 000 ветроустановок малой мощности. Ветродвигатель фирмы «Винчарджер» (рис. 22) регулируется при помощи клапанов.

Знаменитая фирма «Электрик-Сервис» выпускает ветродвигатели мощностью в 1 *квт* (рис. 23). Регулируются ветродвигатели этой фирмы при помощи двух дополнительных лопастей.

Мелкие ветроустановки выпускались также фирмой «Батери Чаржерн» (теперь эта фирма прекратила свое существование).

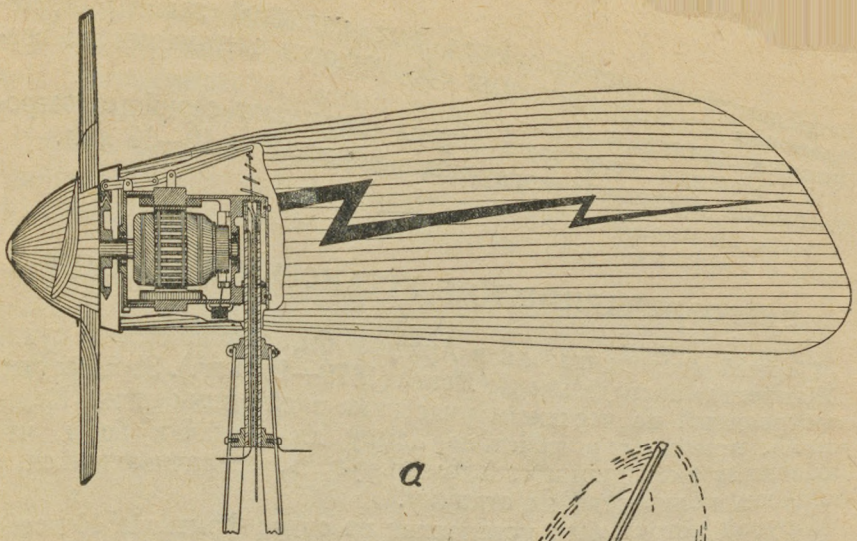


Рис. 23. Ветродвигатель фирмы «Электрик-Сервис»

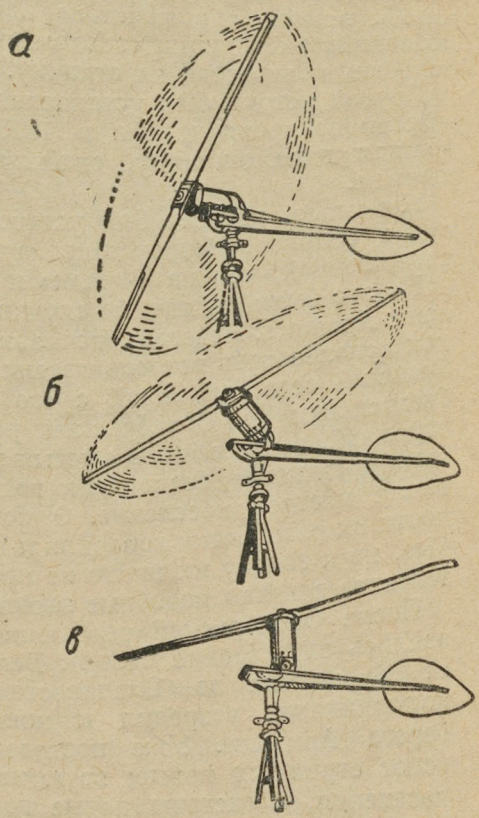


Рис. 24. Схема регулирования ветродвигателя фирмы «Батери Чаржерн»:
а—при нормальном ветре; *б*—при сильном ветре; *в*—нейтральное положение

В этих установках применяется регулирование выводом ветрового колеса из-под ветра в горизонтальной плоскости (рис. 24).

Нет, конечно, сомнения в том, что в США выпускаются ветроустановки и гораздо большей мощности—10—12 *квт*.

Мелкие ветроустановки в США используются в разнообразных областях: для индивидуального освещения отдельных ферм, питания радиоустановок, зарядки транспортных аккумуляторов, световой сигнализации и т. д. В Северной Америке электроэнергией, вырабатываемой при помощи ветродвигателя, питается телефонная линия протяженностью до 2 000 *км*,

ветродвигатели используются для катодной защиты нефтепроводов от коррозии, ими оборудуются светомаяки на воздушных линиях и т. д.

В Германии некоторые фирмы выпускают серийные ветродвигатели промышленного типа мощностью в 10—12 *квт*.

ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ В АРКТИКЕ

Первый ветродвигатель в Арктике был устоновлен на судне «Жаннетта» экспедиции Де Лонга (1879—1881 гг.). Этот ветряк, выстроенный по чертежам участника экспедиции инж. Мельвилля, приводил в действие помпу для откачки воды, что позволило экспедиции сэкономить уголь, затрачивавшийся в большом количестве на откачку.

Другой ветряк был установлен на судне Фритьофа Нансена «Фрам» во время дрейфа в 1893—1896 гг. (рис. 25). Ветряк вращал динамомашину, снабжая судно электрическим освещением.

Несколько позднее был установлен ветряк на дрейфующем судне «Варна». Ветроустановка на «Варне» была уже более совершенной, чем на «Фраме» и на «Жаннетте».

Но это были единичные случаи использования ветродвигателей в Арктике. Нечего, конечно, и говорить о каких-либо попытках использовать ветродвигатели в Арктике в царской России. Великий северный край с его неисчерпаемыми природными богатствами до Октябрьской революции представлял собой огромную заброшенную пустыню. Посещался он только хищниками-купцами, беспощадно грабившими обреченное на вымирание местное население. О богатствах Арктики, о возможности их разработки говорили и писали передовые русские ученые, но к голосу их никто не прислушивался. Царское правительство считало подобные заявления пустыми бреднями.

После Октябрьской революции большевики по-настоящему взялись за освоение Севера. Великий Северный морской путь от Мурманска до Владивостока, проложенный советскими полярниками, возродил к жизни пустынные, молчаливые берега Арктики. Уже построены крупные порты и продолжают строиться новые; во многих районах Севера возникают поселения, вырастают новые города. Ведутся промышленные разработки природных богатств. По всей трассе Северного морского пути разбросаны десятки полярных метеорологических станций.

Огромные масштабы развертываемого на Севере строительства требуют широкого внедрения механизации. В этих условиях ветродвигатели, использующие природную энергию— ветер, приобретают исключительное значение.

Первые попытки применения ветродвигателей в Арктике начинаются с 1932 г. Ветродвигатели использовались на полярных станциях для зарядки электрических аккумуляторов и для

Рис. 25. «Фрам» во льдах

освещения. В первое время бывали и неудачи, но они быстро изживались, и теперь на всех полярных станциях имеются вполне рентабельные мелкие и средние стационарные ветроэлектростанции мощностью от 1 до 15,5 *квт*. Эти установки дают государству большую экономию.

Небезынтересно проследить историю внедрения ветроустановок в Советской Арктике.

В 1930 г., еще до организации Главсевморпути, на вновь открывшейся полярной станции о. Домашний (Северная Земля) был установлен быстроходный ветродвигатель мощностью 1,2 *л. с.* американской фирмы «Перкинс», с двухлопастным ветровым

колесом—деревянным пропеллером диаметром 3 *м*—и механизмом регулирования типа «Эклипс». Ветроустановки аналогичного типа применяются в настоящее время на полярных станциях 3-го разряда с динамомашиной мощностью в 1 *квт*.

Этот ветродвигатель проработал в течение семи лет, до полного износа шестерен в редукторе, обеспечивая полярную станцию электроэнергией.

В 1932 г. И. Д. Папанин установил на вновь открывшейся полярной станции в б. Тихой (архипелаг Земли Франца-Иосифа) второй ветряк той же фирмы, с такой же конструкцией регулирования. Ветряк—многолопастный, тихоходного типа, мощностью 2,5 *л. с.* Ветровое колесо—диаметром 5 *м*. Динамомашина помещалась в головке ветродвигателя.

Ветродвигатель в б. Тихой работал недолго—вскоре у него сгорела динамомашина от перегрузки при сильном ветре, а потом вышло из строя ветровое колесо. По отзывам полярников, этот ветродвигатель давал настолько большие колебания напряжения, а вместе с тем и мощности, что практически использовать его для освещения и на работе передатчиков радиостанции было невозможно. Тихоходный ветродвигатель оказался для арктических ветров непригодным, и в б. Тихой его сняли с эксплоатации.

Быстроходный ветряк на о. Домашнем и по надежности конструкции и по ее портативности оказался пригодным для условий Арктики. Но он не удовлетворял другому требованию, предъявляемому к арктическому ветродвигателю,—не мог работать в большом диапазоне скоростей ветра—от 4 до 50 *м/сек*, сохраняя при этом постоянными и число оборотов и заданную мощность.

В 1932 г. на полярной станции м. Челюскина был установлен цельнометаллический трехлопастный ветродвигатель быстроходного типа ЦВЭИ Д-8.

В 1934 г. точно такой же ветродвигатель ЦВЭИ Д-8 был завезен на полярную станцию о. Диксон.

Как тот, так и другой проработали по два года, и оба вышли из строя—разнесло ветровые колеса. Это произошло оттого, что, во-первых, не была доработана сама конструкция регулирования, а во-вторых, обслуживающий персонал плохо знал ветродвигатели.

Недостаток конструкции регулирования заключался в том, что при остановке ветровое колесо могло уходить в «отрицательные» обороты, т. е. вращаться в противоположную сторону. Отрицательные обороты парализуют регулирующий аппарат,

что может привести к разрушению ветрового колеса. Так это и было с ветродвигателями на м. Челюскина и о. Диксон.

Учитывая все недостатки этой конструкции, Центральный ветроэнергетический институт разработал более мощный ветродвигатель—ЗЦВЭИ Д-12, с регулированием поворотом конца лопасти при помощи стабилизатора.

По заказу Главсевморпути Херсонский завод сельскохозяйственных машин изготовил в 1935 г. три ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12, которые были отправлены на полярные станции м. Желания, о. Белый и б. Тикси, где они работают и по настоящее время. Эти ветродвигатели в эксплоатации показали прекрасные качества.

В 1938 г. Управление полярных станций приняло на оборудование полярных станций менее мощный ветродвигатель—ВИМЭ Д-5. Первый год эксплоатации ветродвигателя ВИМЭ Д-5 показал полную пригодность его для работы в Арктике. Были, конечно, и некоторые неполадки. О всех неполадках механики полярных станций своевременно сообщали в Управление полярными станциями. Все эти сведения передавались непосредственно конструктору машины и заводу ВИМЭ, который их изготовлял. Таким образом, машина совершенствовалась в ходе эксплоатации, все более приспосабливалась к арктическим условиям. В этой работе, помимо конструктора, участвовал большой коллектив полярников и работников завода ВИМЭ. В 1939 г. завод ВИМЭ, по заказу Главсевморпути, изготовил партию в 12 ветродвигателей ВИМЭ Д-5 усовершенствованной конструкции. Эти ветродвигатели были в том же году установлены на полярных станциях и, по отзывам механиков, работают хорошо.

В 1939 г., по проекту лаборатории ветродвигателей ВИСХОМ, был изготовлен для полярных станций ветродвигатель ВИСХОМ Д-3. В том же году три таких ветродвигателя были установлены на полярных станциях.

По сведениям с мест, эти машины в эксплоатации дают вполне удовлетворительные результаты и оправдывают свое назначение—служат основным источником получения электроэнергии.

Таким образом, в настоящее время для оборудования полярных станций приняты три типа ветродвигателей: ЗЦВЭИ Д-12 мощностью 15,5 *квт*[1], ВИМЭ Д-5 мощностью от 1,7 до 2 *квт* и ВИСХОМ Д-3 мощностью 1 *квт*.

О практике их эксплоатации подробнее будет рассказано ниже.

---

[1] При скорости ветра $v=11\div12$ *м/сек*.

ЭКСПЛОАТАЦИЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АРКТИКЕ

Подготовка к установке ветродвигателей

Выбор площадки. Успех эксплоатации ветроустановки во многом зависит от правильности выбора места для установки, от правильности монтажа ветродвигателя и от регулирования ветрового колеса. Практика эксплоатации ветродвигателей в Арктике в течение нескольких лет показала, что при неумелом и непродуманном монтаже, как бы потом ни старались ухаживать за установкой, она дает плохие эксплоатационные качества.

При выборе места под установку ветродвигателя, помимо требований ветротехники, нужно учитывать и местные условия. Ветротехника требует, чтобы ветродвигатель устанавливался обязательно на открытом месте или на возвышенности с отлогими склонами (чтобы не было завихряющих потоков ветра от крутых склонов), вдали от леса, высоких построек и т. д.

В Арктике эти требования не всегда обязательны. Лесов и высоких построек в районах полярных станций нет—следовательно, в этой части требования выполняются сами собой. Что же касается установки ветродвигателя обязательно на открытом месте, то в иных случаях выполнение этого условия является нецелесообразным.

На многих полярных станциях, например на Матшаре, в б. Тихой, на м. Шелагском, в Кармакулах, в б. Провидения, бывают ветры местного характера, не зависящие от общего ветрового режима данного района. Например, на м. Шелагском полярная станция расположена в низине между двумя горами, образующими нечто вроде узкого коридора, в котором постоянно дуют ветры. Следовательно, на м. Шелагском ветродвигатель средней мощности может быть установлен вблизи от станции, нет никакого смысла искать для этого возвышенное плато.

При выборе площадки под ветродвигатель нужно учитывать розу ветров за несколько лет. Так, например, недалеко от станции есть подходящая для установки площадка, которая с двух сторон ограничена возвышенностями. По правилам ветротехники, в таком месте устанавливать ветродвигатель нельзя, так как возвышенности будут создавать завихрение. Если же роза ветров показывает, что ветры со стороны возвышенности наблюдаются не чаще пяти-десяти раз в году, можно вполне использовать это место для установки (рис. 26).

Необходимо также считаться с расположением антенного поля. Если ветродвигатель поставить очень близко и от него еще

протянуть линию, создадутся сильные помехи для приема. Нужно также стараться ставить ветродвигатель несколько в стороне и от аэрологической базы, чтобы не пересечь меридиана и не мешать аэрологам наблюдать подъем шаров-пилотов. Площадку надо выбирать ровную и не очень далеко от потребителей—для удобства эксплотации и меньших затрат на кабель.

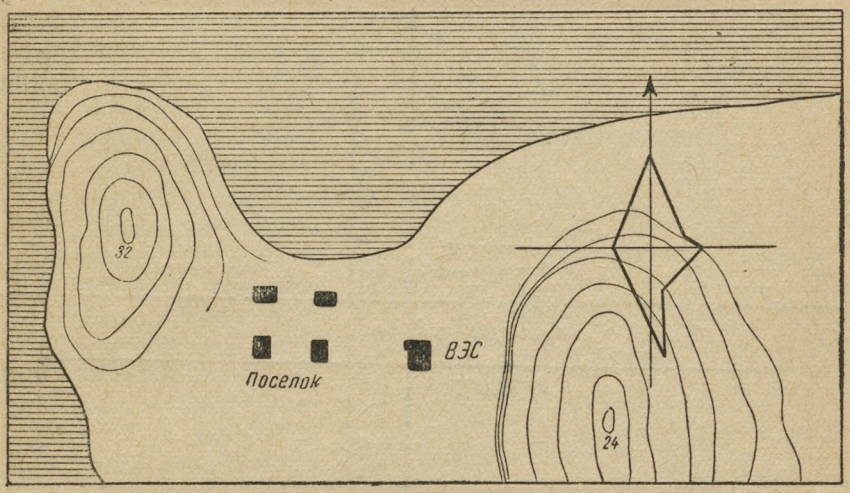


Рис. 26. Схема расположения ветроустановки в зависимости от розы ветров

По всем полярным станциям ветродвигатели Д-12 установлены на расстоянии 110—150 *м* от радиорубки и жилых зданий, ветродвигатели Д-5—на расстоянии 50—60 *м* и ветродвигатели Д-3—на расстоянии 25—30 *м*.

Следует отметить, что на станциях 2-го разряда к выбору площадки под ветродвигатель относятся серьезнее, чем на станциях 1-го разряда—радиоузлах. Это объясняется, очевидно, тем, что ветродвигатель на станциях 2-го и 3-го разрядов является основным источником электроэнергии. На радиоузлах к ветродвигателю относятся, как к подсобному агрегату. Например, на о. Диксон при выборе площадки заботились только о том, чтобы ветродвигатель не помешал антенному полю, метеоплощадке, и поставили его между холмами, в зоне неустойчивого потока ветра. Поэтому ветродвигатель не мог использовать полностью рабочих скоростей ветра—установка работала с низким коэфициентом полезного действия.

Подготовка площадки. Площадку для установки ветродвигателя следует, по возможности, выбирать на ровном, сухом месте, где грунт сыпучий, а не скалистый.

Сыпучий грунт удобнее тем, что при вечной мерзлоте его легче выбрать без сложных и опасных взрывных работ. В сыпучем грунте можно вынуть котлованы нормальной формы—такие,

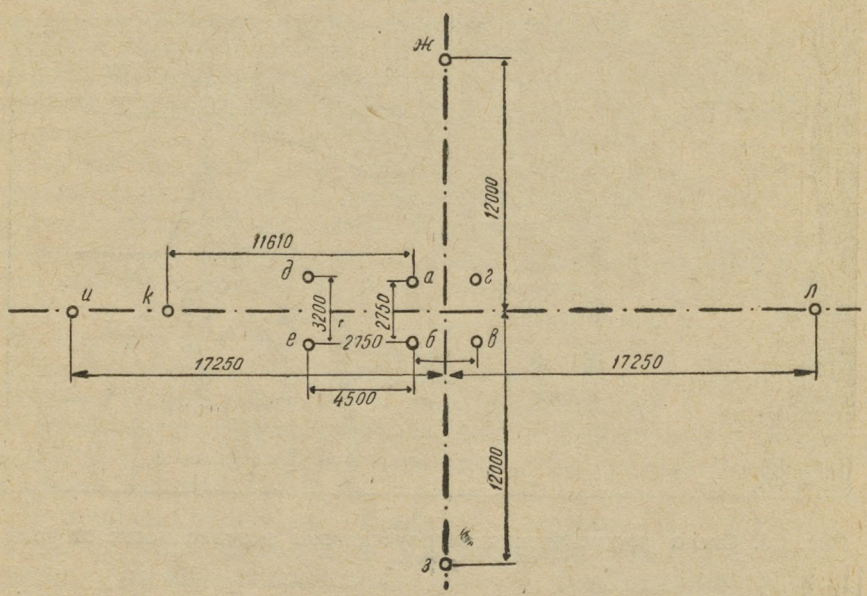


Рис. 27. Схема разбивки площадки под котлованы ветродвигателя:
а, б, в, г—оси котлована; *д, е*—анкеры для крепления тросов осевого бревна; *ж, з*—анкеры боковых оттяжек; *к*—вершина башни; *и*—анкер лобовой оттяжки; *л*—анкер для крепления ручной лебедки

как в южных широтах. На выемку их затрачивается меньше времени, меньше требуется рабочих, меньше нужно материалов для заделки фундамента.

На некоторых полярных станциях (на о. Диксон, Матшаре, в б. Тикси и др.) выемку котлованов в вечной мерзлоте хотели ускорить взрывными работами. Оказалось, что этот способ вовсе не сокращает сроков работы. Правда, котлован выбирается быстрей, но он получается очень большим и неправильной формы. Приходится его потом обрабатывать и при заделке фундамента затрачивать большое количество цемента, песку и гравия. Кроме того, при взрывных работах разрабатывается лучше скалистый грунт, сыпучий же грунт вечной мерзлоты

взрыванию поддается очень плохо. Если заложить заряд аммонала величиной с консервную банку, то скалистой породы при взрыве разрушится около 2 *м*³, сыпучего же грунта вечной мерзлоты тот же заряд разрушит самое большее 0,25 *м*³ (из практики о. Диксон и полярной станции Матшар).

На выбранном для установки месте разбивают площадку под фундамент башни, готовят место для лебедки, анкеров лобовой и боковых оттяжек (рис. 27).

На полярной станции м. Желания котлованы устраивали в виде двух параллельных траншей (рис. 28) с перемычкой между ними на нормальную глубину 2,5 *м*. Талый слой грунта толщиной 0,5 *м* выбирали железными лопатами и киркой, пока не дошли до слоя вечной мерзлоты. Мерзлотный грунт оттаивали. В канавы закладывали сухой плавник, разжигали его нефтяными отходами. Чтобы горение было интенсивнее, середину канав покрывали листовым железом, а с концов канав оставляли отверстия для циркуляции воздуха. Обычно зажженный плавник оставляли в котловане на ночь.

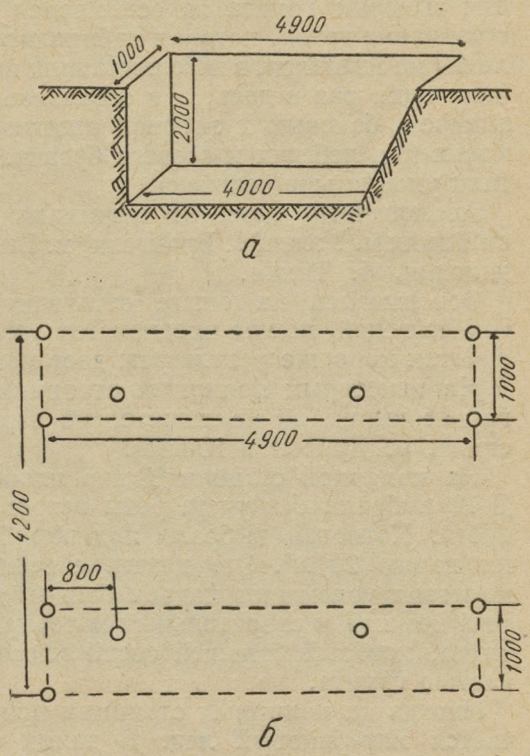


Рис. 28. Схема котлована под фундамент ветродвигателя:
а—разрез; *б*—план

К утру в канаве скоплялась вода, от углей она нагревалась, и это способствовало оттаиванию мерзлотного грунта.

После каждой такой зарядки удавалось вынуть грунт на глубину 0,3 *м*. Воду перед выемкой грунта откачивали пожарным насосом.

На основном котловане были заняты два рабочих. Утром они обрабатывали вдвоем сначала одну траншею, очищали ее, закладывали свежую порцию плавника, разжигали. Пока плавник

горел, очищали вторую траншею. В течение дня два рабочих выбирали мерзлотный грунт на глубину 0,5—0,6 *м*.

Когда достигли глубины 1,5 *м*, борта котлованов начали осыпаться. Плавник на такой глубине горит плохо, поэтому для выборки грунта на оставшемся 1 *м* глубины применяли оттаивание водой, которая набиралась в котловане. Чтобы котлован не осыпался, в него поставили щиты из досок. Грунт выбирали один раз в день, а в остальное время готовили ямы для анкеров, боковых и лобовой оттяжек, врывали мертвяки для крепления лебедки и осевого бревна. Последние два дня работали уже четыре человека.

Аналогичным способом вынимали котлованы на полярных станциях м. Уэлен, о. Врангеля, м. Выходной, Маре-Сале, о. Уединения, б. Тихая.

Основываясь на опыте оттаивания мерзлотного сыпучего грунта водой, можно предполагать, что при крупных земляных работах хорошие результаты даст применение гидромонитора.

На некоторых полярных станциях котлованы в скалистом грунте вынимали исключительно взрывом (Матшар, м. Челюскина, о. Диксон и Юшар).

На полярной станции Юшар площадку под ветродвигатель Д-12 выбрали без учета розы ветров, на скалистой возвышенности. Котлован выбрали под всю башню глубиной в 0,5 *м*, площадью 20 *м*². Это делать совсем нецелесообразно. Такой котлован усложняет подъем башни, требует большого количества цемента и строительных материалов для установки фундамента, который большей своей массой выступает над поверхностью грунта.

Иногда на полярных станциях при рытье котлованов встречается материковый лед. В таких случаях нужно избегать установки ветродвигателей типа Д-12 и Д-5. Ветряк типа Д-3 можно с успехом устанавливать и на материковый лед.

Монтаж ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12

Монтаж ветродвигателя начинается после того, как будут готовы котлованы. На них делают опалубку и крепят мертвяки для осевого бревна.

Монтаж башни. Монтаж ветродвигателя начинается с башни. Башня ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12—цельнометаллическая, ферменного типа. На этой ажурной пирамиде монтируются все элементы ветродвигателя: головка, ветровое колесо, хвост, вертикальная трансмиссия, балконы.

Сначала монтируют одну грань башни, укладывая ее на земле на подкладках из плавника. Основные угольники ног башни соединяют крестовинами и нижними раскосами. После сборки первой грани выверяют ее на подкладках, добиваясь того,чтобы она лежала ровно. Без этого нельзя правильно смонтировать остальные три грани. Затем собирают верхнюю панель, начиная от верхней опоры башни. При сборке верхней панели собирают

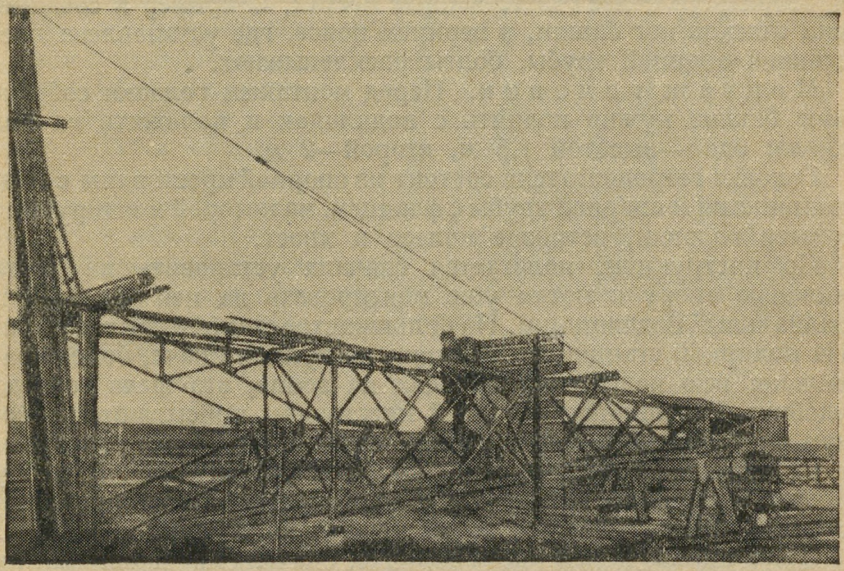


Рис. 29. Смонтированная башня ветродвигателя Д-12

и боковые панели (рис. 29), устанавливая крестовины и пояса. Одновременно устанавливают диагональные растяжки со скользящими подшипниками, которые являются опорами для вертикального вала и придают жесткость и правильную форму сечению башни.

Примерно так монтировались башни ветродвигателей на станциях Юшар, о. Диксон, м. Желания и др. На станциях Матшар и о. Рудольфа башни были собраны на некотором расстоянии от котлованов и уже после сборки их передвигали к котлованам, причем на Матшаре башню передвигали в лежачем состоянии, на о. Рудольфа—установленную вертикально. Ни тот, ни другой способы рекомендовать нельзя. В первом случае (Матшар) можно повредить систему опалубки и нарушить симметрию осей

башни и полиспаста с лебедкой подъема. Кроме того, это требует излишней затраты времени. Способ передвижения в собранном виде, примененный на о. Рудольфа, опасен для выполняющих эту работу, так как башню легко уронить, не говоря уже о том, что при падении башни ветродвигатель будет сразу выведен из строя.

Прежде чем завернуть окончательно все болтовые соединения, каркас башни с диагональными растяжками надо тщательно проверить. В более ответственных местах, например в соединении отсеков ног башни, в верхнем поясе, где установлена крестовина опорной трубы, болты расклепывают.

Монтаж головки. Перед монтажем головки собранную башню нужно поднять с подкладок и положить на два козла: один—высотой 1,5 *м*, второй—2 *м*.

Головка ветродвигателя состоит из опорной крестовины с подшипниками и опорной трубы с фланцем, на которой монтируются картер головки, ветровое колесо и хвост.

По инструкции, полагается сначала установить на место нижнюю опору и потом уже монтировать на ней упорный и радиальный подшипники. На большинстве станций так и делали. На полярной станции м. Желания поступили иначе, более правильно: всю подготовку провели на земле, это было гораздо удобнее. Подшипники опорной крестовины присылаются заводом вложенными в опору. При монтаже все это было разобрано и разложено на листе фанеры около ветродвигателя. Коробку опоры и подшипники промыли керосином, насухо протерли, смазали обильно тавотом и все тщательно собрали.

Сборку проводили в таком порядке. Сначала проверили маслосборную трубку, прочность ее посадки. Если она ввернута слабо, ее нужно вывернуть, смазать резьбу суриком, ввернуть доотказа и с нижней стороны опоры раскернить, чтобы при работе вертикальный вал не мог ее развернуть.

После этого уложили упорный шарикоподшипник (рис. 30), затем поставили распорную коническую шайбу, через которую передается вся весовая нагрузка от головки к упорному подшипнику. Эта шайба должна быть направлена конусом вверх.

После шайбы вложили роликовый радиальный подшипник. Чтобы при постановке опоры на место нижний упорный подшипник и коническая шайба не сместились по отношению к общей оси, заложили четыре деревянных щупа (рис. 31) (перед установкой опорной трубы на место эти щупы убираются). Затем ударами деревянного молотка плотно подогнали роликовый подшипник к конической шайбе. Таким образом была подготовлена и установлена на место опорная крестовина.

После этого приступили к установке на место самой опорной трубы (рис. 32). Для этого сначала надели роликовую обойму на соответствующую заточку опорной трубы головки, которая помещается в верхней опоре башни. Обойму предварительно смазали тавотом. Затем опорную трубу осторожно ввели в верхнюю опору башни. Своим нижним концом—штырем—опорная труба должна входить в нижнюю опору крестовины, а роликовой обоймой—в верхнюю опору башни.

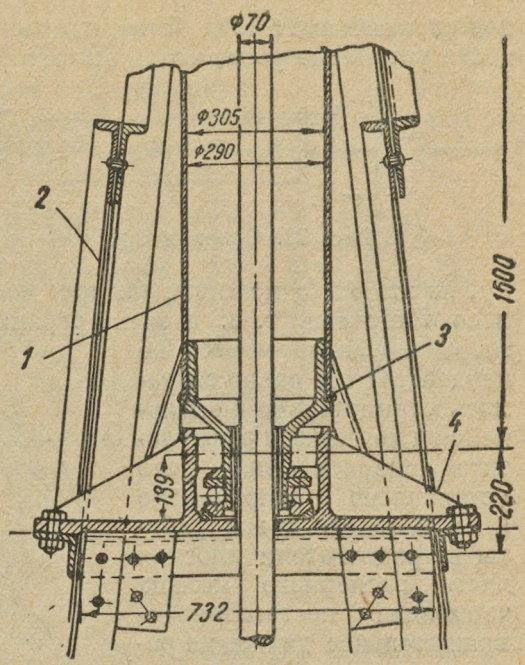


Рис. 30. Нижняя опора башни ветродвигателя Д-12:

1—ствол опорной трубы; 2—нога башни; 3—штырь опорной трубы; 4—опорная крестовина

После установки опорную трубу отрегулировали по месту, чтобы она легко и свободно вращалась в опорах. Так как завод добросовестно выполнил разметку и заготовки, то перекосов не было, и труба вращалась свободно. Если же опорная труба вращается очень туго, нужно отрегулировать ее положение в опорах—верхней или нижней. Для этого пользуются болтами, которыми опорная крестовина крепится к верхнему поясу башни.

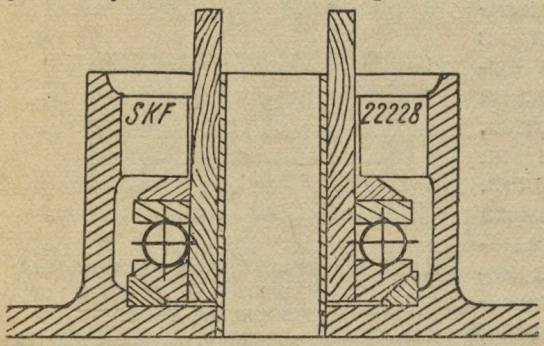


Рис. 31. Схема установки подшипников в опорной крестовине

После установки опорной трубы, по инструкции, должен монтироваться картер головки, а потом уже верхний узел вертикальной трансмиссии с малой конической зубчаткой. Этот

порядок вызывает неудобства при монтаже и приводит к неточности установки узла, что и было на станции Матшар, где приняли порядок монтажа, указанный в инструкции. При монтаже узла верхней трансмиссии из картера сняли большую коническую зубчатку, но это мало помогло, так как монтировать все-таки пришлось в картере, т. е. в очень ограниченном объеме. Времени затрачено было много, но неудобства все равно сказались отрицательно на дальнейшем монтаже, и в результате распорное кольцо было установлено неправильно (рис. 33). Во время работы ветродвигателя плоская часть распорного кольца тормозила поступательно-вращательное движение роликов, ролики заедало, они сбегались к одной стороне, что привело к разработке бронзового сепаратора, разрушению внешней и внутренней обойм подшипника. Через несколько месяцев подшипник вышел из строя, а вместе с ним вышел из строя на два месяца ветродвигатель. К счастью, через Матшар летел на о. Рудольфа летчик Орлов. В начале июня с самолета был сброшен на станцию новый подшипник. Через месяц ветродвигатель был снова пущен в эксплоатацию.

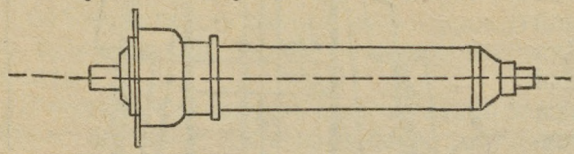


Рис. 32. Опорная труба

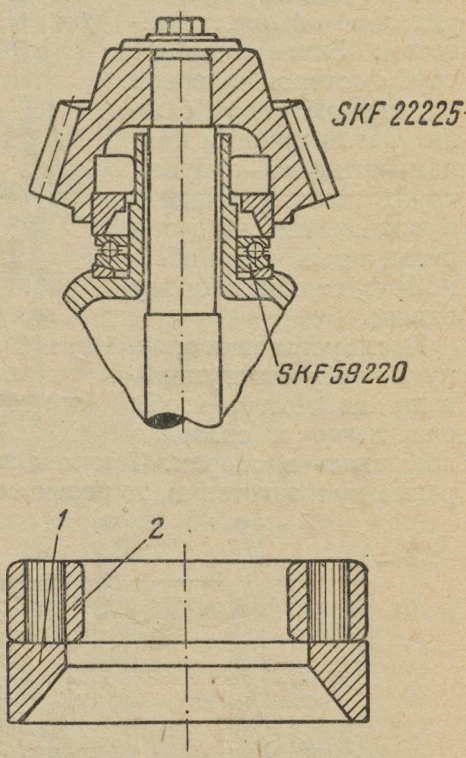


Рис. 33. Неправильно смонтированный узел малой шестерни картера ветродвигателя Д-12:

1—распорное кольцо (установлено неверно); 2—роликовый радиальный подшипник № 22218

На полярной станции м. Желания, чтобы избежать неточностей при монтаже, верхний узел вертикальной трансмиссии монтировали до установки картера головки. Этот

порядок создает бо́льшие удобства—весь узел открыт, ничто не мешает устанавливать малую коническую зубчатку, опоры вертикальной трансмиссии и подшипники.

Сначала установили упорный шарикоподшипник, потом распорное кольцо—заточкой вверх, как показано на рис. 34. Через

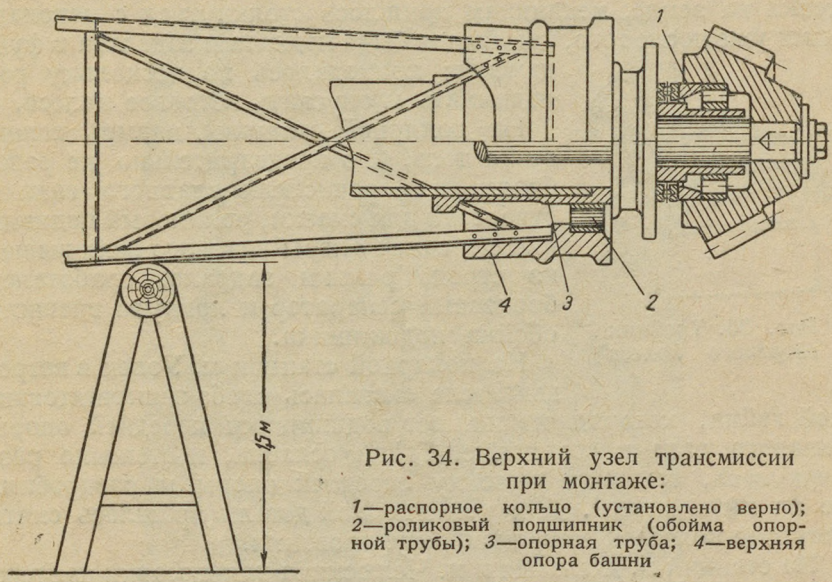


Рис. 34. Верхний узел трансмиссии при монтаже:

1—распорное кольцо (установлено верно); *2*—роликовый подшипник (обойма опорной трубы); *3*—опорная труба; *4*—верхняя опора башни

распорное кольцо и внешнюю обойму роликового подшипника вес вертикальной трансмиссии передается на упорный подшипник.

Роликовый подшипник запрессовали в коническую малую зубчатку, затем посадили зубчатку на первый отсек вертикального вала и установили на место. После установки малой шестерни к первому (верхнему) отсеку вала с помощью муфты присоединили второй (средний) отсек вала.

Картер перед установкой тщательно подготовили на земле: отвернули заднюю заглушку картера, сняли большую коническую зубчатку, крышки переднего и заднего подшипников главного вала, удалили керосином металлическую пыль, прочистили отверстия смазки, забитые мелкой металлической стружкой. После проверки в подшипники заложили солидол и окончательно собрали детали картера. Перед установкой картера головки на фланец опорной трубы проверили посадку тройника ветрового колеса (рис. 35) на главный вал картера,

чтобы на земле устранить производственные недостатки, которые вполне возможны.

В таком же порядке монтировали головку на станциях Матшар, о. Белый и б. Тикси (при капитальном ремонте). На тех же полярных станциях, где картер головки монтировали на фланец опорной трубы без тщательной предварительной подготовки на земле, механикам пришлось столкнуться с неполадками уже после того, как башня была поднята и заделана в фундаменте; приходилось по нескольку раз поднимать и опускать ветровое колесо.

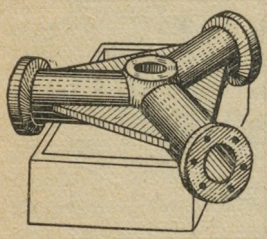


Рис. 35. Тройник ветрового колеса

На полярной станции Анадырь вследствие того, что предварительно не разобрали, не прочистили главного вала и отверстия для смазки, роликовый подшипник передней опоры главного вала вышел из строя, ролики задрало, сработался бронзовый сепаратор и лопнула внешняя обойма подшипника.

На полярной станции м. Уэлен в ветродвигателе оказалась слабо зашплинтованной гайка, которая прижимает подшипники передней опоры главного вала в его цапфе. Гайка ослабла, постепенно развернулась, выдавила крышку передней опоры и раздробила ее на пять частей. Для ремонта этой детали пришлось снять ветровое колесо и механизм регулирования.

На станции м. Желания и м. Челюскина для посадки картера головки на фланец опорной трубы против фланца установили большой прочный козел (рис. 36) высотой в 3—4 *м*, сделанный из бревен плавника диаметром 20—25 *см* (головка весит 1,5 *т*). Головку поднимали и подводили на место при помощи двух блоков Людерса (двухтонных), застропив ее за ушки. Можно для этой цели использовать треногу, как это делали на некоторых других полярных станциях.

При установке головки фланец опорной трубы нужно смазать суриком, чтобы масло не вытекало из картера. Можно положить прокладку из листовой резины толщиной в 1 *мм*. Во время посадки головки нужно следить за сцеплением ее конических шестерен, поэтому заднюю крышку картера следует держать открытой. Окончательно затягивать болты фланца с контргайками нужно, только убедившись в правильном зацеплении шестерен. Этим заканчивается монтаж башни и головки ветродвигателя.

После этого к головке прикрепляют металлический двухблочный козел, который дается заводом в комплекте с ветродвигателем для подъема ветрового колеса и хвоста.

На полярной станции Матшар для установки картера соорудили целые леса. Это совершенно излишне—создаются дополнительные затруднения и затрачивается больше времени.

Установка башни. Перед установкой башни на место нужно тщательно расчистить подошвы котлованов, удалить оттаявший слой.

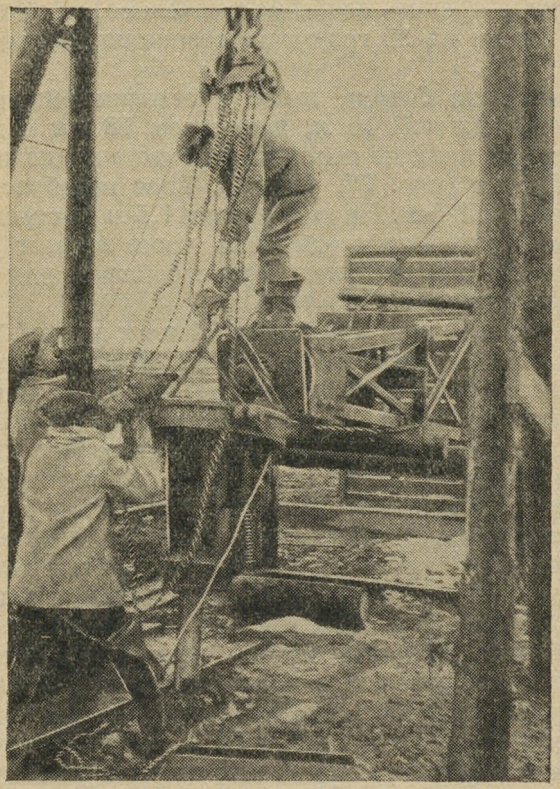


Рис. 36. Установка картера на фланец опорной трубы

Трехтонную ручную лебедку тщательно укрепляют на месте, предварительно проверив соединение вала с барабаном, прочность посадки шестерен и тормоз. Это нужно делать обязательно, так как бывают случаи, что сдают шпонки крепления барабана, тогда авария неминуема. Способ крепления лебедки показан на рис. 37.

Чтобы во время подъема не произошло деформации в нижнем поясе башни, ставят дополнительно деревянные брусья размером 150×150 *мм*.

Две ноги башни прикрепляют хомутами к осевому бревну, для того чтобы башня во время подъема не скользнула к лебедке, а вращалась на месте с осевым бревном, как на шарнире. Осевое бревно во время подъема укрепляют тросами за мертвяк. Этот узел нужно крепить особенно тщательно, так как вначале, до подъема башни на 30 градусов, возникают большие напряжения.

За верхний пояс башни, выше крестовин опорной трубы, укрепляют трос длиной 16 *м*, диаметром 18 *мм* в две пряди. Чтобы трос на уголках не перерезало, нужно подложить бревно диаметром 200 *мм* (рис. 37, узел *1*). Трос перебрасывают через стрелу высотой 6 *м*. На расстоянии 1,5 *м* от стрелы вешают двухшкивный блок. Все соединения троса крепят замками— это очень простое и надежное приспособление для крепления тросов при такелажных работах.

Основной рабочий трос диаметром 24 *мм* и длиной 75 *м* одним концом прикрепляют наглухо к лебедке, другой конец заводят через двухшкивный блок, затем пропускают через одношкивный блок у лебедки, через второй шкив двухшкивного блока стрелы и после этого заправляют на барабан лебедки. Перед заправкой основной трос нужно раскатать, затем провезти его за один конец по земле, для того чтобы он при подъеме не скручивался. Скручивание вызывает заедание в роликах блоков во время подъема, и это может привести к обрыву троса и к аварии (падение башни), как это произошло на Херсонском заводе в 1935 г.

К верхней опоре укрепляются три оттяжки: две боковые и одна лобовая. Боковые нужны для того, чтобы башня не ушла в сторону; лобовая оттяжка удерживает башню от падения к лебедке, когда башня становится в котлован. Головку ветродвигателя прикрепляют тросом к верхней опоре башни, чтобы опорная труба с головкой при подъеме не могла переместиться в продольной оси и чтобы не нарушилась правильная посадка подшипников штыря опорной трубы, которые помещаются в опорной крестовине (рис. 38).

На полярной станции м. Желания все участвующие в подъеме были распределены по объектам или узлам: четверо были поставлены у лебедки, по одному на боковые и головную оттяжки, четверо подставляли большой козел под башню во время ее подъема примерно до 20°, чтобы уменьшить нагрузку на грузовом тросе и лебедке; потом козел убрали. Чтобы убедиться в прочности всех узлов крепления такелажа, башню

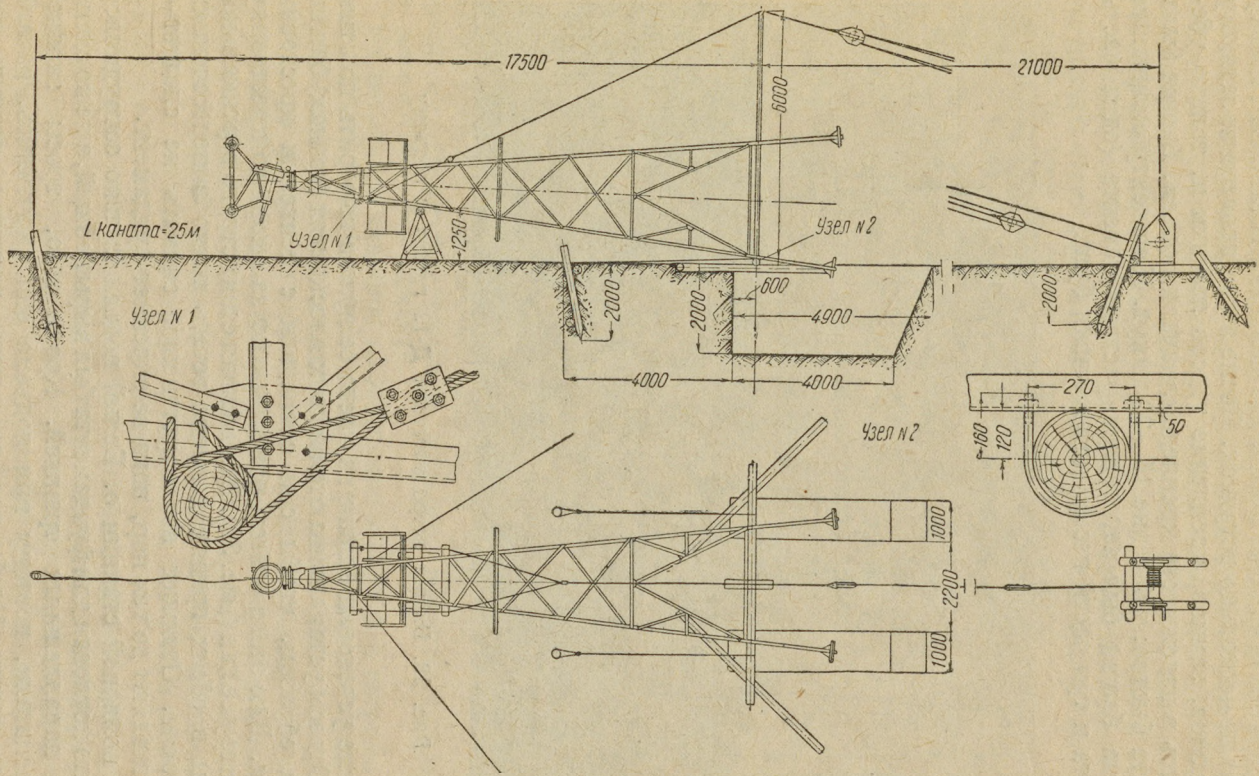


Рис. 37. Схема подъема ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12

приподняли сначала на 20 *см*, два человека встали на головку и сделали несколько встрясок. После этого проверили затяжку всех узлов, замков, крепление тросов лебедки и, только убедившись в надежности крепления, начали подъем. Башня была поднята быстро: в течение 15—20 минут. К моменту окончания подъема башни был заготовлен раствор цемента (одна часть цемента и три части песку) для заливки бута.

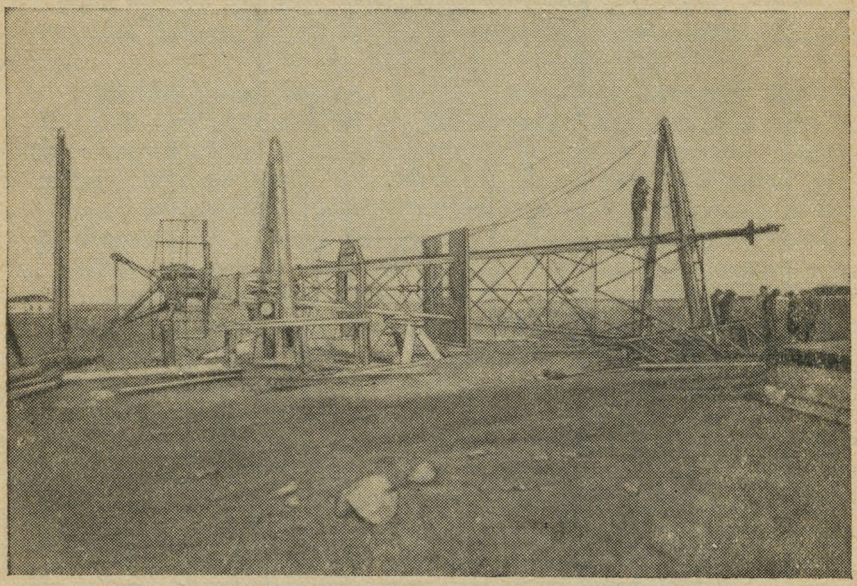


Рис. 38. Башня ветродвигателя Д-12 готова к подъему

После установки башни на место ее нужно выверить по отвесам. Отвесы устанавливаются в двух плоскостях (гранях) башни таким образом, чтобы они совпадали с центрами крестовин башни. Для этого отвесы привязывают за опорную крестовину по центру ее лап (рис. 39). Если башня стоит строго вертикально, отвесы в обеих гранях должны встать точно в пересечениях крестовин. Оттяжки после установки снимать не следует— их оставляют до тех пор, пока не окрепнет фундамент.

На полярной станции о. Белый подъем сильно затруднялся тем, что котлован для фундамента был вырыт общий, а не по схеме двух параллельных траншей. Кроме того, тросы заранее не раскатали, поэтому при подъеме они скрутились, начали сдавать замки. Чтобы все распутать, пришлось ставить под

башню большой козел. На полярной станции Матшар при подъеме башни неправильно установили стрелу. Стрелу ставят всегда на осевое бревно под углом к нему 90°. На Матшаре установили стрелу на некотором расстоянии от башни и осевого бревна. При подъеме стрела могла повалиться в сторону и вызвать падение башни. Чем дальше от башни одной и той же высоты стоит стрела, тем меньше угол подъема и тем больше усилия на трос и лебедку. При очень больших усилиях может лопнуть трос или не выдержит лебедка. Если же стрела отнесена очень далеко, она теряет свое значение.

На о. Диксон осевое бревно укрепили за большой камень, торчащий из грунта. Когда башню подняли на 25—30°, камень вырвало. К счастью, под башню успели поставить козел, и авария была предотвращена. Далее оказалось, что ноги башни не проходят в траншеи котлована—не позволяют лапы. Это было следствием ошибки механиков. Лапы нужно привертывать уже тогда, когда башня поднята и стоит на оттяжках в котловане. Все это должно быть учтено заранее, чтобы при подъеме не было задержек, которые часто приводят к серьезным авариям.

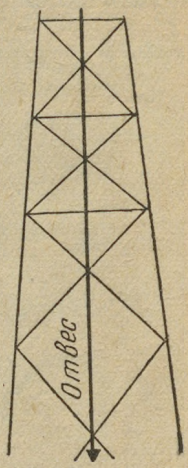


Рис. 39. Установка отвесов в плоскости башни

Заделка башни ветродвигателя в фундамент. Фундаменты под башню ветродвигателя на полярных станциях изготовляются различных типов, в зависимости от структуры грунта и рельефа: цементные, ряжевые и мерзлотные без цемента.

На полярную станцию м. Желания в 1935 г. с ветродвигателем ЗЦВЭИ Д-12 были присланы для фундамента рубленый ряж-сруб и четыре бочки цемента. Ветры на м. Желания доходят иногда до урагана (скорость 45 *м/сек* и выше). Надеяться на ряжевый фундамент было рискованно. Поэтому решили сруб ряжа использовать на строительство свинарника, а фундамент сделать бутовый на цементном растворе. Цемент распределили заранее, с учетом структуры фундамента, который в различных узлах имеет неодинаковую прочность.

Под основание фундамента засыпали мелкобитый щебень из кирпича-лома, залили густым цементным раствором, под лапы сделали кирпичную кладку-подушку на растворе цемента. Одновременно заложили в оба котлована для каждой пары ног тот же щебень. Делали все очень быстро, чтобы получить бут

однородной структуры и прочности. Таким бутом вывели фундамент до начала верхних лап ног башни (рис. 41). Не доходя на 300 *мм* до талого слоя, перемычку убрали. Таким образом получился общий котлован в виде квадрата размером 3 000 × 3 000 *мм*. В этом квадрате заложили бутовую подушку точно такого же строения—мелкобитый кирпич и камень, залитые раствором цемента. Толщина большой бутовой плиты получилась равной 300 *мм*. На эту плиту установили два ящика,

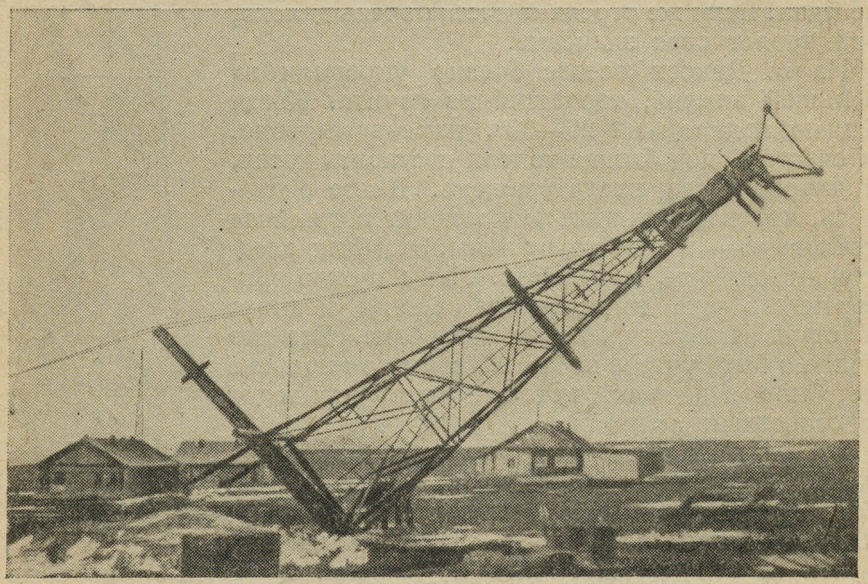


Рис. 40. Подъем башни на полярной станции м. Шмидта

по габариту равные фундаментам под нижний редуктор трансмиссии ветродвигателя и под генератор. По окончании постройки бутового фундамента в этих ящиках строили прочные кирпичные фундаменты под редуктор и генератор. Такой способ позволил ускорить постройку фундамента в целом.

Перед тем как установить ящики, надо совершенно точно определить их положение разметкой. В особенности это важно для установки фундамента под редуктор. Центр редуктора находят в пересечении диагоналей между ногами башни (рис. 42), потом проверяют отвесом от центра вала. Центр фундамента размечают по центру плиты редуктора. После этого ящики крепят брусьями и начинают выводить общий фундамент.

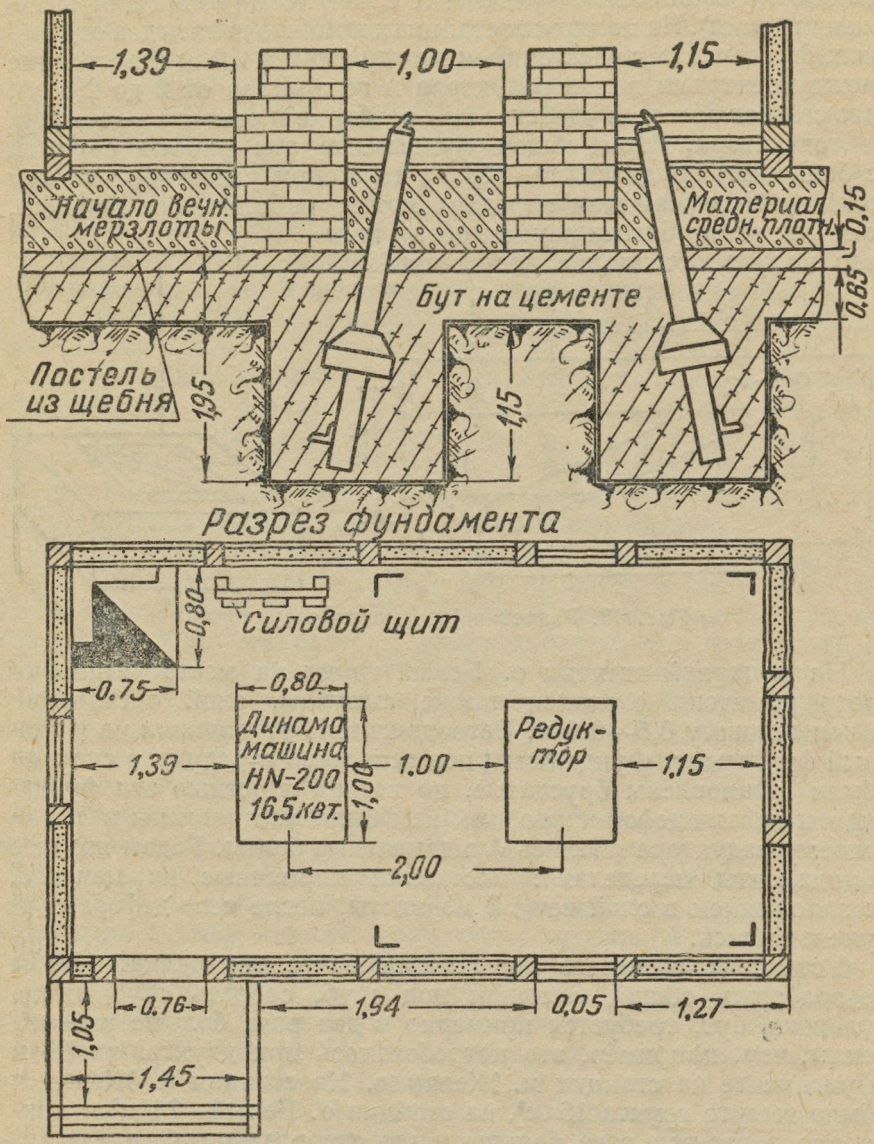


Рис. 41. Разрез фундамента и план здания ветродвигателя Д-12 на полярной станции м. Желания

По инструкции, редуктор и динамомашина должны быть установлены на общем фундаменте с лениксом (ролик для натяжения ремня). На полярных станциях принято делать два отдельных фундамента с расстоянием между ними в 1,2 *м* (расстояние между центрами валов редуктора и генератора от 2 до 2,5 *м*), что создает бо́льшие удобства при разборке и ремонте редуктора и генератора. При общем фундаменте эти работы связаны с большими трудностями. Кроме того, при расстоянии между осями в 2 *м* ременная передача может работать без леникса, так как угол обхвата ремнем обоих шкивов получается вполне достаточный.

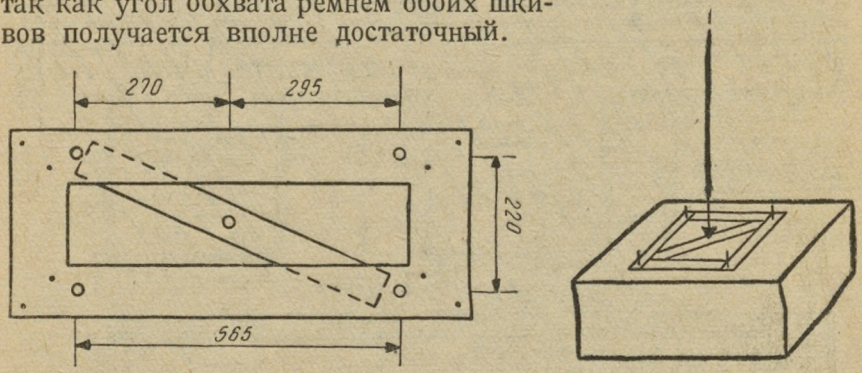


Рис. 42. Разметка фундамента редуктора

На полярной станции о. Белый грунт на месте установки ветродвигателя оказался также сыпучим, слой оттаивания имел толщину 0,5—0,6 *м*. Ветродвигатель установили на ряжевый фундамент. Фундаменты под генератор и редуктор сначала были установлены брусчатые, но весной и осенью эти фундаменты давали деформацию, так как были установлены в талом слое; у редуктора рвались фундаментные болты. Годом позднее фундаменты переделали: поставили кирпичные на цементе, с заложением в слой вечной мерзлоты, после чего деформации уменьшились.

Установка ряжевого фундамента более трудоемка. Чтобы разработать общий котлован под сруб, собрать сруб ряжа, уложить бут, требуется примерно в два раза больше рабочей силы, чем, например, это потребовалось при двухтраншейном фундаменте на станции м. Желания. На станции м. Желания было вынуто грунта 16 $м^3$, на станции о. Белый—24 $м^3$ и примерно в два-три раза больше ушло строительного материала. На станции м. Желания израсходовано 3,5 бочки цемента, а сруб ряжа был использован для постройки свинарника; на станции о. Белый ушел весь сруб и 6 бочек цемента.

На полярной станции м. Уэлен форма котлованов под фундамент ветродвигателя была такая же, как и на станции м. Желания, но цемента ушло в три раза больше, потому что его вводили в раствор в большем количестве. Нормальной пропорцией при цементной кладке считается такая: 1 часть цемента, 3 части песку и 5 частей гравия-щебня (по объему). На Уэлене брали 1 часть цемента, 1 часть песку и 3 части гравия. На полярной станции Юшар ветродвигатель установили на скалистой возвышенности. В грунт уйти глубоко не удалось, поэтому фундамент оказался на поверхности. На постройку фундамента ушло 16,8 *т* цемента. Этого непроизводительного расхода можно было бы избежать, выбрав для установки другое место, что было вполне возможно, если учесть местную розу ветров.

В виде опыта в 1938 г., по техническому заданию силовой группы при Радиослужбе Управления полярных станций, на одной из полярных станций 3-го разряда ветродвигатель типа ВИМЭ Д-5 был установлен в мерзлотном фундаменте совершенно без цемента. Установка работает и сейчас без изменений и деформаций основных узлов ветродвигателя.

В 1939 г. по такому же типу были построены фундаменты у двух ветроустановок—ВИМЭ Д-5 на о. Русском и ЗЦВЭИ Д-12 на полярной станции б. Тихая. Исключительный интерес представляет установка в б. Тихой ветродвигателя Д-12 в мерзлотном фундаменте. Она доказывает, что вполне возможно устанавливать на мерзлотном фундаменте ветродвигатели не только маломощные—в 1—2 *квт*, но и средних мощностей—от 8 до 15 *квт*. Это значительно упрощает и удешевляет строительство ветроустановок.

Установки в б. Тихой и на о. Русском взяты на особый учет, чтобы проверить расчеты и допускаемые нормы, установленные строительной практикой для фундаментов. Среди инженеров-строителей существует мнение, что в Арктике прочность фундаментов на всякий случай нужно увеличивать. А на практике оказалось, что ветродвигатель работает одинаково хорошо и в том случае, когда он поставлен на фундамент, на который затрачено 18,5 *т* цемента, и в том случае, когда он поставлен совсем без цемента. Очевидно, строители еще очень плохо знают свойства вечной мерзлоты.

На радиоузле Анадырь ветродвигатель установили на склоне возвышенности, фундамент редуктора—в талом слое, не связав его с основным. Грунтовые воды, скопившиеся летом вследствие наклона почвенных слоев под фундаментом редуктора, осенью замерзли, и фундамент начал выпучиваться. Это привело к выходу редуктора из строя. На месте решили, что авария

произошла вследствие подъема башни летом и усадки ее зимой. Но этого не могло быть, так как ноги башни были заделаны цементной кладкой на глубину 2,5 *м* в вечной мерзлоте. Спустя год технорук т. Волков установил причины аналогичного явления на постройке рубленого дома. Стулья под сруб были поставлены в вечную мерзлоту, каркасный тесовый тамбур поставили без стульев на нижний венец, который с вечной мерзлотой не связали, и получилось, что тамбур поднимался зимой на 15—20 *см*, а летом занимал свое первоначальное положение.

Так как устойчивым грунтом является грунт в вечной мерзлоте, а талый слой—слабый и изменяющийся, то фундамент редуктора, так же как и ноги башни, нужно заделывать в слой вечной мерзлоты.

Глубина заложения зависит от глубины талого слоя, но, во всяком случае, фундамент редуктора должен быть заложен в вечной мерзлоте не меньше чем на глубину 0,8 *м*.

Монтаж и подъем хвоста ветрового колеса ветродвигателя Д-12. После окончания заделки башни фундаменту дают окрепнуть в течение трех-четырех суток. Только после этого срока можно при тихой погоде поднимать хвост и ветровое колесо.

Монтаж и подъем ветрового колеса и хвоста и установку их на головку ветродвигателя на разных полярных станциях проводили различно: некоторые механики придерживались инструкции, некоторые допускали отклонения от нее, что иногда приводило к существенным ошибкам, которые приходилось исправлять уже в процессе эксплоатации

На полярной станции м. Желания в течение трех суток, пока не окреп фундамент, на земле монтировали хвост и ветровое колесо. Сначала монтировали хвост. На земле собирали ферму хвоста, состоящую из двух звеньев, крепили их болтами. Перо привернули тогда, когда ферма хвоста была укреплена на нижнем шарнире-шкворне. При помощи козла, лебедки и блоков подняли ферму вместе с пером наверх и укрепили чеками в верхних ушках головки.

Чтобы долго не возиться с подгонкой фермы хвоста наверху, это делали на земле.

При подъеме хвоста наверх шесть человек подпорами отодвинули хвост от башни, чтобы ослабить нагрузку на трос, так как ввиду малого угла, образуемого подъемным тросом с фермой хвоста, возникают большие усилия на трос, лебедку, блоки и ферму хвоста, которая может погнуться, что и произошло при монтаже ветродвигателя на полярной станции б. Тикси. Во избежание прогиба фермы хвоста к верхней и нижней гра-

ням фермы привернули проволокой по деревянному брусу размером 100×150 *мм*.

Одновременно с монтажем и подъемом хвоста монтировалось и ветровое колесо, которое является самым ответственным узлом. От того, насколько правильно смонтированы ветровое колесо и механизм регулирования, зависят в основном режим работы и эксплоатационные показатели ветродвигателя. Напомним кратко, что представляет собой ветровое колесо. Это—приемник энергии ветра, состоящий из удобообтекаемых лопастей

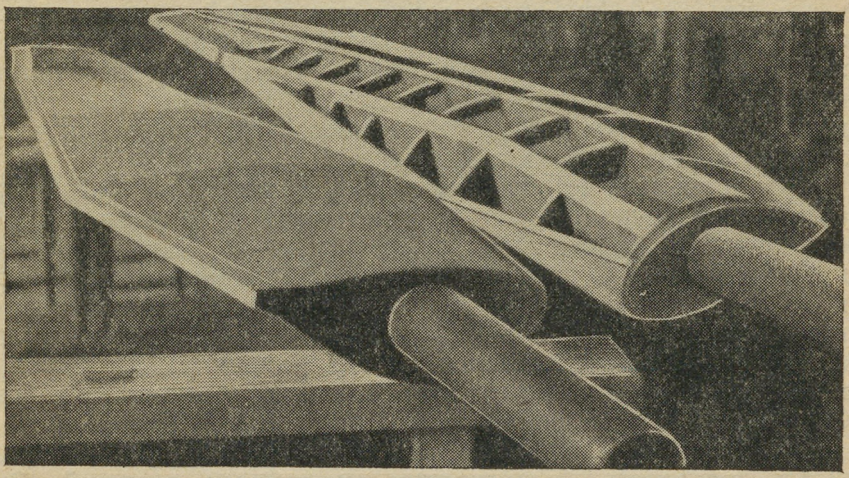


Рис. 43. Конструкция лопастей ветрового колеса Д-12

по типу самолетного крыла, соединенных тройником и расположенных по отношению друг к другу под углом 120°. Крыло состоит из деревянного каркаса двухлонжеронного типа с поперечными нервюрами; лобовая часть для жесткости обшивается фанерой, потом весь каркас обшивается четырехкилограммным оцинкованным железом (рис. 43). Лопасть крыла делится на две части: жесткозакрепленную и поворотную. Жесткозакрепленная часть занимает 60% площади крыла, а на долю поворотной части приходится 40%. Профиль лопасти с одной стороны плоский, с другой—выгнутый. Плоской стороной ветровое колесо устанавливается на ветер. Поворотная часть имеет при себе стабилизатор на стойках, который управляет поворотной частью лопасти во время регулирования оборотов ветрового колеса. Ветровое колесо должно иметь постоянное число оборотов независимо от изменения скорости ветра.

Монтаж ветрового колеса проводили следующим образом.

Когда головка была еще на земле, проверили посадку тройника на главный вал, чтобы не заниматься подгонкой наверху, во время посадки ветрового колеса. После проверки тройник поставили на стул и вставили в него крылья. Установив все три крыла и закрепив их махи шпильками к тройнику, надели поворотные лопасти на поворотную часть трубы махов.

По окончании подгонки поворотных лопастей открыли фортки у всех крыльев для монтажа тяг регулирования, просмотра подшипников и завертывания трубчатой гайки поворотной части лопасти. Трубчатую гайку поворотной лопасти нужно затягивать очень тщательно и после затяжки резьбу гайки зажать для надежности винтом. Можно через гайку просверлить отверстие для шплинта. Этот узел является очень ответственным: если во время работы гайка отвернется, поворотная часть лопасти слетит с поворотного маха.

Собрав лопасти ветрового колеса, установили на стойки стабилизаторы, соединили тяги с рычагом регулирования, центробежной тягой, пружиной регулирования—в общем смонтировали все регулирующие приспособления, которые должны быть при крыле. После этого все ветровое колесо поставили на шаровую поверхность, чтобы проверить балансировку. Вообще балансировка колеса проверяется на заводе, но при транспортировке и разгрузке она может нарушиться, и ветровое колесо в работе будет бить, что вызовет вибрацию в головке и башне.

В окончательно собранном ветровом колесе нужно обязательно проверить балансировку поворотных лопастей. Это нужно делать в тихую погоду. Поворотная лопасть должна вращаться легко, без заеданий; от легкости ее вращения зависит чувствительность регулирования ветрового колеса. Кроме того, хорошо отбалансированная лопасть, в каком бы положении ее ни останавливали, должна оставаться в этом положении. Для этого поворотная часть с консолью, на которой крепится стабилизатор, должна быть хорошо уравновешена (рис. 44).

Если не уравновесить поворотную часть лопасти относительно трубы маха, на которой она вращается, центр тяжести поворотной лопасти получится не в центре системы, и нормальное регулирование числа оборотов нарушится, даже при правильно смонтированном аппарате регулирования.

Отбалансировав поворотную лопасть, установили угол стабилизатора на пуск и останов.

Предварительную установку углов стабилизатора на пуск и останов делали на земле, чтобы проверить весь регулирующий аппарат: нет ли где заедания. При проверке оказалось, что две

центробежные тяги на 20 *мм* длиннее, чем следует. При слишком длинных тягах угол на пуск и останов получается меньше нормального. Чтобы исправить недостаток, пришлось распилить окно трехплечего рычага в тройнике и обрезать тяги.

К тому времени, когда была закончена подготовительная работа к подъему ветрового колеса, хвост с верхним балконом стоял на месте.

По инструкции, полагается сначала поднимать ветровое колесо, затем хвост, но на полярной станции м. Желания сде-

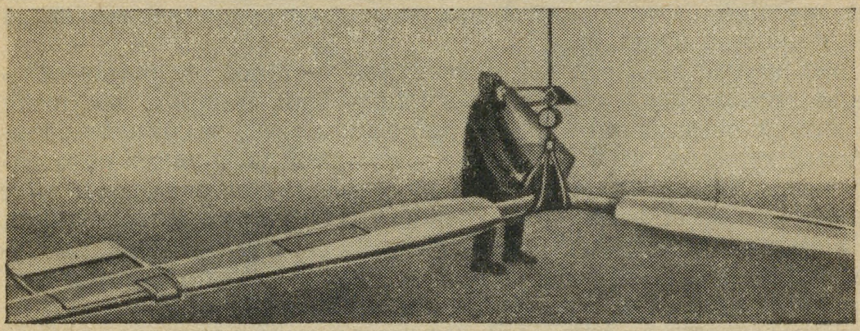


Рис. 44. Балансировка ветрового колеса Д-12

лали наоборот, так как это гораздо удобнее. Когда установлен хвост, легко собирать верхний балкон, а на головке балкона можно удобно и без всякого риска устанавливать на главный вал ветровое колесо.

При посадке ветрового колеса удобство подхода к нему имеет большое значение, потому что в Арктике погода очень быстро изменяется. Так и было при установке ветрового колеса на м. Желания. Начали работать при скорости ветра в 5—6 *м/сек*, а когда колесо сажали на вал, ветер усилился до 10 *м/сек*. Если не обеспечить себе известных удобств, то при сильном ветре придется бросить работу, иначе может произойти несчастный случай.

Перед подъемом ветрового колеса сняли пружины регулирования. Место главного вала, на которое надевается ступица тройника, смазали смесью графита с солидолом. Если этого не сделать, будет тяжело снимать тройник при ремонте ветрового колеса, муфт регулирования и останова и заменять подшипник передней опоры главного вала. Затем на главный вал надели муфту останова и кольцевую муфту регулирования.

Поднимали ветровое колесо, застропив его за середину тройника, чтобы ветровое колесо не задевало крыльями за башню и чтобы удобнее было поставить его на место. К двум крыльям прикрепили оттяжки, которыми управляли при подъеме и посадке колеса. Оттяжки укрепили к поворотной части лопасти, к месту, где закреплены компенсирующие грузы, сняв с них капоты.

В подъеме участвовали все работники станции. По четыре человека стояло на оттяжках. Посадку колеса на вал закончили быстро и благополучно. Колесо укрепили и привязали его за верхний балкон, чтобы при изменении направления ветра не поломало крыльев.

На другой день крылья освободили, установили рычаг останова, поставили кожух на регулирующий аппарат, все щели в местах соединения кожуха прошпаклевали, закрасили свинцовым суриком, чтобы летом не затекала вода, а зимой не попадал снег. Поставили капоты на пружины регулирования и тоже прошпаклевали и покрыли суриком. Открыли картер, залили в него 6 *кг* моторного масла с графитом (графита-порошка положили 200 *г*) для обкатки новых зубчаток, чтобы согнать в сцеплениях заусенцы и получить мягую работу шестерен.

Ветродвигатель ЗЦВЭИ Д-12 впервые устанавливался в Арктике. Поэтому было очень важно правильно его смонтировать, отцентровать, закрепить в фундаменте и отрегулировать обороты ветрового колеса. Упущения в этом деле могли подорвать доверие к этому необходимому для Арктики агрегату.

На полярной станции о. Белый сначала смонтировали ветровое колесо, потом хвост, в таком же порядке делали и подъем. По неопытности механика, при монтаже ветрового колеса была допущена серьезная ошибка. Чтобы получить более жесткое и надежное соединение маха с тройником, на трубу маха приваривают фланец с конусом (рис. 46), который при затяжке фланцев дюймовыми шпильками воспринимает на себя изгибающие моменты, разгружая тем самым шпильки от излишних перенапряжений. Шпильки в этом случае несут только нагрузку от веса крыльев—усилие на разрыв. Для последующей затяжки конусов при эксплоатации между фланцами тройника и маха делается заводом зазор до 5 *мм*. Когда на о. Белом стали монтировать этот узел и обнаружили зазор в 4 *мм*, то, чтобы фланцы плотно сошлись, конусы по окружности опилили и зазор уничтожили. Таким образом все усилия, возникающие в этом узле во время работы ветрового колеса, перенесли на шпильки. При эксплоатации дюймовые шпильки начали рваться, ежегодно приходилось менять в каждом узле по нескольку шпилек. Спустя два

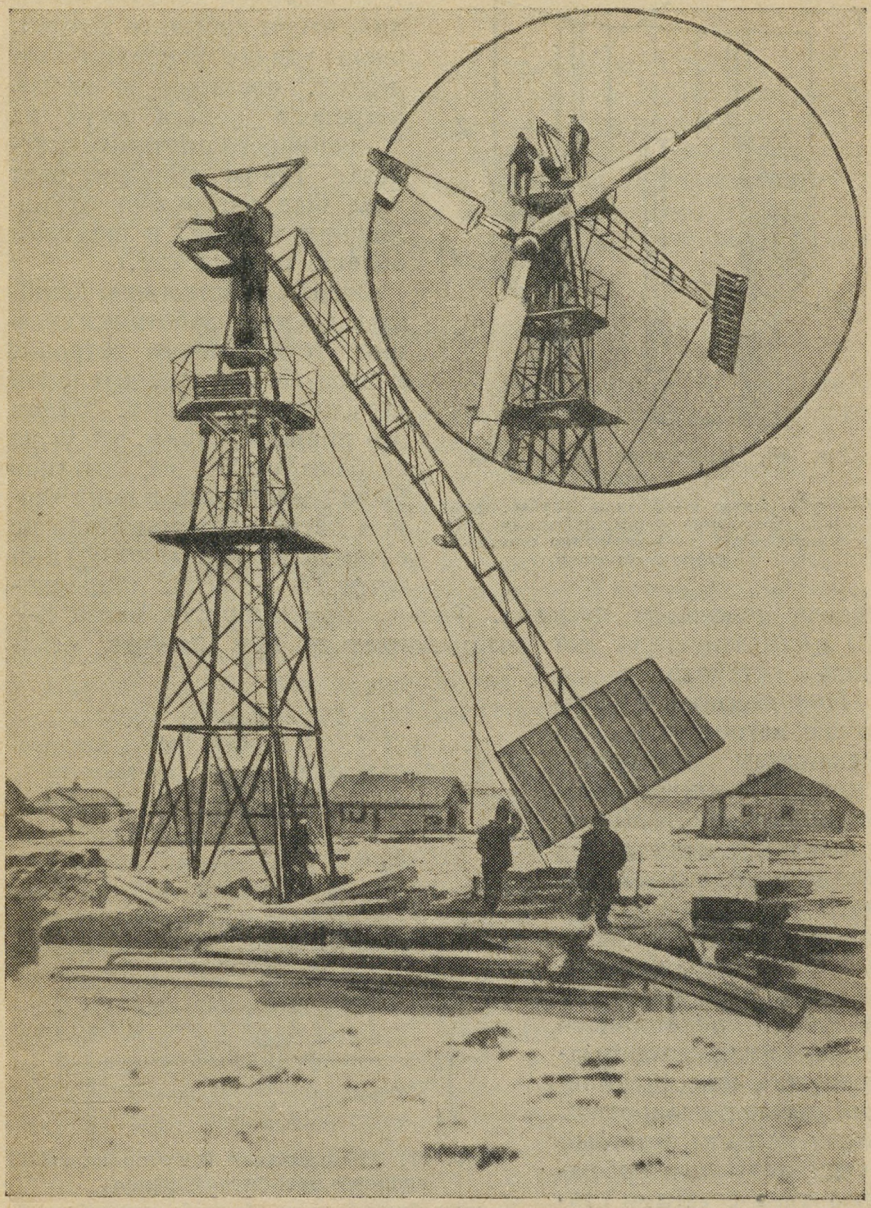


Рис. 45. Подъем ветрового колеса и хвоста ветродвигателя Д-12 на полярной станции м. Челюскина

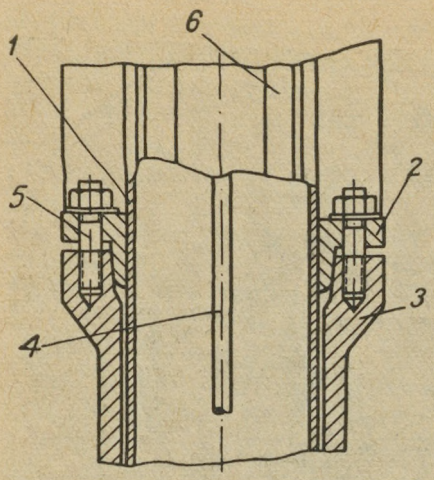


Рис. 46. Соединение трубы маха с тройником:

1—труба маха; *2*—фланец трубы маха; *3*—тело тройника; *4*—центробежная тяга регулирования; *5*—1-дюймовая шпилька; *6*—ребро жесткости

года опытный механик Лепихин, чтобы избежать аварии, очень удачно исправил этот дефект, поставив к махам ветрового колеса паук из $^5/_8$-дюймового пруткового железа. Таким образом, этот узел был разгружен от излишних усилий, и шпильки больше не срывало.

Очень существенную ошибку допускали работники станции, устанавливая ветровое колесо без предварительной регулировки. На о. Белом это привело к тому, что углы стабилизатора на останов были даны малые, и при сильном ветре ветродвигатель не останавливался. Поэтому при ветре 15—16 *м/сек* ветродвигатель совсем не пускали. Только при скорости ветра 8—10 *м/сек* двигатель мог останавливаться при помощи механизма останова.

При монтаже и установке ветрового колеса механикам полярных станций пришлось преодолевать некоторые затруднения, являвшиеся следствием некачественного изготовления ветродвигателей на заводе. На полярной станции Анадырь не могли получить правильного общего угла стабилизатора, так как трехплечий рычаг в поворотной части лопасти, который соединяет центробежную тягу с тягами стабилизатора, упирался в лонжерон (рис. 47).

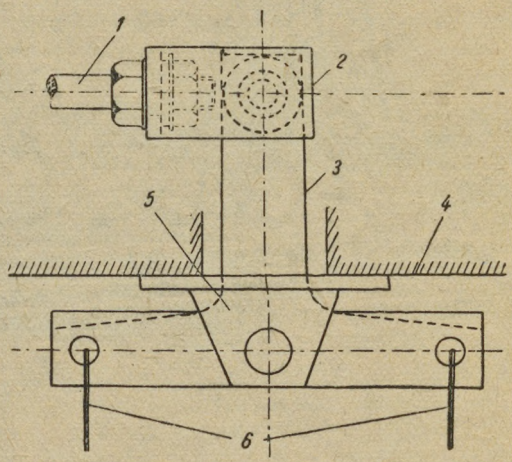


Рис. 47. Неправильно изготовленный верхний трехплечий рычаг:

1—центробежная тяга; *2*—скоба центробежной тяги; *3*—рычаг центробежной тяги; *4*—лонжерон; *5*—стойка; *6*—тяги стабилизатора (пунктиром показано, какую часть надо снимать)

Пришлось несколько опилить трехплечий рычаг и снять часть лонжерона.

На полярной станции Юшар окна трехплечего рычага не позволяли довести общий угол стабилизатора до 30°10′. Почему-то на заводе эту часть двигателя при контрольной сборке не проверяют. Механики Юшара вышли из положения, распилив окно.

При умелом и внимательном монтаже ветрового колеса вполне возможно устранить эти мелкие недостатки и отрегулировать работу для тех условий, на которые рассчитаны двигатели.

Монтаж ветродвигателя ВИМЭ Д-5

Ветродвигатель ВИМЭ Д-5, отличающийся от двигателя ЗЦВЭИ Д-12 мощностью и конструкцией отдельных узлов, имеет некоторые особенности и в монтаже.

Сначала, так же как и при монтаже ветродвигателя Д-12, собирают башню. Башня ветродвигателя ВИМЭ Д-5, также ферменного типа, построена из углового железа. При монтаже башни необходимо учитывать крепление и установку деталей механизма останова. Трос останова должен проходить по одной ноге башни, поэтому лебедку, блок и муфту останова надо ставить к одной стороне башни.

Каркас башни монтируют также сначала на земле, затем поднимают на козел для монтажа головки, вертикальной трансмиссии и балкона.

В отличие от ветродвигателя Д-12 у двигателя ВИМЭ Д-5 ветровое колесо и хвост на головке монтируются до подъема ветродвигателя, на земле, после чего поднимают все целиком.

Головка ветродвигателя ВИМЭ Д-5 выполнена заодно с опорной трубой. С завода ее выпускают с установленными коническими зубчатками и с верхним отсеком вертикального вала. При установке головки в опору башни нужно внимательно следить за посадкой подшипников в верхней и нижней опорах.

Практика показала, что при установке на место подшипников обеих опор удобнее сначала посадить их на опорную трубу и вместе с трубой устанавливать в опорах. Такой порядок сборки исключает возможные перекосы и заедания в подшипниках. При установке опорной трубы в опорную крестовину нужно следить за тем, чтобы отверстие в ней для направляющей планки муфты останова совпадало с отверстием на верхней опоре башни.

Схема подъема ветродвигателя Д-5 показана на рис. 48. На рис. 49 изображен подъем этого ветродвигателя на полярной

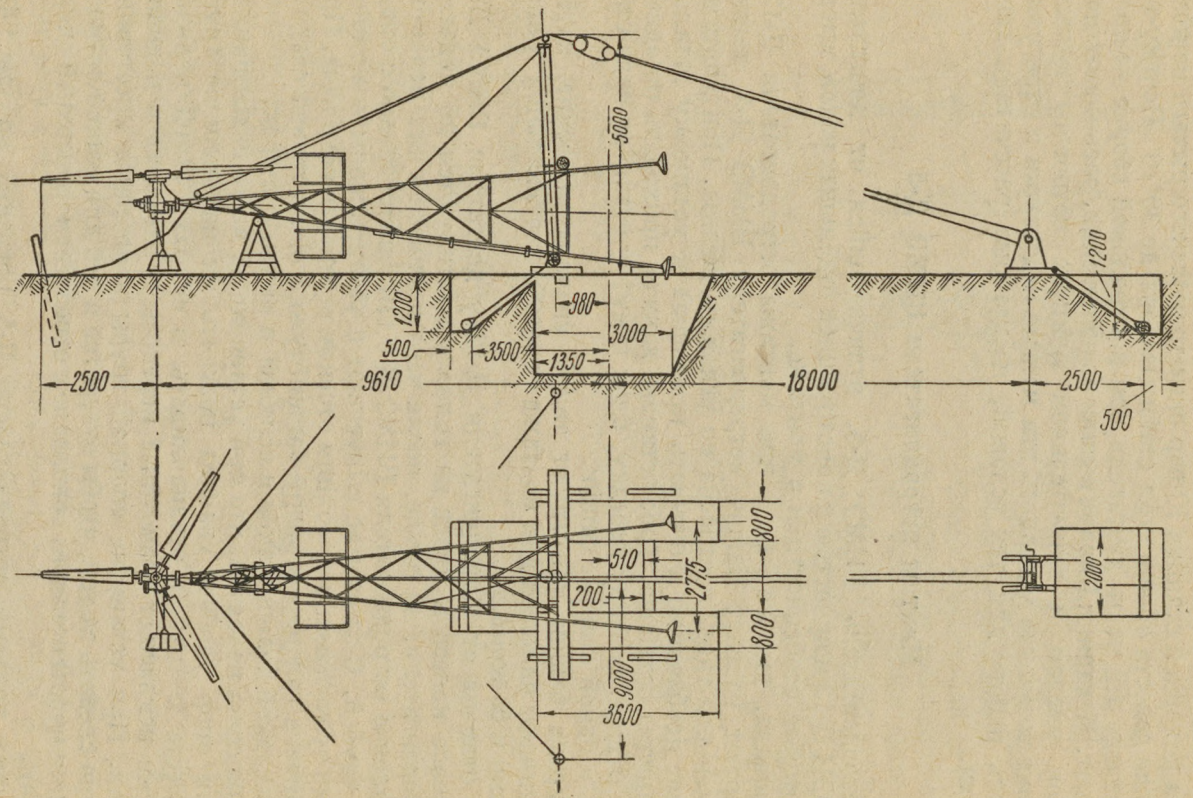


Рис. 48. Схема подъема ветродвигателя Д-5

станции Маре-Сале. Чтобы ветровое колесо и хвост при подъеме не болтались, их связывают.

Следует отметить, что вовсе не обязательно монтировать ветровое колесо и хвост до подъема ветродвигателя, как это рекомендуется инструкцией. Не всегда на полярных станциях могут быть подходящие для этого условия. Так, например, на полярной станции имеется лебедка грузоподъемностью на 1 *т*, а для

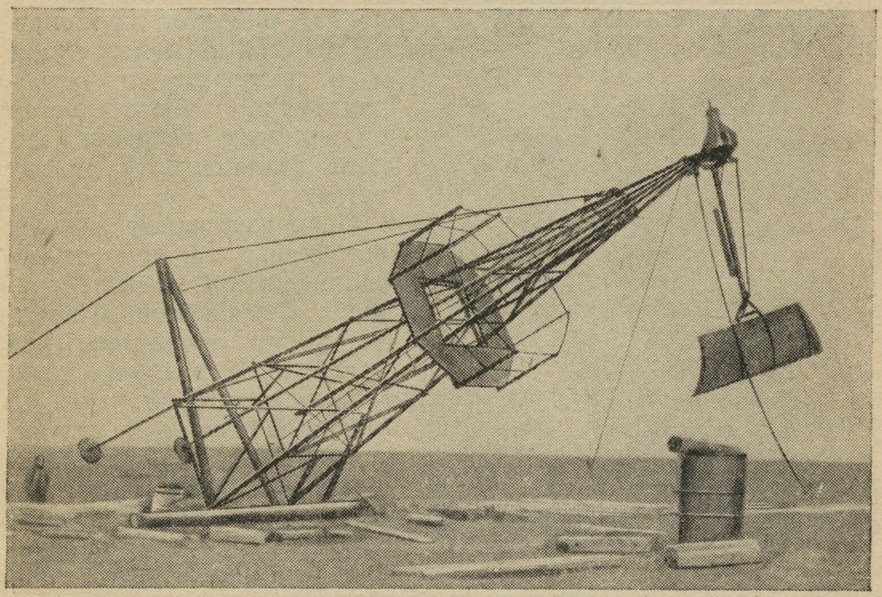


Рис. 49. Подъем ветродвигателя на полярной станции Маре-Сале

подъема ветродвигателя требуется лебедка на 1,5 *т*. Или же, например, на станции есть трос диаметром 9—10 *мм*, а требуется 12-*мм*. Или же нехватает людей. В таких случаях можно ветродвигатель поднимать без ветрового колеса и хвоста, а хвост и колесо устанавливать уже после заделки башни, когда затвердеет фундамент.

Можно также не поднимать ветровое колесо собранным, а вставлять по одной лопасти в тройник, который заранее ставится на вал ветродвигателя.

Перед подъемом ветродвигателя нужно тщательно проверить все узлы крепления, в особенности крепление осевого бревна и лебедки. Поднимать ветродвигатель нужно при тихой погоде.

При подъеме люди должны быть расставлены по местам— у лебедки, боковых и лобовой оттяжек. Один человек наблюдает за подъемом и дает команду.

После подъема башню устанавливают по отвесам, так же как и башню ветродвигателя Д-12.

Установка ветродвигателя ВИСХОМ Д-3

Ветродвигатель ВИСХОМ Д-3 (рис. 50) работает на полярных станциях с 1939 г. Это—наиболее простой по конструкции и в эксплоатации ветродвигатель. Регулируется он выводом ветрового колеса (пропеллера) из-под ветра.

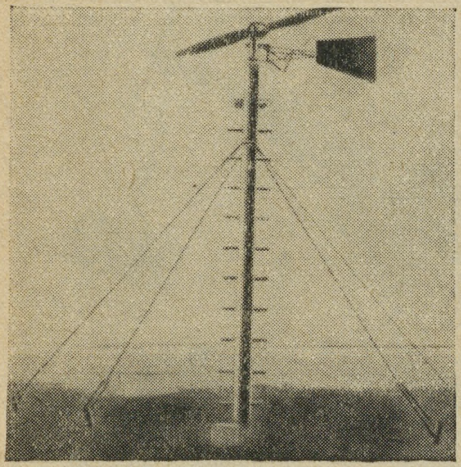


Рис. 50. Ветродвигатель ВИСХОМ Д-3 на полярной станции Лескино

Первоначальный монтаж ветродвигателя требует незначительной затраты времени. С этой работой вполне могут справиться два человека, а в случае необходимости и один.

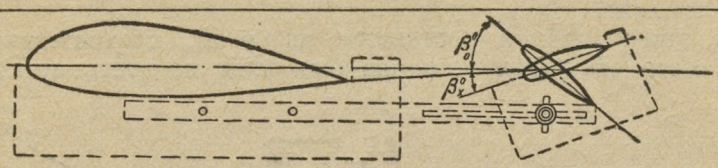
Ветродвигатель устанавливается на столбе с растяжками. При установке необходимо следить за тем, чтобы столб сохранял строго вертикальное положение. При нарушении этого условия ветродвигатель будет плохо регулироваться и плохо устанавливаться на ветер; хвост всегда будет сваливаться в сторону наклона столба.

Регулирование ветродвигателей

Регулирование ветродвигателя Д-12. Эксплоатационные показатели ветродвигателя в основном зависят от правильного регулирования ветрового колеса. Чтобы сохранить постоянным число оборотов ветродвигателей (60 оборотов в минуту, неравномерность в пределах ± 2—2,5%), необходимо очень тщательно выполнить сборку регулирующего аппарата до подъема ветрового колеса. При этом нужно свести до минимума трение в шарнирах рычагов регулирования и пово-

ротных лопастей и правильно подобрать углы стабилизатора на пуск и останов для двух последних случаев табл. 15.

Таблица 15



№ по пор.	Угол на ход β_x	Угол на останов β_0	Полный поворот стабилизатора	Поведение ветрового колеса
1	15°40′	14°10′	29°50′	1. Расходится 2. Не останавливается 3. На останове не уходит
2	14°30′	16°00′	30°30′	1. Расходится 2. Плохо останавливается 3. На останове идет назад
3	10°30′	19°40′	30°10′	1. Расходится 2. Останавливается 3. На останове идет назад

При тщательном выполнении этих условий ветровое колесо становится очень послушным, может быть пущено и остановлено при любой скорости ветра.

На полярных станциях регулирование двигателя Д-12 проводили в большинстве случаев после установки ветрового колеса на главный вал.

Поэтому приходилось мелкие неполадки устранять наверху, что связано с большими неудобствами, и все же очень трудно было достигнуть желаемого эффекта.

Чтобы избежать этих недостатков и получить качественное регулирование, на некоторых полярных станциях (м. Желания, б. Тикси, Матшар, Юшар, м. Шмидта, о. Врангеля) механизмы регулирования проверяли два раза—на земле, после сборки ветрового колеса перед его подъемом, и окончательно после установки колеса на главный вал.

Проверочное (окончательное) регулирование на полярной станции м. Желания выполняли следующим образом.

Опустив рычаг останова доотказа вниз, закрепили его в этом положении. Затем при помощи шаблона (рис. 51) все стабилизаторы поворотных частей лопасти у всех трех крыльев установили под одинаковыми углами по отношению к поворотной части лопасти.

Для этого шаблон поставили на угол, соответствующий черте «останов» (угол останова был взят по третьему случаю

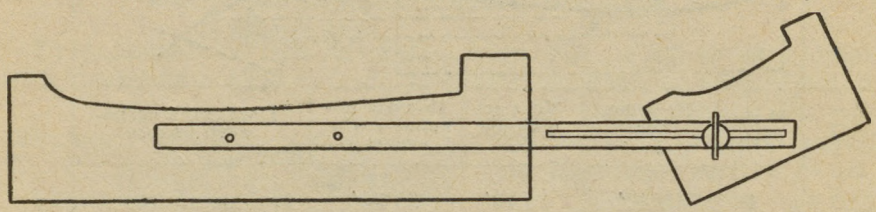


Рис. 51. Шаблон для регулирования

таблицы, т. е. в 19°40′), и приложили к поворотной части лопасти с плоской стороны и посередине стабилизатора. Конец шаблона, который прилегает к дужке стабилизатора, должен совпасть с дужкой точно, без просветов (рис. 52).

Если дужка стабилизатора стоит под неправильным углом, вырезы шаблона не совпадут с дужкой стабилизатора (рис. 53). В таком случае нужно, продолжая держать оба тандера тяг стабилизатора натянутыми, повертывать их в разные стороны,

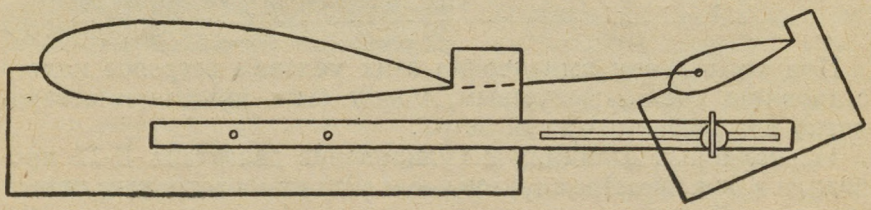


Рис. 52. Регулирование стабилизатора с помощью шаблона

пока шаблон не приляжет плотно к плоскости поворотной части и одновременно к дужке стабилизатора, как показано на рис. 52.

После того как были последовательно проверены углы на останов у всех трех лопастей ветрового колеса, стабилизаторы поставили «на ход». Делается это так. Рычаг останова опускают. Под действием пружины останова он поднимается доотказа вверх. В это время пружины регулирования поворачивают трехплечие рычаги регулирования. Рычаги регулирования, в свою очередь,

через тяги регулирования поворачивают стабилизаторы и ставят их «на ход». Далее с помощью стабилизаторов поворотная часть крыла совмещается с жесткозакрепленной частью, и ветровое колесо начинает вращаться (рис. 54).

Угол на пуск также проверили шаблоном. Для этого, как указано было выше, прикладывали шаблон к плоскости поворотной части и к дужке стабилизатора. Вырезы шаблона должны

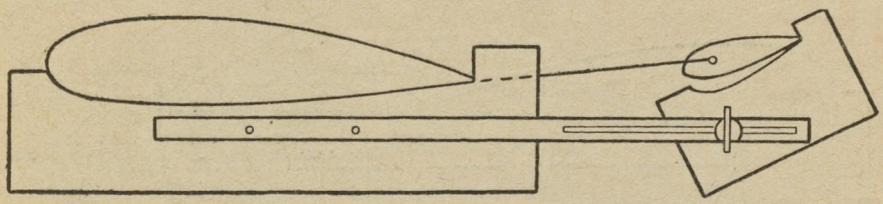


Рис. 53. Неправильно установленный стабилизатор

совпадать с поверхностями поворотной части и дужкой стабилизатора плотно, без просвета (рис. 55).

Установив углы стабилизатора, зашплинтовали тандеры у стабилизаторных тяг.

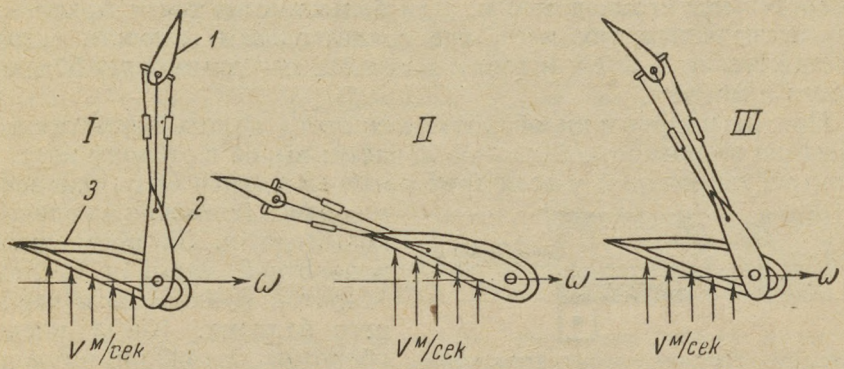


Рис. 54. Схема регулирования ветрового колеса:

I—положение стабилизатора и поворотной части лопасти при пуске; *II*—во время работы; *III*—при останове. *1*—стабилизатор; *2*—поворотная часть лопасти; *3*—жесткозакрепленная часть лопасти; *v м/сек*—направление рабочей скорости ветра; ω—плоскость вращения лопасти

Последний этап регулирования ветрового колеса состоял в подборе нормального числа оборотов (60 оборотов в минуту), на которое рассчитан ветродвигатель.

Обороты ветрового колеса регулировали при скорости ветра 7—8 *м/сек*, без нагрузки.

Сначала сделали предварительную затяжку пружин регулирования натяжными винтами (рис. 56). Винты у всех трех крыльев имеют одинаковую длину, поэтому первую затяжку замерили по выступающим концам. Длина концов была равна 60 *мм*. При такой затяжке ветровое колесо делало 45 оборотов в минуту (обороты замерялись секундомером). До 60 оборотов доводили постепенной затяжкой пружины регулирования.

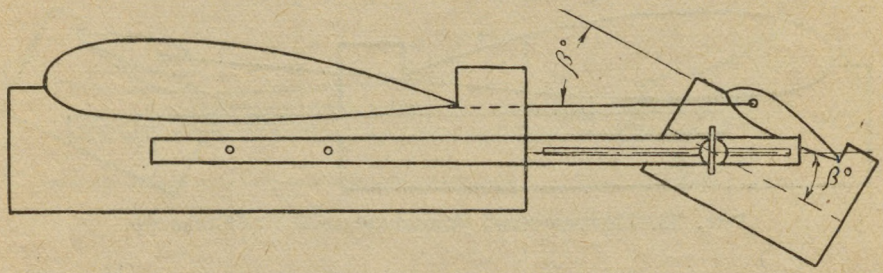


Рис. 55. Проверка угла на останов с помощью шаблона

По расчету, максимально допустимое число оборотов для ветродвигателя—85, но регулировать ветродвигатель на такое число оборотов нет необходимости. Для большинства точек Арктики, за исключением тех мест, где среднегодовая скорость ветра составляет от 7 *м/сек* и выше, наиболее выгодным будет 60 оборотов в минуту.

При регулировании оборотов ветрового колеса внимательно следили за поворотной частью лопасти: вынос в сторону хвоста при регулировании у всех трех крыльев должен быть одновременным и примерно на одинаковый угол. За поведением поворотной части и числом оборотов наблюдали с верхнего балкона. Когда число оборотов затяжкой пружин довели до 60, оказалось, что у некоторых крыльев поворотная часть лопасти выходила в сторону хвоста несколько раньше и на больший угол. Так как это создавало неодинаковые моменты на лопастях, головку ветродвигателя несколько раскачивало в горизонтальной плоскости, ферма хвоста также качалась. Это явление очень нежелательно, и, чтобы избежать его, рекомендуется при первом пуске в ход посмотреть в плоскости вращения ветрового колеса, как ведет себя поворотная лопасть. Если при этом окажется, что у одной из поворотных лопастей вылет в сторону

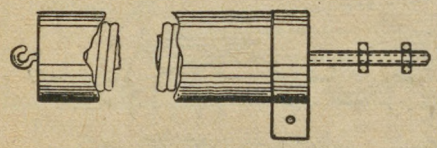


Рис. 56. Пружина регулирования

хвоста больше, чем у других, двигатель надо остановить и поворотом тандеров стабилизаторных тяг уменьшить у стабилизатора угол на останов. Если лопасть вылетает вперед, надо уменьшить угол на пуск.

Причиной раннего вылета поворотной части лопасти в сторону хвоста может быть недостаточная затяжка пружины регулирования; в этом случае центробежные силы тяги регулирования поставят стабилизатор на останов раньше, чем следует.

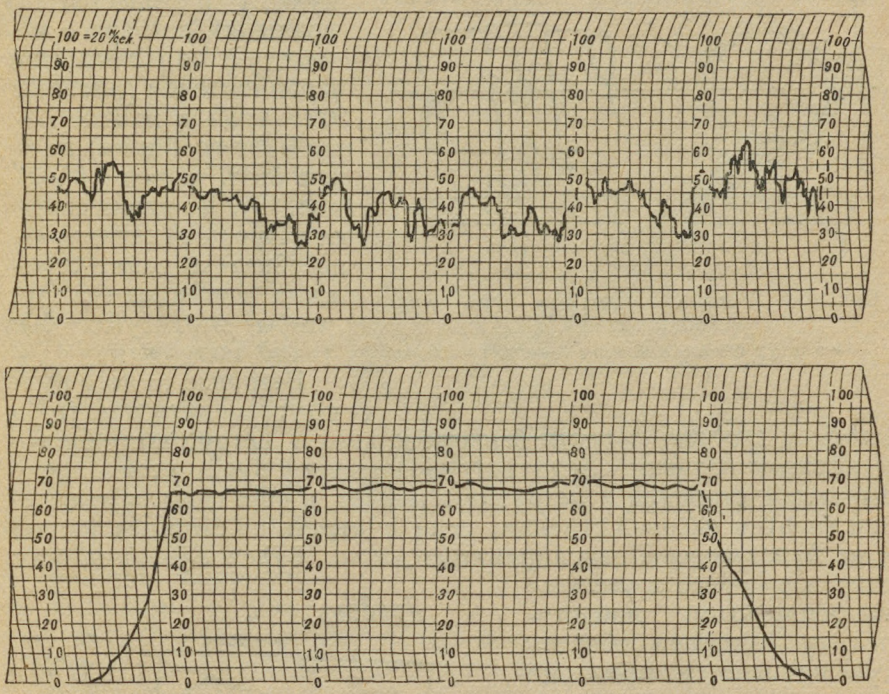


Рис. 57. Кривая равномерности числа оборотов ветрового колеса: вверху—колебания скорости ветра; внизу—число оборотов ветрового колеса при данных скоростях ветра

Гайки скоб центробежных тяг можно шплинтовать, только добившись одинакового поведения во время работы всех поворотных лопастей, послушного останова и разбега ветрового колеса.

Если ветровое колесо после остановки будет стремиться уходить на обратный ход, нужно постепенно опускать пусковой рычаг с положения полного останова на ход до тех пор, пока

ветровое колесо не будет уходить в обратную сторону. В этом положении рычаг останова надо закрепить.

Во время работы двигателя нужно периодически проверять систему регулирования и своевременно устранять замеченные недостатки.

Регулирование ветродвигателя ВИМЭ Д-5. Первоначальный угол заклинения лопасти, т. е. угол между хордой (линия дужки) и плоскостью вращения ветрового колеса, устанавливается ограничителем (рис. 58). Этот угол в начале лопасти (от тройника) должен быть равен 18°40′ (рис. 59). Во время сборки ветродвигателя нужно обратить самое серьезное внимание на то, чтобы этот угол был точно выдержан.

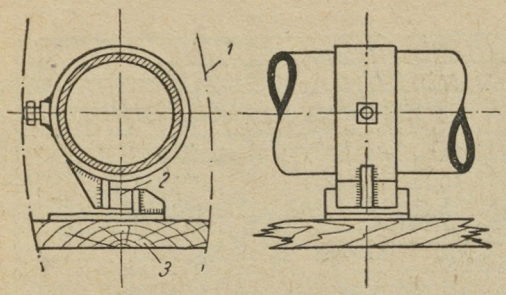


Рис. 58. Узел ограничения угла атаки ветродвигателя Д-5:
1—контур профиля крыла; *2*—ограничитель; *3*—лонжерон

Ветровое колесо нужно установить так, чтобы плоская сторона лопасти была обращена к ветру, выпуклая— к картеру головки. Если ветровое колесо будет установлено выпуклой стороной к ветру, оно пойдет в обратном направлении (против часовой стрелки, если смотреть со стороны ветра) и не будет совсем регулироваться, т. е. будет работать, как ветровое колесо с жестко-закрепленными лопастями, у которого обороты увеличиваются пропорционально скорости ветра. Работа при таких условиях быстро приведет ветровое колесо к разносу.

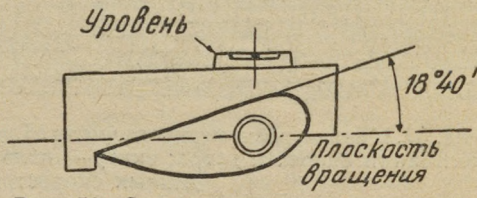


Рис. 59. Схема установки угла заклинения лопасти

От начала трогания ветрового колеса с места до расчетной скорости ветра 8 *м/сек* при соответствующей нагрузке ветродвигателя лопасть должна удерживаться пружиной регулирования (рис. 60) на заданном угле заклинения. Со скорости ветра выше 8 *м/сек* лопасть под действием центробежных сил регулирующего груза поворачивается относительно маха, поддерживая таким образом постоянными число оборотов и мощность.

Механизм регулирования этого ветродвигателя работает следующим образом (рис. 61 и 61а). При увеличении числа оборотов ветрового колеса выше расчетного регулирующий груз начнет перемещаться центробежными силами вдоль оси маха и потянет за собой трос, соединенный с конической шестерней. Эта шестерня находится в зацеплении с другой конической шестерней, жестко насаженной на конце маха. Так как мах неподвижен, то при повертывании конической шестерни вокруг жестко-закрепленной шестерни лопасть будет повертываться около оси маха, изменяя угол атаки. В связи с этим будет изменяться (уменьшаться) и подъемная сила на крыле, а следовательно, и число оборотов ветрового колеса. В обратное положение лопасть устанавливается регулирующей пружиной, навитой на мах.

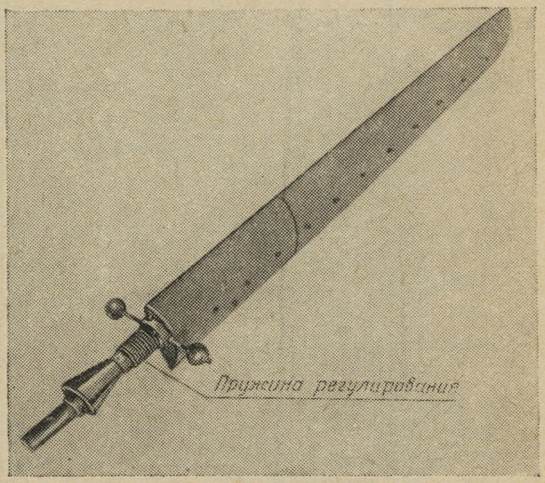


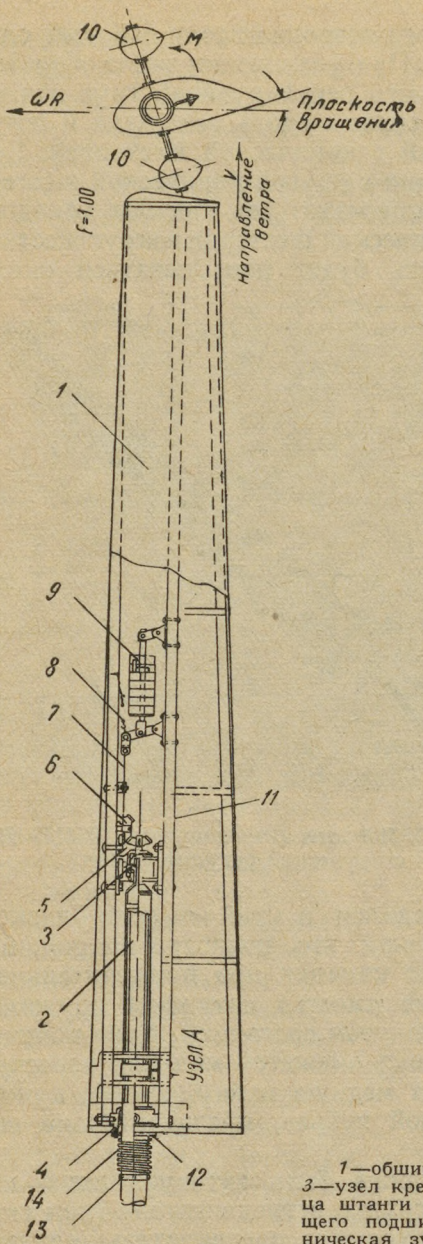
Рис. 60. Лопасти ветродвигателя ВИМЭ Д-5 с пружиной регулирования

При окончательном регулировании нужно следить за тем, чтобы угол обхвата тросом ролика конической шестерни был возможно большим, а механизм регулирования (параллелограм) находился в крайнем (или близком к этому) левом положении, как это показано на рис. 61.

Чтобы трос не соскакивал из канавки при принудительном повороте лопасти, в механизме имеется натяжная пружина, которая удерживает трос в натянутом состоянии. Если почему-либо угол обхвата тросом ролика окажется мал или чересчур велик (когда трос набегает на медную пайку конца), нужно спарить шестерни другой парой зубьев, предварительно вывернув палец.

Регулирующая пружина должна быть затянута лишь настолько, чтобы при полной нагрузке ветродвигателя (при скорости ветра 8 *м/сек*) лопасть сохраняла предварительно заданный угол заклинения, т. е. 18°40′.

Практически это условие обеспечивается предварительным



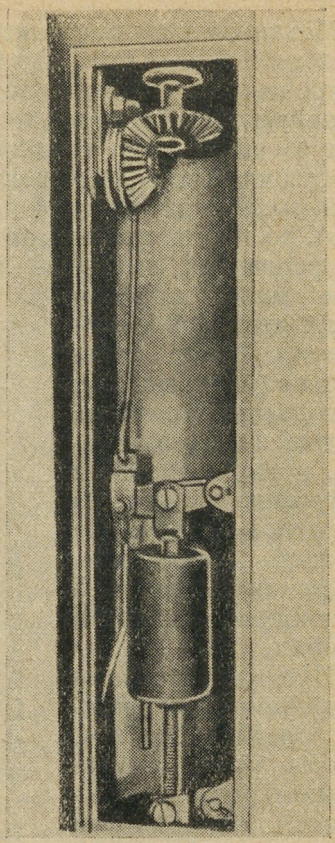


Рис. 61а. Общий вид механизма регулирования ветродвигателя ВИМЭ Д-5

Рис. 61. Лопасти ветродвигателя ВИМЭ Д-5 с механизмом регулирования:

1—обшивка лопасти; *2* — труба маха крыла; *3*—узел крепления лопасти; *4*—крепление кольца штанги компенсирующего груза и скользящего подшипника; *5*—жесткозакрепленная коническая зубчатка; *6*—вторая коническая зубчатка; *7*—трос; *8*—пружина, поддерживающая трос в натянутом состоянии; *9*—центробежный груз; *10*—компенсирующие грузы; *11*—лонжерон; *12*—крепление пружин регулирования; *13*—стопорное кольцо; *14*—пружина регулирования

регулированием ветродвигателя на заданные расчетные обороты, т. е. у ветродвигателя, работающего вхолостую, постепенно увеличивают затяжку регулирующих пружин одновременно на всех трех крыльях.

При предварительном регулировании ветрового колеса на заданное число оборотов, особенно если это приходится делать при ветре скоростью 6 *м/сек* и выше, ветродвигатель надо пускать не сразу, т. е. не подставлять ветровое колесо сразу под ветер, а постепенно поворачивать рукоятку пусковой лебедки, наблюдая за развиваемым числом оборотов.

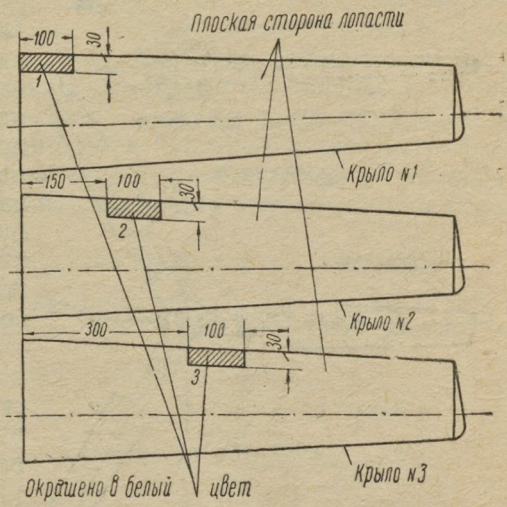


Рис. 62. Способ регулирования поворота лопастей

Если при взятой затяжке регулирующих пружин ветродвигатель начнет регулироваться при меньших оборотах, чем необходимо, затяжку пружин надо несколько увеличить; если ветродвигатель будет регулироваться на больших оборотах, затяжку пружин надо соответственно уменьшить.

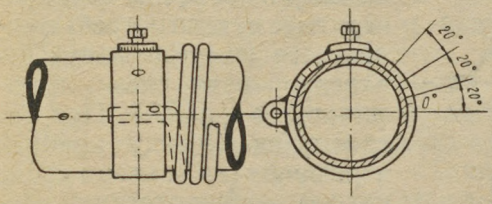


Рис. 63. Схема затяжки пружины стопорным кольцом

Необходимо проследить также за тем, чтобы все три лопасти поворачивались одновременно на один и тот же угол. Практически этого достигают таким образом.

С острой стороны каждой лопасти, начиная от широкой части, на расстояниях, показанных на рис. 62, наклеивают одинаковые полоски бумаги. Можно закрасить эти места краской.

При вращении ветрового колеса со скоростью 130—160 оборотов в минуту полоски образуют сплошной диск. Если встать в плоскость вращения и смотреть в направлении вращения,

то при одновременном повороте всех трех лопастей все три полоски будут составлять одну прямую линию. Если же какая-либо из трех лопастей, например вторая, будет выходить раньше, прямая линия перейдет в ломаную. В таком случае пружину регулирования этой лопасти нужно подтягивать до тех пор, пока полоски не будут образовывать прямую линию. Пружина затягивается при помощи стопорного кольца, расположенного у фланца маха (рис 63).

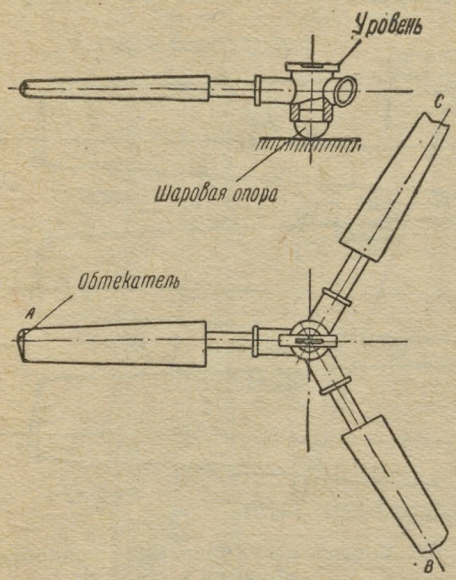


Рис. 64. Схема балансировки ветрового колеса

Ветровое колесо в целом должно быть хорошо сбалансировано, иначе во время работы оно будет бить, что приведет к резким вибрациям хвоста, преждевременному износу отдельных элементов головки, а также расшатыванию болтовых соединений башни.

Балансировка ветрового колеса производится на заводе, но тем не менее на месте сборки желательно еще раз проверить ее и, если потребуется, провести дополнительную балансировку по схеме, показанной на рис. 64. При балансировке между крайней нервюрой (на самом конце крыла) и обтекателем укрепляются добавочные грузы из свинцовых полосок.

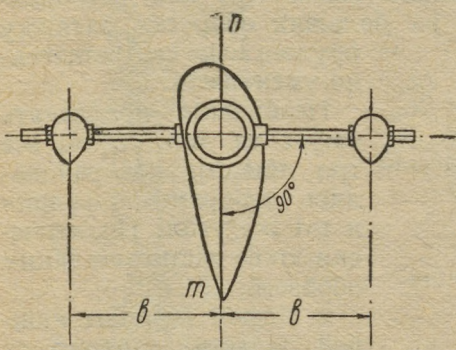


Рис. 65. Схема закрепления компенсирующих грузов

Компенсирующие грузы закрепляются на штангах лопастей таким образом, чтобы расстояние *в*, от центра маха *тп* до центра тяжести груза, составляло 160 *мм* (рис. 65).

Осевая линия штанг должна быть строго перпендикулярна к линии отвеса (рис. 66). Положение кольца, несущего штанги

компенсирующих грузов, фиксируется на опоре стопорным болтом. Это делается при регулировании на заводе, следовательно положение штанг должно быть неизменным. Изменять положение самих грузов на штанге против заводской установки следует лишь в самых крайних случаях. Изменять количество центробежных грузов в крыле не рекомендуется.

Если правильно установлены штанги по отношению к линии отвеса и точно заданы расстояния между компенсирующими грузами и осью маха, регулировать число оборотов ветрового колеса можно изменением затяжки регулирующих пружин.

Что касается влияния компенсирующих грузов на регулирование, то нужно запомнить следующее: увеличение расстояния от центра маха до центра тяжести грузов сверх расчетного содействует повороту лопастей в сторону регулирования; при уменьшении происходит обратное явление, т. е. противодействие повороту. Если грузы совсем приблизить к центру, это будет почти равносильно их отсутствию. Отсутствие компенсирующих грузов приведет к появлению сил, стремящихся поставить лопасть на ход, и ветродвигатель регулироваться не будет, т. е. будет работать, как двигатель с жесткозакрепленными лопастями. Обороты нерегулирующегося ветродвигателя будут возрастать прямо пропорционально скорости ветра, и за пределами допустимых оборотов произойдет разнос, т. е. разрушение. Таким образом, компенсирующие грузы должны предупредить вредное влияние момента центробежных сил, действующего в плоскости, перпендикулярной оси маха.

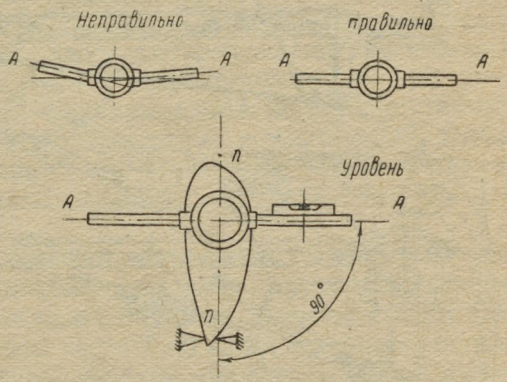


Рис. 66. Схема проверки положения штанг

Влияние центробежных сил, приложенных к лопасти, полностью уравновешивается моментом центробежных сил компенсирующих грузов, действующим в обратном направлении. Следовательно, остаются только две силы, действующие на регулирование: сила аэродинамического давления на лопасть и центробежная сила регулирующего груза. Та и другая стремятся вывести лопасть из рабочего положения, пружина же ре-

гулирования действует на лопасть в обратном направлении, т. е. стремится ставить лопасть на ход.

Во время работы ветродвигателя трос останова должен быть полностью освобожден, а угол между плоскостью вращения ветрового колеса и основной трубой хвоста должен равняться 90°. Если не будут соблюдены эти условия, ветровое колесо при порывах ветра будет резко складываться с хвостом, а при

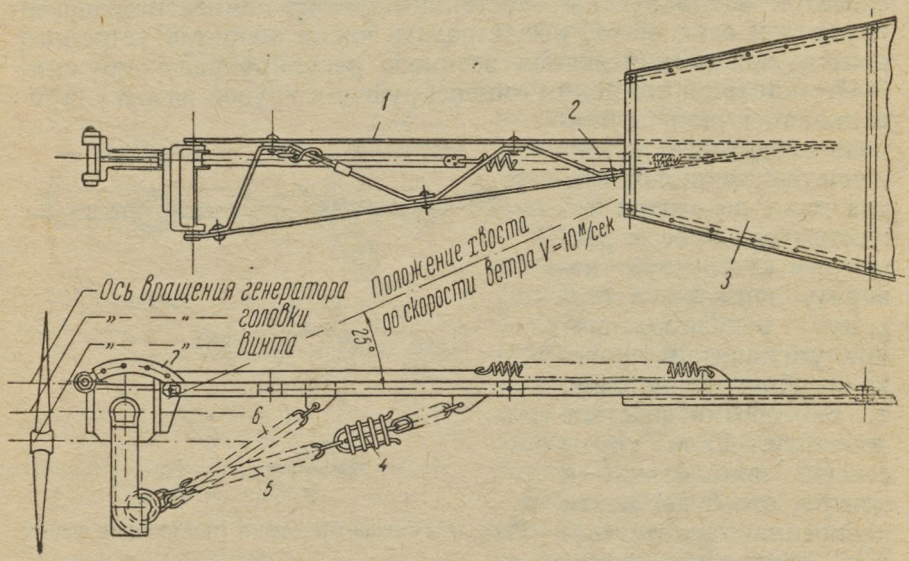


Рис. 67. Установ на ветер и регулирование ветродвигателя ВИСХОМ Д-3:
1—ферма хвоста; *2*—пружины регулирования; *3*—перо хвоста; *4*—буферная пружина, *5*—цепь ограничителя; *6*—цепь останова; *7*—улитка

спадении порыва пружина хвоста будет резко возвращать его в первоначальное положение. Это может привести к обрыву троса останова или к разрушению других элементов системы останова.

Регулирование ветродвигателя ВИСХОМ Д-3. Регулирование ветродвигателя ВИСХОМ Д-3 заключается лишь в затяжке одной пружины, которая соединяется с фермой хвоста и улиткой (рис. 67). Улитка устанавливается на заводе. Как видно, регулирование этого двигателя очень несложно.

Большинство механиков полярных станций уделяли регулированию ветродвигателя очень серьезное внимание и добились благодаря этому довольно неплохих результатов.

Так, механики полярных станций м. Стерлегова т. Бедняков и полярной станции Маре-Сале т. Корнеев хорошим регулированием ветродвигателя ВИМЭ Д-5 добились того, что колебания напряжения на клеммах генератора с буферной батареей и при 120 *в* напряжения в сети составляли всего 2—3 *в*, тогда как по расчету неравномерность оборотов у этого двигателя должна составлять ±7%; испытания на полигоне показали неравномерность оборотов ±4,5%.

К сожалению, еще не все механики осознали важность этого дела. Бывало и так. Соберут ветродвигатель, отрегулируют его, пустят—крутится, ну и хорошо! Такие механики не знают, на что способна эта машина. Не знают ее технических возможностей, не могут ее использовать с максимальной эффективностью. Есть и такие механики, которые не считают нужным вообще подробно ознакомиться с ветродвигателем и при монтаже путаются. Например, механик одной полярной станции искал около месяца регулирующие грузы в крыле Д-12, когда их функции в этом ветродвигателе выполняют штанги, проходящие внутри крыла и связывающие два трехплечих рычага регулирования.

Чтобы ветродвигатель работал нормально, необходимо систематически, например каждые три месяца, проверять систему регулирования. Это не составит больших трудностей. Нужно снять ремень с редуктора при ветре 7—8 *м/сек*, прогонять ветродвигатель 20—30 минут с тахометром, проверить самый механизм и устранить замеченные неисправности. Времени это займет немного, а результаты даст хорошие.

Обслуживание ветроустановок

Первое время работа ветродвигателей на полярных станциях вызывала у механиков большие опасения. Основная рабочая часть ветродвигателя в отличие от других двигателей находится не в помещении, а на открытом воздухе, и подвергается воздействию арктических климатических условий.

Практика показала, что эксплоатация ветродвигателя в Арктике не только возможна, но даже проще, чем эксплоатация двигателей внутреннего сгорания, конечно при умелом подходе к этому делу подготовленного механика.

Основное условие бесперебойной работы любого механизма— это хорошая смазка. Смазка ветродвигателя имеет свои особенности, связанные с работой его на открытом воздухе.

В картер и редуктор ветродвигателя нужно давать жидкую смазку; зимой масло перед заливкой следует подогреть. Для

заливки масла в картер следует сделать пробочное отверстие, чтобы не открывать заглушки картера—это доставляет много хлопот и неудобств, в особенности зимой.

Скользящие вертикальные подшипники нужно смазывать также жидкой смазкой через день; зимой масло надо подогревать.

Каждый раз перед пуском ветродвигателя нужно осматривать его важнейшие узлы, чтобы предотвратить непредвиденные остановы в работе. Например, могут ослабнуть муфты сцепления вертикального вала. В таком случае нужно немедленно перетянуть болты муфты, иначе вал опустится и перегрузит верхний подшипник нижнего редуктора. При осевой нагрузке вертикальным валом подшипник быстро выходит из строя, так как на подобную нагрузку он не рассчитан.

У ветродвигателя Д-12 слаб подшипник горизонтального вала редуктора, поэтому его приходилось проверять ежедневно. Для проверки подшипника ремень снимали со шкива и пробовали. Если обнаруживался поперечный люфт, открывали коробку пятки вала и перетягивали гайку хвостовика вала. На м. Желания этот подшипник в конце концов заменили подшипником № 1307 от двигателя Л-6, который гораздо прочнее и работает надежнее.

Шариковые и роликовые подшипники у редуктора нужно смазывать раз в десять дней. Особенно внимательно нужно следить за подшипниками главного вала головки. Зимой при больших морозах солидол застывает, и смазку очень трудно прогнать в подшипники.

Для смазки подшипников главного вала следует выбирать наиболее благоприятную погоду с температурой не ниже минус 18—20°. При заполнении штауфера солидолом нужно прогреть маслопроводный канал и завернуть крышку штауфера. Смазка свободно войдет в подшипник.

Чтобы смазка не собиралась в одном месте при входе в подшипник, нужно тут же пустить ветродвигатель на малые обороты, тогда смазка распределится равномерно по всему подшипнику.

При низких температурах нужно перед пуском обязательно прокрутить от руки генератор за шкив. Иногда генератор вращается туго именно из-за того, что застывает смазка. Смазка делается настолько густой, что масло разогревается только спустя 10—15 минут. Если подшипники шариковые, это не так опасно; подшипники же с кольцевой смазкой могут расплавиться. Такой случай был на м. Челюскина у динамомашины Д-8. Избежать этой опасности очень легко—надо перед пуском

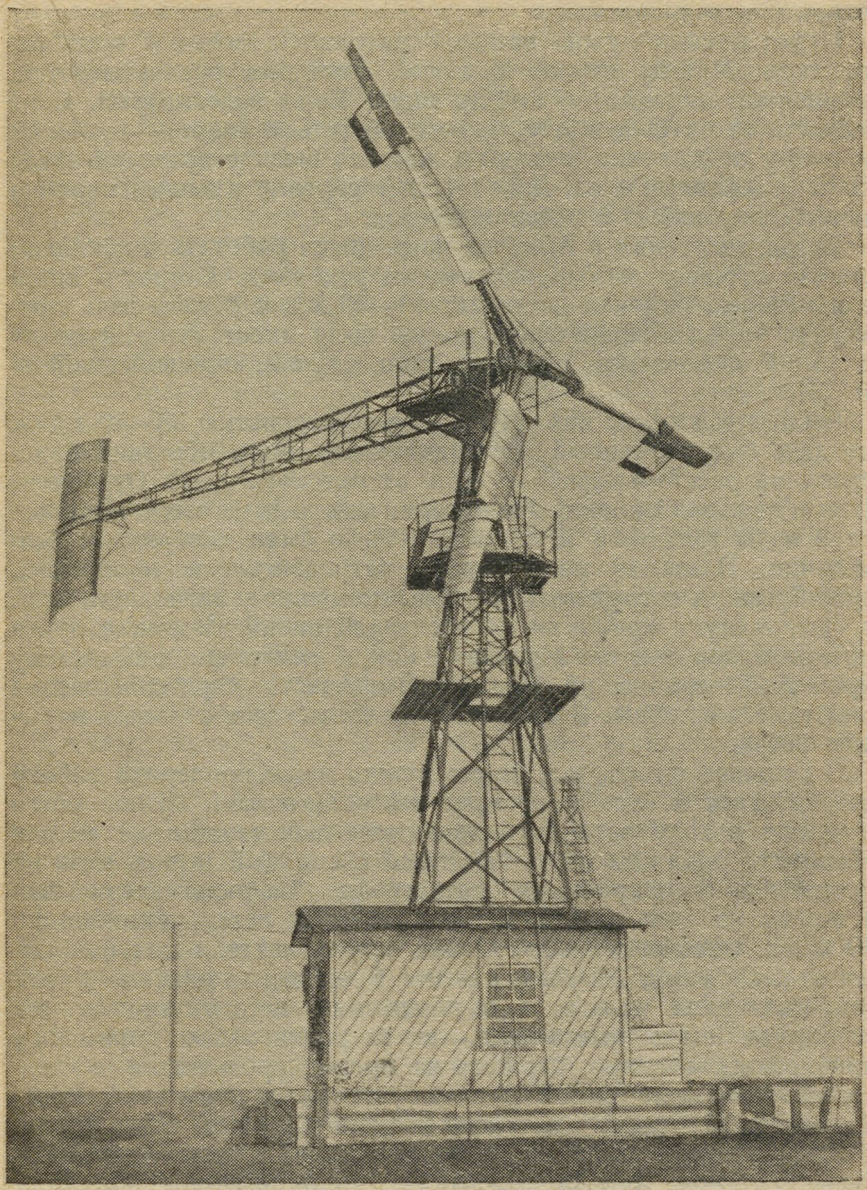


Рис. 68. Ветродвигатель ЗЦВЭИ Д-12 на полярной станции о. Белый

залить теплого масла или солидола, в зависимости от конструкции подшипника.

Перед пуском нужно всегда осматривать нижнюю часть редуктора. Иногда стопор большой шестерни развертывается, и шпонка выходит по гнезду вниз. Если недосмотреть и не загнать ее на свое место, может случиться авария—поломает коробку подпятника шестерни, как это было у ветродвигателя Д-12 в Анадыре и на Диксоне, где сорвало крышку коробки и поломало зубья у обеих шестерен.

Ветродвигателям в Арктике приходится работать в исключительно суровых метеорологических условиях. Скорость ветра в некоторых районах достигает 40—50 *м/сек*. Чтобы дать примерное представление о том, какую силу имеет ветер, дующий с такой скоростью, приведу один случай, происшедший на м. Желания.

Было это в конце мая. Дул ветер со скоростью 38—40 *м/сек*, но день был солнечный. Ветродвигатель на м. Желания находится на расстоянии около 40 *м* от пресного озера Отрадного (так его назвал Баренц). На поверхности льда на озере скопился слой воды толщиной в полметра. Небо было совершенно безоблачно. Внезапно мимо здания ветродвигателя пронеслась туча брызг, и сотрудники станции, стоявшие у ветродвигателя, в одну минуту промокли до последней нитки. Водяная пурга прекратилась так же внезапно, как и началась, попрежнему ярко сияло солнце, но ледяная поверхность озера совершенно очистилась от воды. Весь слой воды был снесен сильным порывом ветра.

В сильные штормовые ветры нужно чаще проверять работу ветродвигателя, особенно если он остановлен. Лучше всего в такую погоду оставлять двигатель работающим на малых оборотах. Однажды на м. Желания в сильный шторм едва не произошла непоправимая катастрофа. Ветродвигатель был оставлен на ночь неработающим. К ночи ветер усилился до 40 *м/сек*. Обеспокоенный судьбой ветродвигателя механик направился к нему. Это было связано с серьезным риском—пурга свирепствовала во-всю, а в помещении ветроустановки все освещение было выключено,—к ветродвигателю пришлось пробираться ощупью, держась за провод противовеса.

Оказалось, что силой урагана оттянуло пеньковый трос, привязанный к рычагу останова (с помощью этого троса ветродвигатель снизу приводили в движение и останавливали). Рычаг останова прижало доотказа, стабилизаторы получили отрицательный угол, и ветровое колесо с невероятной быстротой начало вращаться в обратную сторону. Это должно

было бы неминуемо привести к разносу, т. е. к разрушению ветрового колеса. С большим трудом шести человекам удалось остановить колесо. К чести конструкторов, запас прочности, взятый для этого ветродвигателя, оказался достаточным для того, чтобы двигатель выдержал такое жестокое испытание. Но если бы запоздали прийти к ветродвигателю, катастрофа была бы неизбежна.

На мощность ветродвигателя оказывают сильное отрицательное влияние гололед и иней. Их нужно обязательно удалять с крыльев ветрового колеса. Гололед сбивают легкими ударами деревянной рейки, иней сметают метелкой или просто половой щеткой.

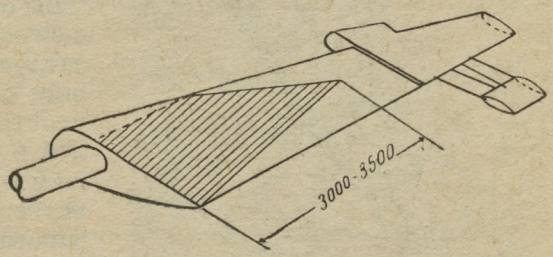


Рис. 69. Форма гололеда на крыльях ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12 и ВИМЭ Д-5

Даже очень тонкий равномерный слой инея на лопасти снижает мощность на ветровом колесе до 50% по сравнению с нормальной, вследствие того что крылья приобретают шероховатую поверхность.

На м. Желания был случай, что ветродвигатель при скорости ветра 8 *м/сек* отдавал 2—2,5 *квт*, а когда смели иней (слой его был не толще 2—3 *мм*), ветродвигатель начал давать 5—6 *квт*. Подобные случаи были и на полярных станциях о. Белый, Уэлен, Юшар и др.

Гололед наблюдается обычно осенью и весной. Садится он больше на ферму башни, меньше на крылья. На крылья гололед садится с плоской рабочей стороны—это отмечают механики и Западного и Восточного секторов Арктики. Форма обледенения крыла показана на рис. 69.

Поворотная часть лопасти почти не обледеневает. Иногда на лопасти ложится мокрый снег и замерзает, но таких случаев бывает три-четыре в течение года.

На Севере часто свирепствуют сильные метели. Это нужно учитывать при постройке помещения ветродвигателя, в котором должны быть очень тщательно заделаны все щели. В сильные метели достаточно одной хотя бы и очень небольшой щели в стене, чтобы в помещение набился целый сугроб снега, а это может принести большой вред размещенному в будке электрооборудованию: динамомашине, электрощиту и редуктору.

Случаи из практики эксплоатации ветродвигателей в Арктике

В первое время эксплоатации ветродвигателей в Арктике механикам пришлось столкнуться с многими неполадками в работе этих двигателей. Неполадки приходилось ликвидировать собственными силами—получить консультацию было не у кого. У самих механиков еще никакого опыта в этом деле не было. Надо сказать, что и подготовка их в то время не была организована по-настоящему. Тем не менее, из всех затруднений механики вышли с честью. Более того, в конструкцию ветродвигателей в процессе эксплоатации на месте были внесены многие усовершенствования, подсказанные практикой.

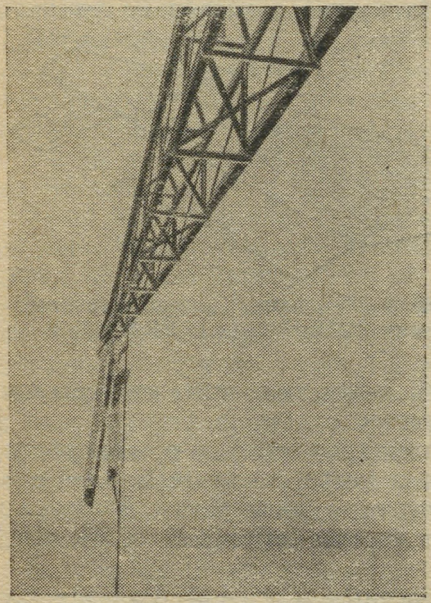


Рис. 70. Поломка пера ветродвигателя на полярной станции м. Желания

Рассмотрим несколько характерных случаев из практики работы механиков полярных станций с ветродвигателями.

Вследствие неудачной конструкции сочленения пера с фермой хвоста перья у многих ветродвигателей ЗЦВЭИ Д-12 быстро поломались. Поломка такой несложной детали выводит из строя весь ветродвигатель. Но в практике не было случая, чтобы ветродвигатели из-за поломки пера останавливались на длительный период. Механики полярных станций быстро выходили из положения.

На полярной станции м. Желания спустя два месяца со дня пуска ветродвигателя начался 12-балльный шторм, свирепствовавший 11 суток. Перо ветродвигателя под сильными порывами ветра изгибалось, вибрировало, в результате вертикальные основные угольники каркаса поломались и перо сложилось папкой (рис. 70).

Чтобы продолжать нормальную эксплоатацию ветродвигателя, пришлось, не спуская хвоста, пройти по ферме хвоста до пера, сбить сломанную половину и оставить хвост работать

на нижней половине. Оставшейся части пера вполне хватало. Через месяц отлетела во время работы и нижняя половина пера, и ветродвигатель остановился. Было это в декабре, в полярную ночь, когда требуется максимум электроэнергии. Вместо пера, которое устанавливает головку двигателя ветровым колесом на ветер, к концу фермы хвоста привязали два 12-*мм* троса. Этими тросами и устанавливали ветровое колесо на ветер. Тросы привязывали к анкерным столбам. Так работали до тех пор, пока не изготовили новое, деревянное перо из вагонки (тонкий тес). Работать на ветродвигателе с расчалками на хвосте можно было без больших хлопот, так как ветры на м. Желания дуют преимущественно в двух направлениях.

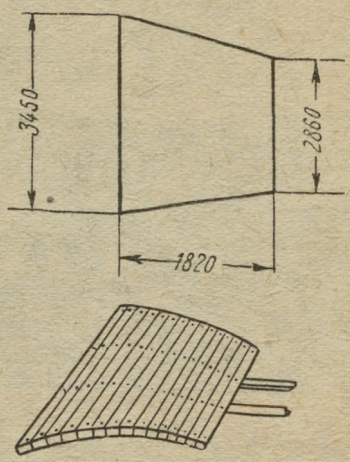


Рис. 71. Деревянное перо к ветродвигателю Д-12, изготовленное на полярной станции м. Желания (вес пера—110 *кг*)

Новое перо было готово до начала полярного дня. Оно было той же формы, так как для него были использованы все уголки крепления от старого, изломанного металлического пера. Сократили несколько его площадь, и оно стало легче (рис. 71). Изготовление пера никаких затруднений не составило. Из двух досок сделали шаблоны по радиусу закругления пера, указанному в чертеже (3 *м*). (Можно снять шаблоны по оставшимся основным панелям-уголкам, между которыми крепится перо.) На эти шаблоны плотно набили вагонку (рустик), получился выпуклый щит. Затем под средние, основные панели, на которых держится перо, приклепали вспомогательные пояса. Щит с обеих сторон обшили белой жестью, чтобы при сбалчивании и при работе дерево пера не обминалось. Перо тщательно окрасили. Поставленное на место в 1936 г., оно работает по настоящее время и находится в хорошем состоянии. Дерево в Арктике мало подвергается гниению, кроме того оно вообще более упруго при деформации, поэтому можно рекомендовать заменять металл при изготовлении пера деревом. При массовом выпуске ветродвигателей это даст немалую экономию металла.

На полярной станции о. Белый перо хвоста также начало деформироваться и было близко к поломке, но механики предупредили аварию умелым ремонтом. В месте излома верти-

кального угольника они поставили второй угольник длиной 1 000 *мм* и взяли перо на растяжки, которые укрепили к угольнику, установленному на ферме хвоста перпендикулярно (рис. 72). Так же поступили и на полярной станции Юшар.

На полярной станции Уэлен, как и на м. Желания, перо было сорвано совсем, но там вышли из положения иначе. Вместо нормального пера на ферму хвоста поставили хвост от самолета У-2 (рис. 73). С таким пером ветродвигатель работает второй год.

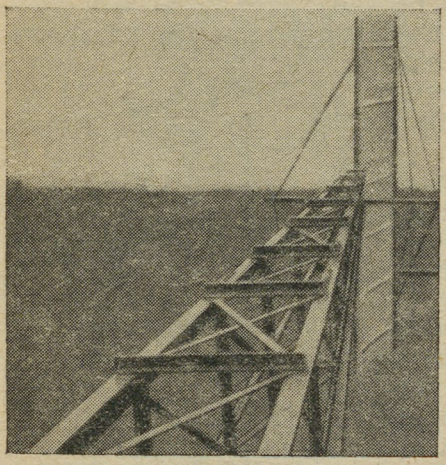


Рис. 72. Ремонт пера ветродвигателя на полярной станции о. Белый

На полярной станции Анадырь перо также вышло из строя,—там поставили прямой деревянный щит вместо нормально изогнутого пера. Нужно отметить, что в Уэлене и в Анадыре ветродвигатели не могут работать с полной мощностью на пределе регулирования; мощность и качество регулирования у этих ветродвигателей ниже нормальных, так как ветровое колесо работает не в плоскости, перпендикулярной потоку ветра, а под каким-то углом.

К сожалению, в инструкции по монтажу ветродвигателя Д-12 не сказано, с какой целью конструкторы сделали перо изогнутым и куда должен быть направлен изгиб. Механикам, незнакомым с ветродвигателем, это было трудно понять. На о. Врангеля поставили перо выгибом в обратную сторону. Ветродвигатель работал не на своем режиме, кроме того часто наблюдалось порывистое вращение головки в сторону в горизонтальной плоскости. Это нарушало правильное регулирование числа оборотов ветрового колеса. Само ветровое колесо, в особенности махи, нагружалось излишними изгибающими моментами. Это привело к тому, что при ветре в 10—12 *м/сек* мах колеса сломался.

Чтобы уяснить назначение изгиба пера у двигателей ЗЦВЭИ Д-12 и ВИМЭ Д-5, рассмотрим схему усилий, действующих на передачу и головку ветродвигателя при нагрузке. Схема передач ветродвигателя Д-12 изображена на рис. 74. На схеме пока-

заны направление вращения ветрового колеса и сцепление зубчатых колес в головке.

В плане схема верхней передачи с хвостом показана на рис. 75. Положение *АВ* соответствует работе ветродвигателя без нагрузки, т. е. когда в передаче не действуют большие реактивные силы. Эти силы действуют в направлении, обратном направлению рабочего вращения малой зубчатки в головке,

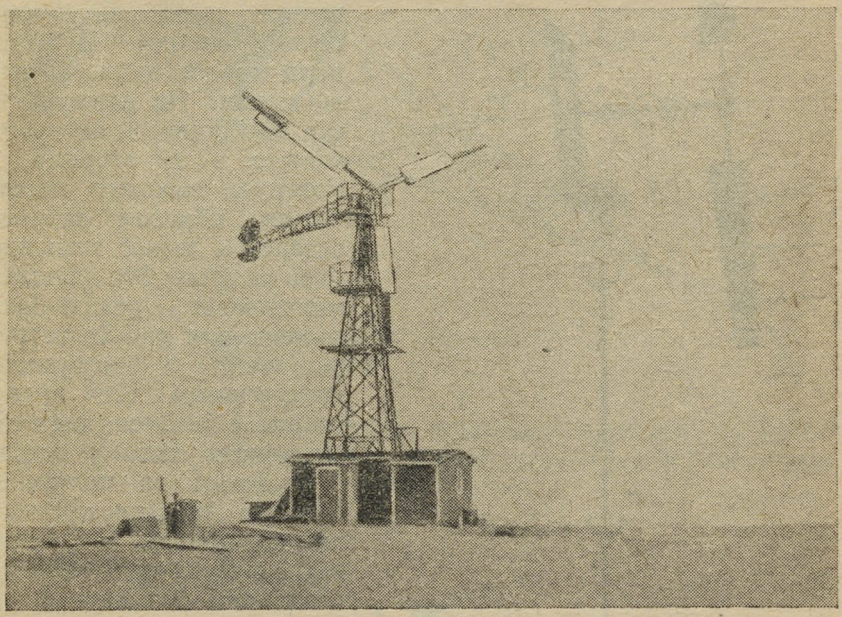


Рис. 73. Ветродвигатель Д-12 на полярной станции м. Уэлен. Вместо пера на ферме хвоста поставлен хвост от самолета У-2

и зависят от нагрузки на нижнюю передачу; чем больше будем загружать генератор, тем больше будут реактивные силы, стремящиеся затормозить вращение малой конической зубчатки. Действие этих сил особенно заметно при включении реле, если оно отрегулировано на большой ток включения. Под действием реактивных сил большая зубчатка, связанная с головкой, набегает на малую зубчатку (верхняя передача), свободно насаженную на вертикальный вал и вращающуюся вместе с ним независимо от головки; головка ветродвигателя с ветровым колесом выводится из-под ветра, т. е. ставится вместе с хвостом в другое положение по отношению к потоку ветра.

При таком положении мощность ветрового потока полностью не используется. Чтобы ветровой поток использовался полностью, при конструировании должно быть обеспечено основное условие: хвост должен устанавливать ветровое колесо на ветер плоскостью вращения перпендикулярно потоку ветра. Поэтому перо хвоста должно быть вогнутым. На ферму хвоста оно ставится вогнутой частью в ту сторону, в которую выходит хвост. Таким образом заранее создается вынос площади пера на ветер. Эта площадь уничтожает реактивный момент при работе ветродвигателя с нагрузкой, поддерживая все время ветровое колесо перпендикулярно потоку ветра.

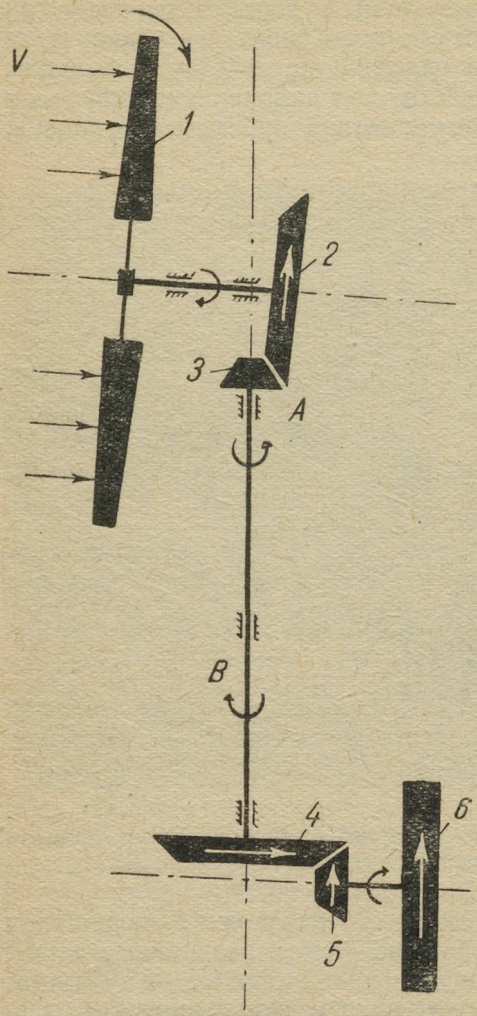


Рис. 74. Схема передач ветродвигателя Д-12:

1—ветровое колесо; *2*—большая коническая зубчатка; *3*—малая коническая зубчатка; *4*—большая коническая зубчатка; *5*—малая коническая зубчатка; *6*—шкив

Однажды на полярной станции Анадырь пустили ветродвигатель Д-12 при ветре скоростью 8—9 *м/сек* с хвостом без пера. При включении реле на заряд ветродвигатель мгновенно получил нагрузку, и так же мгновенно возник реактивный момент. Головка ветродвигателя сделала два оборота около своей оси, обороты ветрового колеса упали до минимума,—работать с ветродвигателем стало невозможно.

Конструкция хвоста ветродвигателя ВИМЭ Д-5 аналогична конструкции хвоста ветродвигателя Д-12, только зубчатое зацепление расположено в другом порядке (рис. 76),

но реактивные силы действуют в том же направлении, что и у ЗЦВЭИ Д-12, поэтому и перо ставится так же.

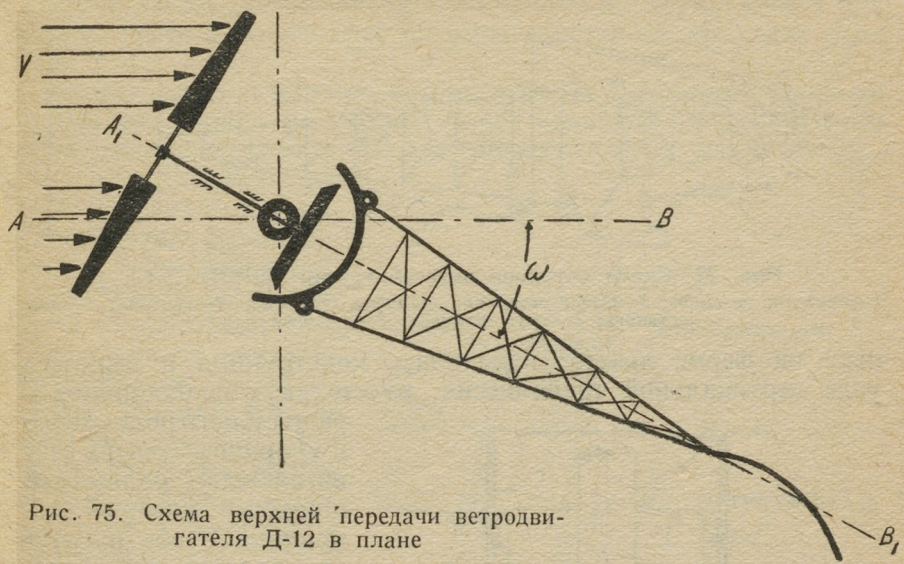


Рис. 75. Схема верхней передачи ветродвигателя Д-12 в плане

В первый год эксплоатации ветродвигателей на полярных станциях были выявлены некоторые недостатки их конструк-

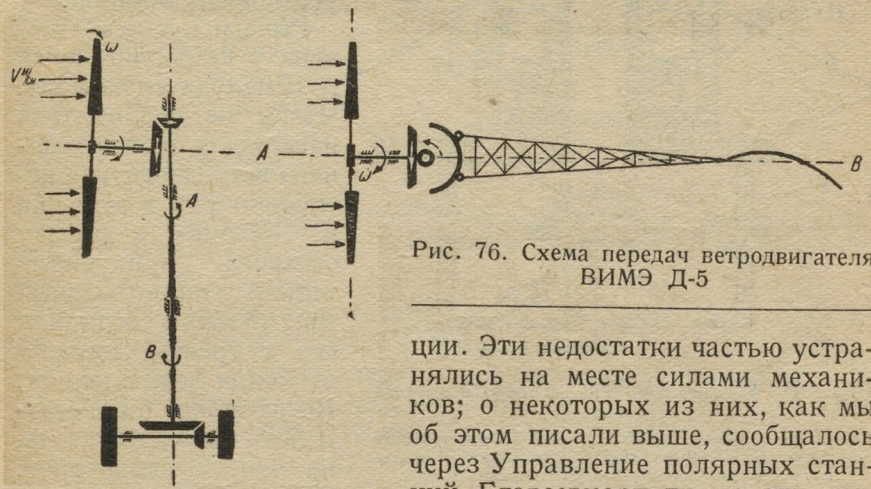


Рис. 76. Схема передач ветродвигателя ВИМЭ Д-5

ции. Эти недостатки частью устранялись на месте силами механиков; о некоторых из них, как мы об этом писали выше, сообщалось через Управление полярных станций Главсевморпути конструкторам, и те вносили соответствующие изменения в ветродвигатели последующих выпусков.

Так, у ветродвигателя Д-12 была изменена конструкция нижней передачи (редуктора), механизма останова, крепления

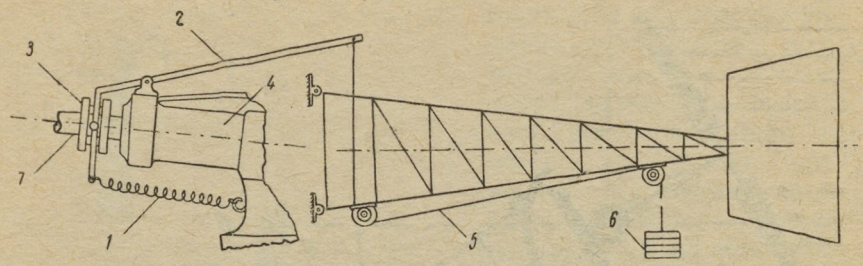


Рис. 77. Схема останова ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12:
1—пружина останова; *2*—рычаг останова; *3*—муфта останова; *4*—головка; *5*—трос останова; *6*—груз останова; *7*—главный вал

пера на ферме хвоста; изменилась конструкция и верхнего узла вертикальной трансмиссии: вместо двух подшипников—радиального роликового и упорного—теперь ставится один роликовый конусный, который воспринимает обе нагрузки—радиальную и осевую. Чтобы масло не вытекало из картера, установлен сальник.

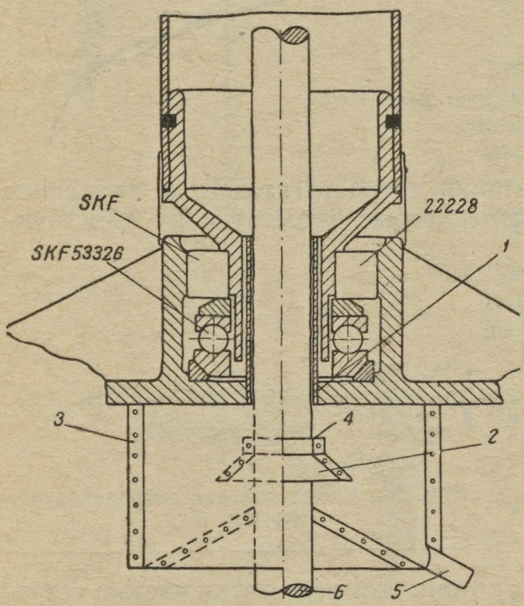


Рис. 78. Маслоуловитель в вертикальной трансмиссии:
1—маслосборная трубка; *2*—маслосбрасыватель; *3*—кожух маслособирателя; *4*—бумажная прокладка; *5*—спуск масла; *6*—вертикальный вал

Рычаги пуска и останова у ветродвигателей Д-12 находятся наверху. Чтобы не подниматься наверх для пуска и останова ветродвигателя несколько раз в день, на м. Желания к рычагу останова прикрепили тонкий оцинкованный трос (6 *мм*) и соединили его с тросом, идущим от конца фермы хвоста. Когда нужно было остановить ветродвигатель, на трос вешали груз. Груз подбирали такого веса, чтобы рычаг останова не дожимался доотказа, во избежание обратного хода ветрового колеса.

Такой простой системой пользуются механики полярных станций Юшар, Матшар и о. Белый. Позднее эти установки сделали более совершенными—поставили на ферму хвоста два блока, через которые трос от рычага останова проходит вниз (рис. 77).

Система смазки картера ветродвигателя Д-12 имеет крупный недостаток: масло из картера через верхнюю опору вытекает по вертикальному валу. Чтобы избежать утечки масла из картера, на м. Желания сделали специальный маслоуловитель (рис. 78); масло, собранное в нем, фильтровали через сетку и употребляли вторично для смазки. Таким образом, одной заливки хватало больше чем на квартал. Без этого устройства приходилось заливать масло два раза в квартал, а летом даже три.

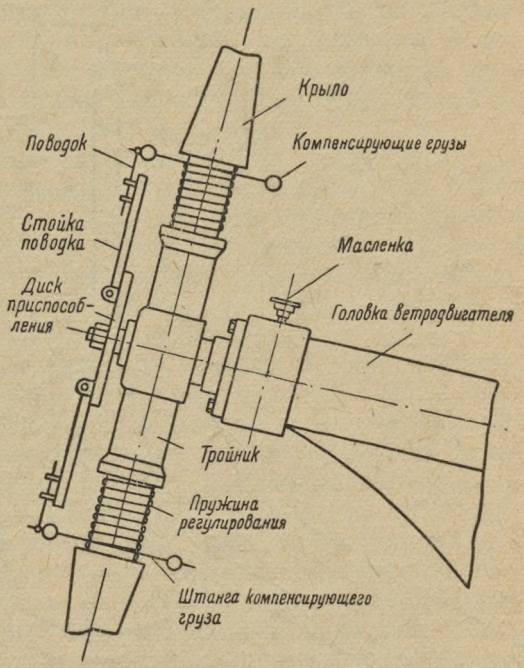


Рис. 79. Приспособление к механизму регулирования т. Беднякова (вид сбоку)

Очень остроумное приспособление к механизму регулирования ветродвигателя ВИМЭ Д-5 изготовил механик Бедняков на полярной станции м. Стерлегова.

Механизм регулирования у этого ветродвигателя устроен таким образом, что каждая лопасть поворачивается вокруг своей оси независимо от остальных. Поэтому вполне возможен поворот лопастей на неодинаковый угол, что влечет за собой вибрацию головки. Приспособление т. Беднякова связывает все три лопасти таким образом, что при повороте одной из них на какой-либо угол остальные повертываются на тот же угол.

Приспособление это очень простое, и каждый механик может изготовить его сам. На конец горизонтального вала, на болт крепления шайбы ветроколеса, надевается диск (рис. 79 и 80), к диску под углом 120° по отношению друг к другу прикрепля-

ются три поводка. Каждый поводок имеет по два хомутика. В этих хомутиках свободно передвигаются наконечники, которые заканчиваются кольцами. Кольца надеваются на штанги компенсирующих грузов. При повороте одной из лопастей штанга компенсирующего груза толкает поводок, вследствие чего диск повертывается вокруг своей оси на определен-

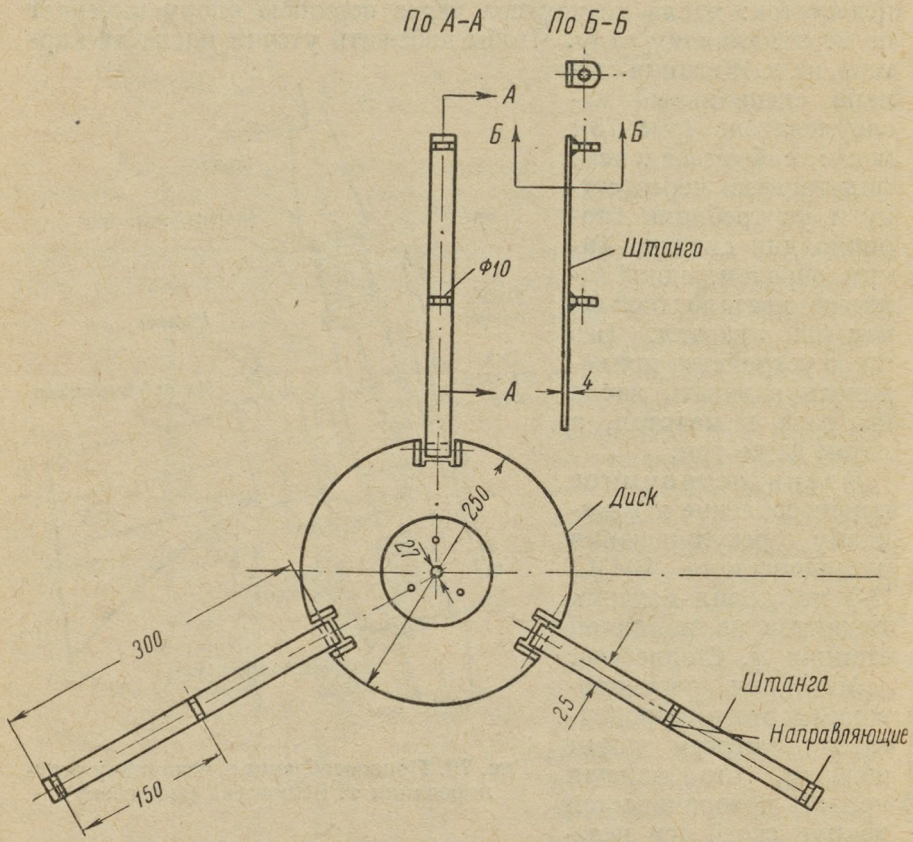


Рис. 80. Схема приспособления т. Беднякова (план)

ный угол и приводит в действие два других поводка. В свою очередь, эти поводки приводят в движение штанги, которые повертывают две другие лопасти на тот же самый угол.

Приспособление т. Беднякова упростило настройку регулирования и значительно улучшило равномерность вращения ветрового колеса. Вибрация головки прекратилась.

При эксплоатации ветродвигателя Д-12 выявился крупный

его недостаток: если при останове рычаг затянуть доотказа, ветровое колесо начинает вращаться в обратную сторону и при сильном ветре (30—40 *м/сек*) развивает большое число оборотов, что может привести к разрушению ветрового колеса. Механики полярных станций обратили внимание конструкторов на этот недостаток. После ряда экспериментов инженеру М. М. Чиркову удалось устранить этот недостаток уменьшением площади поворотной части лопасти. Испытания показали, что степень неравномерности при уменьшенной поворотной части остается такой же, т. е. $\pm 1{,}6$—2%, но ветровое колесо обратно не уходит. В будущем старые крылья на ветродвигателях, установленных на полярных станциях, будут заменены новыми, с уменьшенной поворотной частью.

К числу конструктивных недостатков ветродвигателя ВИСХОМ Д-3 нужно отнести крепление ленты к улитке и слишком ненадежный упорный подшипник. На полярной станции б. Благополучия в этом ветродвигателе заменили железную ленту пружины регулирования гибким тросом, подшипник кустарного изготовления — номерным, заводского изготовления. Ветродвигатель работает бесперебойно.

Некоторые механики предлагали ввести в конструкцию ветродвигателя Д-12 тормозное приспособление, чтобы при сильном шторме и обратном ходе ветрового колеса останавливать его тормозом. Это предложение свидетельствует о недостаточной изученности механизма ветродвигателя. Нет никакой необходимости усложнять и утяжелять механизмы ветродвигателя тормозными приспособлениями. Речь может итти только о дальнейшем усовершенствовании аппарата регулирования. В этом направлении и должны работать конструкторы, а также механики, непосредственно обслуживающие ветродвигатель. А чтобы работа эта была успешной, механики должны хорошо знать конструкцию ветродвигателя, с которым они работают, его поведение во время работы, его недостатки и достоинства.

Резервы при ветродвигателе

До внедрения ветродвигателей на полярных станциях в качестве стационарных при энергоустановках работали бензиновые быстроходные, в большинстве транспортные двигатели— Форд, ГАЗ, ЗИС-5, АМО-3, стационарные Л-6, Л-6/2, Л-3, Л-3/2; на полярных станциях восточного района применялись судовые японские двигатели, а на некоторых—отечественные нефтяные двигатели. Всего на полярных станциях насчитывалось до 24 марок различных двигателей, причем бóльшая

часть их—заграничного происхождения. Работали они на светлом горючем, сжигали его по нескольку тонн.

Нефтяных двигателей на каждой полярной станции устанавливалось по нескольку штук. На каждой полярной станции имелось силовое аккумуляторное хозяйство—аккумуляторные батареи на 120 *в*, 360 *а-ч* типа Ж-33 или С-10.

Теперь, когда основным источником электрической энергии на полярных станциях стал ветродвигатель, двигатели внутреннего сгорания стали использоваться только как резервные при продолжительном безветрии. Аккумуляторная батарея вместо работы на заряд и разряд стала работать буфером, т. е. выравнивать пики нагрузки, отсасывать излишек электроэнергии при большом ветре и отдавать ее в сеть, если в течение двух-трех суток нет ветра. Таким образом, внедрение ветродвигателей на полярных станциях привело к переходу от разнотипного к типовому компактному энергохозяйству, с бензиновых двигателей—на нефтяные и газогенераторные (газогенераторы начали вводиться с 1940 г.). Возьмем в качестве примера полярную станцию 2-го разряда м. Желания. До 1935 г. в машинном отделении находилось четыре работающих двигателя: «Урал»—12 *л. с.*, «Возрождение»—12 *л. с.*, «Дуглас»—5 *л. с.*, Л-6 и аккумуляторная батарея Ж-33. Освещение было керосиновое. На полярной станции о. Белый до установки ветродвигателя было четыре работающих двигателя: ЗИС-5—60 *л. с.*, «Возрождение»—12 *л. с.*, Л-6 (2 шт.) и аккумуляторная батарея С-10 на 300 *а-ч*. Электрическое освещение было только по праздникам.

То же самое было и на других полярных станциях. При таком многообразии двигателей приходилось иметь на полярных станциях две обслуживающие единицы—старшего механика и механика или моториста.

В настоящее время на полярных станциях 2-го разряда имеются нефтяные резервные двигатели марки «Коммунист» 12—15 *л. с.* На некоторых станциях остались в качестве неприкосновенного резерва двигатели Л-6. Из аккумуляторных батарей остаются С-10 или же Ж-33.

Аналогичные установки имеются на всех полярных станциях 2-го разряда.

На каждой из полярных станций 3-го разряда до внедрения ветродвигателей было по меньшей мере по три двигателя внутреннего сгорания—Л-3, «Дуглас», «Червонный двигун», спаренных с генератором ЗДН-1000,—и аккумуляторная батарея Ж-33 из 12 элементов. Теперь на полярных станциях 3-го разряда основными источниками энергии являются ветроустановки

ВИМЭ Д-5, а двигатели Л-3/2 служат резервом. Вследствие неэкономичности низковольтной сети на полярных станциях 3-го разряда Радиослужба Управления полярных станций ввела высоковольтную сеть—на 120 *в*. Это позволило иметь для ветродвигателя и резервного двигателя один тип генератора—ПН-28,5 на 1,7 *квт*—и аккумуляторную батарею типа Ж-132 или ЭТП-168 на 180 *а-ч*.

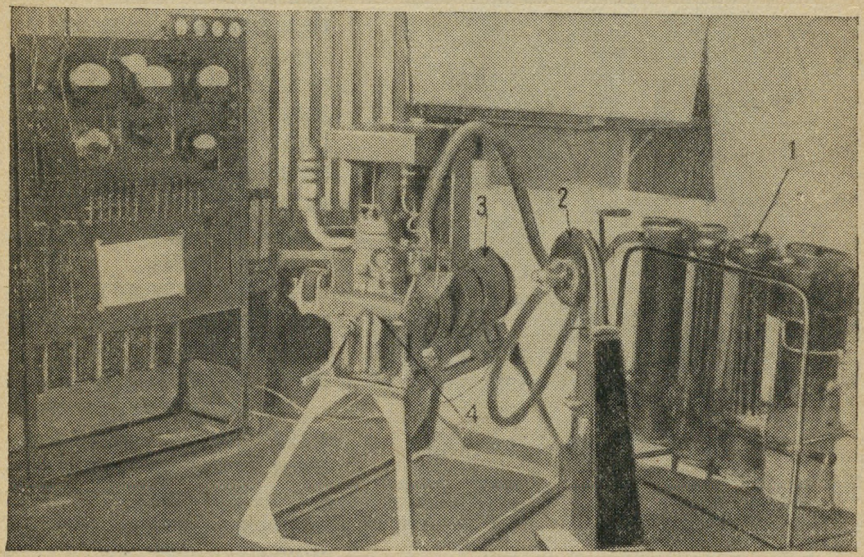


Рис. 81. Газогенераторная установка ГРУ-3:
1—газогенератор с газоочистителями; *2*—вентилятор для разжига газогенератора; *3*—динамомашина ЗДН-1000; *4*—двигатель Л-3/2 со смесителем

С 1940 г. на полярных станциях 3-го разряда начали применять малолитражные газогенераторы типа ГРУ-3, работающие на мелком древесном угле (рис. 81 и 82). Газогенератор этот—небольших габаритов. Одной засыпки угля хватает на один час работы двигателя Л-3/2 с отдачей мощности 1 000 *вт*. Генератор ЗДН-1000, спаренный с двигателем Л-3/2 на газогенераторе, дает полную мощность, очень устойчиво держит обороты и напряжение. Расход топлива—1,5 *кг* на силу-час древесного угля—березы, сосны, дуба и других пород.

Такая установка работает как опытная на полярной станции о. Русский.

В 1941 г. на станции 3-го разряда в район Западного сектора будет завезено несколько таких установок.

Обычно резервные двигатели работают в квартал самое большее 20 часов—на подзаряд в продолжительные штили. Применяя малолитражный газогенератор, можно совсем освободиться от завоза бензина.

Газогенератор разжигается двигателем на бензине. Когда газогенератор разгорится и начнет давать газ нормального качества, двигатель в течение 5—10 минут переводят с бензина на газ. При установке газогенераторов на полярных станциях 3-го разряда туда нужно завозить только несколько десятков килограммов бензина для запуска. Кроме того, бензин можно экономить, разжигая газогенератор от вентилятора, как показано на рис. 83.

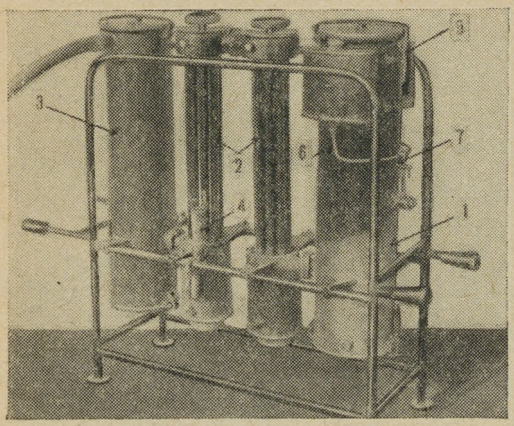


Рис. 82. Газогенератор ГРУ-3:

1—газогенератор; *2*—трубчатые охладители-очистители; *3*—тонкий очиститель; *4*—факел для разжига газогенератора; *5*—водяные бачки; *6*—трубки водяного бачка

Достоинства этой установки велики. Следует учесть, что газосмеситель не нарушает системы питания бензиновой смесью; если нужно пустить двигатель и он почему-либо закапризничает на газе, можно быстро переключить его на бензин.

На полярных станциях в тех районах, где уголь нельзя заготовить на месте, устанавливаются резервные нефтяные двигатели мощностью в 6 *л. с.*—быстроходные дизели с числом оборотов в минуту 1 000—1 500.

Таким образом, на полярных станциях 2-го и 3-го разрядов будет два рабочих агрегата: один основной—ветродвигатель, второй резервный—нефтяной или газогенераторный, и аккумуляторная батарея соответствующего типа.

Такая система энергохозяйства создает удобства не только в эксплоатации, но и в снабжении запасными частями, в планировании горючего и проведении ремонта. Для обслуживания такого энергохозяйства вполне достаточно одного механика.

В процессе эксплоатации ветродвигателей на полярных станциях постепенно определились тип и мощность электро-

механических агрегатов, а вместе с тем изменилась, стала более гибкой электрическая схема коммутации.

На рис. 84 приведена схема электрической сети, принятая для тех полярных станций, где работают ветродвигатели Д-12. На схеме изображено реле обратного тока типа Р-15А-1, которое показало в эксплоатации очень хорошие качества. Оно служит для автоматической защиты аккумуляторной силовой батареи от разряда в основном на генератор ветродвигателя, а также на генератор резервного двигателя внутреннего сгорания, когда по какой-либо причине двигатель внезапно остановится.

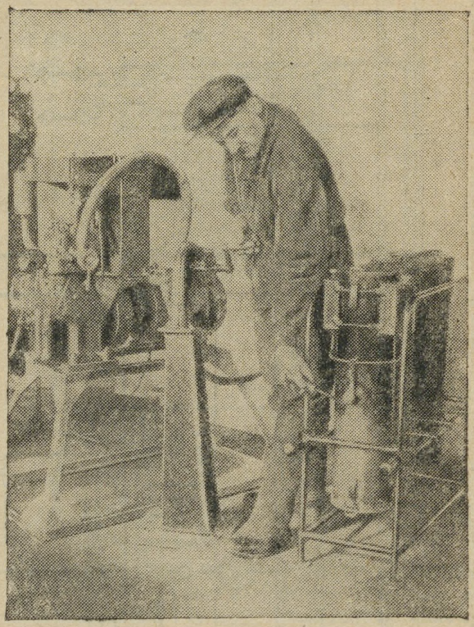


Рис. 83. Разжиг газогенератора от вентилятора

Этот электрический автомат имеет несложное устройство и очень упрощает эксплоатацию ветроустановки. При хорошо отрегулированном реле вахта во время работы не нужна. Можно ограничиться двумя-тремя проверками смазки за сутки (при круглосуточной работе ветроустановки).

Правильная и надежная работа реле зависит в основном от изменения сопротивления в цепи шунтовой обмотки.

Реле железнодорожного типа Р-15А-1 рассчитано на напряжение 80 *в*, на полярных станциях напряжение в конце заряда батареи составляет 130—160 *в*. Чтобы не сжечь шунтовую обмотку и получить минимальный обратный ток выключения в случае остановки ветродвигателя при внезапно затихшем ветре или остановки двигателя внутреннего сгорания, вводится добавочное сопротивление (рис. 85). Удобнее иметь добавочное сопротивление из двух ступеней: постоянное—200 *ом* и переменное—100—150 *ом*. Сила тока в шунтовой обмотке не должна превышать 0,35 *а*.

Переменным сопротивлением можно регулировать ток вклю-

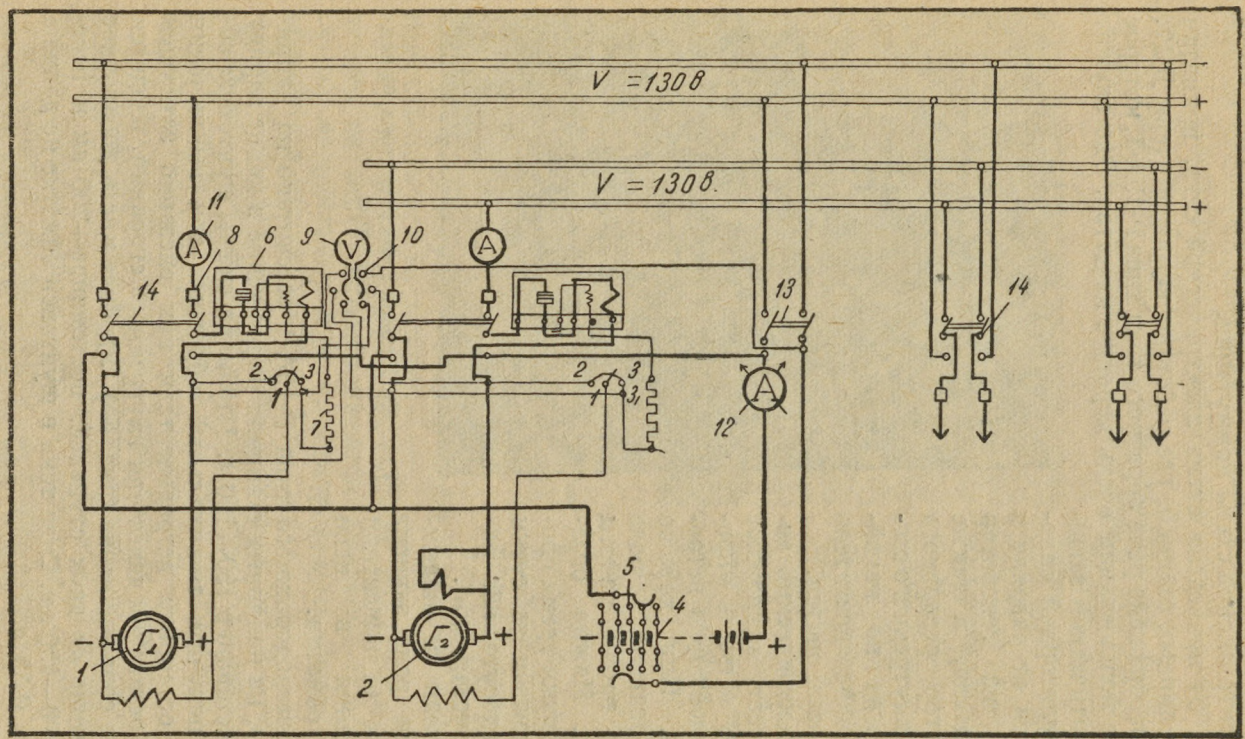


Рис. 84. Типовая электрическая схема коммутации ветродвигателя Д-12:

1—генератор типа МП-510 ветродвигателя Д-12; *2*—генератор типа МП-543$^1/_2$ дизеля «Коммунист» 15 *л. с.*; *3*—шунтовый регулятор к генератору ветродвигателя (до 13 *квт*); *4*—аккумуляторная батарея 130 *в* из элементов С-10 или Ж-33; *5*—двойной элемент коммутаторного типа; *6*—реле обратного тока; *7*—реостат типа Рустрат 300 *ом*, 0,5 *а*; *8*—предохранитель типа Н до 60 *а*; *9*—вольтметр типа ММ до 250 *в*; *10*—вольтметровый переключатель типа ВП; *11*—амперметр типа ММ до 100 *а*; *12*—амперметр типа ММ 100—0—100; *13*—рубильник двухполюсный типа Р на 100 *а*; *14*—переключатель двухполюсный типа П

чения и выключения: чем меньше будет величина этих токов, тем лучше для механизма передачи ветродвигателя и батареи. Большой силы ток при включении дает на передачу ветродвигателя нагрузку мгновенно, ударом. Если допустить ток включения до 50—60 *а* при 120 *в*, мощность удара на механизм от мгновенной нагрузки будет равна 6—7,5 *квт*, или 600—712 *кгм*. Такие удары могут сорвать шпонки шестерни или расслабить их. В результате неправильной работы реле у ветродвигателя на о. Диксон вывернулся стопорный болт большой шестерни нижнего редуктора и выехала шпонка, стопорный болт попал в шестерни, поломал зубья—редуктор вышел из строя.

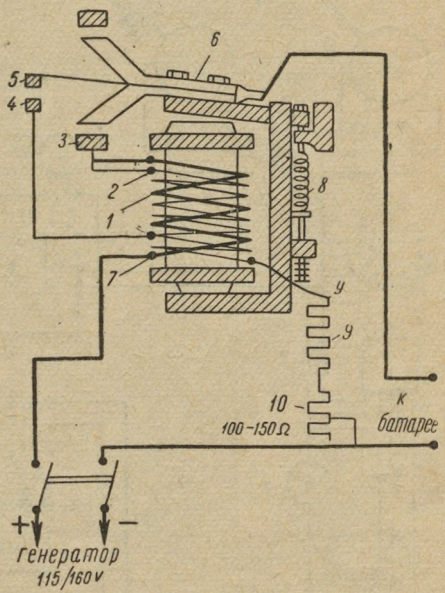


Рис. 85. Схема реле обратного тока типа Р-15А-1:

1—сериесная обмотка; *2*—шунтовая обмотка; *3*—контакт рабочего тока; *4* и *5*—контакты искрогасителя; *6*—якорь с рабочими контактами; *7*—входной контакт сериесной обмотки; *8*—пружина с микрометрическим винтом; *9*—постоянное сопротивление 200 *ом*; *10*—переменное сопротивление 100—150 *ом*

Чтобы избежать поломок и преждевременного выхода реле из строя, необходимо силу тока в шунтовой обмотке реле изменять введением переменного сопротивления; его включают при пуске ветродвигателя или двигателя внутреннего сгорания; реле включают при силе тока 10—15 *а*; после включения реле переменное сопротивление вводится полностью. Это предохраняет шунтовую обмотку от перегрева и обеспечивает при выключении реле обратный ток силой от 2 до 5 *а*. При такой работе у реле никогда не пригорают контакты и не греется шунтовая обмотка.

Сила тока в шунтовой обмотке при работе не должна превышать 0,25—0,3 *а*, при включении (при выведенном переменном сопротивлении) должна быть максимум 0,6—0,8 *а*. Перед пуском ветроустановки в эксплоатацию ток шунтовой обмотки реле нужно проверить при помощи амперметра со шкалой 0—5 *а* или 0—10 *а*. Одновременно нужно проверить силу рабочего тока включения и обратного тока выключения, проходящего через сериесную обмотку реле.

Только при хорошо отрегулированном реле можно достичь надежной работы коммутации и быть уверенным, что если ветер стихнет, реле выключит обратный ток из батареи в генератор,

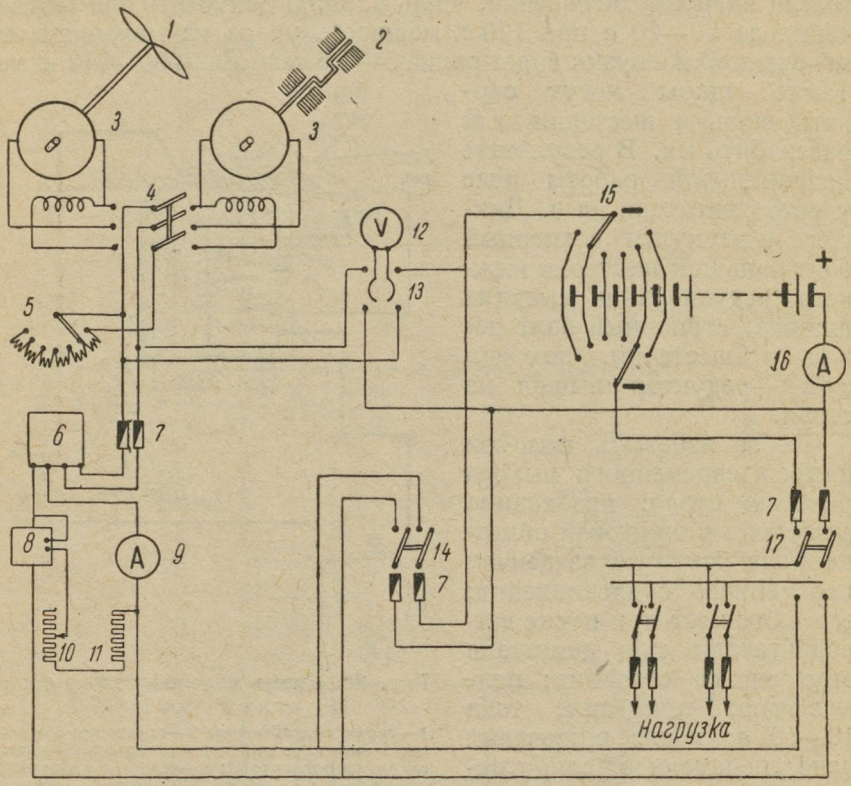


Рис. 86. Принципиальная схема распределительного щита радиостанции 3-го разряда:

1—ветродвигатель ВИМЭ Д-5; *2*—дизель в 6 *л. с.*; *3*—динамомашина типа ПН-28,5; *4*—трехполюсный рубильник 40 *а*; *5*—шунтовый реостат; *6*—счетчик; *7*—двухполюсный предохранитель; *8*—реле Р-15А-1; *9*—амперметр 50 *а*; *10*—переменное сопротивление; *11*—вольтметр 160 *в*; *12*—вольтметр переключения; *13*—двухполюсный рубильник 40 *а*; *14*—заряд-разряд переключения; *15*—амперметр 50—0—50; *16*—двухполюсный рубильник 40 *а*

и наоборот: если начнется ветер, заработает ветродвигатель, реле включит—рабочий ток пойдет в электросеть к потребителям.

На полярных станциях 3-го разряда, где работают ветродвигатели типа ВИМЭ Д-5, была принята схема коммутации, изображенная на рис. 86.

Схема коммутации для ветроустановок типа ВИСХОМ Д-3 мощностью 1 *квт* изображена на рис. 87.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЕТРОВЫХ УСТАНОВОК В АРКТИКЕ

Выбор того или иного типа ветроустановки, целесообразность применения ее в данной местности определяются технико-экономическими расчетами. Напомним основные принципы этих расчетов.

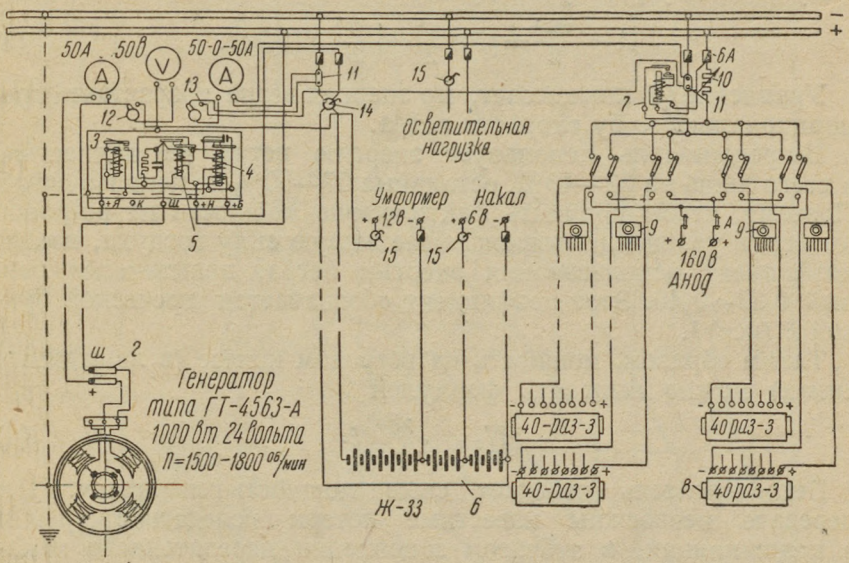


Рис. 87. Схема коммутации для ветроустановок типа ВИСХОМ Д-3 (разработана инж. И. Б. Вершининым)

Из физики известно, что всякое движущееся тело может совершать работу, т. е. обладает кинетической энергией, которая определяется уравнением

$$A = \frac{m \cdot v^2}{2}, \qquad (1)$$

где A — работа, совершаемая телом;

m — масса этого тела;

v — скорость движения массы.

Воздушная масса m, движущаяся с определенной скоростью через определенное сечение, выражается уравнением

$$m = \rho F v, \qquad (2)$$

где ρ — удельная плотность воздуха, т. е. величина, равная весу воздуха в единице объема, деленному на ускорение силы

тяжести (при 15° и давлении, равном 760 *мм* ртутного столба, $\rho = 0{,}125$);

v — скорость воздуха в *м/сек*;

F — площадь, ометаемая крыльями ветродвигателя: $F = \frac{\pi D^2}{4}$ (D — диаметр ветрового колеса в *м*).

Подставив значение массы m из уравнения (2) в уравнение (1), получим живую силу воздуха:

$$A = \frac{mv^2}{2} = \rho F v \frac{v^2}{2} = \frac{\rho F v^3}{2} \text{ кгм/сек.} \quad (3)$$

Уравнение (3) показывает, что энергия ветра возрастает пропорционально кубу скорости ветра.

Ветродвигатель использует энергию ветра не полностью, а всего лишь на 33—40%, остальные 67—60% не используются. Поэтому, чтобы получить фактическую мощность на ветровом колесе, в уравнение, выражающее живую силу воздуха, вводят коэфициент использования энергии ветра, практически равный 0,33—0,40. Этот коэфициент обозначается греческой буквой ξ (кси)[1].

Таким образом, мощность на ветровом колесе (в лошадиных силах) можно выразить формулой

$$N_{в.к} = \frac{\rho F v^3}{2 \cdot 75} \xi. \quad (4)$$

Ветродвигатель передает свою мощность генератору. При передаче неизбежны известные потери вследствие трения в подшипниках, в зубчатом зацеплении передаточного механизма ветродвигателя и т. д. Поэтому в формулу, определяющую мощность на клеммах генератора, вводится коэфициент полезного действия всей установки (к. п. д.), обозначаемый греческой буквой η (эта). Обычно $\eta = 0{,}695$[2]. Формула для определения этой мощности (в киловаттах) будет иметь вид:

$$N_{ген} = 0{,}736 \eta N_{в.к}. \quad (5)$$

Формулой (5) пользуются при расчетах мощности любой ветроустановки. Нужно только знать к. п. д. механической передачи и к. п. д. генератора.

Чтобы получить наиболее производительную для данной точки или данного района ветроустановку, нужно знать среднегодовую скорость ветра, среднемесячную скорость ветра и по-

---

[1] Идеальный коэфициент использования энергии ветра для ветродвигателей типа ЦВЭИ Д-12, ВИМЭ Д-5 и ВИСХОМ Д-3 $\xi = 0{,}593 \div 0{,}687$.

[2] По данным лаборатории ветродвигателей ВИСХОМ для крыльчатых ветродвигателей $\eta = 0{,}73 \div 0{,}76$.

вторяемость ветра определенной скорости (т. е. сколько часов в году дует ветер скоростью, например, 8 *м/сек*, 10 *м/сек* и т. д.); нужно также знать, сколько бывает в году штилевых часов, на покрытие которых рассчитывается резервная установка, состоящая из аккумуляторной батареи, двигателя внутреннего сгорания, локомобиля, гидротурбины и других двигателей.

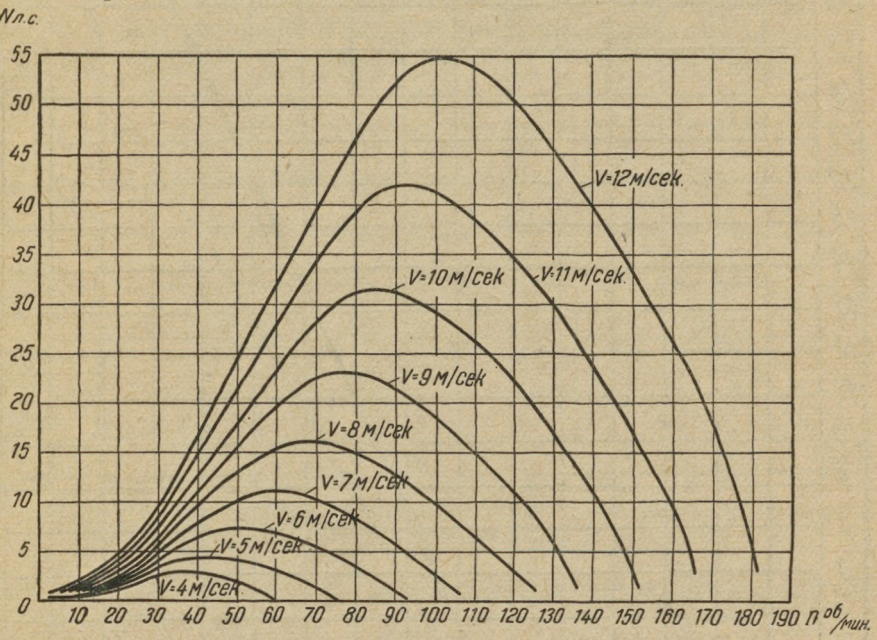


Рис. 88. Характеристика мощности ветродвигателя Д-12 в зависимости от числа оборотов и скорости ветра

Сделаем примерный расчет выработки электроэнергии для ветродвигателя Д-12 с поворотом конца лопасти при 60 оборотах в минуту. Для расчета примем среднегодовую скорость ветра в 8,4 *м/сек*. Распределение среднемесячных скоростей ветра для среднегодовой скорости в 8,4 *м/сек* дано в табл. 16.

Таблица 16

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годовая
Среднемесячная скорость ветра в *м/сек*	8,8	7,1	8,5	7,1	7,5	8,4	7,7	7,6	7,9	8,6	9,2	8,6	8,4

По универсальной характеристике мощности ветродвигателя Д-12 в зависимости от числа оборотов и скорости ветра (рис. 88)

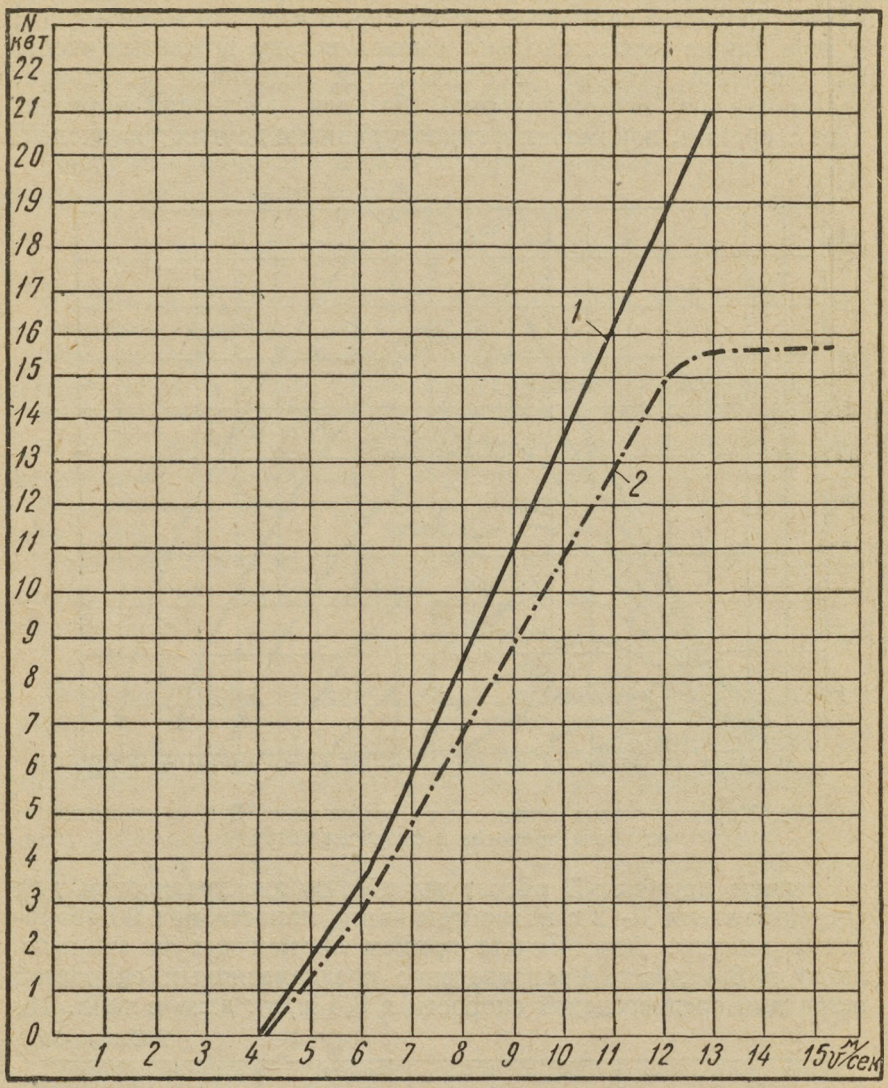


Рис. 89. Кривая отдачи мощности на клеммах генератора в зависимости от скорости ветра:

1—расчетная кривая; *2*—практическая кривая, полученная на полярной станции м. Желания

построим теоретическую кривую отдачи мощности на клеммах генератора в зависимости от скорости ветра (рис. 89) при 60 оборотах в минуту ветрового колеса.

Кривую отдачи мощности, являющуюся функцией скорости ветра, можно также построить на основании расчетной таблицы для данного ветродвигателя (табл. 17). При составлении этой таблицы пользуются практической кривой, полученной ветросиловой лабораторией ВИСХОМ (рис. 90). Кривая показывает

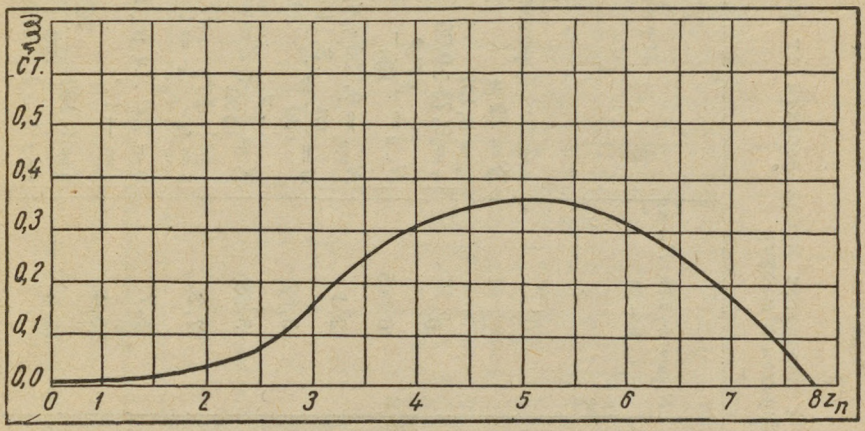


Рис. 90. Кривая зависимости коэфициента использования энергии ветра от модуля ветродвигателя

зависимость коэфициента использования ветра от модуля Z данного ветродвигателя.

Модулем Z называется отношение окружной скорости конца лопасти ветрового колеса к скорости потока ветра (в *м/сек*), действующего на ветровое колесо, т. е.

$$Z = \frac{\omega R}{v},$$

где $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ — угловая скорость в секунду;

R—конечный радиус лопасти;

v—скорость ветра в *м/сек*.

Модуль, при котором ξ достигает максимального значения, называется *нормальным модулем* Z_n. Величина Z_n определяет степень быстроходности ветродвигателя: чем больше Z_n, тем меньше крутящий момент, действующий на лопасть ветрового колеса и на редуктор, тем легче получается ветроустановка. Быстроходный ветродвигатель особенно необходим при работе с генератором, имеющим обычно большое число оборотов.

Таблица 17

Зависимость мощности ветродвигателя Д-12 с поворотом конца лопасти от скорости ветра при $n = 60$ оборотов в минуту

v	ω	Z	ξ	$K = \frac{\rho F}{150}$	v^3	$N_{в.к} = Kv^3\xi$ в *л. с.*	$N_{ген} = 0,736\,\eta N_{в.к}$ в *квт*	Примечание
1	4,7	31,2	0	0,104	1	0	0	$n = 60$ оборотов в минуту
2	4,7	15,6	0	0,104	8	0	0	$D = 12$ *м*
3	4,7	10,4	0	0,104	27	0	0	$\rho_0 = 0,132$
4	4,7	1,8	0,205	0,104	64	1,34	0,695	$\eta = 0,73 \div 0,76$
5	4,7	6,25	0,31	0,104	125	4	2,4	$N_{в.к} = \frac{\rho F v^3}{150}$
6	4,7	5,2	0,335	0,104	216	7,5	3,82	$N_{ген} = 0,736\,\eta N_{в.к}$
7	4,7	4,5	0,305	0,104	344	10,9	5,55	$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 60}{30} = 6,3$
8	4,7	3,9	0,265	0,104	512	14,1	7,2	$K = \frac{\rho F}{150}$; $Z = \frac{\omega R}{v}$
9	4,7	4,6	0,225	0,104	729	17,05	8,7	$\rho = \rho_0 \frac{bT_0}{b_0 T} = 0,132 \frac{b \cdot 273}{760\,(273 + t)}$
10	4,7	3,12	0,165	0,104	1 000	20,3	10,4	$b = 760$ *мм* ртутного столба
11	4,7	2,84	0,170	0,104	1 330	23,7	13,5	$t = -14°$
								$\rho = 0,132 \frac{760 \cdot 273}{760\,(273 + 14)} = 0,139$ при $b = b_0 = 760$ *мм*

Таблица 18

Повторяемость скоростей ветра (в %) по Поморцеву

Среднегодовая скорость ветра в *м/сек*	Повторяемость разных скоростей ветра в %, при данной средней скорости в *м/сек*																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	25,5	41,0	25,0	7,5	1,0	0,9															
1,5	1,8	32,0	28,0	16,0	5,0	1,0															
2	10,0	23,0	29,8	23,0	10,0	3,8	0,6														
2,5	9,0	16,0	24,0	23,5	16,0	8,0	3,0	0,5													
3	5,8	11,8	19,4	22,7	19,5	12,0	6,0	2,2	0,7												
3,5	1,5	9,0	15,0	20,0	19,0	15,0	9,5	5,0	2,0	0,5											
4	3,5	7,2	12,2	16,5	18,4	16,5	12,2	7,3	3,6	1,7	0,6	0,3									
4,5	3,0	5,0	10,0	14,0	17,0	16,5	14,0	10,0	5,5	3,0	0,65	0,5									
5	2,0	4,3	7,8	11,3	15,0	16,5	15,0	12,0	8,0	4,3	0,8	0,6	0,3								
5,5	1,5	3,3	6,0	9,5	13,0	15,0	15,5	13,2	10,0	6,5	3,2	1,8	0,8	0,5	0,2						
6	1,0	2,6	4,8	8,0	11,0	13,8	15,0	14,0	10,0	8,0	6,0	3,5	1,5	0,6	0,3						
6,5	1,0	2,0	4,0	6,4	9,0	12,0	14,0	14,0	11,0	9,5	6,0	4,2	2,5	1,5	0,5	0,1					
7	0,6	1,7	3,0	5,4	8,0	10,6	12,6	13,5	12,3	11,0	8,2	5,7	3,5	2,0	0,8	0,4	0,2				
7,5	0,5	1,4	2,4	4,3	6,8	9,0	11,4	12,8	12,5	11,4	9,5	7,0	5,0	3,0	1,8	0,9	0,3				
8	0,5	1,0	2,1	3,8	5,6	7,8	10,0	11,8	12,5	11,8	10,2	8,2	5,9	4,0	2,3	1,3	0,7	0,3	0,2		
8,5	0,5	1,5	1,8	3,0	4,8	6,8	9,0	10,5	11,0	11,5	10,5	9,0	7,0	5,0	3,5	2,0	1,0	0,5	0,4		
9	0,2	0,7	1,6	2,6	4,0	5,7	8,0	9,6	11,0	11,3	11,0	9,7	8,0	6,0	4,2	2,8	1,8	1,0	0,6	0,2	
9,5	0,2	0,5	1,2	2,2	3,5	5,0	7,0	8,5	10,0	11,0	11,0	10,0	8,5	7,0	5,3	3,5	2,5	1,5	1,0	0,4	0,2
10	0,0	0,2	0,8	2,0	3,2	4,5	6,0	7,8	9,0	10,0	10,2	10,0	9,1	7,8	6,0	4,8	3,3	2,2	1,5	0,9	0,7

Таблица 19

Повторяемость скоростей ветра по Гуллену в часах за год

(v_0 — среднегодовая скорость ветра)

v в *м/сек*	$v_0 = 4$ *м/сек*	$v_0 = 5$ *м/сек*	$v_0 = 6$ *м/сек*	$v_0 = 7$ *м/сек*	$v_0 = 8$ *м/сек*	$v_0 = 9$ *м/сек*	$v_0 = 10$ *м/сек*
До 0,5	368	245	172	130	103	83	65
0,5— 1,5	1 104	788	585	453	369	300	245
1,5— 2,5	1 505	1 167	919	739	615	508	432
2,5— 3,5	1 449	1 230	1 025	863	735	625	543
3,5— 4,5	1 223	1 139	1 011	887	775	682	601
4,5— 5,5	953	979	933	854	771	694	625
5,5— 6,5	698	803	819	787	735	676	622
6,5— 7,5	490	634	696	701	678	643	605
7,5— 8,5	336	485	576	611	612	599	575
8,5— 9,5	233	362	464	522	545	546	534
9,5—10,5	153	269	367	436	476	490	490
10,5—11,5	94	201	286	359	408	435	445
11,5—12,5	59	146	224	292	346	383	400
12,5—13,5	40	102	177	237	290	333	358
13,5—14,5	28	68	137	191	242	285	316
14,5—15,5	19	46	102	155	199	244	277
15,5—16,5	8	33	75	126	165	206	240
16,5—17,5	—	25	54	99	137	174	208
17,5—18,5	—	19	39	77	115	147	180
18,5—19,5	—	14	30	59	96	126	154
19,5—20,5	—	5	23	44	74	107	132
20,5—21,5	—	—	18	33	58	90	115
21,5—22,5	—	—	14	27	46	74	100
22,5—23,5	—	—	10	22	36	61	86
23,5—24,5	—	—	4	18	28	49	73
24,5—25,5	—	—	—	14	23	39	60
25,5—26,5	—	—	—	12	20	31	50
26,5—27,5	—	—	—	8	17	25	41
27,5—28,5	—	—	—	4	14	20	34
28,5—29,5	—	—	—	—	12	18	27
29,5—30,5	—	—	—	—	9	16	22
30,5—31,5	—	—	—	—	8	14	19
31,5—32,5	—	—	—	—	3	11	17
32,5—33,5	—	—	—	—	—	9	14
33,5—34,5	—	—	—	—	—	8	12
34,5—35,5	—	—	—	—	—	6	11
35,5—36,5	—	—	—	—	—	3	9
36,5—37,5	—	—	—	—	—	—	9
37,5—38,5	—	—	—	—	—	—	7
38,5—39,5	—	—	—	—	—	—	5
39,5—40,5	—	—	—	—	—	—	2

Повторяемость скоростей ветра с приближенной точностью можно подсчитать по таблице Поморцева (табл. 18), а более точно—по таблице Гуллена (табл. 19). Таблицей Гуллена удобнее пользоваться для высоких среднегодовых скоростей, так как в таблице Поморцева указана повторяемость до скорости 20 *м/сек*, а по таблице Гуллена—до 40 *м/сек*.

Для упрощения будем вести расчеты по таблице Поморцева.

Из таблицы видно, что с увеличением среднемесячной скорости увеличивается и процент повторяемости скоростей ветра в сторону больших рабочих скоростей.

На основании табл. 16 и 18 составляется таблица повторяемости скоростей ветра в процентах (табл. 20).

Таблица 20

Повторяемость скоростей ветра (в %) для ветродвигателя ЗЦВЭИ Д-12 ($n = 60$ оборотов в минуту) при средней скорости $v = 8{,}4$ *м/сек*
(по данным Поморцева)

Месяцы	Среднемесячная скорость ветра в *м/сек*	Рабочие скорости ветра в *м/сек*												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 и выше
Январь . .	8,8	0,2	0,7	1,6	2,6	4,0	5,7	8,0	9,6	11,0	11,3	11,0	9,7	24,6
Февраль .	7,1	0,6	1,7	3,0	5,4	8,0	10,6	12,6	13,5	12,3	11,0	8,2	5,7	7,0
Март . . .	8,5	0,5	1,5	1,8	3,0	4,8	6,8	9,0	10,5	11,0	11,5	10,5	9,0	19,4
Апрель . .	7,1	0,6	1,7	3,0	5,4	8,0	10,6	12,6	13,5	12,3	11,0	8,2	5,7	7,0
Май	7,5	0,5	1,4	2,4	4,3	6,8	9,0	11,4	12,8	12,5	11,4	9,5	7,0	11,0
Июнь . . .	8,4	0,5	1,5	1,8	3,0	4,8	6,8	9,0	10,5	11,0	11,5	10,5	9,0	19,4
Июль . . .	7,7	0,5	1,0	2,1	3,8	5,6	7,8	10,0	11,8	12,5	11,8	10,2	8,2	14,7
Август . .	7,6	0,5	1,4	2,4	4,3	6,8	9,0	11,4	12,8	12,5	11,4	9,5	7,0	11,0
Сентябрь .	7,9	0,5	1,0	2,1	3,8	5,6	7,8	10,0	11,8	12,5	11,8	10,2	8,2	14,7
Октябрь .	8,6	0,5	1,5	1,8	3,0	4,8	6,8	9,0	10,5	11,0	11,5	10,5	9,0	19,4
Ноябрь . .	9,2	0,2	0,7	1,6	2,6	4,0	5,7	8,0	9,6	11,0	11,3	11,0	9,7	24,6
Декабрь .	8,6	0,5	1,5	1,8	3,0	4,8	6,8	9,0	10,5	11,0	11,5	10,5	9,0	19,4

Из табл. 18 выписывается повторяемость скоростей ветра для среднемесячных скоростей, указанных в табл. 16.

Например, для января в табл. 16 указана среднемесячная скорость 8,8 *м/сек*. В табл. 18 такой скорости нет. Поэтому выписываем повторяемость для ближайшей средней скорости ветра—9 *м/сек*: 0,2; 0,7; 1,6 и т. д. Записываем эти цифры в первой строке табл. 20. Для февраля в табл. 16 указана среднемесячная скорость 7,1 *м/сек*. Выписываем во вторую строку цифры повторяемости, относящиеся к средней скорости 7 *м/сек*: 0,6; 1,7; 3; 5,4 и т. д.

Как показывает кривая отдачи мощности ветродвигателя на клеммах генератора (рис. 89), практический интерес предста-

вляют скорости от 4 до 12—13 *м/сек*. При скорости выше 13 *м/сек* ветродвигатель достигает своей максимальной мощности 15,5 *квт* и начинает саморегулироваться. Следовательно, скорость 12 *м/сек* является пределом регулирования числа оборотов и мощности ветродвигателя.

Поэтому в табл. 20 повторяемость скоростей ветра от 0 до 3 *м/сек*, как нерабочих, в расчет принимать не будем. Повторяемость скоростей от 12 *м/сек* и выше из табл. 18 суммируется и записывается в табл. 20 в последней графе, так как ветродвигатель работает и за пределами регулирования до скорости ветра 40—50 *м/сек*.

По табл. 20 составим таблицу повторяемости скоростей ветра в часах (табл. 21). Расчет начинаем с рабочей скорости ветра 4 *м/сек*. По табл. 20, в январе для скорости ветра 4 *м/сек* повторяемость равна 4%. Следовательно, в течение месяца (720 часов) ветер со скоростью 4 *м/сек* будет дуть $720 \times 4:100 = 28{,}8$ часа, или округленно 29 часов. Эту цифру и записываем в третью графу табл. 21. Таким же образом находим число часов повторяемости ветра в январе для других скоростей, а затем и для остальных месяцев. Эти цифры суммируем и получаем в последней графе общее число рабочих часов для каждого месяца. Суммируя цифры по вертикали, получаем годовое число рабочих часов для каждой из приведенных в таблице скоростей.

Таблица 21

Повторяемость скоростей ветра в часах для ветродвигателя Д-12 (n=60 оборотов в минуту) при среднегодовой скорости v=8,4 *м/сек*
(по данным Поморцева)

Месяцы	Средняя скорость ветра в *м/сек*	Рабочие скорости ветра в *м/сек*									Сумма часов по месяцам
		4	5	6	7	8	9	10	11	12 и выше	
Январь . .	8,8	29	41	57	69	79	81	79	70	177	682
Февраль .	7,1	57	76	91	97	89	79	59	41	50	639
Март . . .	8,5	34	49	65	75	79	83	75	65	140	665
Апрель . .	7,1	57	76	91	97	89	79	59	41	50	639
Май	7,5	49	65	82	92	90	82	68	50	79	657
Июнь . . .	8,4	34	49	65	75	79	83	75	65	140	665
Июль . . .	7,7	40	56	72	85	90	85	73	59	106	665
Август . .	7,6	49	65	82	92	90	82	68	50	79	657
Сентябрь .	7,9	40	56	72	85	90	85	73	59	106	666
Октябрь .	8,6	34	49	65	75	79	83	75	65	140	665
Ноябрь . .	9,2	29	41	57	69	79	81	79	70	177	682
Декабрь . .	8,6	34	49	65	75	79	83	75	65	140	665
Год . . .	8,4	486	672	844	986	1 012	986	858	717	1 384	7 947

Чтобы перейти к подсчету выработки в киловатт-часах, составляем таблицу отдачи мощности на клеммах генератора в зависимости от скорости ветра по кривой мощности (рис. 90) или по расчетной табл. 17. Получаем табл. 22.

Таблица 22

Отдача мощности ветродвигателя на клеммах генератора в зависимости от скорости ветра в *м/сек* при $n=60$ оборотов в минуту

Рабочие скорости ветра в *м/сек*	4	5	6	7	8	9	10	11	12 и выше
Мощность на клеммах генератора в *квт*	0,695	2,4	3,82	5,55	7,2	8,7	10,4	12,2	13,5

По данным табл. 21 и 22 составляем таблицу выработки электроэнергии в киловатт-часах (табл. 23).

Таблица 23

Выработка энергии в киловатт-часах при среднегодовой скорости ветра 8,4 *м/сек* и при $n = 60$ оборотов в минуту

Месяцы	Среднемесячная скорость ветра в *м/сек*	Рабочие скорости ветра в *м/сек*									Сумма *квт-ч* по месяцам
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Январь .	8,8	20	99	220	380	570	700	820	850	2 380	5 939
Февраль .	7,1	40	182	350	540	640	685	610	500	675	4 222
Март . .	8,5	23	117	250	415	570	720	780	790	1 880	5 545
Апрель .	7,1	40	182	350	540	640	685	610	500	675	4 222
Май . . .	7,5	34	155	314	510	650	710	710	610	1 070	4 763
Июнь . .	8,4	23	117	250	415	570	720	780	790	1 880	5 545
Июль . .	7,7	28	135	276	470	650	740	760	720	1 430	4 209
Август .	7,6	34	155	314	510	650	710	710	610	1 070	4 763
Сентябрь.	7,9	28	135	276	470	650	740	760	720	1 430	4 209
Октябрь .	8,6	23	117	250	415	570	720	780	790	1 880	5 545
Ноябрь .	9,2	20	99	220	380	580	700	820	850	2 380	5 939
Декабрь .	8,6	23	117	250	415	570	720	780	790	1 880	5 545
Год . .	8,4	336	1 610	3 100	5 460	7 310	8 550	8 920	8 520	18 630	62 436

Заполняется эта таблица таким образом. Например, по табл. 21 ветер с рабочей скоростью 4 *м/сек* имеет в январе повторяемость 29 часов. По табл. 22 скорости ветра 4 *м/сек* соответствует отдача мощности в 0,695 *квт*. Следовательно, общая выработка за январь при рабочей скорости ветра 4 *м/сек* будет

$$0{,}695 \cdot 29 = 19{,}8 \approx 20 \text{ квт-ч}.$$

Так заполняется вся таблица. Подытожив цифры по горизонтали, получаем выработку электроэнергии в киловатт-

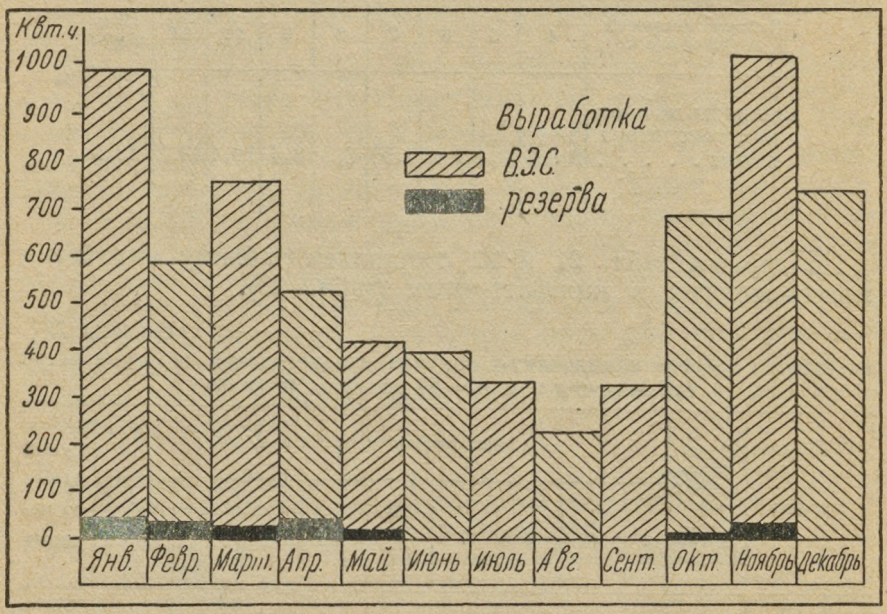


Рис. 91. График выработки электроэнергии на полярной станции м. Желания за 1939 г.

часах за каждый месяц. Итоговые цифры по вертикали дадут суммарную выработку за год при данной среднегодовой скорости ветра.

Такой расчет можно сделать для любого ветродвигателя, зная характеристику его мощности в зависимости от скорости ветра и числа оборотов в минуту ветрового колеса.

Подобный расчет был сделан для ветродвигателя Д-12, установленного на полярной станции м. Желания. Расчет показал, что ветроустановка может дать 65 000 *квт-ч* электроэнергии в год (при условии круглосуточной работы). Практи-

чески же на станции использовалось за год только 7 500—8 000 *квт-ч* электроэнергии, хотя резервный двигатель работал не больше 20—80 часов в году (рис. 91).

На многих полярных станциях ветроустановки работают по нескольку месяцев почти без резерва (рис. 92—94).

Технико-экономический расчет показывает, что при высоких среднегодовых скоростях ветра выгоднее регулировать ветродвигатель на повышенное число оборотов. Это подтвердилось

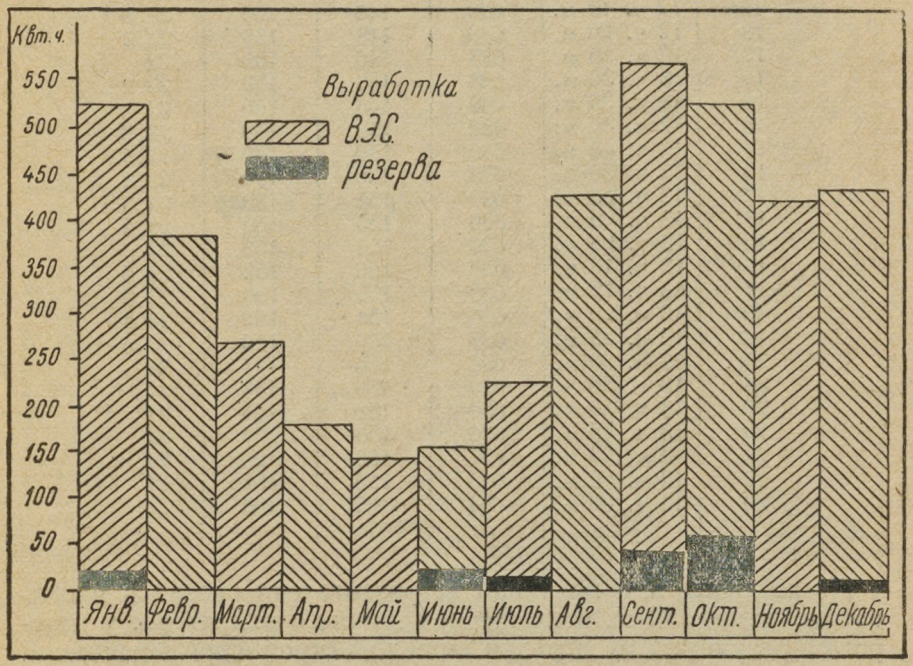


Рис. 92. График выработки электроэнергии на полярной станции о. Белый за 1937 г.

на практике. На полярной станции м. Желания в 1935 г. 26 октября ветродвигатель в течение двух часов испытывался под нагрузкой до 24 *квт*. Он работал на 70 оборотах в минуту при скорости ветра выше 15 *м/сек*. Температура воздуха —8°С, давление 762 *мм*.

При испытании в сеть была включена буферная батарея 40 *а*, одновременно питались силовые и осветительные нагрузки общей мощностью 8—10 *квт* и электропечи (8—9 *квт*).

Показания записывались каждые 5 минут. Результаты испытаний приведены в табл. 24.

Таблица 24

Скорости ветра в *м/сек*	Время наблюдения	Число оборотов шкива редуктора	Напряжение V в *в*	Сила тока I в *а*	Мощность W в *квт*
16	12 ч. 00 м.	630	135	150	20,2
17	12 ч. 05 м.	630	140	150	21
18	12 ч. 10 м.	636	142	150	21,3
16	12 ч. 15 м.	630	145	150	21,8
18	12 ч. 20 м.	636	148	150	22,2
17	12 ч. 25 м.	637	146	150	22
19	12 ч. 30 м.	638	148	150	22,2
16	12 ч. 35 м.	630	146	150	22
18	12 ч. 40 м.	632	150	150	22,5
17	12 ч. 45 м.	636	150	150	22,5
19	12 ч. 50 м.	633	155	150	23,2
17	12 ч. 55 м.	630	152	150	22,8
18	13 ч. 00 м.	636	156	150	23,4
16	13 ч. 05 м.	630	154	150	23
19	13 ч. 10 м.	636	156	152	23,6
17	13 ч. 15 м.	635	155	150	23,2
16	13 ч. 20 м.	636	154	152	23,4
18	13 ч. 25 м.	637	156	152	23,6
20	13 ч. 30 м.	636	156	154	24
24	13 ч. 35 м.	630	156	154	24
22	13 ч. 40 м.	630	156	154	24
20	13 ч. 45 м.	636	156	154	24
22	13 ч. 50 м.	637	156	154	24
23	13 ч. 55 м.	630	156	154	24
20	14 ч. 00 м.	634	156	154	24

После испытания механизм ветродвигателя оказался в полной исправности, за исключением нижнего редуктора, у которого в результате перегрузки вышел из строя один подшипник.

Это испытание показывает, что практически можно получить гораздо бо́льшую выработку, чем та, которую мы получаем приближенными расчетами по таблицам Поморцева и Гуллена. Опыт эксплоатации ветродвигателей на других полярных станциях показал, что при высоких среднегодовых скоростях ветра ветродвигатели ЗЦВЭИ Д-12 целесообразнее регулировать на 65—70 оборотов в минуту, а ветродвигатель ВИМЭ Д-5— на 140—168 оборотов в минуту.

Когда ветродвигатель при больших рабочих скоростях ветра (от 25 до 40 *м/сек*) работает на больших оборотах, он дает меньшее колебание числа оборотов ветрового колеса, а мощность его повышается, следовательно повышается и годовая выработка электроэнергии.

В настоящее время энергия, вырабатываемая ветродвигателями, используется на полярных станциях не полностью из-за недостатка соответствующей аппаратуры и оборудования. О том, каким образом может и должна быть использована энергия

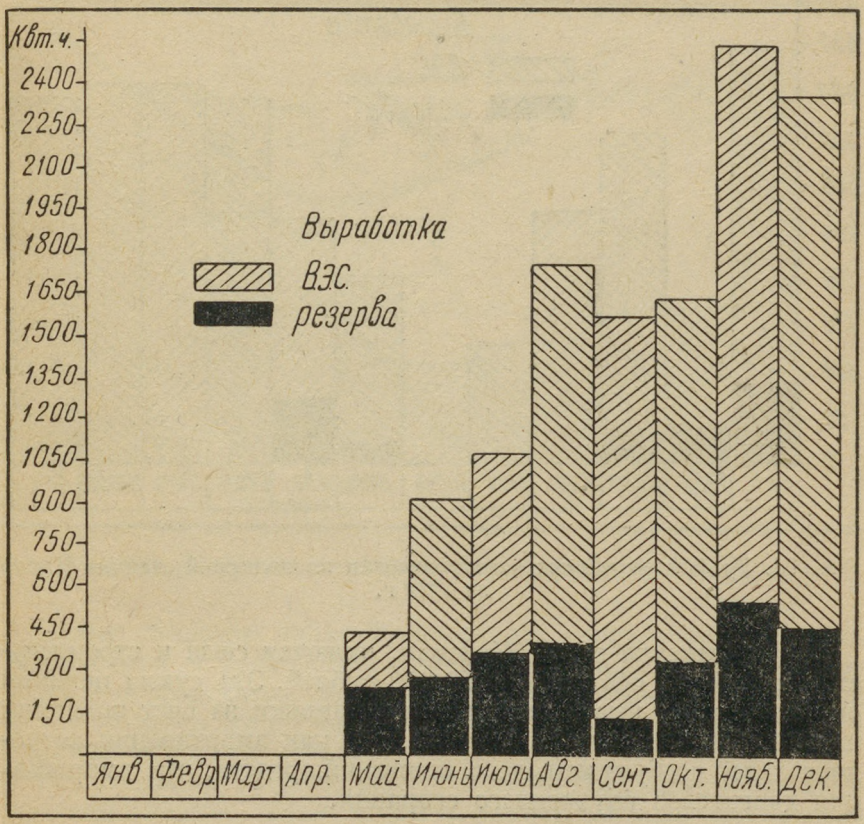


Рис. 93. График выработки электроэнергии на полярной станции Анадырь за 1939 г.

ветродвигателя в Арктике, будет подробнее сказано в следующем разделе. Здесь мы приведем только экономические расчеты, характеризующие рентабельность ветроустановок.

Стоимость 1 *квт-ч* электроэнергии, вырабатываемой на полярных станциях двигателями внутреннего сгорания, составляет от 1 до 3 рублей. Это объясняется очень высокой стоимостью горючего, потребляемого двигателями внутреннего сгорания. Стоимость же 1 *квт-ч* электроэнергии, получаемой

от ветродвигателя, составляет 16—25 копеек,—это при использовании энергии ветродвигателя не больше чем на 12% (без учета оплаты труда обслуживающего персонала).

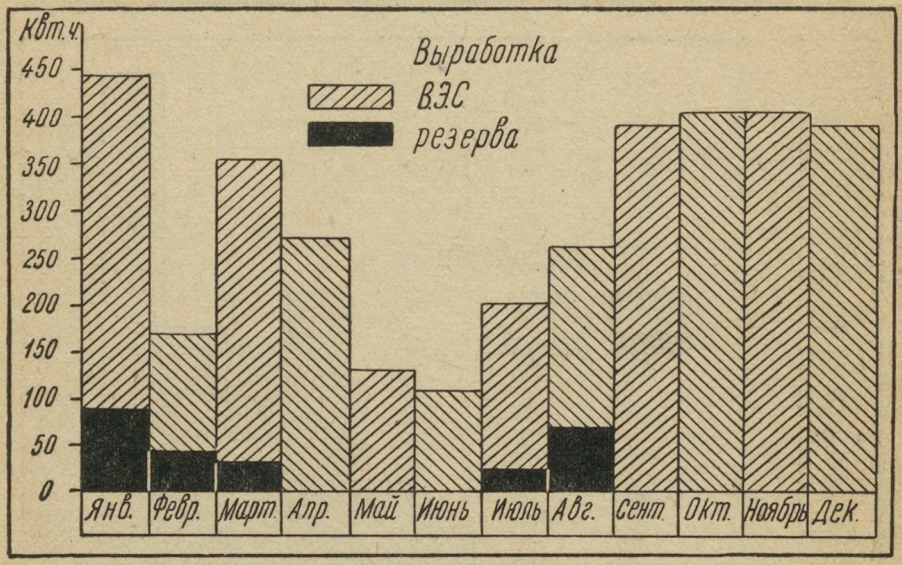


Рис. 94. График выработки электроэнергии на полярной станции Юшар за 1939 г.

Ветроустановка на м. Желания, включая сюда и строительство и монтаж, обошлась в 50 000 рублей. Эта сумма целиком окупится через шесть лет работы установки за счет экономии на горючем, смазочном и ремонте, так как амортизация ветродвигателей требует меньшего вложения средств, чем амортизация двигателей внутреннего сгорания.

ЧТО ДАЮТ ВЕТРОУСТАНОВКИ АРКТИКЕ

Появление в Арктике ветроэлектрических установок создало широкие возможности для электрификации полярных станций. Раньше на большинстве станций пользовались керосиновым освещением, теперь не только все здания—бытовые и производственные, но и территории полярных станций щедро освещаются электрическим светом. Ручная тяга всюду на полярных станциях заменяется электрической—электрифицируются

циркулярные пилы для распиливания дров, токарные, точильные станки, аэрологические лебедки. В быту полярника появился электрический утюг, электрический чайник, на некоторых полярных станциях—даже электропечи.

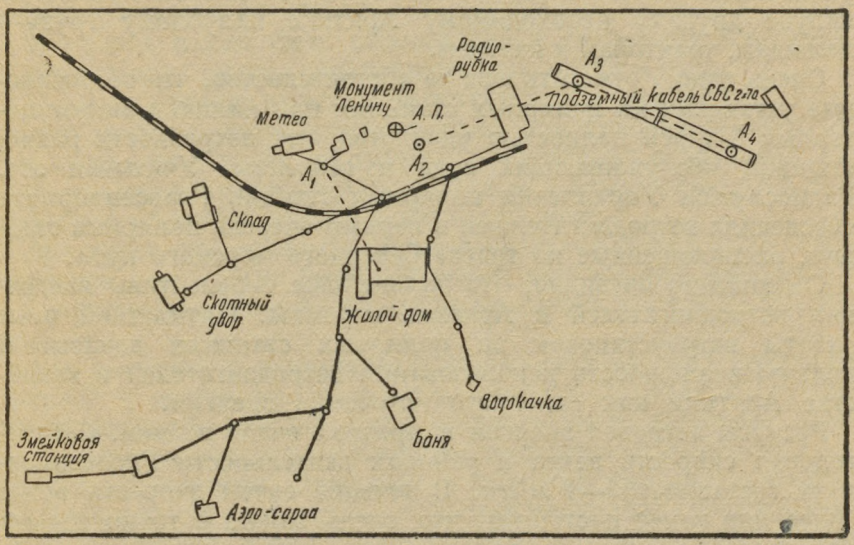


Рис. 95. Примерная схема электрификации полярной станции

Врачи полярных станций, пользуясь неограниченными возможностями в расходовании электроэнергии, широко применяют для облучения зимовщиков кварцевые лампы, возмещая таким образом отсутствие солнечного света в течение долгих месяцев полярной ночи.

На полярные станции как в культурный центр приезжают промышленники, часто с мест, расположенных за десятки километров. Они пользуются радиостанцией, библиотекой и электрифицированными мастерскими полярных станций.

Но значение ветродвигателей для Арктики не ограничивается только тем, что они создают нормальные условия для жизни и работы на полярных станциях. В связи с внедрением ветроустановок резко сократилась потребность полярных станций в горючем, а также и в кадрах механиков. Уже в 1940 г. на полярные станции горючего было завезено в три с лишним раза меньше, чем его завозили до внедрения ветродвигателей. В дальнейшем, очевидно, количество потребного горючего сократится еще более.

Уменьшение завоза горючего, помимо прямой денежной экономии, важно еще и потому, что оно значительно облегчает работу арктического морского транспорта. Горючее является палубным, неудобным и к тому же огнеопасным грузом. При уменьшении завоза горючего этот груз уступит свое место на палубе другому необходимому Арктике палубному грузу— машинам, тракторам и катерам.

Очень важно отметить еще то обстоятельство, что ветросиловые установки на полярных станциях при наличии аккумуляторных батарей полностью удовлетворяют потребности радиостанций, обслуживающих суда и самолеты. Учитывая это, Радиослужба Управления полярных станций Главсевморпути обеспечила ветродвигателями в первую очередь полярные станции, расположенные по трассе Северного морского пути.

Совершенно очевидно, что дальнейшие перспективы внедрения ветродвигателей в Арктике огромны. Пятилетний опыт работы ветроустановок на полярных станциях доказывает полную возможность использования ветродвигателей в хозяйстве Арктики как основного источника энергии.

Ресурсы ветровой энергии в Арктике очень велики. Среднегодовая скорость ветра в районах деятельности Главсевморпути составляет 5—9 *м/сек*. В течение суток скорость ветра более или менее постоянна, что очень важно с точки зрения использования этого вида энергии.

Вполне благоприятна для этого и повторяемость ветров. Такой ветровой режим делает вполне возможной эксплоатацию в Арктике ветродвигателей большой мощности. Мощные ветроустановки могут снабжать электроэнергией производственные базы Крайнего севера—порты, рудники, заводы, рыбные промыслы, крупные поселки.

Широкое внедрение ветроустановок позволит развить различные отрасли техники на Севере для подсобных хозяйственных и промышленных целей.

Существующие ветроустановки имеют при себе на случай штилевых дней (безветрия) резервные силовые установки, т. е. двигатели внутреннего сгорания, и дорогостоящие аккумуляторные батареи. Эти установки требуют больших капиталовложений, а работают они не более 50—100 часов в году. При настоящем уровне техники вполне возможно использовать излишнюю электроэнергию, вырабатываемую существующими установками,—а тем более, если это будут мощные установки,— для разложения воды на водород и кислород. Водород в свободном состоянии можно запасать в баллоны под большим сжатием и использовать его во взрывоводородных двигателях во

время штиля вместо аккумуляторов. Кроме того, водород может использоваться для научных целей (аэрологии), для двигателей, работающих на катерах в портовом хозяйстве, на катерах для гидрографических и районных разведок, в тракторах, автомобилях и т. д.

Кислород может быть использован в сварочных агрегатах, в плавильных печах, для медицинских целей и т. д.

Наконец, автоматические ветроустановки мощностью 1,5—2 *квт* могут с успехом применяться для снабжения электроэнергией светомаяков по трассам арктических воздушных линий, на промежуточных аэродромах и в аэропортах. Это значительно облегчит полеты в полярную ночь.

Мы имеем все предпосылки для создания таких установок. Очевидно, они могут быть построены на базе уже имеющихся ветроустановок, хорошо зарекомендовавших себя в эксплоатации.

Все сведения о достоинствах и недостатках этих ветродвигателей у наших конструкторов имеются. Наряду с глубоко разработанной теорией ветроиспользования советские конструкторы располагают обширными экспериментальными и практическими данными. Дело теперь за нашей промышленностью, которая должна развернуть в больших масштабах строительство ветродвигателей, чтобы удовлетворить спрос на них со стороны многочисленных и разнообразных потребителей.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *А. Н. Цветкова*

Подписано к печати 7/V 1941 г.
Тираж 5000 экз. 8 п. л. 7,17 уч.-
авт. л. Л112521. Заказ № 319.
Цена 3 р. 50 к.

16-я типография треста «Полиграф-
книга», Москва, Трехпрудный, 9.

Цена 3 р. 50 к.