Е. М. Фортеев

СДЕЛАЙ САМ

ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ

ОНТИ — ЭНЕРГОИЗДАТ — 1934

КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТОК
СРОКОВ ВОЗВРАТА

КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА

Колич. пред. выдач

07:
08'

Юношеская научно-техническая библиотека

Е. М. Фатеев

Сделай сам

ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ

Второе издание

ОНТИ НКТП
Москва ● 1934 ● Ленинград

Государственное энергетическое издательство

АННОТАЦИЯ

Книга эта предназначена для молодежи, желающей ознакомиться с правильным использованием энергии ветра, с тем, что такое ветер, как его использовали раньше и каково его использование в настоящем и будущем. После введения, содержащего очерки развития ветроиспользования, идет раздел о природе ветра (его возникновение, его характеристики, размеры энергии, которую он в себе таит), после чего следуют краткие описания наиболее удобных и хорошо работающих ветродвигателей с подробным описанием того, как можно построить коллективом в несколько человек такой ветродвигатель небольшой мощности, но все же достаточной для того, чтобы он приводил в движение какую-либо машину или совершал другую полезную работу (вырабатывал электричество и т. п.)

Введение

Когда вы будете на окраине большого города, вы непременно увидите движение поездов по железным дорогам. Вот тяжело пыхтит товарный паровоз, таща за собой десятки вагонов и платформ с грузом в тысячи тонн. А вот быстро, не дав вам как следует разглядеть паровоз, пронесся с грозным шумом пассажирский поезд, промелькнув белыми пятнами лиц пассажиров, выглядывавших из окон вагонов.

Если вы будете находиться на улице этого города, мимо вас то и дело будут проезжать трамваи, легковые и грузовые автомобили, обгоняя друг друга в какой-то необычайной спешке.

Наконец загляните на фабрику или на завод, вы опять же увидите движение трансмиссий, станков, моторов и т. д., то же, но несколько в меньшем количестве, вы увидите и в деревне (в совхозах и колхозах). Словом, всюду, где бы вы ни были, вы можете наблюдать движение поездов и автомобилей или всякого рода рабочих машин и станков на фабриках и заводах.

Что же создает это движение?

Обращаясь к паровозу, мы увидим, что он получает движение от паровой машины. Давление пара на поршни, помещенные в цилиндрах, приводит их в движение. Это движение посредством кривошипного механизма передается колесам паровоза. Пар же образуется от сжигания в котле паровоза топлива угля, нефти и т. п. У автомобиля мы увидим двигатель внутреннего сгорания, в цилиндрах которого сгорают пары бензина, смешанного с воздухом. Сгоревшие газы образуют большое давление, которое действует на поршни двигателя и приводит их в движение. Посредством передачи это движение сообщается колесам автомобиля.

На заводе и фабрике опять же мы увидим либо паровую машину, либо двигатель внутреннего сгорания, которые посредством зубчатых шестеренок или ремней и канатов сообщают движение различным машинам, совершающим полезную работу.

Разбирая далее причину движения, мы найдем, что и паровая машина и двигатель внутреннего сгорания работают вследствие сжигания топлива, теплота которого заставляет расширяться тела (пар, газ) и производить давление на отдельные части машин, приводя их в движение и совершая работу.

Таким образом мы пришли к тому, что в конечном счете механическая работа на транспорте и в производстве совершается за счет энергии природы, в данном случае тепловой энергии, которая заключена в топливе: нефть, каменный уголь, дрова, торф и т. д., а паровая машина и двигатель внутреннего сгорания являются преобразователями этой энергии в механическую работу.

Ныне существует три основных источника энергии, используемых человечеством: это — тепло, которое выделяется при сгорании различных видов топлива; вода, имеющая возможность падать с некоторого более высокого уровня, и наконец ветер, движущийся всюду над поверхностью земли.

Соответственно роду источника энергии и двигатели, преобразующие ее в механическую работу, называются тепловыми, гидравлическими (водяными) и ветряными.

Из этих источников энергии самым простым для использования является ветер, самым сложным—топливо. Тепловые источники энергии: каменный уголь, торф, дрова, нефть и др.—необходимо сперва добывать из недр земли, затем перевозить их к местам потребления и наконец сжигать в сложных тепловых машинах. Чтобы добыть энергию из воды, приходится строить колоссальные сооружения—плотины, да и построить их можно далеко не во всяком месте реки. Ветер же имеется везде на земном шаре, предоставляя человечеству свою совершенно даровую силу.

Подсчеты указывают, что основные источники энергии: каменный уголь, торф, нефть, дрова, солома, сланцы, газы—вместе могут дать мощность (годовую), почти в три раза меньшую, чем ветер. Конечно, говоря об энергии ветра, мы разумеем

всю энергию, которую можно было бы извлечь из воздуха, если бы ветродвигатели имелись в достаточном количестве. При этом высота потока воздуха, приводящего в движение современные ветряки, не превышает 60 *м* от поверхности земли. Если же использовать ветры на высоте 100 *м*, где они отличаются большей скоростью и постоянством, то годовая мощность ветра была бы более чем в три раза больше всех других видов источников энергии, вместе взятых.

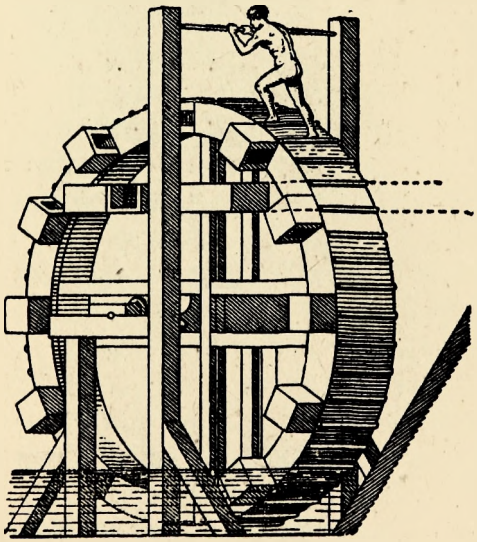
Чтобы научиться до некоторой степени правильно пользоваться ветровой энергией, необходимо познакомиться с физической, а также механической природой ветра, и научиться строить простейшие ветродвигатели.

Этим двум вопросам и посвящается краткое содержание данной книги.

I. Исторические сведения о ветродвигателях

В древние времена, когда человек не умел пользоваться силами природы, простейшие машины, как например водоподъемники, жернова для размола зерна и т. п., приводились в движение мускульной силой людей или животных, которые выполняли роль двигательной силы (фиг. I и II).

„Увеличение размеров рабочей машины и количество одновременно действующих орудий требуют наиболее крупного двигательного механизма, а этот механизм нуждается в более мощной двигательной силе, чем человеческая, чтобы преодолеть его собственное сопротивление...“ (Маркс).



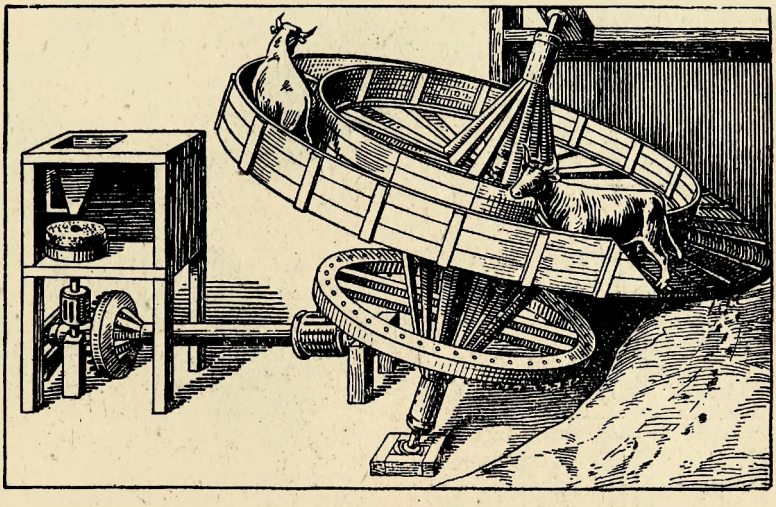
Фиг. I. Водоподъемное колесо, приводимое в движение мускульной силой человека

С развитием человеческого общества и ростом производительных процессов мускульной силы оказалось недостаточно, чтобы приводить в движение эти простейшие машины. Последнее обстоятельство побуждает человечество обратиться к новым источникам двигательной силы, т. е. к энергии природы. Вода и ветер, как наиболее простейший вид энергии в совершенно открытой форме, и явились впервые на смену мускульной силе человека и животных как двигательная сила.

Нужно полагать, что впервые энергия ветра была использована человеком для передвижения парусных судов по воде,

а затем он научился строить ветряные мельницы для подъема воды и размола зерна.

Когда и кто первый построил ветряной двигатель, точно указать нельзя. Специальных исторических записей о ветряных двигателях нет. О их существовании упоминается лишь косвенно при описании того или иного исторического события. Поэтому о давности ветряка в качестве двигательной силы приходится говорить лишь приблизительно. Предполагают, что 2 000 лет тому назад человек уже умел строить ветряные мельницы. В Китае и Японии тысячелетия назад пользовались первобытными ветряными мельницами. Позднее в Тибете вращение барабанов, на стенках которых были написаны молитвы, производилось маленькими ветрячками.



Фиг. II. Мельница, работающая помощью специального колеса, которое приводится в движение быками

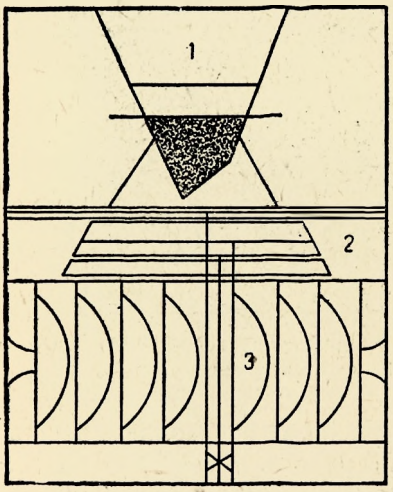
Ветряные машины применялись древними вавилонянами для осушения огромных заболоченных пространств.

В Египте еще сейчас можно встретить остатки старинных ветряных мельниц, о которых предания говорят, что они сооружены были 2 000 лет тому назад.

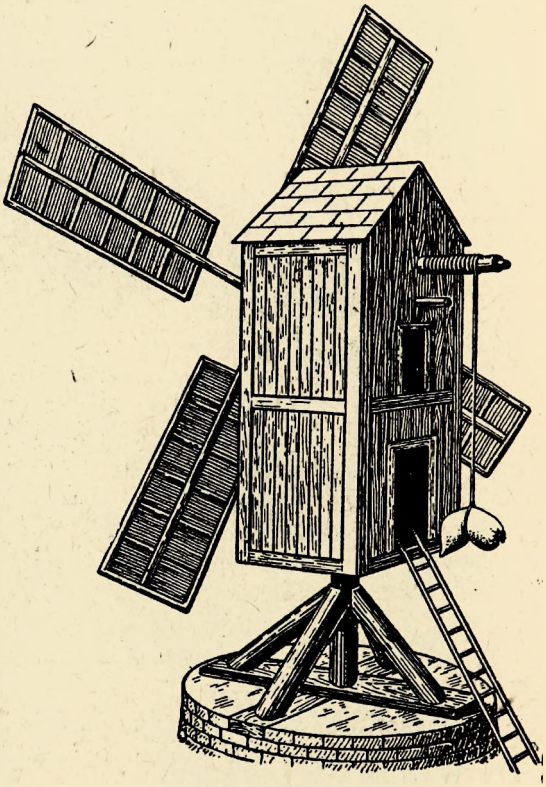
На Ближнем Востоке, богатом безводными пространствами, ветряная мельница была известна еще в первых столетиях нашего летоисчисления, а из истории магометанских народов известно, что в царствование калифа Омара (634—644 г.) среди приведенных в Медину персидских пленников находился один перс по имени Фир, который был плотником и занимался постройкой ветряных мельниц.

Арабский исследователь Дисмашги в 1271 г. дает описание старинной персидской ветряной мельницы (фиг. III), о которой еще в 134 г. нашей эры упоминается, что она применялась в персидской провинции Сегистан. Ветряное колесо этой мельницы вращается в горизонтальной плоскости. Ветер вступает через боковые отверстия в цилиндрический остов колеса и попадает на его загнутые лопасти. На фигуре в среднем этаже изображены схематично камни мельничного постава, а в верхнем — ковши для засыпки зерна. Это—первичный тип более поздних карусельных ветряков.

Элиза Реклю (см. „Земля и люди", т. IX) о работе такой мельницы в древней Персии пишет следующее: „Тотчас после уборки хлеба крылья из камыша и из пальмовых листьев прикрепляются к концу цилиндра внутри какой-нибудь баш-



Фиг. III. Старинная персидская ветрянка по рисунку, данному арабским исследователем Дисмашги в 1271 г.



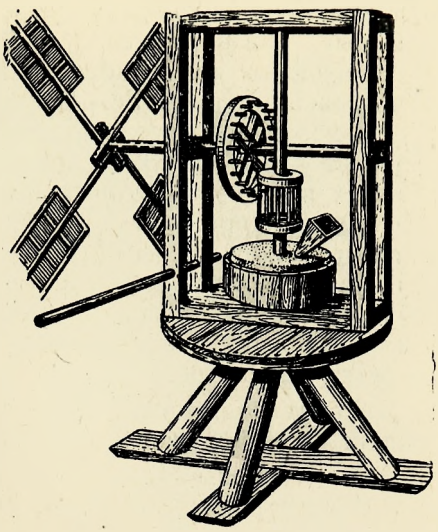
Фиг. IVа. Козловая ветряная мельница (1105 г.)

ни, открытой со стороны северо-востока, где завывает ветер; от сильного давления воздуха цилиндр начинает вертеться, а вместе с ним и основной жернов".

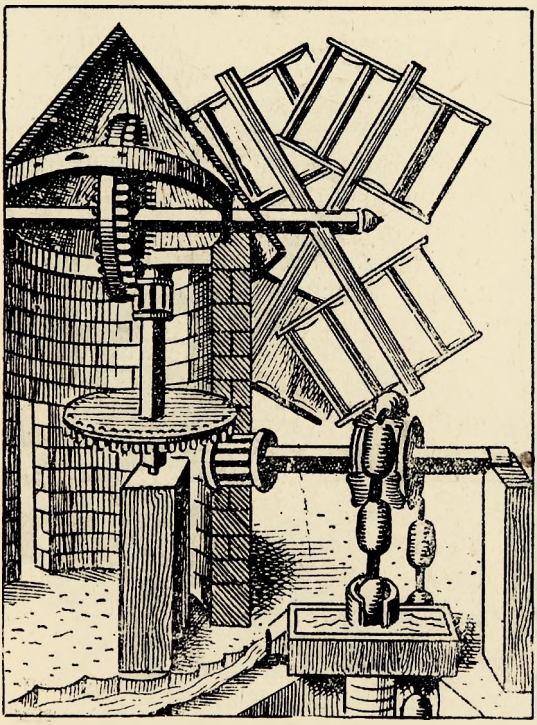
В Европе ветряная мельница стала известна во время крестовых походов и впервые была построена во Франции около 1105 г.

В истории отмечено, что в 1140 г. в Англии работали ветряные мельницы, принцип постройки которых проник сюда из Франции, а в Германии первая ветряная мельница была построена в 1393 г. в г. Шпейере.

На фиг. IVа изображена самая старая крыльчатая ветряная мельница, которая называется немецкой или козловой. Фиг. IVа дает ее внешний вид, а фиг. IVб — внутренний. Из фигуры замечаем, что помимо вращения жернова она поднимала мешки с зерном, привозимые для помола. Чтобы поставить ветряное колесо под ветер или вывести из-под ветра, все здание мельницы поворачивалось рычагом вокруг ветрикального столба силой человека или конной тягой.



Фиг. IVб. Козловая ветряная мельница (1105 г.)



Фиг. V. Старинная голландская ветряная мельница

Второй тип старейшей крыльчатой ветряной мельницы более позднего происхождения называется голландской ветряной мельницей. Среди рисунков знаменитого художника и ученого Леонардо да Винчи (1452—1519 гг.) имеется эскизный проект подобной ветряной мельницы. Крыша этой мельницы вместе с ветряным колесом опирается на рамки и поворачивается простым рычагом около вертикальной оси, в то время как все здание мельницы остается неподвижным. В этом заключается ее превосходство перед немецкой ветряной мельницей.

Голландская ветряная

мельница широко распространилась во Фландрии около 1650 г. На фиг. V изображена старейшая голландская ветряная мельница, приводящая в движение специальный водоподъемник, называемый „четковой помпой“. Устройство этого подъемника очень простое.

На веревке с соединенными концами на равных расстояниях друг от друга насажены шары. Эта веревка огибает два деревянных шкива (из которых нижний находится в воде и на чертеже не виден) и проходит сквозь вертикально поставленную трубу. Нижний конец трубы опущен в воду. Ветряная мельница приводит во вращение вал вместе с верхним шкивом, который тянет веревку. При быстром движении последней сквозь трубу шары увлекают воду и поднимают ее наверх в бачок, из которого она берется для потребления.

В Россию ветряные мельницы повидимому проникли из Германии: первые русские мельницы назывались немецкими.

Эти мельницы не получали усовершенствований почти до XVIII в., строились они исключительно на основании практических и случайных указаний. Только в 1697—1761 гг. наукой были сделаны первые шаги в направлении улучшения крыльев ветряной мельницы. Известные ученые XVIII в. Даниил Бернули, Мак-Лорен, Даламбер, Эйлер и др. проделали много исследований по улучшению крыла, по отысканию наивыгоднейшего угла наклона крыла к направлению ветра, по определению максимальной производительности и т. п. Эти исследования производились не только теоретическим путем, но также и опытным. В этом отношении большие работы проделаны английским инженером Смитоном и датским профессором Лякур.

Быстрое развитие промышленности XVIII в. требовало концентрации орудий производства в одном месте: фабрика, завод. Это вызывало необходимость создания мощных и более компактных двигателей, отличающихся постоянством и надежностью в работе. Ветряные и водяные двигатели не могли обеспечить развитие крупного производства, так как ветер „непостоянен и не поддается контролю“ (Маркс), водяную силу (энергию) нельзя было повышать до произвольного уровня, ее недостаток нельзя было восполнить, когда она истощалась, и она всегда имела чисто локальный характер.

Это обстоятельство вызвало изобретение паровой машины, „которая, потребляя уголь и воду, сама производит двигательную силу и действия которой находятся всецело под контролем человека“ (Маркс).

С появлением паровой машины, а затем двигателя внутреннего сгорания роль ветродвигателя ограничивается применением его лишь в сельском хозяйстве. Наука и техника сосредоточивают свое внимание главным образом на тепловых двигателях,

как наиболее отвечающих запросам быстро развивающейся крупной промышленности в капиталистических странах.

Рост металлургической промышленности и механизированного производства XIX в. позволяет создать новый тип ветродвигателя. Наряду с козловыми и голландскими ветряными мельницами, изготовляемыми из дерева кустарным способом, в Европе и главным образом в Америке начинает развиваться массовое производство многолопастных ветряков с автоматическим регулированием.

В 1895 г. в Америке уже существовало 200 заводов, изготовляющих многолопастные крыльчатые ветродвигатели, которые получили общее название американских ветряков. Фирма „Аэромотор“ в Чикаго выпускала до 60 000, а фирма „Эклипс“ до 45 000 ветряков в год. Все эти ветродвигатели отличаются малой мощностью, что вполне соответствует мелкому хозяйству фермеров, применявших ветряки в основном для подъема воды из глубоких колодцев (фиг. VI).

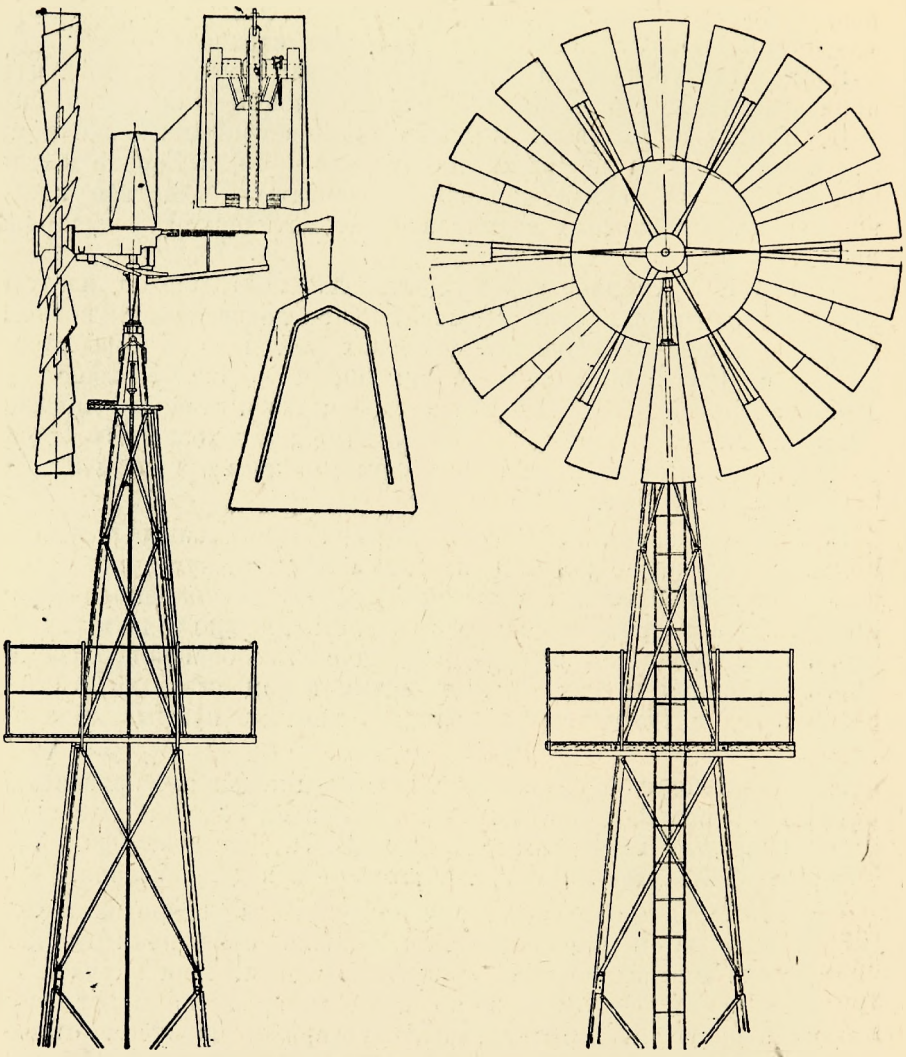
В это же время в России по приблизительным подсчетам существовало около 900 000 ветряных мельниц кустарного изготовления, применявшихся главным образом для перемола зерна. Какова была их роль в сельском хозяйстве, можно судить из того, что в 70-х годах XIX в. город Моршанск Тамбовской губ. своими 80 голландскими ветряными мельницами перемалывал до 65 520 *т* зерна в год и удовлетворял не только местные нужды, но и окружающие районы.

Кроме козловых и голландских ветряных мельниц, управляемых мускульной силой, у нас изготовлялись в небольшом количестве многолопастные ветродвигатели инж. В. П. Давыдова (фиг. VII), которые применялись главным образом для водоснабжения.

Известные ветротехнике другие системы ветродвигателей, горизонтальные и барабанные, не нашли себе практического применения вследствие слабой эффективности. Ими научная ветротехника не занималась в прошлом и вряд ли будет заниматься в будущем. Изготовленные кустарным способом отдельные экземпляры этих ветряков можно было встретить в России и в Америке.

Довольно значительное внимание наука уделила ветродвигателям с появлением авиации. В Германии — работы ученого Прандтля (в Геттингене), у нас — работы Н. Е. Жуковского заложили фундамент науки о работе ветродвигателей. С этого момента собственно и казалось бы правильным считать начало сознательного, научного развития ветротехники.

У нас в Союзе для исследования вопросов, связанных с использованием энергии ветра, создан Центральный ветроэнергетический институт (ЦВЭИ).



Фиг. VI. Многолопастный ветродвигатель фирмы „Аэромотор“

С развитием электротехники и развитием применения электрической энергии в практике крупного и мелкого производства представилась возможность использовать энергию ветра как двигательную силу для получения электрического тока. Область применения ветродвигателей в народном хозяйстве с этого момента значительно расширилась. Электрическая энергия может передаваться на большие расстояния, следовательно, энергия ветра возможна к использованию не только для непосредствен-

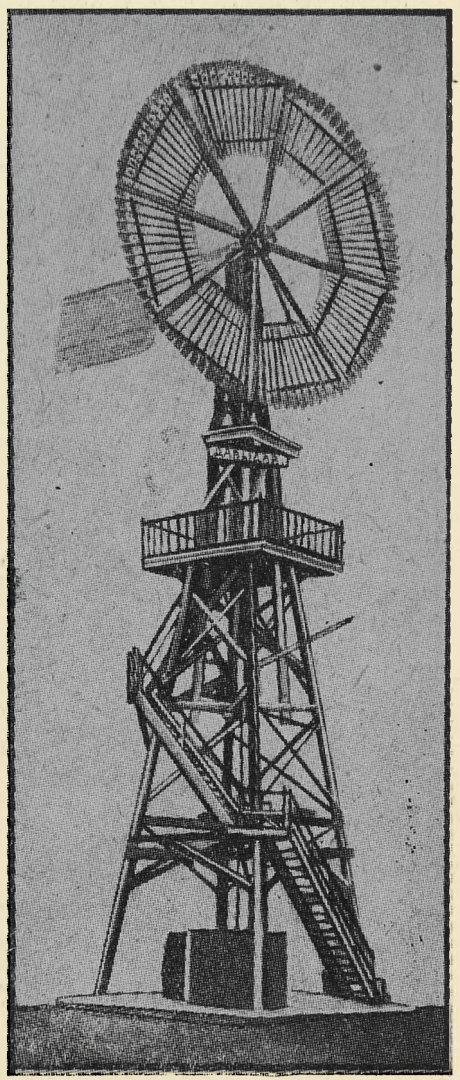
ного привода рабочих машин в сельском хозяйстве, но и для использования в крупном производстве на фабриках и заводах, где станки приводятся в движение электрической энергией.

Правда, участие ветроэнергии в данный момент в промышленности еще крайне ничтожно, тем не менее разрешенная ЦВЭИ задача совместной (параллельной) работы ветроэлектрических станций на общую электросеть с тепловыми и гидроэлектрическими станциями, а также возможность совместной работы нескольких ветроэлектрических станций представляют огромную будущность для развития и применения энергии ветра и в крупном производстве народного хозяйства.

Переход от кустарничества к массовому механизированному производству на заводе при непосредственном участии научной мысли в создании лучшей конструкции ветряка позволяет строить более мощные ветряки со значительно большей эффективностью.

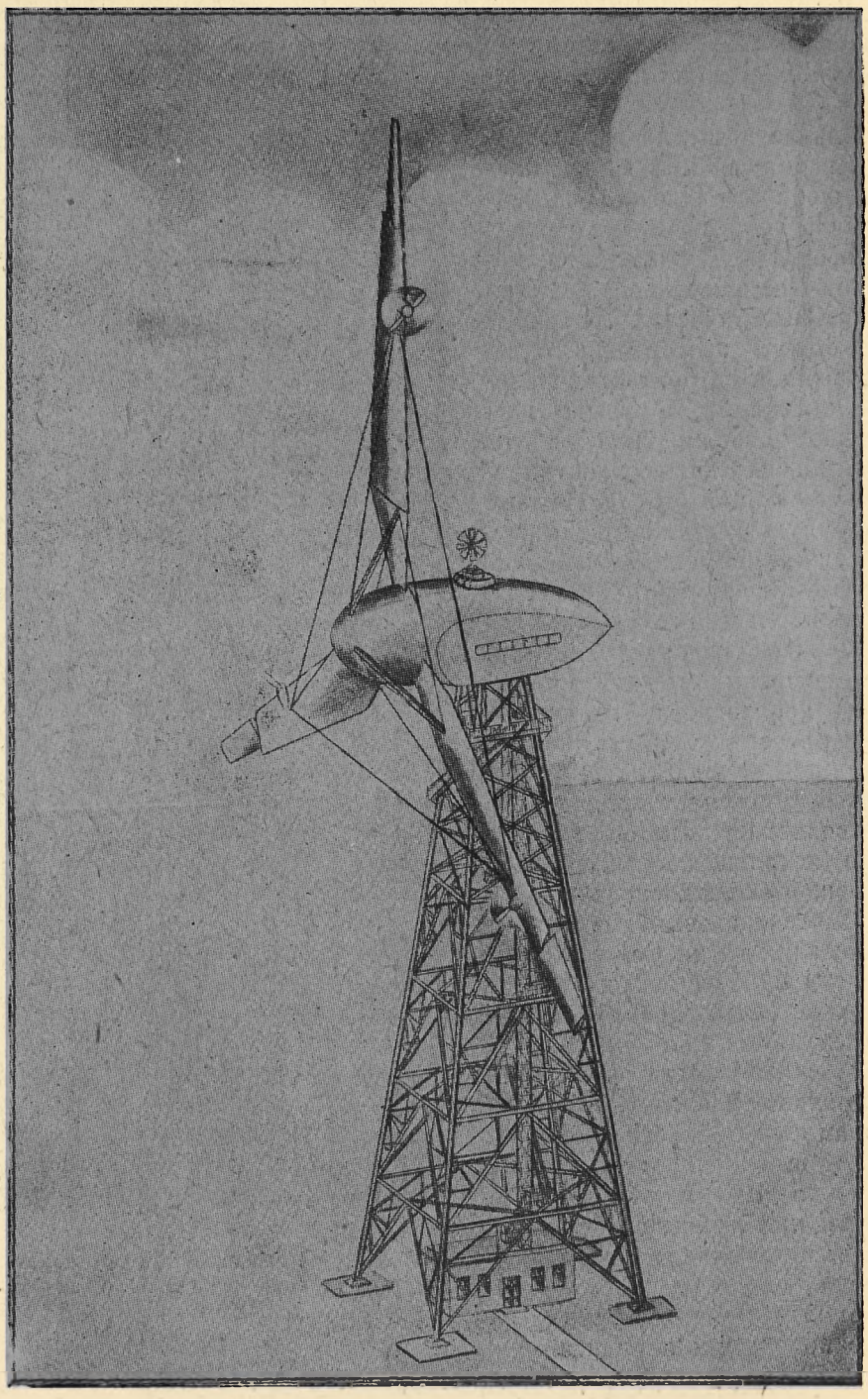
Центральный ветроэнергетический институт сконструировал и построил быстроходный ветродвигатель с постоянством числа оборотов, что дало возможность применять ветродвигатель для вращения динамо переменного тока.

„Новый ветродвигатель института ЦАГИ дает возможность при любом ветре получать практически постоянное число оборотов. Его число оборотов меняется лишь на 3 с небольшим процента.

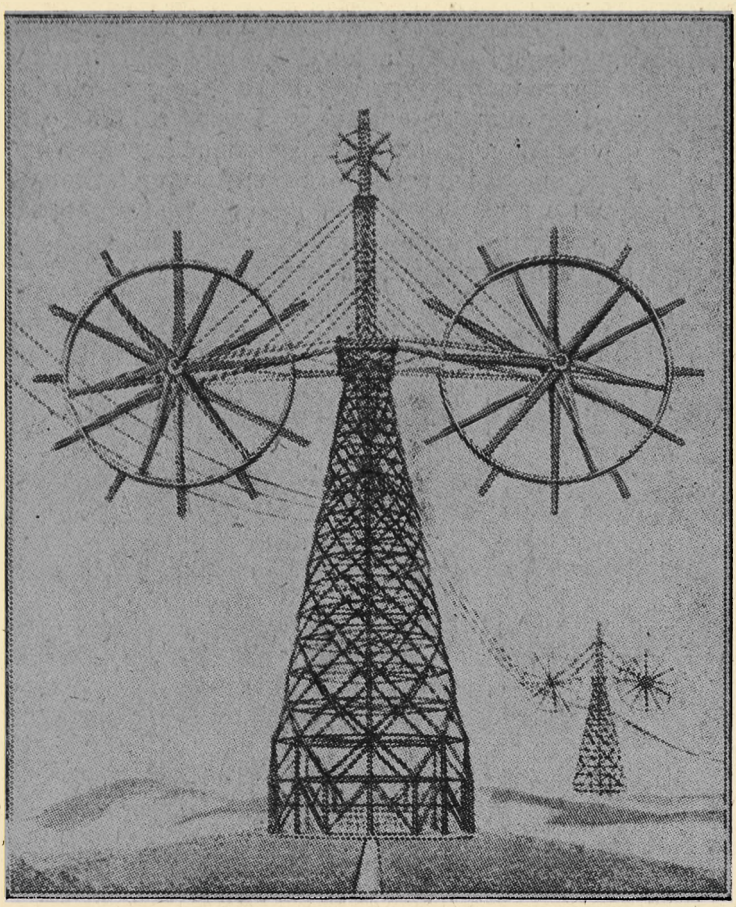


Фиг. VII. Многолопастный ветродвигатель конструкции инж. В. П. Давыдова (1896)

Это — подлинная техническая революция в этом деле. Двига-



Фиг. VIII. Сверхмощный ветродвигатель ЦВЭИ, проект 1933 г.



Фиг. IX. Сверхмощный ветродвигатель германского инженера Хоннефа, проект 1933 г.

тель ЦАГИ может при любом ветре параллельно работать с любой электростанцией" (Г. Кржижановский, 1929).

Быстрое развитие электрификации социалистического народного хозяйства выдвигает задачу создания сверхмощных ветродвигателей. Научные и производственно-технологические предпосылки к созданию таких ветряков в современной ветротехнике имеются. Уже есть проекты на ветроэлектрические ветродвигатели мощностью от 5 000 *л. с.* и выше в одном агрегате. ЦВЭИ ведет сейчас научно-исследовательские и экспериментальные работы над моделями, которые лягут в основу создания сверхмощного ветряка.

На фиг. VIII изображен такой сверхмощный ветродвигатель на 5 000 *квт* по проекту ЦВЭИ, а на фиг. IX изображен сверхмощный ветроэлектрический двигатель на десятки тысяч киловатт по проекту германского инженера Хоннефа. Это еще проекты, однако огромный рост электротехники и быстрый прогресс ветротехники в условиях развернутого социалистического строительства претворят их или подобные им проекты в действительно мощные ветроэлектрические станции, работающие на пользу человечества, на строительство социализма.

II. Ветер

I. Происхождение ветра

Ветром называют движение воздуха, окружающего земной шар. Мы настолько свыклись с этим явлением, что у нас редко возникает вопрос: как и почему происходит ветер. Однако для более ясного представления об этой силе природы следует знать и причины, ее порождающие.

Махните перед лицом каким-нибудь картоном либо листом бумаги, и вы сейчас же обнаружите движение воздуха. Если вы махнете этими предметами около зажженной свечи, пламя ее отклонится или свеча вовсе погаснет. Это произойдет вследствие движения воздуха. Подобные же явления происходят в природе и без человеческого вмешательства.

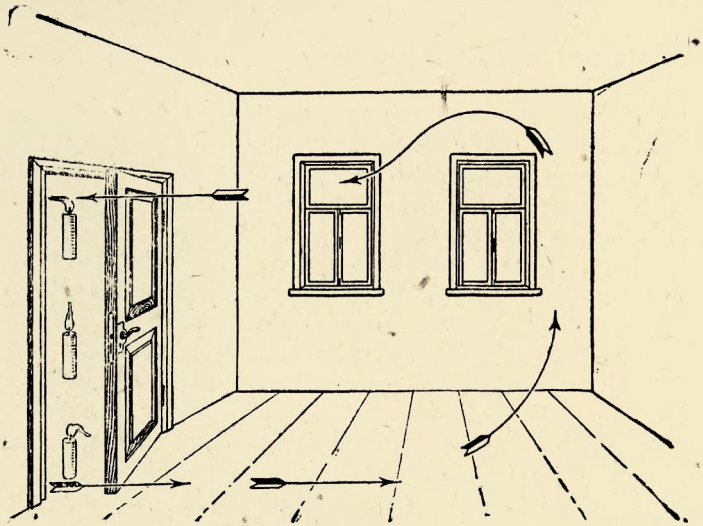
Если мы откроем немного дверь теплой комнаты, находящейся по соседству с холодным помещением, то сейчас же заметим любопытное явление: наши ноги ощутят холод, а вверху, примерно на уровне лица, этого ощущения не будет. Это происходит оттого, что теплый воздух, будучи легче, чем холодный, стремится занимать верхнюю часть помещения, а холодный — нижнюю. Когда мы приоткроем дверь, воздух из холодного помещения устремится в теплую комнату и, как более тяжелый, распространится понизу и расположится в нижних слоях комнаты, вытеснив из нее теплый воздух. Последний же под действием холодного будет вытесняться из теплой комнаты уже через верхнюю часть открытой двери.

В этом также легко убедиться, если поместить зажженную свечу в щели приоткрытой двери: сначала внизу, потом в средине и наконец вверху.

Внизу пламя свечи наклонится внутрь теплой комнаты, в средине будет стоять вертикально, а вверху направлено в сторону холодного помещения. Нижнее и верхнее положения пламени указывают направление токов воздуха, имеющего разные температуры. Для наглядности это явление представлено на фиг. 1.

Теперь посмотрим, что происходит с воздухом, окружающим земной шар.

Солнце нагревает землю не везде одинаково. На экваторе солнечные лучи падают на землю вертикально и нагревают ее наиболее сильно; ближе к полюсам лучи солнца падают наклонно и нагревают ее слабее, а на полюсах солнце греет совсем слабо. Соответственно нагреву поверхности земли нагревается и воздух, расположенный над нею. Таким образом мы имеем на поверхности земли воздух с разными температурами, а следовательно разного веса. И с воздухом, окружающим земной шар, происходит явление, подобное тому, что мы наблюдали, когда открывали дверь теплой комнаты в холодное помещение.



Фиг. 1. Циркуляция воздуха между двумя помещениями с разными температурами

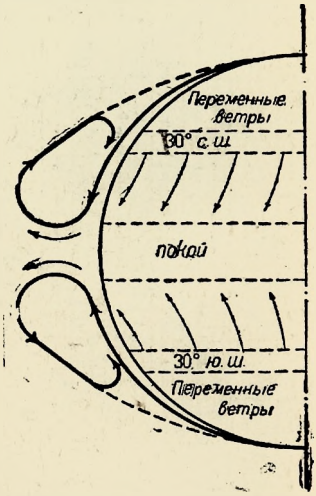
Атмосферный воздух устремляется из холодных земных пространств в теплые, т. е. от полюсов к экватору, вытесняет нагретый, направляя его в верхние слои атмосферы. На высоте нескольких километров нагретый воздух, разделившись на два потока, направляется к полюсам. По мере приближения к ним он охлаждается и опускается ближе к поверхности земли. На полюсах он совершенно охлаждается и направляется обратно к экватору. Такое явление происходит постоянно, создавая воздушные токи (ветры) на земной поверхности. Как видим, причиной ветра является неравномерное нагревание земного шара солнцем.

Постоянное движение воздуха с юга и севера к экватору называется пассатом.

Вследствие вращения земли с запада на восток пассат движется к экватору с севера — в северо-восточном направлении, а с юга — в юго-восточном.

В северной и южной частях земного шара постоянных ветров не наблюдается. Это происходит потому, что по мере удаления от тропиков к полюсам чередование времен года — зимы, весны, лета и осени, а также присутствие морей, гор и т. п. делают температуру атмосферного воздуха крайне непостоянной, а следовательно непостоянным и направление воздушных потоков. Таким образом направление ветров в северной и южной частях земного шара переменно. Направление главных ветров на земной поверхности показано на фиг. 2.

Основным показателем, посредством которого мы можем судить о силе ветра, является его скорость. Величина скорости определяется расстоянием, проходимым ветром в единицу времени. Это расстояние обычно измеряется метрами, а время — секундами. Поэтому о скорости ветра говорят так: ветер имеет скорость 5 *м/сек* или ветер имеет скорость 8 *м/сек* и т. д. Это значит, если бы вы где-нибудь на открытом месте выпустили из рук пушинку, то она удалилась бы от вас за 1 сек. в первом случае на 5 *м*, а во втором на 8 *м*.



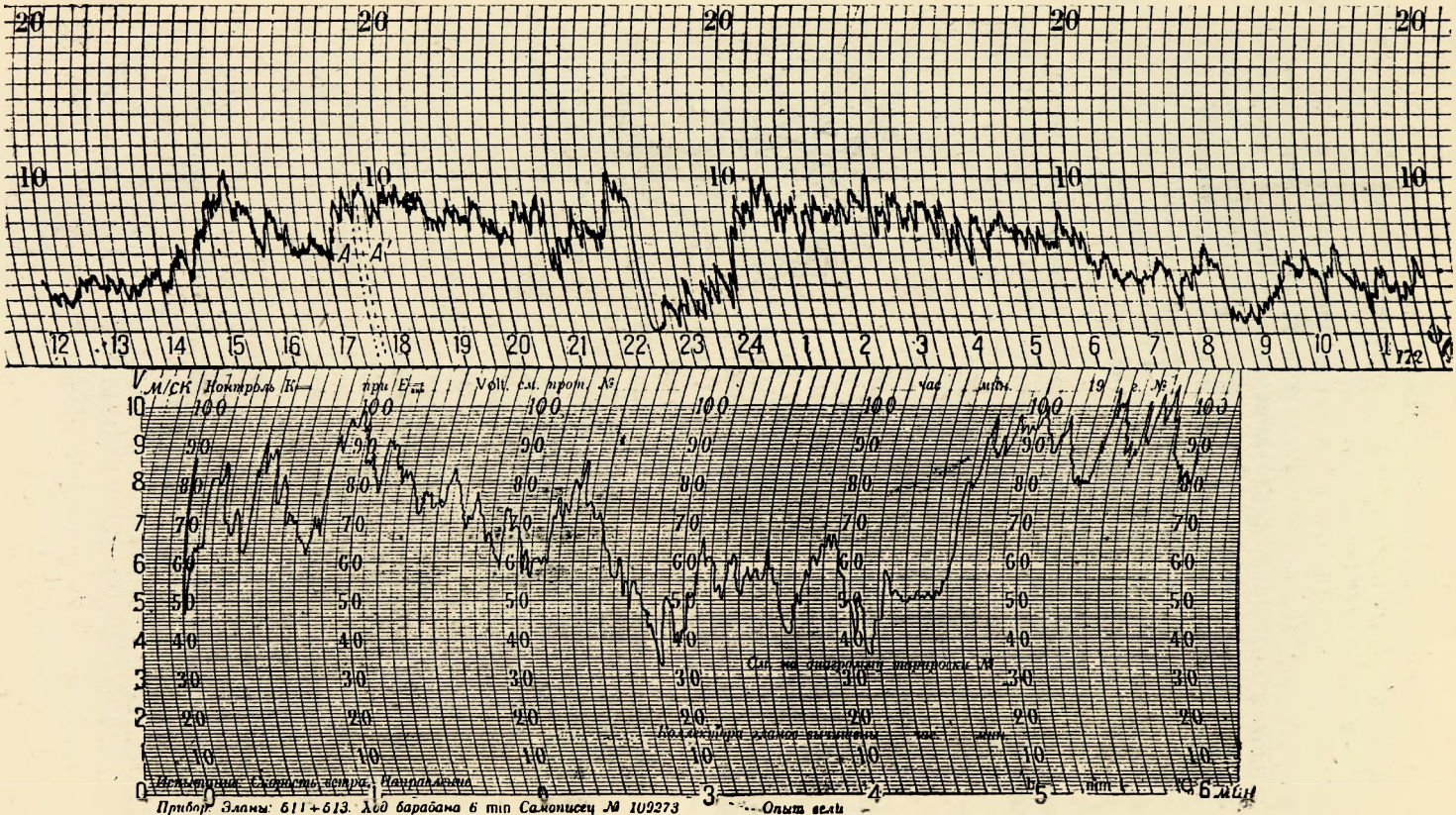
Фиг. 2. Направление главных ветров на земной поверхности.

Скорость ветра отличается большим непостоянством: она изменяется не только в течение часа, но в течение минуты и даже секунды на довольно значительную величину.

Если вы станете лицом против ветра, то вы будете ощущать давление воздушного потока; оно будет то сильнее, то слабее, и вы скажете: ветер дует порывами. Это указывает на то, что скорость ветра то возрастает, то понижается.

На фиг. 3 дан график, где верхняя кривая показывает, как изменялась скорость ветра в течение суток, а нижняя кривая показывает, как изменялась эта же скорость в течение 6 мин., взятых на промежутке времени между пунктирными линиями *A* и *A'* на верхней кривой.

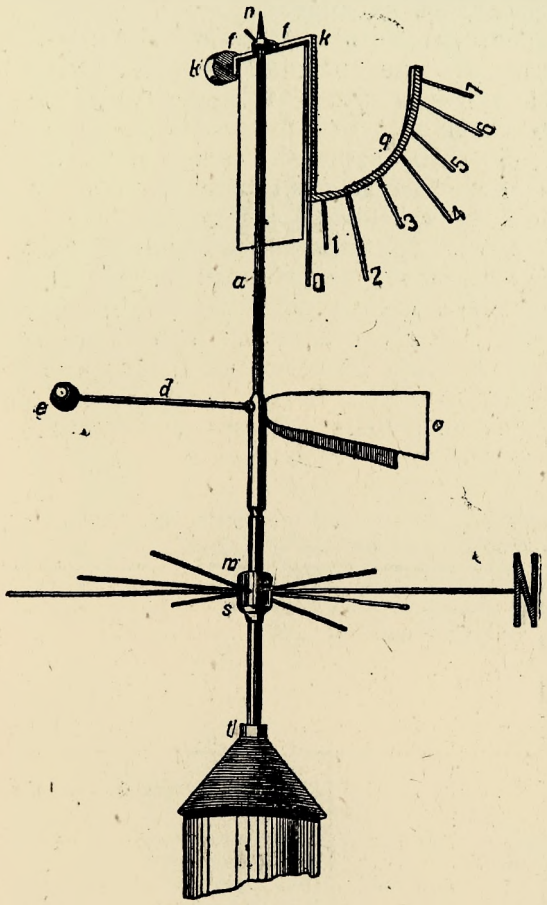
Определение скорости ветра, затем его силы производят с помощью приборов, называемых анемометрами (анемо — ветер, метр — мерить, т. е. ветромер). Простейший анемометр, называемый флюгером Вильда, показан на фиг. 4. Он состоит из металлической доски, качающейся около горизонтальной оси *f — f*, закрепленной на вертикальном стержне *a*. Этот стер-



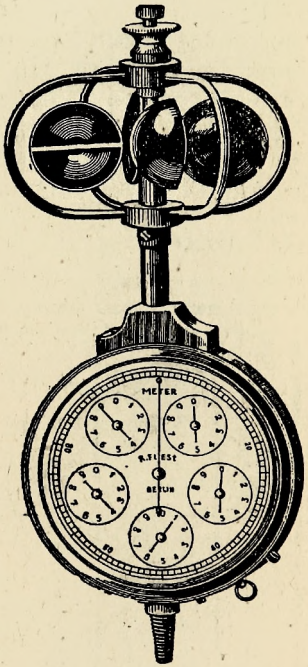
Фиг. 3. Характер изменения скорости ветра по времени. На вертикальной оси отложены скорости, а на горизонтальной—время

жень посредством флюгера *c* поворачивается к ветру так, что доска устанавливается всегда перпендикулярно направлению ветра. Сбоку доски на том же вертикальном стержне *a* закреплена дуга *q* с восемью штифтами. При давлении ветра на доску она отклоняется и проходит мимо штифтов, каждый из которых указывает при этом на определенную скорость ветра. Стержень с шариком *e*, поворачивающийся вместе с флюгером, указывает направление ветра.

На фиг. 5 приведен более совершенный тип анемометра. Он



Фиг. 4. Флюгер Вильда



Фиг. 5. Анемометр Фуса

состоит из четырех пустотелых полушаров, закрепленных на концах двух крестообразно соединенных металлических стержней. При таком положении полушаров ветер встречает по одну сторону оси вращения выпуклую поверхность, а по другую вогнутую. По выпуклой поверхности ветер скользит и производит слабое давление, в то время как на вогнутую поверхность ветер давит с полной силой. Вследствие неравенства сил на обоих концах крестовины последняя приходит во вращение.

Вертикальная ось, на которой закреплена крестовина, проходит внутрь круглого футляра с механизмом, состоящим из шестеренок. Вращение оси передается этим шестеренкам, а от них стрелкам, которые указывают на циферблате число метров, пройденное ветром за определенное время. Скорость же ветра определяется делением числа, указанного стрелками, на число секунд, в течение которых производилось наблюдение.

Если нет этих приборов, скорость ветра можно определить, наблюдая за полетом легких предметов по ветру. Например тонкий листок бумаги или пушинка будут перемещаться вместе с ветром с такою скоростью, какую имеет сам ветер.

Допустим, что брошенная нами пушинка пролетела в течение 10 сек. расстояние 80 *м*. Следовательно в момент нашего наблюдения скорость ветра была равной 80 : 10 = 8 *м/сек*.

Кроме того скорость ветра приближенно можно определить по некоторым побочным явлениям, замечаемым нами во время ветра в природе. На основании многих наблюдений установлено, что ветер со скоростью 2 *м/сек* еле заметен; при таком ветре на деревьях шелестят листья. Если от ветра на деревьях гнутся ветки, то скорость его около 5 *м/сек*. Ветер, скорость которого выше 17 *м/сек*, образует бурю, а свыше 30 *м/сек* — ураган.

ТАБЛИЦА 1

Шкала Бофорта для приблизительного определения скорости и силы ветра

Шкала Бофорта (баллы)	Скорость ветра *м/сек*	Давление ветра в *кг* на 1 $м^2$	Обозначение ветра	Видимые признаки
0	0	0	Штиль	Полное отсутствие движения воздуха
—	1,5— 3	0,5	Очень легкий	Едва заметно шелестят листья
1	4— 5	2,7	Легкий	Ветки качаются
2	6— 7	5,0	Умеренный	Сучья гнутся
3	8— 9	8,0	Свежий	Верхушки деревьев шумят
4	10—11	13	Очень свежий	Тополи гнутся
5	12—14	19	Сильный	Листья и ветки срываются
6	15—16	27	Резкий	Тонкие сучья ломаются
7	17—19	40	Буря	Толстые сучья ломаются
8	20—23	56	Сильная буря	
9	24—28	76	Очень сильная буря	Сосны вырываются с корнями
10	29—33	103	Ураган	
11	34—39	137	Ураган	Опустошительное действие
12	40 и выше	193 и выше	Сильный ураган	

Скорости ветра, установленные по внешним признакам, наблюдаемым в природе, приведены в табл. 1, которой обычно и пользуются для приблизительного определения скорости ветра, когда нет специальных приборов. Эту таблицу называют шкалой Бофорта.

Зная скорость ветра, можно судить о его силе. Насколько велика может быть сила ветра, видно из следующей исторической справки.

В 1703 г. через Англию и Францию пронесся ураган такой силы, что опрокинул и разрушил 800 домов, 400 ветряных мельниц, 100 церквей и несколько маяков; вырвал с корнем и отнес на большое расстояние 250 000 больших деревьев; разбил о берег 400 кораблей, убил несколько тысяч человек.

Ветры, обладающие скоростью от 4 до 8 *м/сек*, могут производить давление на 1 $м^2$ поверхности от 1,5 до 5 *кг*. Ураганный же ветер производит давление на поверхность, равную 1 $м^2$, от 150 до 190 *кг*.

2. Влияние препятствий на скорость и направление ветра

Ветер, проносящийся над ровной поверхностью, имеет почти прямолинейное направление. Если же ветер проносится мимо строений, холмов, деревьев и тому подобных препятствий, то его прямолинейность нарушается. За препятствиями ветер закручивается в кольца, называемые вихревыми кольцами. Образовавшиеся вихри увлекаются воздушными потоками в направлении ветра, а вместо них появляются новые вихри и т. д.

На фиг. 6 показано образование вихрей у препятствий. Понятно, что там, где они образуются, ветер теряет свою скорость и направление. Если мы остановимся в месте образования вихрей, то нам даже трудно будет определить, в каком направлении дует ветер и с какой скоростью. Наше лицо будет ощущать направление ветра с разных сторон и с разной скоростью. Это происходит именно потому, что в данном месте ветер имеет неопределенное направление и в то же время неопределенную скорость. В первоначальное прямолинейное состояние поток ветра приходит на расстоянии, в 15 раз большем, чем высота препятствия. Вообще трение движущегося воздуха о поверхность земли, постройки, деревья и т. п. уменьшает скорость ветра. Вблизи поверхности она равна нулю и по мере поднятия на высоту возрастает на довольно значительную величину. Об этом нам необходимо помнить при выборе места для установки ветродвигателя. Двигатель должен быть установлен там, где поток ветра ничем не нарушен. Если ветродвигатель устанавливается вблизи препятствий, то высота нижнего конца крыла его ветряного колеса должна быть минимум на 2 *м* выше препятствий, нарушающих прямолинейность

и скорость ветра. На фиг. 6 показано, как не надо устанавливать ветродвигатель около препятствий для ветра.

Фиг. 6. Влияние препятствий на направление и скорость ветра

3. Работа ветра

Мы часто можем наблюдать, как движущееся тело, набегая на препятствия, стремится сдвинуть их или опрокинуть. Катящийся без паровоза по рельсам вагон, набегая на другой вагон, толкает его и перемещает в своем направлении. Падающая „баба“ с некоторой высоты вбивает сваи глубоко в грунт, а вода при своем падении вращает колесо мельницы или гидравлической турбины. Все эти явления указывают нам, что движущееся тело обладает энергией, называемой энергией движения, или кинетической энергией, способной производить работу.

Ветер как движущееся тело также обладает энергией движения, которая может быть использована, подобно тому как и энергия воды, падающая с некоторой высоты.

Мерой количества энергии движения служит произведение массы движущегося тела m на его скорость v в квадрате, деленное на 2, т. е.

$$\frac{mv^2}{2}. \qquad \text{(a)}$$

Количество массы ветра, набегающего на какую-нибудь поверхность F за 1 сек., определяется произведением количества вещества (воздуха), содержащегося в 1 $м^3$ (массовой плотности воздуха, которая обозначается греческой буквой ρ — „ро“), на

поверхность F, через которую проходит ветер, и на скорость ветра v, т. е.

$$m = \rho F v.$$

Если мы подставим это значение массы m в уравнение (a), то получим энергию ветра, выраженную так:

$$\frac{\rho F v^3}{2}. \qquad \text{(b)}$$

Данное уравнение указывает на очень важное свойство энергии ветра, заключающееся в том, что с возрастанием скорости ветра его энергия увеличивается пропорционально кубу скорости, т. е. скорости, взятой множителем три раза. Это значит, что если скорость ветра увеличится в два раза, то его энергия увеличится в 8 раз. Так например энергия ветра при скорости $v = 2$ *м/сек* равна:

$$\frac{\rho F 2^3}{2} = \frac{\rho F \cdot 8}{2} = 4 \rho F,$$

а при скорости ветра, в 2 раза большей, т. е. при 4 *м/сек*, энергия ветра равна:

$$\frac{\rho F \cdot 4^3}{2} = \frac{\rho F \cdot 64}{2} = 32 \rho F.$$

Поделив последнее равенство на первое, получим:

$$\frac{32 \rho F}{4 \rho F} = 8,$$

т. е. скорость ветра увеличилась в 2 раза, а его энергия — в $2^3 = 8$ раз, а если скорость ветра увеличится в 3 раза, то его энергия увеличится в $3^3 = 27$ раз.

Если поток ветра проходит через поверхность, ометаемую ветряным колесом, то некоторая часть энергии ветра передается этому колесу, а остальная энергия проносится неиспользованной. Чем лучше система ветряного колеса и чем лучше оно сделано, тем больше энергии оно извлечет из проносимого через него потока ветра.

Практикой и опытом установлено, что хорошее ветряное колесо может извлечь из проносимого через него потока ветра от 30 до 46% энергии, а остальные от 70 до 54% энергии проносятся неиспользованными.

Энергия, которая извлекается ветряным колесом, определяется коэфициентом использования энергии ветра, обозначаемым греческой буквой ξ (кси). Он указывает, какая часть энергии извлечена ветряным колесом из проносимого через него ветра. Так как полная энергия ветра согласно сказанному выше равна $\frac{\rho F v^3}{2}$,

то энергия, которую ветряное колесо извлекает из проносимого ветра, получится умножением этого выражения на коэфициент ξ, т. е.

$$\frac{\rho F v^3 \xi}{2} \text{ кгм/сек},$$

где $\rho = 0{,}125$ — массовая плотность воздуха при 15°С,

$F = \frac{\pi D^2}{4}$ — поверхность, ометаемая ветряным колесом,

v — скорость ветра,

ξ — для крыльчатых ветряков (см. дальше) равен от 0,3 до 0,36; для роторных от 0,15 до 0,24 и для карусельных от 0,08 до 0,1.

Эта энергия затрачивается на приведение в движение рабочей машины, соединенной с ветряком, например поршневой насос, молотилка, жернова, станок и т. п.

Обычно энергия, затрачиваемая на приведение в движение рабочих машин, измеряется мощностью в лошадиных силах. Одна лошадиная сила (1 *л. с.*) равна работе 75 *кгм* в 1 сек.

Это соответствует поднятию 75 *кг* на высоту 1 *м* в течение 1 сек. или 3 *кг* на высоту 25 *м* за то же время. Вот такая работа в течение 1 сек. и составляет мощность, равную 1 *л. с.*

Поэтому, разделив наше предыдущее уравнение на 75, мы получим мощность ветродвигателя на крыльях ветряного колеса равной:

$$N = \frac{\rho F v^3 \xi}{2 \cdot 75} \text{ л. с.}$$

Данное уравнение позволяет легко подсчитать мощность в лошадиных силах любого ветряка.

Например мощность ветродвигателя, имеющего диаметр ветряного колеса $D = 5$ *м* и следовательно

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 5^2}{4} = 19{,}6 \text{ м}^2,$$

при скорости ветра в 8 *м/сек* и коэфициенте использования энергии ветра $\xi = 0{,}30$ будет равна:

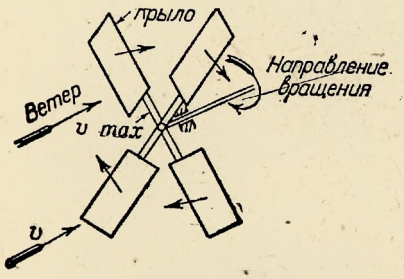
$$N = \frac{0{,}125 \cdot 19{,}6 \cdot 8^3 \cdot 0{,}30}{2 \cdot 75} = 2{,}5 \text{ л. с.}$$

III. Ветродвигатели

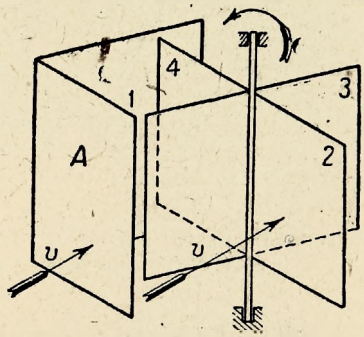
1. Классификация и принцип работы ветродвигателей

По устройству ветряных колес и по расположению их в потоке ветра ветродвигатели разделяются на три основных класса.

К первому классу относятся ветродвитатели крыльчатые, у которых ветряное колесо вращается в вертикальной плоскости, а ось вращения горизонтальна или немного наклонна к горизонту и параллельна потоку ветра. Это наиболее распространенный тип двигателей в ветротехнике (фиг. 7).



Фиг. 7. Схема ветряного колеса крыльчатого ветродвигателя



Фиг. 8. Схема ветряного колеса карусельного ветродвигателя

Ко второму классу относятся карусельные или горизонтальные ветродвигатели с ветряным колесом, вращающимся в горизонтальной плоскости, так что поверхности, на которые давит ветер (называемые также лопастями), перемещаются с одной стороны оси вращения в направлении ветра, а с другой — против ветра (фиг. 8).

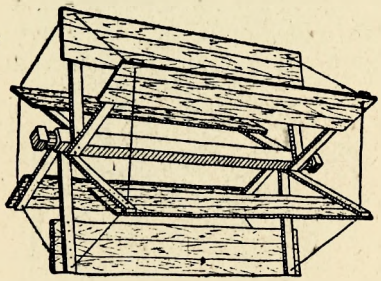
Третий класс ветродвигателей составляют барабанные ветряки. У них лопасти ветряного колеса расположены параллельно горизонтальной оси вращения. Ветряное колесо таких ветряков работает по принципу водяного колеса мельницы.

На фиг. 9 дано устройство одного из типичных ветряных колес барабанных ветряков.

Принцип работы ветряного колеса крыльчатого ветродвигателя существенно отличается от горизонтального и барабанного. Это отличие заключается в следующем. Когда ветер набегает на ветряное колесо крыльчатого ветряка, то он давит на все его лопасти одинаково во все время вращения колеса. Вследствие того что каждая лопасть поставлена под некоторым одинаковым углом к направлению ветра в плоскости вращения ветряного колеса, на каждой из них возникает одинаковая боковая сила от ветра, которая стремится повернуть ветряное колесо около его оси. Следовательно все лопасти ветряного колеса несут одинаковую полезную работу (фиг. 7).

В этом отношении крыльчатые ветродвигатели имеют большое преимущество перед горизонтальными и барабанными.

При набегании ветра на ветряное колесо горизонтального или барабанного ветряка давлению ветра подвергаются не все лопасти в одинаковой степени. Это происходит потому, что принцип работы этих ветряков основан на неравенстве давлений ветра на лопасти по обе стороны оси вращения. Для получения вращения необходимо, чтобы лопасти ветряного колеса, идущие по ветру, подставляли ему свою полную поверхность, а лопасти, которым при вращении приходится итти против ветра, должны быть либо прикрыты ширмой, защищающей от ветра, либо повернуты ребром к ветру. На фиг. 8 у такого ветряка поставлена ширма, откуда видим, что из имеющихся четырех лопастей только одна лопасть *2* испытывает давление ветра, в то время как лопасти *1* и *3* стоят ребром к ветру, а лопасть *4* защищена ширмой *A*. Если бы число лопастей было несколько больше, то все-таки в сумме получилась бы поверхность для давления ветра не больше той, которую представляет одна лопасть, стоящая перпендикулярно к потоку ветра, так как дополнительные лопасти затенили бы друг друга от ветра.



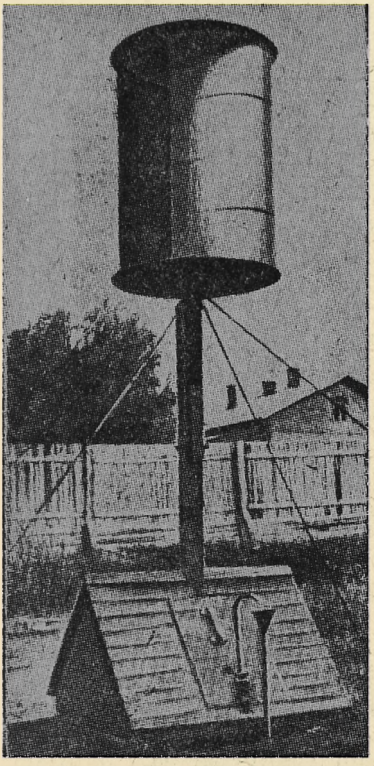
Фиг. 9. Ветряное колесо барабанного ветродвигателя

Таким образом у горизонтальных ветродвигателей во время вращения ветряного колеса работает только часть лопастей, тогда как другая их часть перемещается вхолостую, создавая некоторое торможение. Это весьма существенный недостаток карусельных ветродвигателей, который снижает их эффективность почти в три раза по сравнению с крыльчатыми ветряками.

Эти же замечания относятся и к барабанным ветродвигателям, так как их ветряное колесо работает по тому же принципу, что и колесо горизонтальных, или карусельных ветряков.

Значительное внимание уделяет ветротехника оторны ветродвигателям, работа которых основана на том же принципе, что и горизонтальных однако существенно отличающимся своею эффективностью.

Схематическое устройство роторного ветряка очень простое. Разрежьте пустотелый цилиндр по продольной оси, сдвиньте один из полуцилиндров в плоскости разреза перпендикулярно продольной оси примерно на $^3/_4$ его диаметра, затем закрепите в таком положении полуцилиндры посредством нижнего и верхнего дисков на вертикальной оси, и вы получите простейшее устройство роторного ветряка (фиг. 10). Такой ветряк иногда называют вингротором Савониуса, именем финского инженера, впервые предложившего этот ветродвигатель в 1925 г.



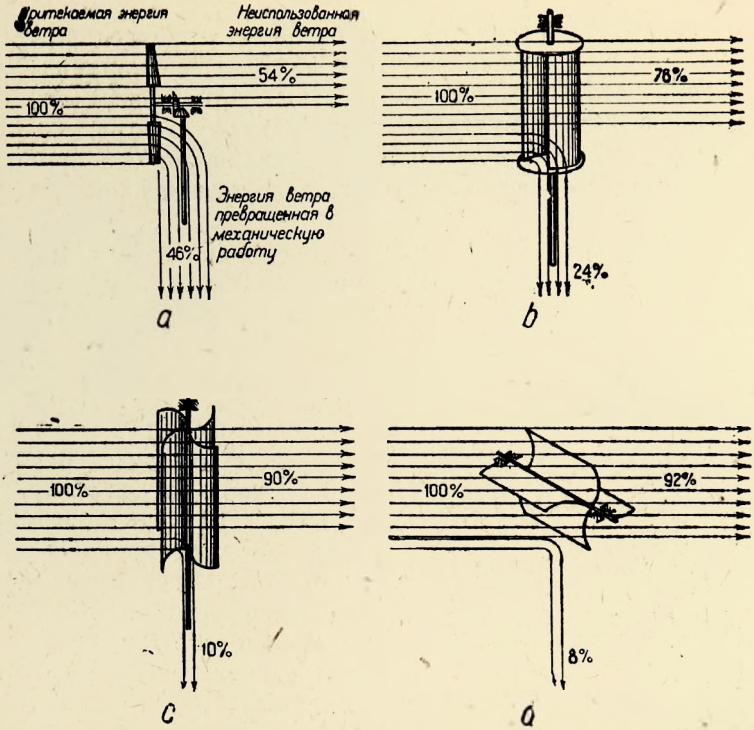
Фиг. 10. Роторный ветряк

Схема работы роторного ветродвигателя показана на фиг. 11а. Поток ветра направляясь так, как показано стрелками, скользит по выпуклой поверхности *a* и

Фиг. 11а. Схема работы роторного ветряка

полной силой давит на вогнутою *b*, огибает ее и заполняет образующееся разреженное пространство позади лопасти *a*, создавая этим дополнительную силу, вращающую ротор.

Эффективность этих ветродвигателей почти в два раза выше карусельных и барабанных, однако во столько же раз ниже крыльчатых, см. фиг. 11б.



Фиг. 11б. Графическое изображение количества использованной энергии ветра различными системами ветродвигателей

2. Крыльчатые ветродвигатели

Схема крыльчатого ветродвигателя дана на фиг. 12. Ветряное колесо *A* давлением ветра приводится во вращение, которое посредством шестеренки *C*, сидящей на том же валу, что и ветряное колесо, и шестеренки *D* передается вертикальному валу *E*. На последнем внизу насажена шестеренка *K*, от которой движение можно передавать какой-нибудь рабочей машине. Хвост *F* с поверхностью *M* служит как флюгер для установки ветряного колеса на ветер. Башня *N*, на которой установлен ветряк, делается высотой 8 *м* и больше.

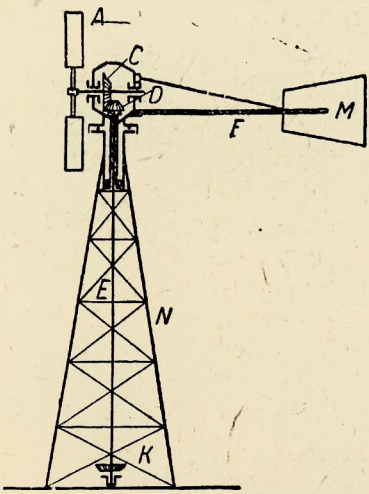
Если ветродвигатель предназначается для качания воды поршневым насосом, то схема его устройства имеет вид, показанный на фиг. 13. Сравнивая эту схему с первой, замечаем, что они отличаются лишь способом передачи движения рабочей машине. В первой схеме мы имели вращательное движение вертикального вала; во второй — вращательное движение ветроколеса превра-

щено в поступательное движение штанги, соединяемой с поршневым насосом.

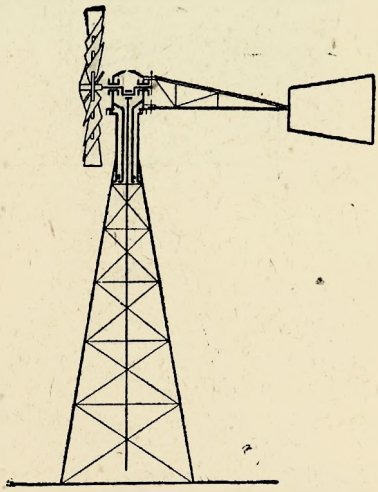
Крыльчатые ветродвигатели как наиболее эффективные изготовляются многими заводами. В Америке еще в 1895 г. существовало около 200 заводов, занимающихся постройкой этих ветряков.

В нашем Союзе до революции ветродвигатели строились кустарным способом и предназначались главным образом для размола зерна, почему собственно они и получили общее название ветряных мельниц.

На фиг. 14 показана немецкая ветряная мельница (она также называется козловой ветряной мельницей), имеющая распростра-



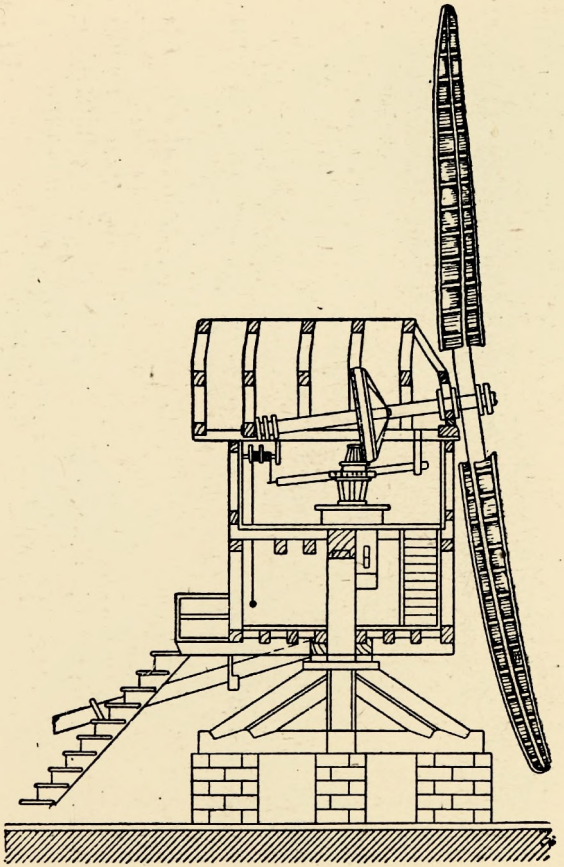
Фиг. 12. Схема крыльчатого ветродвигателя вращательного действия



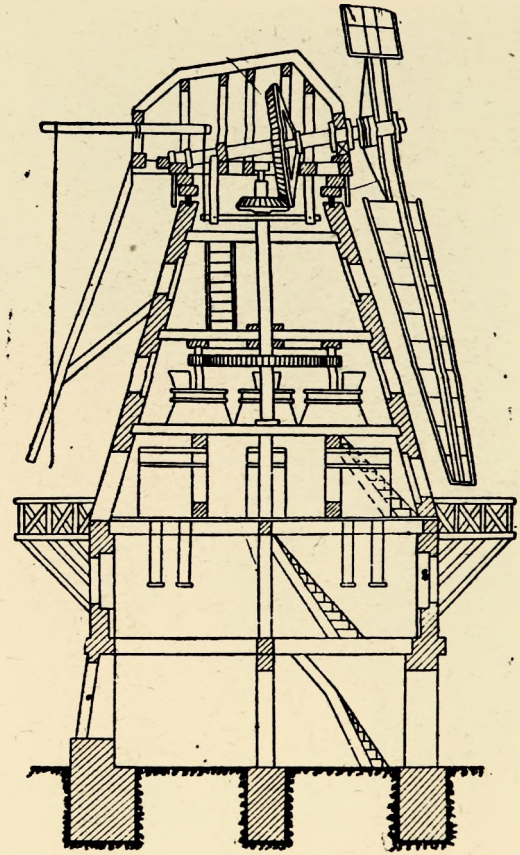
Фиг. 13. Схема крыльчатого ветродвигателя качательного действия

нение в южных районах нашего Союза. Более совершенная ветряная мельница показана на фиг. 15. Она называется голландской ветряной мельницей и отличается от козловой тем, что выводится из-под ветра и устанавливается на ветер не поворачиванием всего здания, а в ней поворачивается лишь верхняя часть мельницы, т. е. ее головка, называемая шатром, почему эти мельницы иногда называются шатровыми.

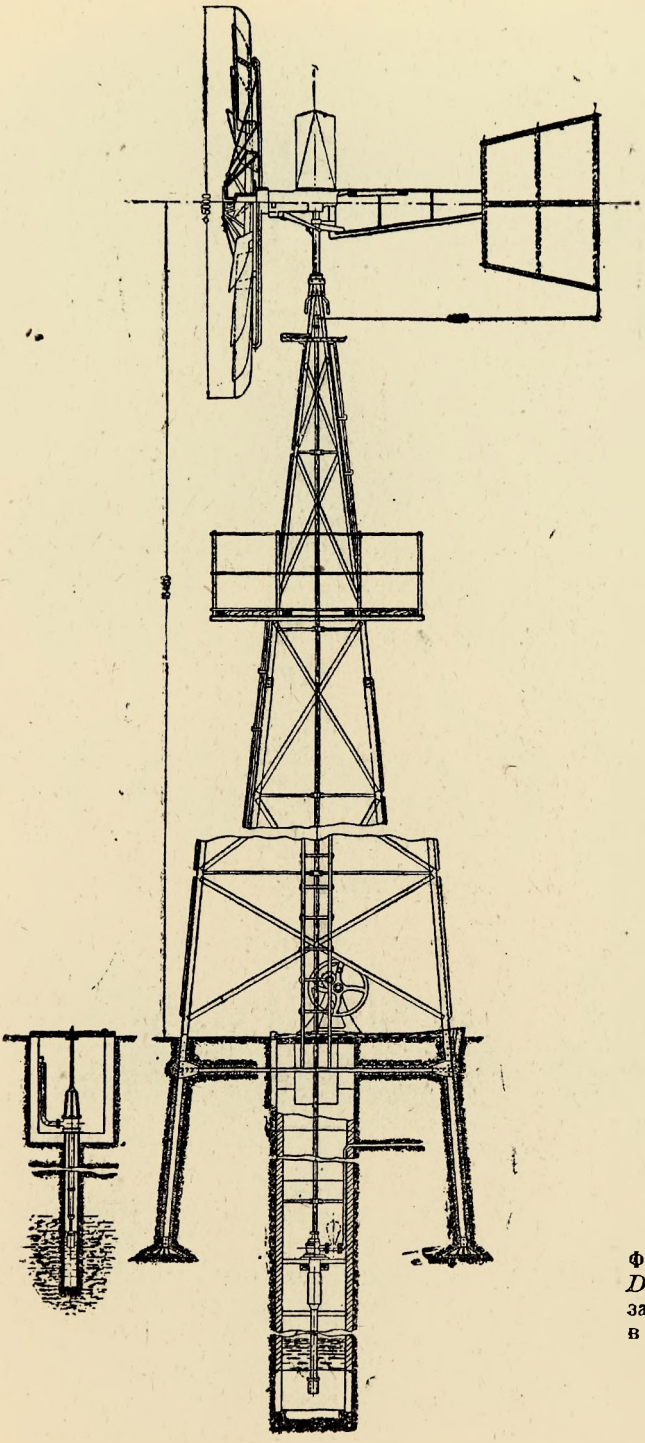
Для более полного использования силы ветра необходимо ветряное колесо держать всегда по ветру. Направление ветра меняется довольно часто, что не всегда может быть замечено человеком. Поэтому козловые и шатровые ветряные мельницы пропускают значительное количество неиспользованного ветра.



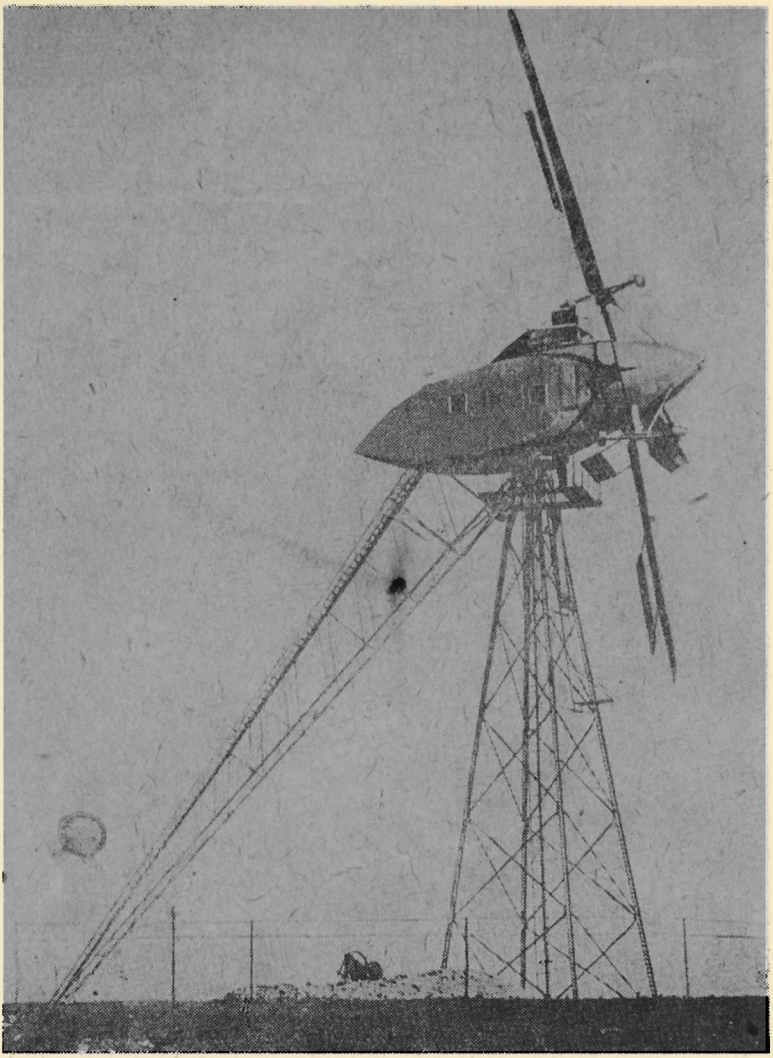
Фиг. 14. Козловая, или немецкая ветряная мельница



Фиг. 15. Шатровая, или голландская ветряная мельница



Фиг. 16 Ветродвигатель $D = 5$ *м*, изготовленный заводом им. Медведев в г. Орле по проекту ЦВЭИ



Фиг. 17. Ветродвигатель $D = 30$ *м*, установленный вблизи Балаклавы в Крыму

Более полно используется энергия ветра мельницами, устанавливающимися по ветру автоматически с помощью хвоста-флюгера или других приспособлений.

В настоящее время более совершенные современные ветродвигатели изготовляются заводами.

На фиг. 16 дан общий вид ветродвигателя $D = 5$ *м*, мощностью 2,5 *л. с.* при скорости ветра 8 *м/сек.* Такой ветродвигатель изготовляется у нас в Союзе заводом им. Медведева в Орле. Предназначен он для подачи воды поршневым насосом из глубоких колодцев.

При ветродвигателе имеется лебедка, с помощью которой можно качать воду при отсутствии ветра.

На фиг. 17 показан ветродвигатель, установленный вблизи Балаклавы в Крыму. Мощность его 136 *л. с.* при скорости ветра 10 *м/сек.* Диаметр ветряного колеса равен 30 *м.* Этот ветродвигатель вырабатывает переменный ток, который подается в севастопольскую электросеть.

Двигатель этот построен Севастопольским морским заводом в 1930 г. по проекту Центрального ветроэнергетического института (б. отдел ЦАГИ) и по своим размерам и мощности является первым в мире. В настоящее время он служит как опытный экземпляр для научных исследований по работе ветродвигателей на электрическую сеть[1].

Ветродвигатель можно сделать и самому. Насколько это просто, видно из нижеприведенных игрушечных ветрячков.

Остановив на них наше внимание и сделав ту или иную игрушку ветряка согласно указаний к их изготовлению, нам будет легче освоить саму систему этой машины и сделать затем ветродвигатель, способный производить работу.

Как сделать игрушечный ветряк из бумаги

Вращающуюся от ветра модель очень легко сделать из плотной бумаги.

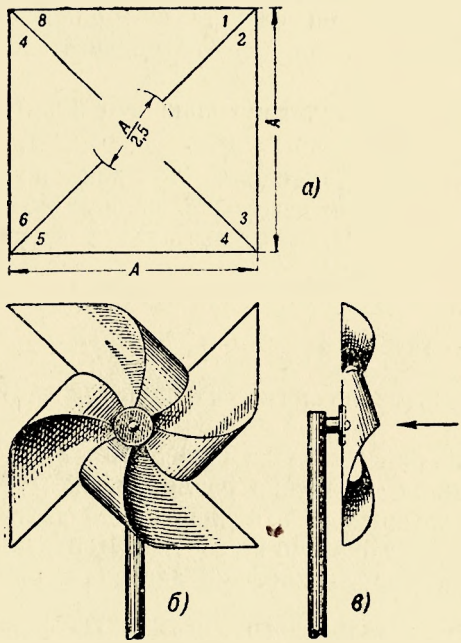
Вырежьте листок нормальной писчей бумаги размером 100×100 *мм*, а если бумага плотная, то можно размер листка увеличить до 180×180 *мм*. Затем разрежьте этот листок по диагоналям, не доходя до центра, как это показано на фиг. 18. Центральная неразрезанная часть квадрата составляет по диагонали примерно $\frac{A}{2,5}$, где A — сторона квадратного листка. Из полученных после надрезов 8 углов, обозначенных цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8, четыре уголка через один (например 1, 3, 5, 4) загните концами к центру и приклейте клеем. Чтобы получить в центре более прочное соединение уголков, вырежьте из плотной бумаги две шайбочки и наклейте их с двух сторон к центру листка (см. фиг. 18б и в).

---

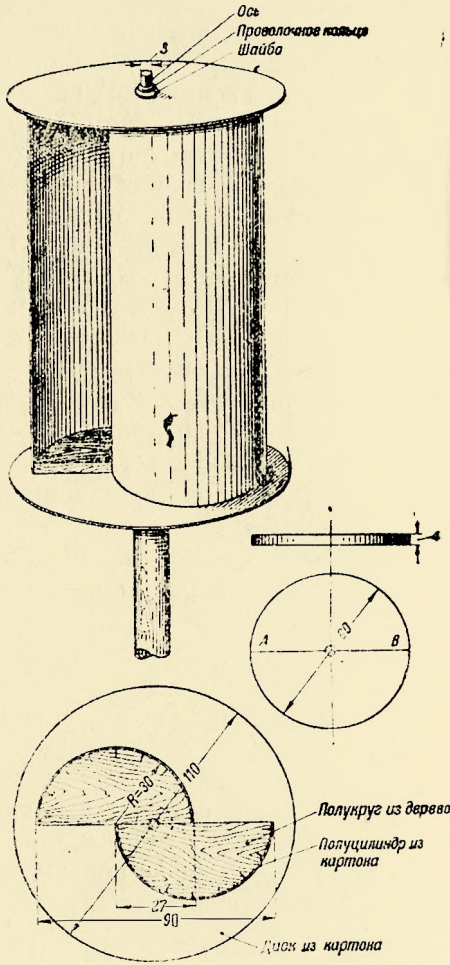
[1] С другими типами ветродвигателей этого класса более подробно можно познакомиться в книге автора „Системы ветродвигателей".

Далее приклейте пробку к концу палочки клеем или сургучем и, проткнув булавку сквозь центр листка и пробку так, чтобы булавка вошла свободным концом в палочку (см. фиг. 18в), вы получите вертушку, которая при действии на нее ветра будет вращаться.

С помощью этой модели вы можете произвести наблюдение над тем, как изменяется скорость вращения ветрячка при изменениях направления и скорости ветра.



Фиг. 18. Самодельный ветряк из бумаги



Фиг. 18а. Самодельный роторный ветряк

Как сделать игрушечный роторный ветряк из картона

Игрушечный роторный ветряк, который можно сделать из картона, показан на фиг. 18а.

Для изготовления этого ветряка приготовьте следующий материал:

1) Кусок картона толщиной в 1 *мм*, размером 230×120 *мм*.

2) Два куска картона толщиной в $^1/_2$ *мм*, размером 95×160 *мм* каждый.

3) Кусок 3-миллиметровой фанеры размером 60×120 *мм*.

4) Железный или стальной пруток диаметром 3 *мм* и длиною 200 *мм*, который будет служить осью ротора.

5) Палочку диаметром 15 *мм* и длиной 500 *мм*.

6) Столярный клей и 40 шт. маленьких гвоздиков (можно сапожных).

На куске картона толщиной в 1 *мм* обведите циркулем две окружности диаметром по 110 *мм* и вырежьте из него описанных два круга. Это будет верхний и нижний диски нашего ротора.

На дисках радиусом в 30 *мм* опишите по две полуокружности, опирающиеся с двух сторон на диаметр диска (см. фиг. 18а), причем расстояние между внешними концами полуокружностей при данном их радиусе должно составлять 90 *мм*, а между внутренними 27 *мм*.

На куске фанеры также обведите циркулем две окружности диаметром по 60 *мм*, по описанным окружностям выпилите лобзиком два круга и разрежьте их по диаметру на два полукруга каждый. Эти 4 полукруга будут служить основаниями для полуцилиндров ротора.

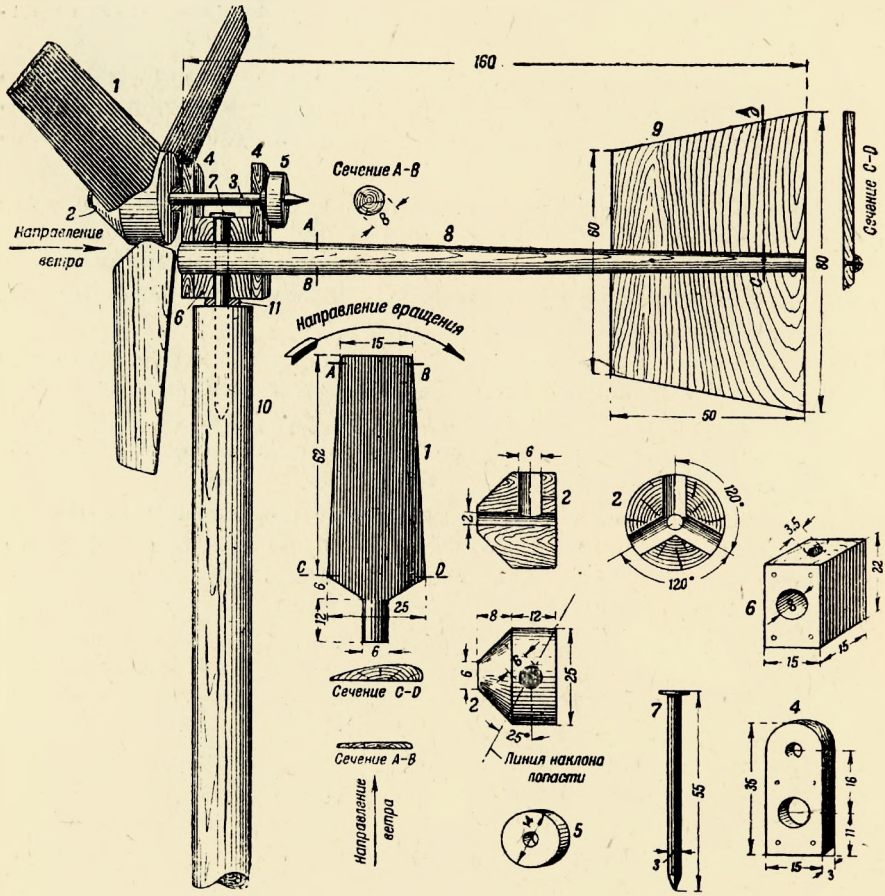
Заготовленные вами куски картона размером 95×160 *мм* загните каждый в виде дуги около продольной оси. Радиус этих дужек будет соответствовать радиусам полукругов, выпиленных вами раньше из фанеры.

Закрепив гвоздиками с проклейкой загнутый картон на этих полукругах как на основаниях, вы получите полуцилиндры вашего ротора.

Намажьте клеем основания полуцилиндров и поставьте их на описанные полуокружности на один из дисков, а другой диск описанными полуокружностями приложите сверху и зажмите в этом положении каким-либо грузиком. Когда клей просохнет, в центрах дисков проверните буравчиком 3-*мм* сквозные отверстия, загладьте их и оденьте ваш ротор на железный пруток— (ось ротора), который до этого должен быть вбит в палочку на глубину до 40 *мм*. Чтобы ротор не сползал с оси, на свободный конец ее туго оденьте шайбочку или кольцо из проволоки.

Подобный же ротор просто сделать из жести, применив вместо клейки пайку, а еще проще из консервной банки, если подобрать таковую подходящего размера и из тонкой жести. Разрежьте консервную банку, размеры которой по высоте до 150 *мм*, а в диаметре до 80 *мм*, ножовкой по продольной оси, и вы получите сразу два готовых полуцилиндра. Закрепив их на

фанерных или жестяных дисках таким же способом, как было сказано выше, и посадив на ось, вы получите ротор из утиля.



Фиг. 18б. Модель крыльчатого ветряка

Игрушечный крыльчатый ветряк из дерева

Этот ветряк состоит из следующих основных частей: 1) ветряное колесо, 2) головка или опора, на которой смонтировано ветряное колесо с валом, 3) хвост, служащий для установа

ветряного колеса на ветер и 4) столб, на котором вращается ветряк.

На фиг. 18б показан общий вид этой модели и ее детали. Изготовление ветряка начинайте с ветряного колеса. Для чего возьмите сухую ровную палочку диаметром 25 *мм*, срежьте конец ее на усеченный конус, высоту которого можно взять до 8 *мм*, а основания 6 и 25 *мм* (см. фиг. 18б) и пилкой отрежьте этот конец на длине 20 *мм* от усеченной вершины конуса. Это будет втулка ветряного колеса. На торце отрезанного кусочка разметьте карандашом три оси под углом 120°, затем в направлении этих осей проверните буравчиком отверстия диаметром 6 *мм* каждое, они будут служить гнездами под лопасти ветряного колеса. Кроме того по оси отрезанного кусочка проделайте 2-миллиметровым шилом отверстие, сквозь которое вбейте 3-миллиметровый гвоздь, который будет являться валом ветряного колеса.

Далее от этой же палочки отрежьте три куска длиною каждый по 80 *мм* и выстрогайте из них три лопаточки согласно размеров и формы, показанной на фиг. 18б. Эти лопаточки будем называть лопастями ветряка.

Лопасти сострогайте так, чтобы они имели с одной стороны плоскую поверхность, с другой выпуклую в виде пологой дужки. Максимальная толщина лопасти у основания равна 5 *мм*, а вверху ее толщина должна быть сведена до одного миллиметра. Ножка лопасти имеет в диаметре 6 *мм* и длину 12 *мм*. Каждую изготовленную лопасть вставьте ножкой в радиальные отверстия втулки плоскостью вперед так, чтобы ее поверхность составляла 25° с плоскостью вращения ветряного колеса. Ножки лопастей перед тем как вставить их в отверстия, необходимо смазать столярным клеем и затем дополнительно закрепить маленькими гвоздиками с задней стороны втулки.

От той же палочки отрежьте еще кусочек длиною 22 *мм*.

Острогайте его так, чтобы в торце получился квадрат со сторонами 15×15 *мм* (см. на чертеже 18б деталь 6). В направлении поперечной оси проверните буравчиком отверстие диаметром 8 *мм*. В это отверстие воткните смазанный клеем конец палочки, которая в заделанной части имеет 8 *мм*, а к другому концу сужается до 5 *мм*. Этот конец палочки срежьте на плоскость, прибейте к нему двумя гвоздиками дощечку, вырезанную из 3-миллиметровой фанеры или картона. Размеры ее даны на чертеже. Это устройство представит хвост для установа ветряка на ветер. Общая длина хвоста составит около 160 *мм*. В детали 6, после того как проклейка хвоста высохнет, проверните 3-миллиметровым буравчиком по продольной оси сквозное отверстие и загладьте его стенки раскаленным 3-мил-

лиметровым гвоздем, это будет подшипник под вертикальную ось, на которой поворачивается головка.

Подшипники под горизонтальный вал приготовьте из двух фанерных пластинок (4), которые наклейте и прибейте шпильками к детали 6, устройство и размеры этих пластинок ясны из чертежа детали 4.

Далее возьмите палочку диаметром 15 *мм*, в центре одного конца ее наметьте гвоздем или тонким шилом отверстие диаметром не более 3 *мм*, затем возьмите гвоздь (деталь 7), пропустите его сквозь собранную деталь 6 с хвостом и вбейте молотком его свободный конец в отверстие палочки на столько, чтобы головка с хвостом не были зажаты между шляпкой гвоздя и шайбочкой *11*, помещенной между палочкой и основанием головки.

Гвоздь, на котором насажено ветряное колесо, пропустите сквозь отверстия пластинок *4*, закрепленных на головке *6*. На высунутом конце гвоздя посадите шкивок *5*. Чтобы легче вращалось ветряное колесо, поместите между пластинками (подшипниками) ветряным колесом и шкивком шайбочки из железа или бронзы, которые можно подобрать из электромонтажного материала.

Переходим далее к изготовлению ветродвигателя, способного производить работу.

3. Как построить самому крыльчатый ветродвигатель (передвижной)

Стоимость изготовления ветродвигателей при массовом их производстве заводом обходится недорого.

Однако не всегда имеются средства, чтобы купить ветряк. Кроме того в случае дальности промышленного центра, занимающегося производством ветряков, потребуется продолжительное время на оформление заказа, доставку ветряка на место и т. п. Вот в силу этих обстоятельств иногда целесообразно сделать самому ветряк, который мог бы обслуживать элементарные нужды сельского хозяйства, не требующие больших мощностей от ветряка, как-то: качание воды из неглубоких колодцев, резка соломы, точка инструментов и т. п.

Конечно, если ветряк требуется для механизации большого совхоза или колхоза, например орошения или осушения больших пространств почвы, приведения в движение станков в мастерской, производства электрической энергии, то в этом случае лучше заказать заводу современный усовершенствованный ветряк. Такой ветряк будет отличаться равномерностью хода, боль-

шой мощностью, удобством обслуживания и долголетней службой.

Мы предлагаем сделать ветряк самому в том случае, когда требуется простейший дешевый ветряк.

При всяком хозяйстве, а особенно там, где имеется механическая мастерская, а также деревообделочная, всегда можно встретить куски железа, старые шестеренки, втулки, трубы и тому подобный железный лом, который для мастерской большой ценности как материал не представляет, а для простейшего дешевого ветряка может послужить вполне удовлетворительным материалом. О затратах дерева на небольшой простейший ветряк говорить не приходится, поскольку наш Союз, как ни одна страна в Европе, богат лесом. А ведь ветряк будет состоять из дерева почти на 95%, значит, в его осуществлении нет для нас ничего невозможного. И лишь те детали, которые, будучи сделаны из дерева, могут значительно ухудшить качество работы ветродвигателя, должны быть сделаны из металла. Сюда относятся шестеренки, валы, подшипники и болты. Эти детали, если не окажутся в своем хозяйстве, то могут быть куплены за очень дешевую цену на складах железного лома.

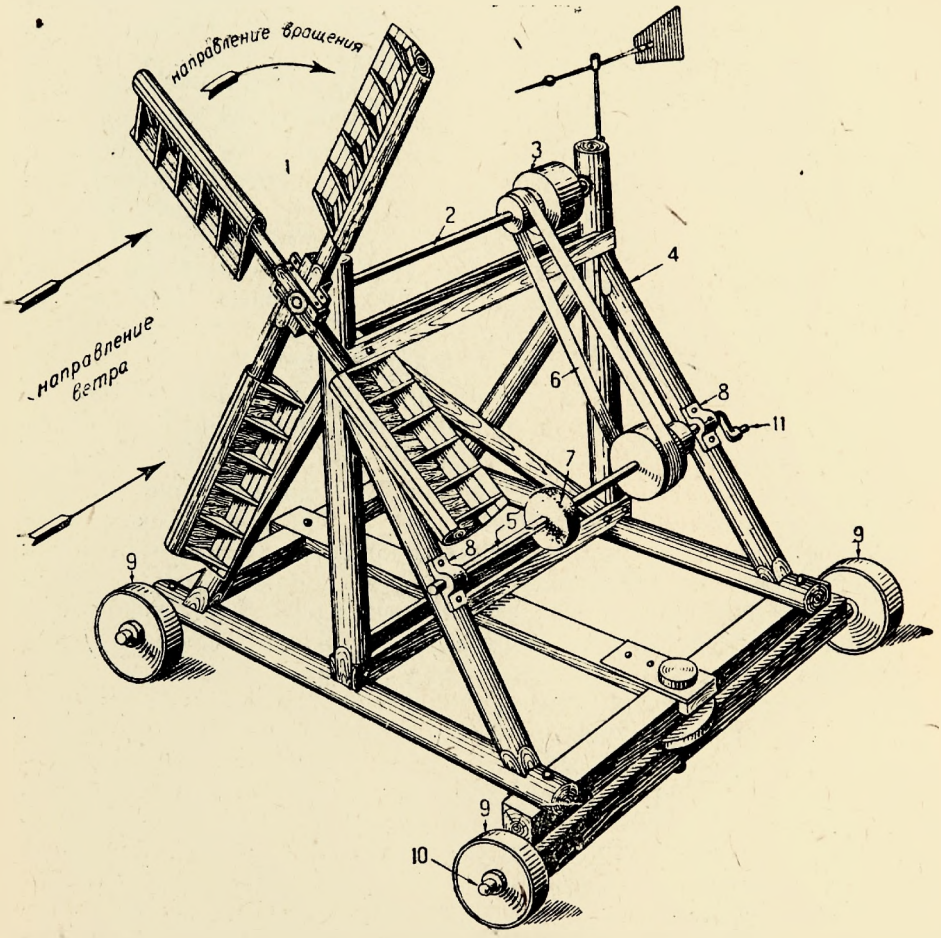
Общий вид простейшего ветродвигателя, который можно построить самому без помощи механической мастерской, показан на фиг. 18в.

Ветряное колесо *1* закреплено на переднем конце вала *2*, который вращается в подшипниках, вставленных в вертикальные стояки станка *4*, на котором смонтирован ветряк. На этом же валу *2* ближе к заднему подшипнику насажен ступенчатый шкив *3*, от которого через ременную передачу *6* или канатную вращение передается трансмиссионному валу *5*, приводящему в движение рабочее колесо машины. На конце вала *5* помещен кривошип *11*, которым можно приводить в движение штангу поршневого насоса. Примерно посредине этого вала посажен точильный камень *7* для точки инструментов. К нижней раме станка прикреплены оси *10*, на которые надеты катки *9*, так что станок по мере надобности можно передвигать с места на место. В зимний период раму станка можно поместить на полозья. На заднем вертикальном стояке закреплен флюгер, который указывает направление ветра.

Во время работы ветряк необходимо устанавливать так, чтобы направление флюгера совпало с направлением вала *2*. При таком их положении ветер будет дуть перпендикулярно плоскости вращения ветряного колеса, колесо будет извлекать максимальное количество энергии от проносимого ветра.

Если ветер дует с такой большой скоростью, что ветряк дает мощность больше, чем требуется, необходимо несколько повер-

нуть его, чтобы направление флюгера не совпало с направлением вала 2. Таким образом ветряк можно установить так, что при данной силе ветра он будет давать ту мощность, какую желательно от него получить, конечно, не выше той, на какую ветряк рассчитан. В противном случае получится перегрузка ветряка и наконец поломка.



Фиг. 18в. Простейший передвижной ветродвигатель

Основным размером ветряного двигателя является диаметр ветряного колеса, который обусловливает его мощность.

Выбираем диаметр, возможный к осуществлению нами самими, равным $D=3$ *м*. Мощность такого ветряка при скорости ветра 8 *м/сек* будет равна:

$$N=\frac{\rho F v^3 \xi}{2\cdot 75}=\frac{0{,}125\cdot\frac{\pi\cdot 3^2}{4}\cdot 8^3\cdot 0{,}3}{2\cdot 75}=1 \text{ л. с.}$$

Понятно, эту мощность даст ветряк, если он будет установлен на совершенно открытом месте или поднят на холм.

Познакомившись с общим видом ветряка, перейдем к описанию его отдельных частей с указанием, как их сделать самому.

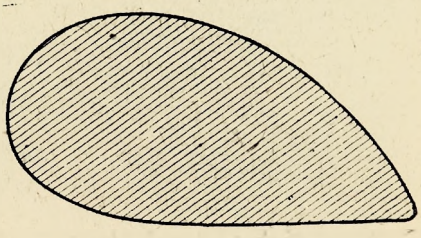
Ветряное колесо крыльчатого ветродвигателя

Основной и самой важной частью ветродвигателя является ветряное колесо. Если оно построено правильно, то может извлечь из ветра до 46% энергии. Плохо сделанное колесо не извлечет и 20%.

По фиг. 18в мы видим, что ветряное колесо, которое можно построить самому, является четырехкрылым. Оно состоит из четырех деревянных брусков, называемых махами, связанных крестообразно и насаженных на горизонтальный вал перпендикулярно его оси вращения, и из четырех поверхностей, продольно закрепленных на махах на расстоянии примерно 0,25 радиуса от вала и под некоторым углом к плоскости вращения. Эти поверхности называют также лопастями, а мах и поверхность вместе составляют крыло.

Обычные крестьянские ветряные мельницы имеют также четырехкрылое ветряное колесо. Обследование этих мельниц установило, что крылья их ветряных колес имеют ряд недостатков.

Фиг. 19. Сечение крыла крестьянской ветряной мельницы

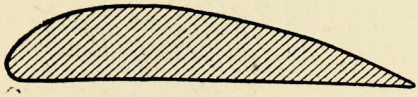


Фиг. 20. Сечение крыла обтекаемой формы, которое дает сопротивление такое же, как и крыло, показанное на фиг. 19

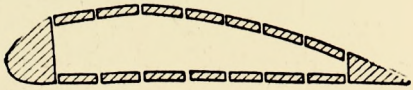
Чтобы этих ошибок не повторить, отметим их здесь и будем стремиться по возможности избегать их при изготовлении ветряного колеса.

Первый недостаток заключается в том, что крыло крестьянской мельницы выполнено без соблюдения обтекаемой формы, т. е. имеет выступы, острые края и т. п. Крыло, имеющее толстый мах с закрепленной на нем поверхностью из теса (фиг. 19), дает такое же сопротивление при вращении, какое дало бы крыло обтекаемое, но имеющее толщину, равную примерно шести диаметрам маха. Его поперечное сечение получилось бы в таком виде, как это показано в том же масштабе на фиг. 20.

Иначе говоря, если бы мы запрятали мах в обшивку обтекаемой формы (при этом сечение крыла получило бы вид, показанный на фиг. 21), то сопротивление движению данного крыла уменьшилось бы примерно в шесть раз.

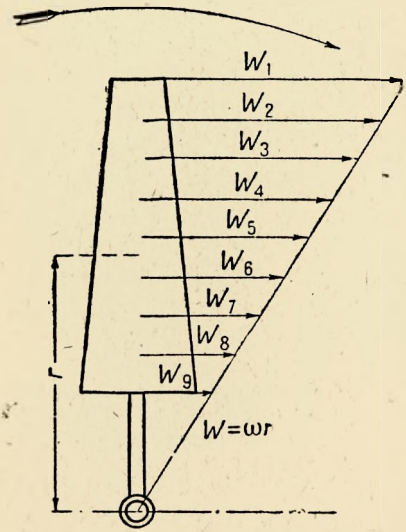


Фиг. 21. Обычное крыло обтекаемой формы



Фиг. 22. Крыло со щелями дает коэфициент использования энергии ветра в два раза ниже, чем крыло без щелей

Второй недостаток крыльев крестьянских мельниц представляют щели в обшивке крыла, которые также порождают потери, понижающие эффективность крыла. Крыло (сечение которого показано на фиг. 21), будучи изготовлено со щелями (как показано на фиг. 22), дает коэфициент полезного действия в два раза ниже. Это установлено испытаниями в лаборатории ЦАГИ[1].



Фиг. 23. Графическое изображение окружных скоростей по длине крыла

Из сказанного делаем вывод, что крыло должно быть, во-первых, обтекаемой формы, а во-вторых, без щелей.

Кроме того необходимо, чтобы поток ветра набегал на крыло по возможности под одинаковым углом по всей длине крыла. Для этого крыло следует изогнуть относительно продольной оси по некоторой очень пологой винтовой линии.

При этом угол наклона поверхности крыла к плоскости вращения на внутреннем конце крыла делается примерно равным 25°, а на внешнем конце около 11°. Такой изгиб крыла необходимо делать потому, что когда вращается ветряное колесо, то скорости перемещения каждой части поверхности крыла будут неодинаковы. Точки, лежащие ближе к оси вращения, будут иметь скорости меньшие, а подальше от оси—большие, ибо первые за одно и то же время описывают окружности меньшей длины, чем вторые.

---

[1] См. „Труды ЦАГИ“, вып. 4, „Новое крыло для русских ветряных мельниц“ и „Инструкцию для сборки крыльев“ Н. В. Красовского и В. В. Уткина-Егорова.

Если мы изобразим величину окружной скорости каждой части поверхности, взятой по длине крыла, отрезками W прямой, в определенном масштабе отложенными от оси маха в направлении вращения ветряного колеса, и соединим концы этих отрезков линией, то эта линия будет прямая, проходящая через центр вращения.

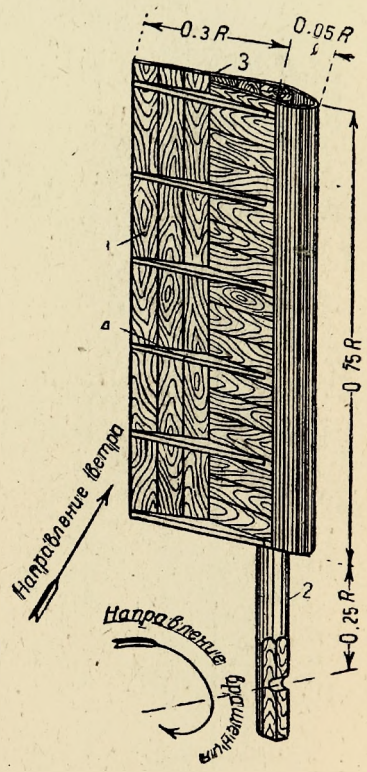
На фиг. 23 дан график окружных скоростей по длине лопасти, из которого видим, что окружная скорость перемещения конца лопасти является наибольшей. Вследствие этого конец крыла должен иметь наименьший угол с плоскостью вращения.

Однако иногда выполнить винтовую лопасть затруднительно, и тогда пренебрегают этой необходимостью в ущерб качеству крыла и делают его совершенно прямым, а следовательно более простым в изготовлении. Этим самым несколько проигрывают в качестве крыла, зато выигрывают в простоте изготовления.

Крылья ветродвигателей больших мощностей и к тому же дорогих, понятно, необходимо делать по возможности винтовыми, ибо крыло хорошего качества окупит производственные затруднения с избытком.

Крылья нашего ветродвигателя мы будем строить прямыми, чтобы несколько упростить его изготовление. Однако нужно заметить, что нетрудно сделать и винтовое крыло, затратив на это несколько больше внимания и времени. О том, как построить такое крыло, будет сказано дальше, а сейчас займемся изготовлением простейшего крыла с прямой поверхностью.

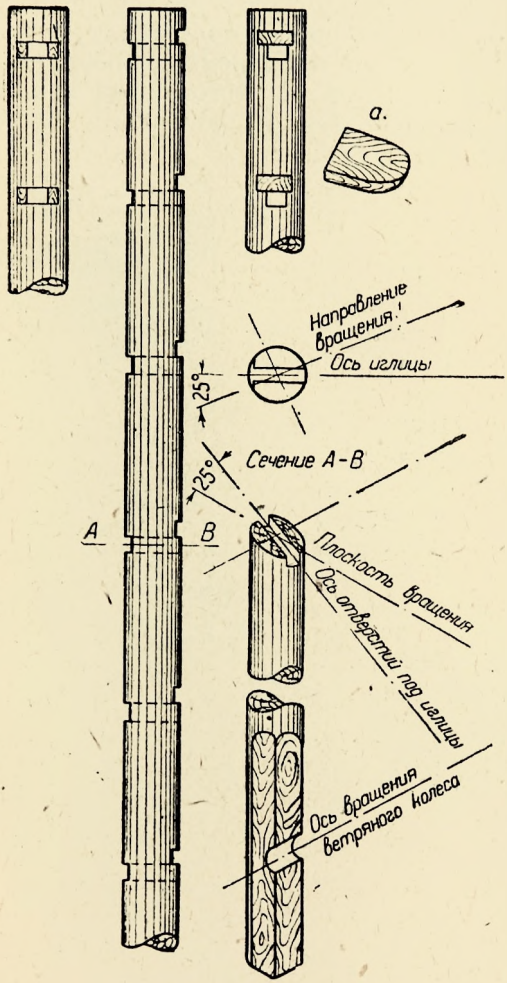
Основные размеры крыла берутся в зависимости от радиуса ветряного колеса. Диаметр колеса мы взяли равным 3 *м*, следовательно радиус $R=1,5$ *м*.



Фиг. 24. Крыло простейшего ветродвигателя

Общий вид крыла показан на фиг. 24. Поверхность крыла *1* на махе *2* представляет обшивка из тонкого 7-миллиметрового теса *3*, прибитого дюймовыми гвоздями к поперечинам *4*, называемым иглицами. Эти иглицы своими передними концами проходят сквозь мах, выходя из него примерно на 4 *см*. К выступающим из маха передним концам иглиц пришиты гвоздями куски

дюймовой доски, обработанные так, что если обшить их тонким тесом или фанерой, то передняя часть крыла, называемая носком, получает обтекаемую форму. Расстояние между иглицами берется равным около 0,1 R для больших ветряных колес. В нашем случае расстояние между иглицами можно взять около 200 *мм*.



Фиг. 25. Мах

Чтобы крыло не имело щелей, каждая тесина обшивки захватывает другую своим краем. Для того чтобы при этом получалась ровная поверхность, края каждой тесины срезаются под углом, равным примерно 18°, так что в сечении доска дает параллелограм.

Короткие тесины *6* передней обшивки прибиваются поперек крыла одним концом к маху, а другим к задней обшивке. Передняя обшивка имеет назначение спрятать мах в крыло и тем самым придать ему более обтекаемую форму.

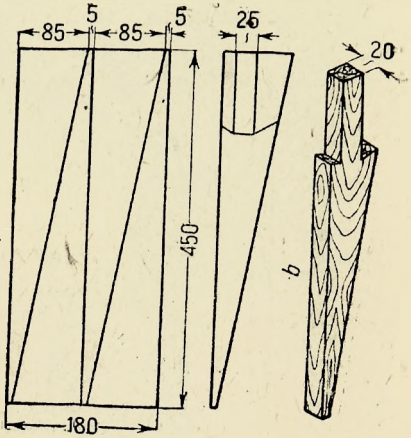
Махи. Дерево для махов — либо сосна, либо ель — выбирается совершенно ровное и в то же время достаточно сухое, чтобы со временем оно не покоробилось.

Длина махов для нашего ветряка должна быть равной 1,5 *м* + некоторый прибавок для скрепления махов на валу ветряка. Длина прибавка в нашем случае должна быть около 10 *см*. Толщину махов можно взять равной около 7 *см* в диаметре.

Сделав ровной поверхность махов, необходимо их проверить по весу: вес должен быть для всех совершенно одинаковым.

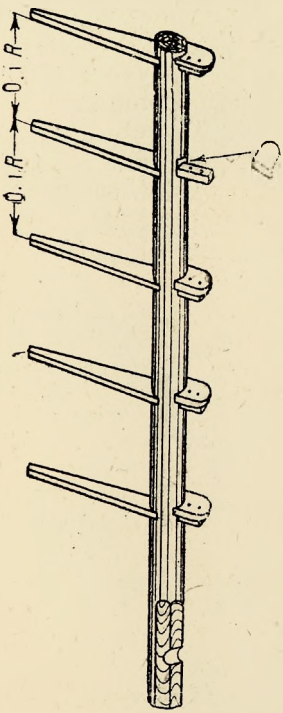
Отверстия в махах под иглицы должны быть прямоугольные 20 × 25 *мм* (см. фиг. 25), причем большая сторона отверстия идет поперек маха. Расстояние между отверстиями принимаем

около 20 *см*. Обычно это расстояние берется 0,1 *R*. При этом первое отверстие должно находиться на расстоянии 0,25 *R* от оси вращения ветряного колеса. Концы махов в части крепления их на валу срезаются на квадрат. Это позволяет более легко осуществить прочное крепление махов на валу. Оси отверстий под иглицы должны составлять с гранью квадрата на внутреннем конце маха угол 25°, причем эта грань лежит в плоскости вращения ветряного колеса. Для более прочного крепления иглиц необходимо на махе у отверстий сделать вырезы примерно по 1 *см* глубиною.



Фиг. 26. Иглица

В один из вырезов заходит иглица своими заплечиками, в другой — вставляется кусок доски, обработанный так, как показано на данной фигуре под буквой *а*. Эта деталь служит для придания носку крыла обтекаемой формы.



Фиг. 27. Мах, собранный с иглицами

Иглицы. Материалом иглиц также служит сосна или ель. Для изготовления иглицы берется доска толщиною 20 *мм* и шириною 180 *мм*, разрезается на куски, длина которых должна быть равна ширине крыла, а именно $B = 0{,}3\ R$.

Так как радиус ветряного колеса *R* равен 1,5 *м*, то длина иглицы будет $B = 0{,}3 \cdot 1{,}5 = 0{,}45$ *м*, или 450 *мм*.

Следовательно куски досок под иглицы должны иметь длину 450 *мм*. Каждый кусок доски разрезается продольно под углом на четыре части так, что концы каждой части имеют с одной стороны 85 *мм*, а с другой —5 *мм* (фиг. 26, *а*).

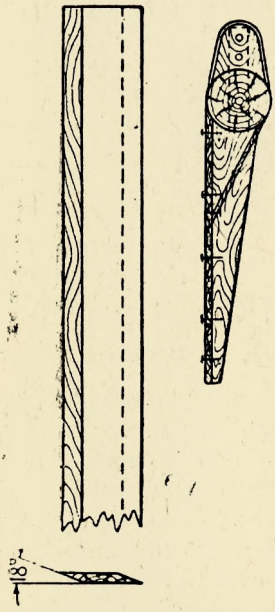
Такая нарезка иглиц допускает с достаточной полнотой использовать материал доски.

Каждая иглица с уширенного конца обрабатывается так, как показано на этой же фигуре под буквой *b*. Обработанный конец иглицы имеет длину 110 *мм*, а толщина маха за вычетом заточек равна 50 *мм*. Поэтому, когда иглица вставлена в мах,

то конец ее длиною 110—50=60 *мм* выходит с противоположной стороны маха. К этой части иглицы прибивается двумя гвоздями кусок доски, показанный на фиг. 25, *а*.

Мах, собранный с иглицами, показан на фиг. 27.

Обшивка крыла. Собранный мах с иглицами обшивается тонким из ели или сосны тесом, толщина которого может быть от 5 до 7 *мм*. Тес необходимо брать сухой и хорошо прострогать. Боковые края тесин должны быть срезаны под острый угол, равный 18° (фиг. 28). Длина продольных тесин берется равной 0,75 *R*, что в нашем случае дает 1 120 *мм*; длина поперечных тесин равна около $^1/_3$ ширины крыла. Прибивка тесин к иглицам производится, начиная от маха, так, чтобы следующая доска своим срезанным краем ложилась на срезанный край прибитой доски и прижимала ее к иглице. Прибивка тесины гвоздем к иглице производится ближе к тому краю, который приходится сверху скошенного края соседней тесины (фиг. 28). В этом случае при короблении тесины будут прижиматься друг к другу и создавать воздухонепроницаемость крыла, что очень важно для его хорошей работы. Поперечные короткие тесины обрабатываются так же, как и продольные, и прибиваются одним концом к маху, а другим к продольной тесине. Носок крыла по бокам обшивается продольными тесинами, а спереди тонким кровельным железом или фанерой, если же ни того ни другого нет, то узкими полосками теса, которые позволили бы создать закругленный носок.



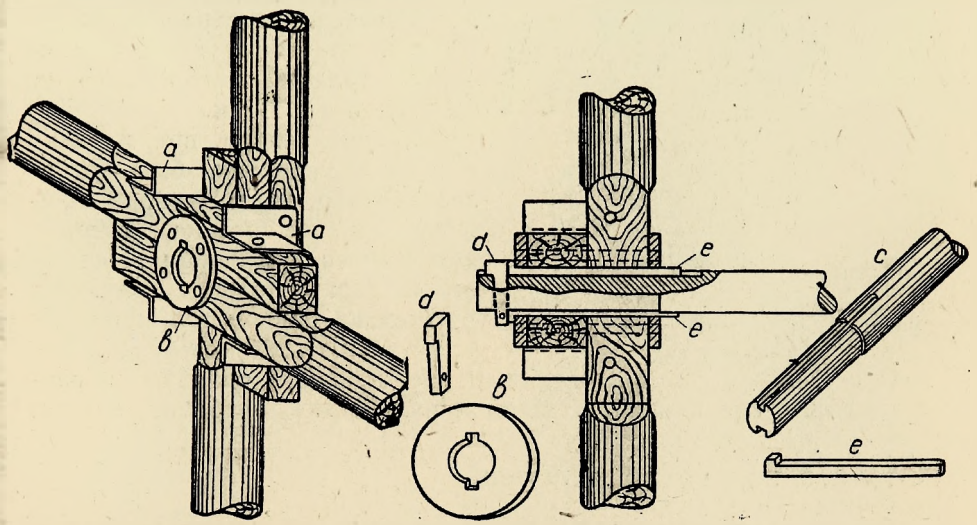
Фиг. 28. Обшивка крыла

После того как обшивка закончена, каждое крыло должно быть взвешено. При этом необходимо добиться, чтобы крылья по весу были равны между собой.

Крепление ветряного колеса на валу ветродвигателя

Свободные концы махов изготовленных крыльев соединяются так, как показано на фиг. 29 и 30, и закрепляются на горизонтальном валу ветродвигателя. Это наиболее трудная задача в соединении частей ветродвигателя при отсутствии механической мастерской или кузницы. Крепление махов должно быть достаточно прочным, так как в этом соединении материал испытывает большие напряжения от ветровых нагрузок.

Детали, с помощью которых махи закрепляются на металлическом валу, следующие: скобы из неравнобокого углового железа с полками 70 × 50 *мм* или из листового железа и две шайбы *b*, между которыми зажаты махи посредством четырех болтов (фиг. 29). В шайбах на переднем конце вала должны быть выбраны по две дорожки, в которые загоняются шпонки *e*, после того как ветряное колесо насажено на вал (фиг. 30). Размеры шпонок приведены в табл. 2.



Фиг. 29. Крепление ветряного колеса на валу

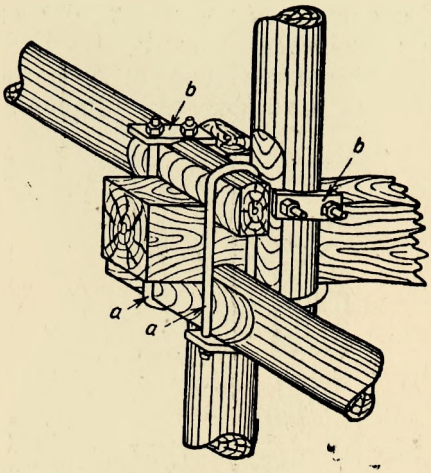
Фиг. 30. Детали крепления ветроколеса на валу

ТАБЛИЦА 2

Определение размеров шпонок

Диаметр вала *d*, *мм*	Ширина шпонки *b*, *мм*	Толщина шпонки *h*, *мм*	Диаметр вала *d*, *мм*	Ширина шпонки, *b*, *мм*	Толщина шпонки *h*, *мм*	Обозначение
30—39	14	7	70—79	22	11	
40—49	16	8	80—89	26	13	
50—59	18	9	90—99	28	14	
60—69	20	10	100—109	30	15	

Чтобы ветряное колесо не могло перемещаться вдоль вала, оно с одной стороны упирается в заплечико *c* на валу, а с другой заклинивается чекой *d*, которая в то же время замыкает шпонки *e*.



Фиг. 31. Крепление махов на деревянном валу

Крепление махов на деревянном валу можно сделать так, как показано на фиг. 31. Скобы *a* могут быть изготовлены из круглого железа диаметром от 10 до 15 *мм*, пластинки *b* — из полосового, толщина которого может быть от 5 до 6 *мм*.

Ветряное колесо при посадке его на вал должно быть отбалансировано, иначе говоря, приведено в равновесие, которое сохраняется при любом повороте его на горизонтальном валу. При отсутствии равновесия крыло во время работы будет бить, что может привести сначала к расшатыванию соединений, а затем к разрушению ветряного колеса.

Станина под ветродвигатель

Обычно ветродвигатель устанавливают на высокой башне. Передвижной ветряк на такой башне установить нельзя, ибо сооружение получится крайне неустойчивым. Чтобы ветряк не опрокидывался во время его передвижения, башня делается по возможности низкой в виде станины. Общий вид ее достаточно ясен из фиг. 18в. Здесь укажем лишь, какой материал должен быть применен, каких размеров необходимо нарезать бруски и как их соединять.

Материалом для станины служит ель или сосна. Два вертикальных стояка, на которых закрепляются подшипники под вал ветряного колеса, нарезаются по 2 *м* длиною из бревна, имеющего диаметр от 10 до 12 *см*. Эти стояки опираются на два горизонтальных отрезка длиною 2,5 *м* каждый и диаметром 12 *см*.

Соединение брусьев делается посредством врубки, скрепляемой скобами. Для большей устойчивости вертикальные стояки подпираются с боков двумя подкосами каждый. Таким образом получаются треугольные рамы, которые затем посредством поперечных брусьев собираются в станину.

Чтобы рамы станины были устойчивы от боковых усилий (лобовое давление ветра), введен дополнительный подкос, который

ТАБЛИЦА 3

Сводка потребного количества материала на простейший передвижной ветродвигатель с диаметром крыльчатого ветряного колеса 3 *м* и мощностью около 1 *л. с.* при скорости ветра 8 *м/сек*

№ фигур	№ деталей	Наименование частей ветродвигателя и материала	Количество деталей, шт.	Размер материала *мм*			Общая длина материала, *мм*	Общий вес детали, *кг*
				Длина	Толщина или диаметр	Ширина		
		I. Ветряное колесо						
		Дерево						
24	2	Круглые бревна для махов	4	1 640	70	—	6 560	17,6
26	a	Доски для нарезки иглиц	20	450	20	180	2 250	5,65
25	a	„ „ „ носков .	20	50	20	70	1 000	1,40
28	—	Тес для обшивки крыла:						
		продольная обшивка .	16	1 120	7	90	18 000	7,95
		поперечная „ .	48	160	7	90	7 700	3,4
28	b	Фанера для обшивки носка	4	1 120	3	200	4 480	2,68
								38,68
		Металл						
29	a	Скобы для крепления махов (угловое или листовое железо)	2	240	5	120	480	2,24
29	b	Шайбы из листов. железа .	2	—	10	120	—	1,56
29	—	Болты для связки шайб $^5/_8''$	4	180	16	—	720	1,15
29	—	„ „ „ махов $^5/_8''$	4	170	16	—	680	1,11
30	e	Вал ветряного колеса . .	1	2 300	40	—	2 300	22,6
30	c	Шпонки	2	200	14	10	400	0,45
18c	5	Вал трансмиссионный . .	1	2 350	40	—	2 350	23,0
18c	11	Кривошип на этом валу .	1	200	40	—	200	1,97
53	C	Подшипники	4	80	35/60	—	—	4,8
								58,88
		II. Станина						
		Дерево						
18c		Бревна для стояков . . .	2	2 000	100	—	4 000	22,0
18c		Подкос с подшипником для трансмиссионного вала .	2	2 000	100	—	4 000	22,0
18c		Подкос без подшипника .	2	2 000	70	—	4 000	10,8
18c		Бревна, на которые опираются стояки	2	2 400	120	—	4 800	38,0
18c		Бруски нижней рамы .	2	2 200	140	140	4 400	60,0
18c		Средняя связь нижней рамы	1	2 400	60	100	2 400	10,0

Продолжение табл. 3

№ фигур	№ деталей	Наименование частей ветродвигателя и материала	Количество деталей, шт	Размер материала, *мм*			Общая длина материала, *мм*	Общий вес детали, *кг*
				Длина	Толщина или диаметр	Ширина		
18с		Средний подкос	1	2 600	70	—	2 600	7,0
18с		Нижняя верхняя связь стояков	4	2 300	40	80	9 200	20,6
								190,4
		Металл						
18с		Скобы для связки узлов .	14	200	15	15	2 800	4,94
18с		Накладка на нижний брусок рамы, в который вставляется шкворень для поворота передней оси катков	1	150	5	40	150	0,230
18с		Болты для связи станины	10	160	12,5	—	1 600	1,44
								6,61
		III. Передача движения рабочим машинам						
		Дерево						
18с	3	Большие шкивы на валу ветряного колеса и трансмиссионном валу .	2	—	60	400	—	10,5
18с	3	Малые шкивы на этих же валах	2	—	60	200	—	3,6
18с	6	Ремень или канат . . .	1	2 000	—	—	—	0,5
								13,6
		Металл						
18с		Шпонки	4	60	12	12	240	0,27
18с		Шайбы	4	—	10	120	—	3,12
								3,39

Общий вес ветродвигателя

Дерево	242,68 *кг*
Металл	68,88 „
Итого	311,56 *кг*

Примечание. При подсчете удельный вес металла принимался равным 7,8 *г/см*³ и дерева 0,7 *г/см*³. Вес катков и осей для перемещения ветряка сюда не входит.

идет от верхнего угла передней рамы к нижнему углу задней.

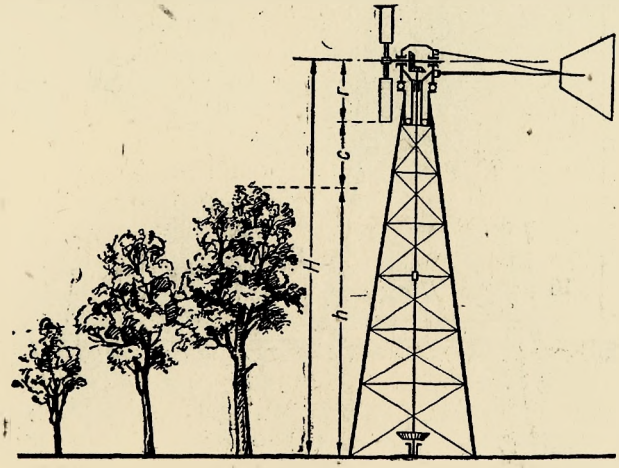
Собранная станина закрепляется на осях, на которые можно надеть одинаковых размеров катки от крестьянской телеги. В зимнее время станину можно закреплять на полозьях.

На устройстве остальных деталей мы не останавливаемся, так как они в большинстве случаев могут быть подобраны из железного лома. Если же какой-либо детали готовой не окажется, то изготовление ее настолько несложно, что не требуется специального указания на порядок ее изготовления. Заметим лишь, что вал ветряного колеса и трансмиссионный вал для данного ветряка должны иметь диаметр не меньше 40 *мм*. Основные размеры и веса других деталей приведены в сводке материалов (см. табл. 3).

В разделе, посвященном общим деталям, будет рассказано, как построить самому простейшие деревянные шестеренки, деревянные валы, простейшие подшипники, катки и т. п.

4. Как построить простейший крыльчатый ветродвигатель на башне

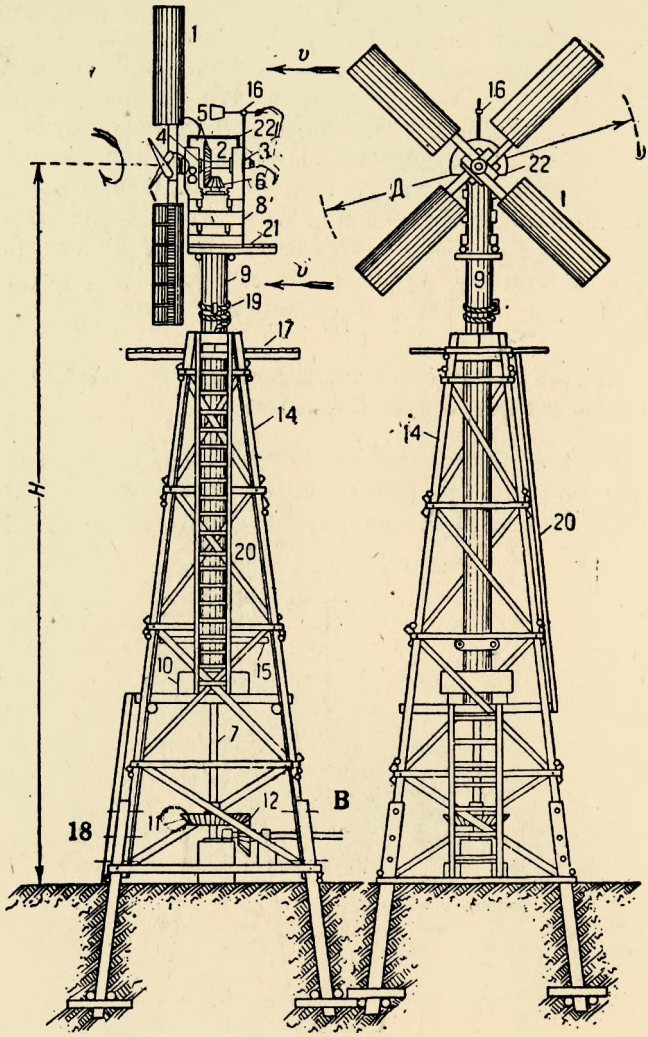
Ветродвигатель на передвижной станине будет неудобен там, где рабочие машины сосредоточены в каком-либо определенном закрытом помещении и закреплены на своих фундаментах.



Фиг. 32. Высота установки ветряка

В таких случаях ветродвигатель необходимо устанавливать на постоянной башне рядом с этим помещением или на его крыше. При этом ветродвигатель должен находиться на такой высоте, чтобы нижний конец крыла ветряного колеса располагался бы примерно на 2 или на 3 *м* выше крыш окружающих зданий,

а также верхушек деревьев (фиг. 32). Если это не сделать, то ветряное колесо будет находиться в тени от ветра, или, как мы выше отмечали, в завихренном потоке (фиг. 6), когда последний будет дуть со стороны строений или деревьев.



Фиг. 33. Простейший крыльчатый ветродвигатель на башне

Обычно высота ветродвигателя берется равной

$$H = h + c + r,$$

где h — высота зданий и деревьев вблизи ветряка,
c — берется от 2 до 3 *м*,
r — радиус ветряного колеса.

На фиг. 33 дан общий вид простейшего деревянного ветродвигателя, который можно построить вдвоем с помощью плотника и кузнеца или слесаря.

Этот ветродвигатель построен так: четырехлопастное ветряное колесо *1* закреплено на горизонтальном валу *2*, который вращается в подшипниках *3—4*. Посредством шестеренок *5* и *6* вращение ветряного колеса передается вертикальному валу *7*. Подшипники *3—4* вставлены в два вертикальных стояка *8*, которые жестко связаны со столбом *9*. В столбе *9* имеется отверстие, сквозь которое проходит вертикальный вал *7*. Этот столб опирается на пяту *10*, на которой он может поворачиваться около вертикальной оси. Такое устройство позволяет ветродвигателю самому устанавливаться так, что ветер оказывается направленным к ветряному колесу всегда перпендикулярно его плоскости вращения, а это как раз и нужно, чтобы ветряк возможно больше мог извлекать энергии из проносимого ветра. В данном случае ветряное колесо давлением ветра удерживается постоянно позади столба подобно хвостовой поверхности флюгера. Изменит ветер свое направление—ветряк сейчас же вместе со столбом *9* повернется на пяте *10*, и ветряное колесо примет такое положение, при котором ветер будет дуть перпендикулярно плоскости вращения ветряного колеса, как показано стрелками на фиг. 33. Вертикальное положение стояка удерживается башней *14*, построенной из бревен, имеющих в диаметре 15 *см* для ног и 10 *см* для подкосов. На конце вертикального вала *7* насажена шестеренка *11*, которая через шестеренку *12* передает вращение горизонтальному валу *13*. От последнего движение передается рабочим машинам, установленным в закрытом помещении.

Чтобы остановить этот ветряк во время ветра, необходимо его устанавливать так, чтобы ветряное колесо стало ребром к ветру. При таком положении ветряное колесо окажется в равновесии и перестанет вращаться. Вывод ветродвигателя из-под ветра производится посредством рычагов *15*, закрепленных на столбе *9*. Чтобы ветряк не возвратился обратно в рабочее положение, необходимо рычаги *15* веревками привязать к ногам или подкосам башни. Однако этим ограничиться нельзя, так как после некоторого промежутка времени ветер может изменить свое направление и направиться под некоторым углом или перпендикулярно к ветряному колесу, отчего последнее придет во вращение. Чтобы этого не случилось, после того как ветряк выведен из-под ветра и остановлен, необходимо ветряное колесо закрепить в неподвижном положении. Для этого на столбе намотана веревка *19*, которой можно обхватить крыло и привязать к столбу. В этом случае даже и тогда, когда ветер изменит свое направление при стоянке ветряка, он вращаться не будет.

Чтобы ветряк пустить в работу, следует сначала освободить ветряное колесо, развязав веревку *19* и намотав ее на столб так, чтобы не болтались концы. Для этой цели в столб вбита скоба, за которую крепится веревка. Затем следует освободить рычаги *15*, и ветряк сам под действием ветра сейчас же станет в рабочее положение и начнет вращаться. Для обслуживания ветряка на башне закреплены две лестницы *18* и *20* и мостик *17*. Кроме того на столбе внизу головки ветряка устроен мостик *21*, который служит для осмотра креплений ветряного колеса, а также для смазки подшипников и шестеренок. Дощатый или фанерный кожух *22* предохраняет передаточный и зубчатый механизм ветряка от атмосферных осадков (снег, гололедица).

Если ветряк дает мощность больше той, какая от него требуется, что может произойти при сильном ветре, то необходимо несколько повернуть его с помощью рычагов *15* на такой угол, при котором мощность ветряка станет приблизительно равной требуемой в данный момент, и закрепить в этом положении.

Как только ветер ослабнет, сейчас же можно освободить рычаги, и ветряк займет свое нормальное рабочее положение. Наблюдение за направлением ветра производится с помощью флюгера *16*.

Познакомившись с общим устройством ветряка и его работой, перейдем теперь к изложению построения его основных частей.

Порядок изготовления четырехкрылого ветряного колеса был изложен выше. Здесь только заметим, что ветряное колесо с диаметром выше *5 м* осуществить самому, впервые приступая к этому делу, будет трудно.

Особенно большие затруднения ветряк диаметром выше *5 м* будет представлять в моменты его регулирования и вывода из-под ветра, так как все это производится усилием человека. Эти затруднения вполне были бы устранены, если бы сделать его саморегулирующимся, но зато тогда возникают трудности другого порядка, а именно сложность изготовления[1].

Рассмотренный нами ветродвигатель по фиг. 33 вполне доступен к изготовлению с диаметром ветряного колеса 4 *м*. Мощность такого ветряка при скорости ветра 8 *м/сек* равна 1,6 *л. с.*, а при скорости ветра 12 *м/сек*—3 *л. с.* (табл. 8 в конце книги).

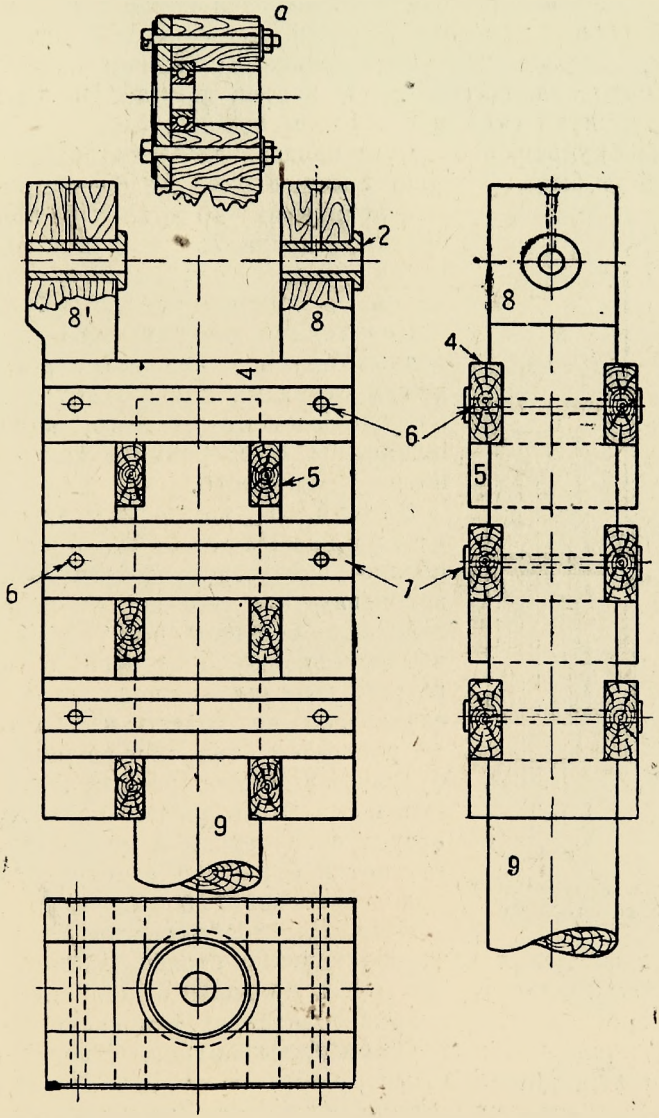
Головка ветродвигателя. Часть ветродвигателя, которая служит опорой для: 1) горизонтального вала ветряного колеса, 2) передаточного механизма от ветряного колеса к вертикальному валу, называют головкой ветродвигателя.

---

[1] О том, как построить такой же ветряк, но саморегулирующийся, будет сказано во второй части книги „Сделай сам ветродвигатель".

На фиг. 34 дано устройство головки ветряка, который мы предполагаем построить сами.

Два деревянных стояка *8* и *8'* посредством поперечных брусьев *4* и клиньев *5* закрепляются на поворотном столбе *9*.

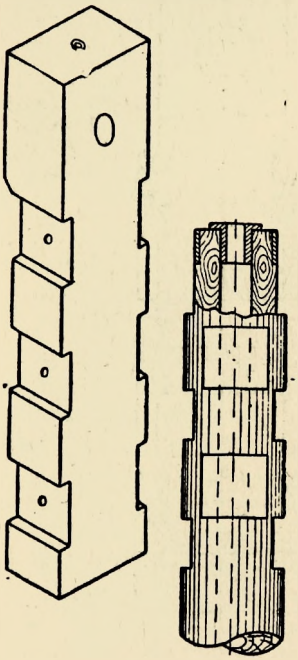


Фиг. 34. Головка простейшего ветродвигателя на башне

Стояки и верхний конец столба по бокам имеют неглубокие, от 10 до 15 *мм*, врубки, которые образуют гнезда под попереч-

ные бруски *4* и клинья *5* (фиг. 35). Поперечные бруски *4* стягиваются болтами, которые проходят сквозь отверстия *6*. Для прочности соединения под гайки болтов можно вдоль всего поперечного бруска проложить планку *7* из полосового 5-миллиметрового железа. Клинья *5* загоняются после того, как поперечные бруски *4* стянуты болтами. Отверстия на стояках под втулки *2*, являющиеся подшипниками горизонтального вала, должны точно находиться друг против друга. На фиг. 35 показаны врубки на стояке и верхнем конце столба.

Размеры брусьев, стояков и клиньев для изготовляемого нами ветряка могут быть примерно такие: стояки *8* и *8'*—длина 160 *см*, поперечник их 30 × 18 *см*; поперечные бруски — длина 75 *см*, в поперечном сечении 20 × 8 *см*; клинья — по длине 40 *см*, в поперечнике 15 × 7 *см*.



Фиг. 35. Стояки голонки и верхний конец столба

Необходимо заметить, что длина поперечных брусков связана с расстоянием между стояками *8* и *8'*, которое в свою очередь зависит от того, какие будут подобраны шестеренки и какое для них потребуется место.

Столб, на котором закреплен ветродвигатель. Столб является наиболее ответственной деталью данного ветродвигателя, так как он подвергается действию больших нагрузок ветра. Наиболее опасно нагружен столб, когда ветряк выведен из-под ветра. В этом случае он не только изгибается, но и скручивается, так как ветряное колесо, будучи поставлено ребром к ветру, представляет как бы рычаг, на который действует сила ветра. А ведь эта сила достигает в бурю для 4-метрового ветряка приблизительно 190 *кг*.

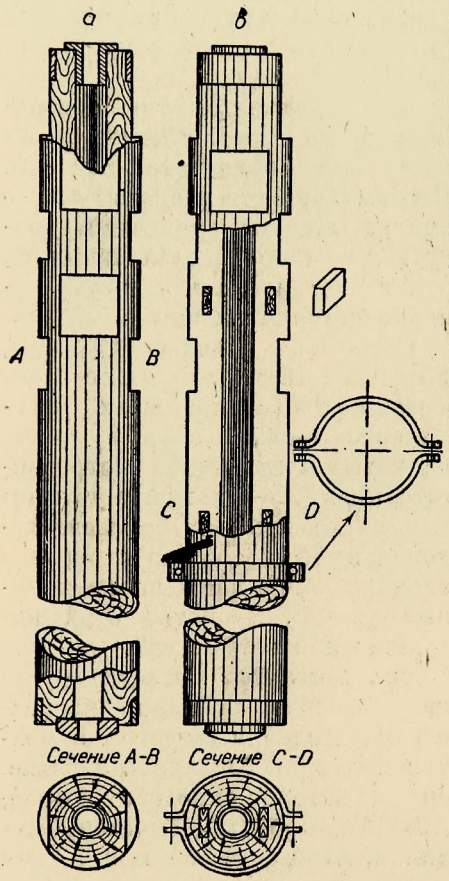
Диаметр столба должен быть не менее 26 *см*. На фиг. 36,*а* дана конструкция столба, диаметр которого взят равным 30 *см*. По центру в продольном направлении столб имеет отверстие, которое просверливается тем способом, как это делают с деревянными трубами для колодцев. Отверстие должно иметь диаметр, равный диаметру вертикального вала ветряка плюс зазоры между стенками отверстия и вала. Зазоры должны быть не менее 10 *мм*, так что диаметр отверстия при диаметре вала например в 50 *мм* будет равен:

$$50 + 10 + 10 = 70 \text{ мм.}$$

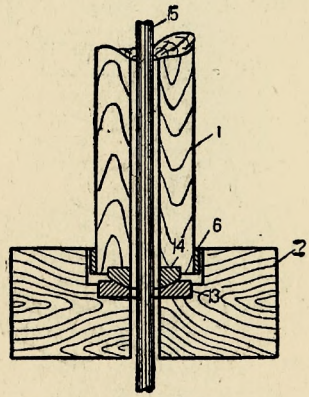
По концам столба должны быть туго насажены кольца из полосового железа, изготовленные кузнецом.

Если представятся затруднения в просверливании отверстия в столбе длиною до 6 *м*, то столб придется делать составным из двух половинок бревна, по продольным осям которых выдолблены желобки радиусом 35 *мм*. Половинки бревна должны быть соединены на шпунтах с проклейкой и стянуты железными хомутами. Устройство такого столба показано на фиг. 36.

Пята под столб ветряка. Устройство пяты показано на фиг. 37. Столб *1* должен опираться на прочное основание, которое составлено из брусьев, имеющих в поперечном сечении до 30×30 *см*. Основание столба должно быть хорошо подперто подкосами, если место его окажется на некоторой высоте башни. В бруске, на который опирается столб, вырубается гнездо диаметром немного больше диаметра столба, так чтобы при небольших отклонениях последнего стенки отверстия не касались



Фиг. 36. Столб, на котором ветряк поворачивается на ветер



Фиг. 37. Пята, на которую опирается столб

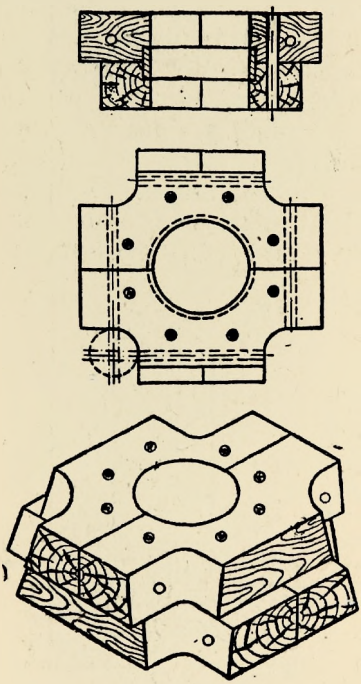
поверхности столба. Глубина гнезда должна быть около 16 *см*. На дне гнезда должна быть уложена кованая плита *3*, которая имеет вогнутость по шаровой поверхности. На эту плиту опираются вторая кованая плита *4*, которая имеет выпуклость с тем же радиусом, что и вогнутость плиты *3*.

Нижний конец столба *1* опирается на плиту *4*, которая примерно на 15 *мм* углублена в торец столба. Для прохода вертикального вала *5* ветродвигателя в обеих плитах сделано отверстие, диаметр которого равен диаметру вала плюс около 10 *мм* на зазоры.

Размеры плит могут быть такие: плита *3* — в диаметре 28 *см*, а по толщине 5 *см*, глубина вогнутости 2,5 *см*, радиус вогнутости 20 *см*; плита *4* — в диаметре 21 *см*, по толщине 7,5 *см* в центре плиты, радиус выпуклости тоже 20 *см*.

Изготовление плит представит наибольшие трудности, если не окажет помощь механическая мастерская в пригонке их шаровых поверхностей.

Устройство пяты с шаровой опорой вызывается тем обстоятельством, что столб под действием ветра может несколько отклоняться от вертикальной оси. Поэтому при отсутствии шаровой пяты могут происходить заедания в опоре столба, когда он будет поворачиваться при установке ветряка на ветер.



Фиг. 38. Верхняя опора столба

Верхняя опора столба, удерживающая его от действия ветровых нагрузок. Верхней опорой столба, на котором закреплен ветродвигатель, является подушка, связанная из деревянных брусьев, которая в то же время скрепляет верхние концы ног башни в прочный узел. Устройство этой подушки дано на фиг. 38.

Она состоит из четырех брусьев, связанных попарно посредством нагилей и шпунтов. В центре подушки сделано отверстие, сквозь которое проходит столб. Диаметр отверстия должен быть таким, чтобы столб мог в нем поворачиваться около вертикальной оси, но не давать каких бы то ни было отклонений в стороны. По углам подушки сделаны круглые вырезы — это гнезда под концы ног башни, которые притягиваются к подушке посредством болтов. Диаметр последних может быть равным от 15 до 20 *мм*. В середине отверстия подушки сделано гнездо, в которое вставлено кольцо полосового железа. Диаметр этого

кольца равен диаметру отверстия подушки. Оно служит дополнительным скреплением частей подушки от сдвигающих сил, действующих на верхнюю и нижнюю пары брусьев подушки. Длина брусьев, составляющих подушку, должна быть около 70 *см*, а ширина в необработанном виде 30 *см*, толщина 15 *см*. При таких размерах брусьев подушка получается 30 *см* толщиною.

Башня ветродвигателя. Для большей эффективности работы ветродвигателя его следует устанавливать на высокой башне. Высота ее делается в зависимости от рельефа данной местности. Если ветродвигатель устанавливается либо на холме, либо вдали от строений и леса, то высота установки ветродвигателя может быть даже ниже 8 *м*. В тех же случаях, когда ветродвигатель устанавливается среди строений и деревьев, высота установки может превосходить 25 *м*.

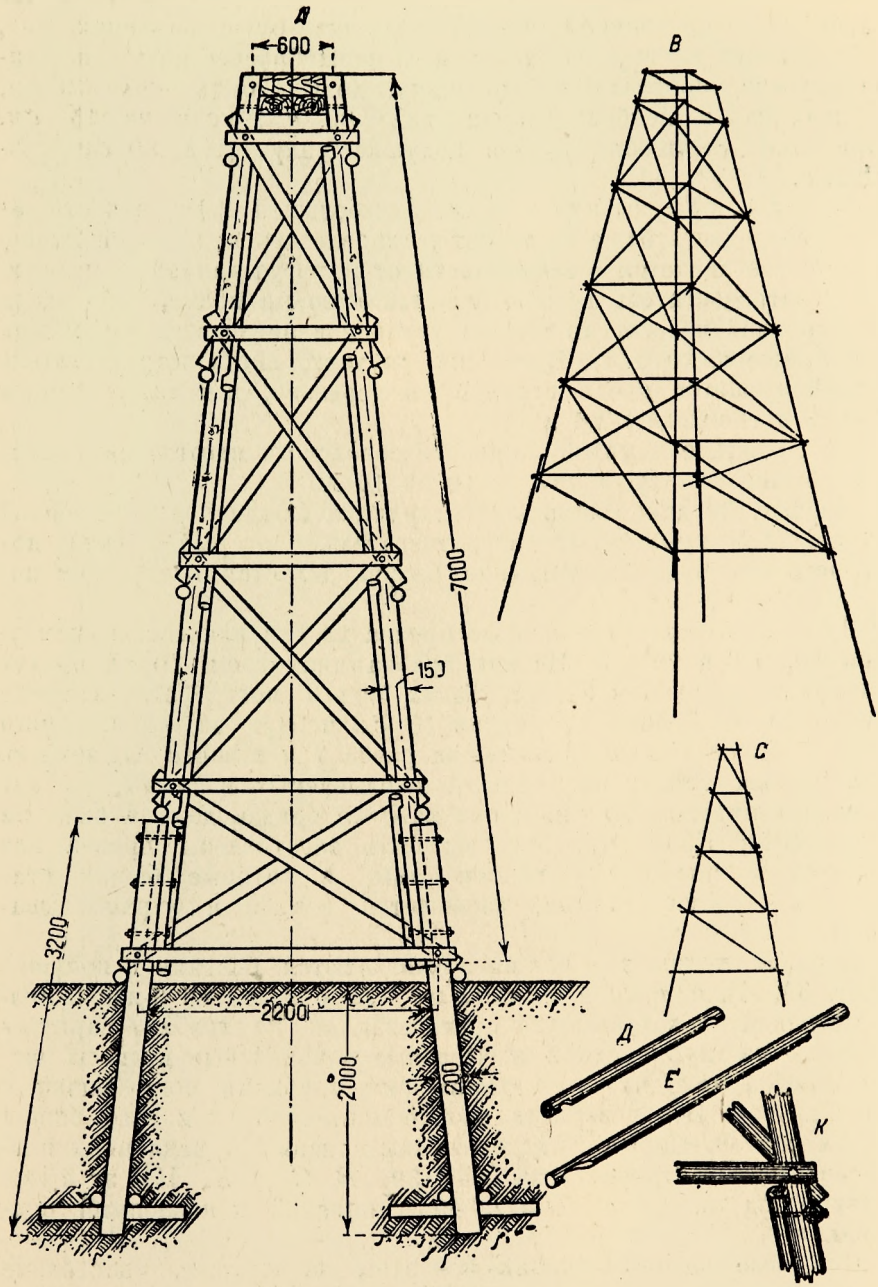
Ветродвигатели малой мощности заводского изготовления имеют обычно высоту башни от 10 до 15 *м*.

На фиг. 39 дана схема и конструкция башни под простейший деревянный крыльчатый ветродвигатель, который можно построить самому. Изготовление башни делается следующим порядком.

Заготовляются сухие ровные бревна из ели или сосны диаметром 10, 15 и 20 *см*. Из них бревна диаметром 10 *см* пойдут на пояса и подкосы башни. Таких бревен потребуется в сумме около 80 *м*. Бревна диаметром 15 *см* пойдут на четыре ноги башни. Длина каждой ноги башни равна 7 *м* в части над землею. Для нижних концов ног башни, заделываемых в землю, пойдут бревна диаметром 20 *см*. Длина каждого бревна должна быть не менее 3 *м*. Кроме того должны быть заготовлены бревна для обвязки концов ног у подошв ямы, в которые башня становится своими ногами, засыпается землей и утрамбовывается.

Верхние концы ног башни притягиваются болтами к подушке (фиг. 39, *А*), а нижние болтами же или обвязкой из 3-или 5-миллиметровой проволоки туго притягиваются к столбам, зарытым в землю на глубину до 2 *м*. Поясные и наклонные подкосы располагаются так, что они охватывают врубками ногу башни с двух сторон. Это позволяет плотно притянуть их к ноге башни одним болтом. Порядок расположения поясных и наклонных подкосов легко установить на фиг. 39, *В*, *С* и *К*. На этой же фигуре под литерами *Д* и *Е* даны поясной и наклонный подкосы.

Основные размеры башни показаны на чертеже, расстояние между поясами равно около 1,5 *м*. В зависимости от этих расстояний будет получаться длина поясных и наклонных подкосов.



Фиг. 39. Башня простейшего деревянного ветродвигателя

Общее количество материала для данного ветряка подсчитано и приведено в нижеследующей сводке (см. табл. 4).

ТАБЛИЦА 4

Сводка потребного количества материала на простейший ветродвигатель на башне с диаметром ветряного колеса в 4 *м*, мощностью около 1,6 *л. с.* при скорости ветра 8 *м/сек*

№ фигур	№ деталей	Название частей ветродвигателя и материала	Количество деталей, шт.	Размер материала, *мм*			Общая длина материала, *мм*	Общий вес деталей, *кг*
				Длина	Толщина или диаметр	Ширина		
		I. Ветряное колесо						
		Дерево						
24	2	Круглые бревна для махов.	4	2 150	70	—	8 600	23,0
26	*a*	Доски для нарезки иглиц .	28	600	20	180	4 200	10,5
25	*a*	„ „ „ носков .	28	70	20	70	1 960	2,7
28	—	Тес для обшивки крыла, Продольная обшивка . .	20	1 500	7	90	30 000	13,0
24	—	Поперечная обшивка . . .	64	250	7	90	16 000	7,7
28	—	Фанеры для обшивки носка	4	1 500	3	300	6 000	5,35
								62,25
		Металл						
29	*a*	Скоба для крепления махов. (угловое или листовое железо)	2	240	5	120	480	2,24
29	*b*	Шайбы из листового железа	2	—	10	120	—	1,56
29	—	Болты для связки шайб $^5/_8''$	4	180	16	—	720	1,15
29	—	„ „ „ махов. $^5/_8''$	4	170	16	—	680	1,11
29	*c*	Вал ветряного колеса . .	1	1 000	50	—	1 000	16,0
29	*e*	Шпонки	2	200	14	10	400	0,45
		Шарикоподшипники ∅ = = 50 *мм*	2	—	--	—	—	1,3
								23,81
		II. Головка ветродвигателя						
		Дерево						
34	8	Стояки	2	1 600	180	300	3 200	123
34	4	Поперечные брусья . . .	6	750	80	200	4 500	50
34	5	Клинья	6	400	70	150	2 400	17,5
35	—	Столб, на котором поворачивается ветряк на ветер	1	6	260	—	6	190
								380,50

Продолжение табл. 4

№ фигур	№ деталей	Название частей ветродвигателя и материала	Количество деталей, шт.	Размер материала, *мм*			Общая длина материала, *мм*	Общий вес деталей, *кг*
				Длина	Толщина или диам	Ширина		
		Металл						
34	—	Болты для стяжки поперечных брусьев	6	450	16	—	2 700	4,26
34	7	Планки из полосов. железа	6	750	40	5	4 500	7,0
36	—	Полосовое железо для хомутов на стяжку половинок столба	5	1 000	5	60	5 000	11,7
36		Втулка на верхнем конце столба	1	—	—	—	—	1,5
37	4	Плита с выпуклой шаровой поверхностью для пяты столба	1	—	—	—	—	2,0
37	3	Плита с вогнут. шаровой поверхн. для пяты столба	1	—	—	—	—	2,5
38	5	Вертикальный вал	1	6 500	45	—	6 500	81,0
33	5	Шестеренка на валу ветряного колеса	1	—	—	—	—	30
33	6	Шестеренка на верхнем конце вертикального вала	1	—	—	—	—	15
33	11	Шестеренка на нижнем конце вертикального вала . .	1	—	—	—	—	30
33	—	Пятник под вертикальн. вал	1	—	—	—	—	25
								187,46
		III. Башня						
39	—	Бревна для ног башни . .	4	7 000	150	—	28 000	346
39	—	Бревно для ног башни, отсек, заделываемый в грунт	4	3 000	200	—	12 000	264
39	*D* и *E*	Бревна для поясов и подкос.	—	—	100	—	80 000	440
39	—	Бревна для обвязки нижних концов ног башни, заделываемых в грунт .	16	800	100	—	12 800	70,0
39	—	Бруски для лестницы . .	—	—	50	70	22 000	54,0
—	—	Доски для мостиков . . .	10	2 000	20	200	20 000	5,6
								1 179,6
		Металл						
—	—	Железо для болтов на стяжку подкосов	40	360	20	—	11 400	35,4
								35,4
		Общий вес ветродвиг. в *кг*						
—	—	Дерево 1 622,35	—	—	—	—	—	—
—	—	Металл 246,67	—	—	—	—	—	—
		Итого . 1 869,02	—	—	—	—	—	—

Примечание. Веса для шестеренок даны ориентировочно.

Итоговые цифры весов данной сводки указывают, что металла на этот двигатель требуется только 13%, а остальные 87% составляет дерево. Если же сделать вертикальный вал и шестеренки деревянными, то металла потребуется лишь около 5%, а 95% будет составлять дерево.

5. Как построить простейший роторный ветродвигатель

Система роторного ветродвигателя, как было сказано выше, предложена финским инженером Савониусом. Она отличается целым рядом преимуществ перед другими типами ветродвигателей, принадлежащих к классу горизонтальных ветряков: простота устройства, сравнительно высокий коэфициент использования энергии ветра (фиг. 10) — все это вызывает внимание ветротехники к этому типу ветродвигателя.

Однако на основании экспериментальных и расчетных данных установлено, что ветродвигатели этой системы если и можно строить, то только для небольших мощностей. В противном случае ветродвигатель получается громоздок и невыгоден при учете первоначальных затрат на его постройку.

Малой же мощности роторный ветряк до некоторой степени может конкурировать с равномощным ему крыльчатым ветряком. Эта конкурентоспособность возможна примерно до 2 *л. с.* на валу ветряного колеса. Роторные ветряки свыше 2 *л. с.* становятся невыгодными по сравнению с крыльчатыми; вот поэтому промышленность избегает заниматься массовым изготовлением этих ветряков мощностью свыше 2 *л. с.* как у нас, так и за границей.

Мы займемся устройством роторного ветродвигателя, мощность которого будет несколько меньше рассмотренного нами выше крыльчатого ветряка.

Прежде всего установим, каковы должны быть основные размеры нашего ветряка.

Если бы, предположим, его мощность равнялась мощности рассмотренного нами крыльчатого ветряка, т. е. 1 *л. с.*, то размеры ротора на такую мощность определились бы по известному нам уравнению:

$$N = \frac{\rho F v^3 \xi}{2 \cdot 75}.$$

В этом уравнении нам известны:

$N = 1$ *л. с.*—мощность ветряка;

$\rho = 0{,}125$—массовая плотность воздуха при 15° С и давлении 760 *мм* ртутного столба;

$v = 8$ *м/сек*—расчетная скорость ветра;

$\xi = 0{,}24$—коэфициент использования энергии ветра.

Ометаемую ветряным колесом F поверхность определим, подставив цифровые значения в уравнение мощности, а именно:

$$N = 1\ л.\ с. = \frac{0{,}125 \cdot F \cdot 8^3 \cdot 0{,}24}{2 \cdot 75},$$

откуда

$$F = \frac{2 \cdot 75}{0{,}125 \cdot 8^3 \cdot 0{,}24} = 9{,}8\ м^2.$$

Так как внешний контур ротора имеет вид цилиндра, то ометаемая им поверхность имеет вид прямоугольника. Задавшись высотою ротора $H = 4$ *м*, получим его диаметр равным

$$D = \frac{F}{H} = \frac{9 \cdot 8}{4} = 2{,}45\ м.$$

Таких размеров ветряк, да к тому же передвижной, сделать нам самим будет трудновато. Поэтому займемся изготовлением ветряка не на 1 *л. с.*, а на $^1/_2$ *л. с.*, тогда $F = 9{,}8 : 2 = 4{,}9\ м^2$. Задавшись диаметром ротора $D = 1{,}8$ *м*, получим высоту ротора равной

$$F = \frac{4{,}9}{1{,}8} = 2{,}7\ м.$$

Общий вид данного ветродвигателя показан на фиг. 40.

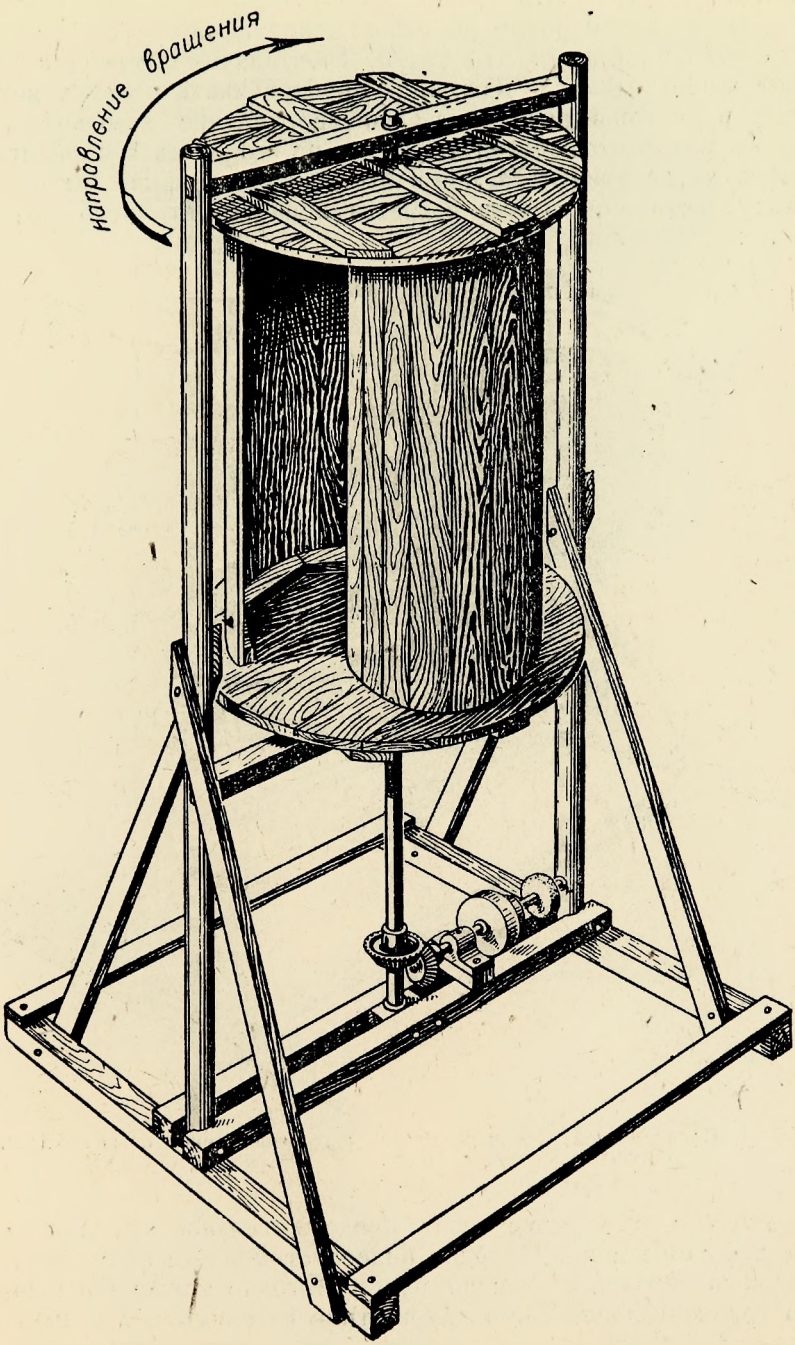
На вертикальном валу закреплены два диска. Между ними установлены два пустотелых полуцилиндра. Относительно вертикальной оси эти полуцилиндры сдвинуты один вправо, другой влево, примерно на $^3/_4$ радиуса каждый, так что между их вогнутыми поверхностями может свободно проходить часть ветра, набегающего на ротор.

Вертикальный вал вращается в подшипниках, которые закреплены на прямоугольной раме, состоящей из двух столбов, связанных перемычками и подпертых подкосами.

Столбы опираются на нижнюю раму, на которой смонтирована передача движения от ветряка к рабочим машинам. Передача осуществляется посредством двух конических шестеренок; из них первая насажена на вертикальном валу, вторая—на горизонтальном, который передает движение рабочим машинам.

Нижнюю раму можно закрепить летом на осях с катками, а зимой на полозьях для передвижения ветряка к месту потребления энергии. Конечно там, где рабочие машины прикреплены к определенному месту, ветряк необходимо устанавливать на какой-либо жесткой вышке или на крыше здания, пропустив внутрь его вертикальный вал ветродвигателя к рабочим машинам.

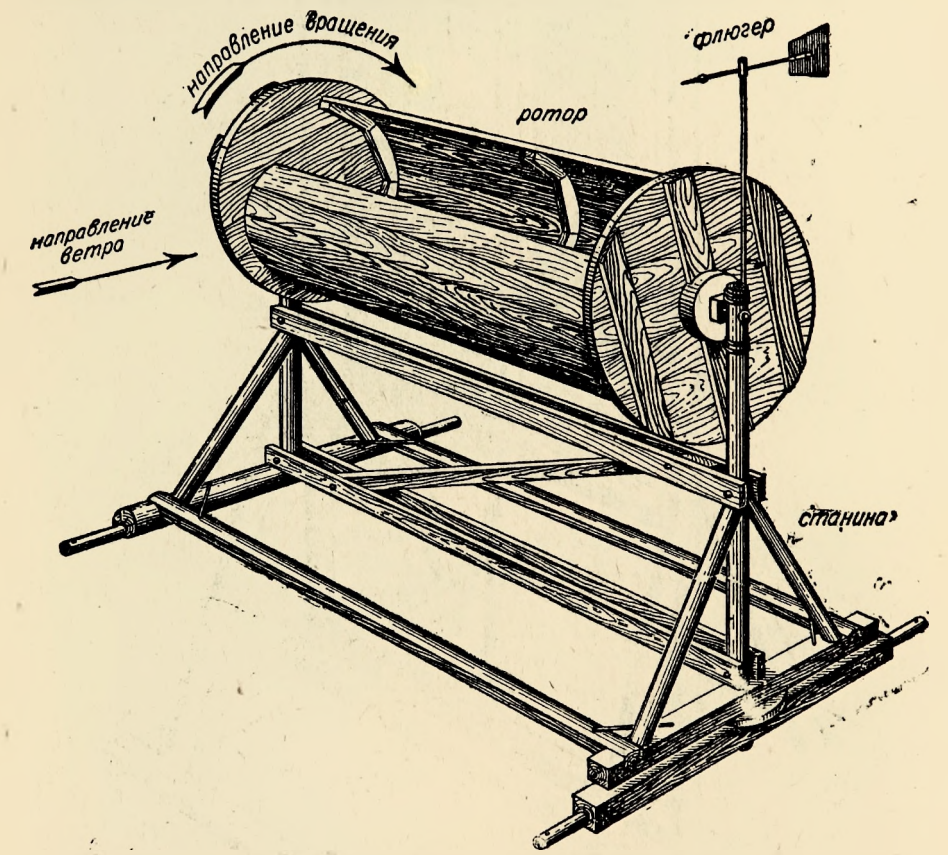
Значительно проще получается осуществление передвижного ротора, если продольную ось его расположить горизонтально, как показано на фиг. 41. Преимущество здесь заключается в том, что станина ветряка получается значительно ниже, поэтому более устойчива во время его передвижения. В практике все-таки



Фиг. 40. Простейший роторный ветродвигатель

избегают устанавливать ротор в горизонтальном положении, так как в этом случае ротор работает менее эффективно.

Это объясняется тем, что при горизонтальном положении ротора является необходимость каждый раз поворачивать станину ветряка на ветер, который изменяет свое направление довольно часто. Если же ротор установлен вертикально, то следить за направлением ветра не требуется, ибо в этом случае с какой бы стороны ни подул ветер, он всегда встретит лопасти ветряного колеса в рабочем положении.

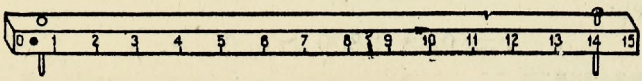


Фиг. 41. Передвижной роторный ветряк с горизонтальной осью вращения

Однако там, где ветры дуют продолжительное время в одном и том же направлении, в целях более устойчивого положения передвижного ветряка очевидно будет выгодно также располагать ротор горизонтально. Тогда такого типа ветряк будет называться барабанным и отличаться теми же недостатками, которые свой-

ственны этому классу ветряков, имея за собой единственное преимущество—это устойчивое положение станины.

На этих ветряках останавливаться нам не следует, так как если мы будем уметь изготовлять горизонтальный или роторный ветряк, то барабанный сумеем построить без специальных указаний на то, как его сделать.

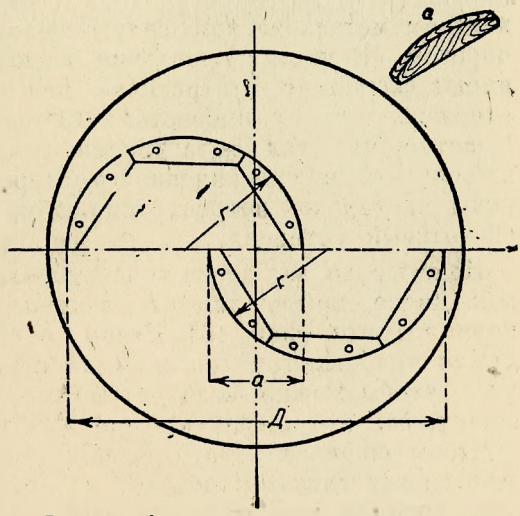


Фиг. 42. Самодельный циркуль для вычерчивания больших окружностей

Переходим далее к изложению, как изготовить отдельные части роторного ветряка.

Ротор. Ротор состоит из двух дисков и закрепленных между ними вертикально двух пустотелых полуцилиндров, являющихся лопастями роторного ветряка. Материалом ротора служит сосновый или еловый сухой тес. Порядок изготовления следующий.

Для дисков из теса 180×10 *мм* нарезаются доски длиною 1 900 *мм*, что обусловливается установленным диаметром для нашего ротора. Таких досок на два диска потребуется двадцать. Из нарезанных досок сколачиваются два щита, связанных тремя поперечными планками, толщина которых должна быть около 40 *мм*, а ширина около 60 *мм*. На изготовленных щитах с помощью самодельного циркуля, состоящего из рейки и двух гвоздей (фиг. 42), вычерчивают по одной совершенно одинаковой окружности диаметром 1 900 *мм*. По этим окружностям выпиливаются диски ротора. Далее на ровной стороне дисков вычерчиваются этим же циркулем полуокружности для лопастей ротора, которые имеют форму полуцилиндров.



Фиг. 43. Заготовка дисков для ротора

Полуокружности на дисках необходимо расположить так, как показано на фиг. 43. Расстояние a между внутренними ребрами полуцилиндров должно быть взято из отношения $\frac{a}{D} = 0{,}25$, где

D—диаметр ротора или его размах. Так как величина диаметра равна 1 800 *мм*, то из этого соотношения находим a равным $0{,}25 \cdot 1\,800 = 450$ *мм*. Радиус полуцилиндров должен быть таким, чтобы его отношение к диаметру ротора было равно примерно 0,33, т. е. $\frac{r}{D} = 0{,}33$.

Следовательно в нашем случае радиус полуцилиндров должен быть равен:

$$r = 0{,}33 \cdot 1\,800 \approx 600 \text{ мм}.$$

Далее по линии полуокружности набиваем накладки, форма которых имеет вид трапеции (фиг. 43, *а*). Большая сторона трапеции спилена по дуге, радиус которой равен радиусу полуцилиндра, так что, когда прибиты все накладки, внешняя сторона их образует полуокружность и совпадает с полуокружностью, начерченной на щите, а внутренние стороны образуют многоугольник.

Толщина накладок может быть равна от 30 до 40 *мм*, ширина в местах стыков не более 30 или 40 *мм*.

После того как изготовление дисков закончено, их надевают на вал ветряка. Чтобы более прочно закрепить диски на вертикальном металлическом валу, последний приготовлен следующим образом. В местах крепления дисков посажены втулки, которые имеют фланцы с отверстиями под болты (фиг. 44). Эти втулки удерживаются от провертывания на валу посредством шпонок. Понятно, что вал с закрепленными на нем втулками придется изготовлять в механической мастерской. На эту работу со стороны мастерской потребуется крайне ничтожное время, если дать ей готовый материал.

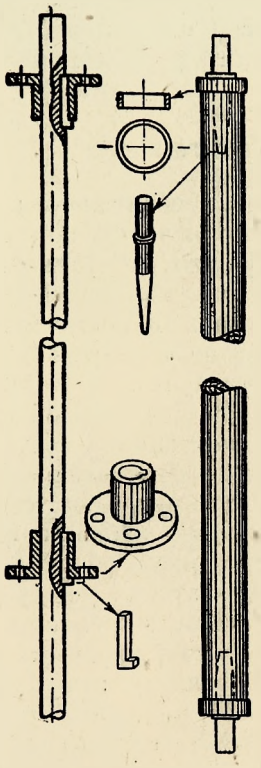
Надетые на вал диски привертываются болтами к фланцам втулок. Далее между дисками закрепляются на гвоздях стойки по концам дужек (фиг. 45). Рядом со стойками по внешней кромке дужек прибиваются гвоздями тесины, края которых срезаны на угол, чтобы можно было осуществить воздухонепроницаемую обшивку, как это делали мы при изготовлении крыла.

Чтобы обшивка ротора была более устойчива, посредине пролета между дисками вводится ребро, опиленное по полуокружности, которое можно прикрепить к стойкам, а к нему дополнительно прибить обшивку ротора. Для небольших размеров ротора обшивку проще сделать из фанеры.

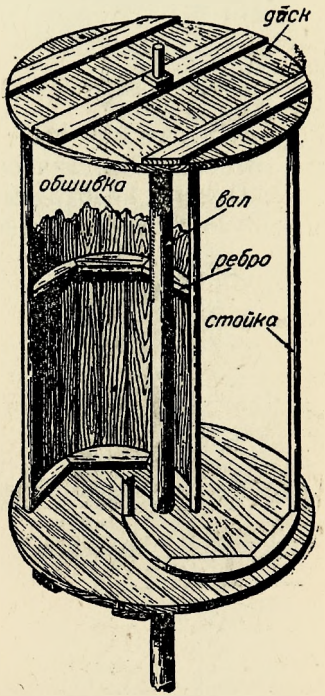
Собранный ротор на вертикальном валу необходимо отбалансировать, что производится довольно просто следующим способом. Ротор концами вала кладут на две опоры в горизонтальном положении. Если полуцилиндры ротора расположены вполне симметрично относительно оси вала, то при повороте его около горизонтальной оси он будет сохранять то положение, в котором мы его оставляем. Если же симметрии нет, то ротор будет возвра-

щаться в первоначальное положение сам каждый раз, когда мы будем поворачивать его около горизонтальной оси.

Путем проверки правильности расположения полуцилиндров, а также отнятия или прибавления материала можно добиться того, что ротор при каждом поворачивании его около горизонтальной оси будет находиться в равновесии, т. е. будет отбалансирован.



Фиг. 44. Вертикальный вал ротора



Фиг. 45. Сборка ротора (Для ясности чертежа обшивка показана лишь частично.)

Верхний конец вала ротора помещается в подшипнике, а нижний опирается на подпятник. Тот и другой закреплены в раме, устройство которой ясно из фиг. 40. Что же касается подпятника и подшипника, а также конических шестеренок и шкива с горизонтальным валом, передающим движение рабочим машинам, то они подбираются из старых деталей на складах железного лома.

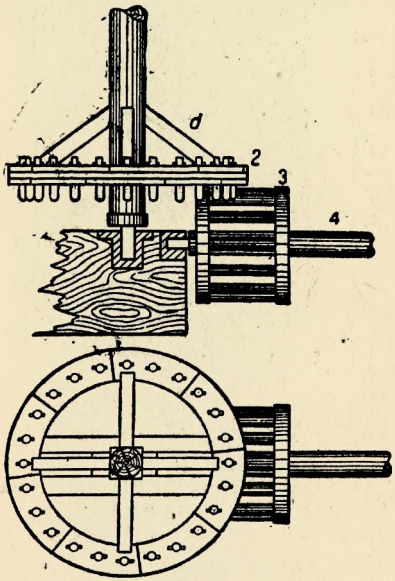
На вопросе, как произвести сборку частей, передающих движение от ротора рабочим машинам, мы здесь не останавливаемся, так как характер сборки зависит от того, в каком виде будут подобраны необходимые детали. Кроме того эта часть нашей ра-

боты по ветряку является общей для многих машин и не требует специальных указаний.

Как же быть, если поблизости не окажется механической мастерской, с помощью которой можно было бы изготовить некоторые металлические детали нашего ветряка, а готовых среди железного лома не находится? Единственный выход в этом случае — это сделать недостающие детали самому с помощью небольшой сельской кузницы. В этом разделе нашей книжки и будет кратко рассказано, как самому изготовить такого рода детали.

6. Общие детали ветродвигателей

Деревянные шестеренки. При невозможности приобрести готовые металлические шестеренки можно сделать их из дерева. Однако необходимо иметь в виду, что работать они будут несколько хуже металлических, с меньшим коэфициентом полезного действия и кроме того будут очень часто требовать ремонта в виде смены зубьев.



Фиг. 46. Передача деревянными шестеренками

Общий вид деревянной зубчатой передачи показан на фиг. 46. Зубчатое колесо *2* насажено на деревянный вал ветродвигателя. Это колесо своими зубьями зацепляет деревянную шестеренку *3*, у которой вместо зубьев между деревянными дисками закреплены круглые деревянные стержни, называющиеся цевками. Поэтому эта шестеренка называется цевочной шестерней. Она насаживается на вал *4*, от которого приводятся в движение рабочие машины.

Мы будем делать шестеренки возможно наименьших диаметров. Число зубьев большой шестеренки принимаем равным 36, а расстояние между их центрами по дуге окружности равным 54 *мм*, что обусловливается диаметром зубьев, который должен быть не менее 25 *мм*. При этом диаметр окружности, по которой располагаются центры зубьев, будет равен:

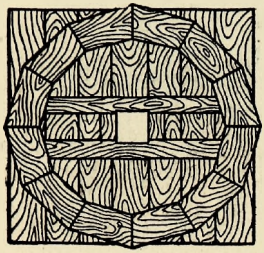
$$D = \frac{54 \cdot 36}{3{,}14} = 620 \text{ мм}.$$

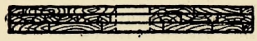
Диаметр малой шестеренки (цевочной) и число зубьев получаются в зависимости от передаточного числа, которое показывает, во сколько раз малая шестеренка вращается быстрее большой. Допустим, что мы в данном случае можем остановиться на передаточном числе, равном 2. Следовательно диаметр окружности, по которой располагаются центры зубьев или цевок, будет равен:

$$620 : 2 = 310 \text{ мм},$$

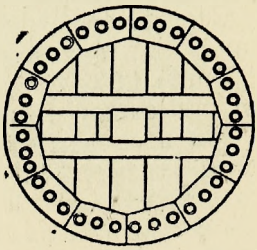
а число зубьев:

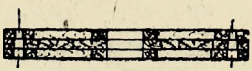
$$36 : 2 = 18.$$





Фиг. 47. Заготовка обода шестеренки



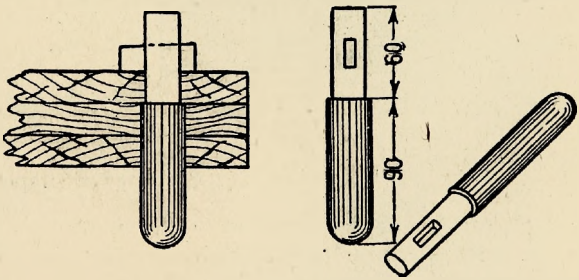


Фиг. 48. Деревянный обод шестеренки

Установив основные размеры шестеренок, переходим к их изготовлению.

Зубчатое колесо. Деревянное зубчатое колесо, насаженное на вал ветряного колеса, изготовляется следующим образом.

Берем сухой сосновый или еловый тес толщиною 20 *мм* и нарезаем соответственно диаметру шестеренки доски длиною 720 *мм* каждая. Этот размер получается из следующих соображений: диаметр окружности, по которой располагаются зубья, равен 620 *мм*, принимаем расстояние от центра отверстия под зуб до края обода шестеренки равным 50 *мм*, получим диаметр обода равным $620 + 50 + 50 = 720$ *мм*. Нарезанные доски собираются в щит так, как показано на фиг. 47. Поперечные планки прибиваются к щиту по обе его стороны на расстоянии от центра щита, равном половине диаметра вала. Затем посредством самодельного циркуля, показанного на фиг. 42, вычерчиваем на щите две окружности диаметром 720 и 520 *мм*, это будут границы обода шестеренки. Между этими границами в виде многоугольника закрепляем на клею и деревянных шпильках, называемых нагелями, накладки, которые образуют обод шестеренки. Эта операция осуществляется так. Из центра щита по

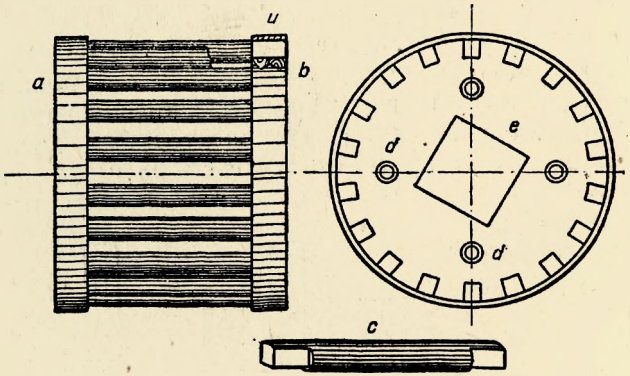


Фиг. 49. Деревянный зуб шестеренки

радиусам проводим лучи. Для нашего случая достаточно будет 12 лучей, что даст углы между лучами в 30° каждый. Пересечение лучей с двумя окружностями на щите даст фигуры в виде трапеций. По этим трапециям обрезаем торцевые края накладок, а затем производим скрепление их со щитом посредством клея и нагелей.

Скрепленный таким образом обод на время просушки необходимо зажать между ровными поверхностями грузом.

Когда обод высохнет, проводим окружность диаметром 720 *мм* по накладкам и опиливаем обод по этой окружности. Таким образом получаем круг (фиг. 48). На этом круге проводим окружность диаметром 620 *мм*. Длину окружности с помощью транспортира делим на 36 равных частей. Точки делений дадут центры зубьев шестеренки. По этим центрам просверливаем отверстия двух диаметров. Первая накладка и щит просверливаются сверлом, диаметр которого равен 25 *мм*, и продолжение отверстия во второй накладке делается сверлом, диаметр которого равен 20 *мм*. Таким образом получается гнездо со ступенькой, в которую упирается зуб своим заплечиком.



Фиг. 50. Цевочная шестеренка

Устройство зуба показано на фиг. 49. Материалом для него служит ясень или клен. Толщина зуба берется от 25 до 30 *мм* в диаметре. Размеры зуба для нашей шестеренки показаны на фиг. 49. Зуб в ободе заклинивается посредством деревянной шпильки. Эта шпилька загоняется в проушину, сделанную на конце тонкой части, которая называется ножкой.

Поперечные планки (фиг. 48) должны быть закреплены на щите так, чтобы между ними мог вплотную проходить вал. Это позволит более прочно закрепить зубчатое колесо на валу. Чтобы колесо было устойчиво в направлении оси вала, оно после посадки подпирается подкосами *d*, прикрепленными одним концом к ободу колеса, другим — к валу (фиг. 46).

Цевочная шестеренка. Общий вид этой шестеренки и ее детали показаны на фиг. 50. Диаметр ее обода в окружности, проходящей через центры цевок, равен 310 *мм*. Число цевок 18. Эта шестеренка состоит из двух совершенно одинаковых ободов *а* и *в*, расположенных друг от друга на расстоянии 200 *мм*. Для устройства ободов берется сухой еловый или сосновый тес размером 20×180 *мм*, а для цевок — сухой ясень или клен. Из теса нарезаем 8 коротких досок длиною 335 *мм* каждая, что обусловливается диаметром этой шестеренки и диаметром цевок. Эти доски помощью нагелей и клея скрепляем в два щита, имеющих по 4 доски каждый. Доски щита кладутся перпендикулярно направлению слоев древесины так, что швы обеих половинок щита образуют прямой угол. После склейки щиты должны хорошо просохнуть, будучи сжаты каким-нибудь грузом между ровными поверхностями. Затем вычерчиваем на них по две окружности: одну диаметром 310 *мм*, а другую — 335 *мм*. По окружности в 335 *мм* вырезаем круг, а вторую окружность делим на 18 равных частей. Точки делений будут центрами цевок. Затем диаметром, равным 285 *мм*, вычерчиваем окружность — это будет граница глубины гнезд, вырезаемых пилой над размеченными центрами цевок. Глубина гнезда должна быть не больше диаметра цевок, а ширина — на 8 *мм* меньше диаметра. В нашем случае глубина 25 *мм*, ширина 17 *мм*. Концы цевок с двух сторон по длине 40 *мм* на глубину около 4 *мм* с каждой стороны (фиг. 50, под буквой *с*).

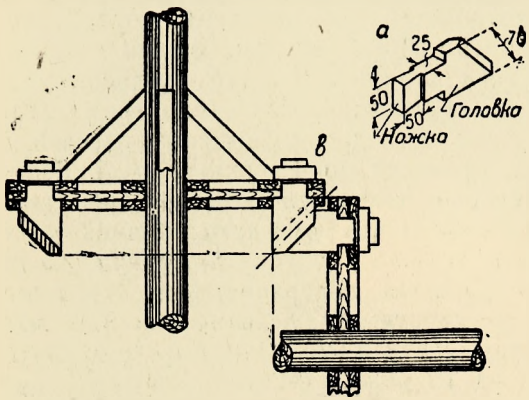
Заготовленные цевки вставляются в обода, на которые затем надеваются шины, а чтобы доски плотно прижимались к торцам цевок, их стягивают тремя или четырьмя болтами. На фиг. 50 они обозначены буквой *d*. Отверстия *е* для посадки шестеренки на вал должны быть сделаны квадратными. Чтобы насадить прочно шестерню с квадратными отверстиями на круглый вал, необходимо в промежутки между стенками вала и стенками квадратного отверстия по углам квадратов вводить клинья, которые закрепляются на валу гвоздями и клеем.

Деревянные шестеренки с плоскими зубьями. Если зубья шестеренок делать не круглыми, а плоскими, то в основном обе шестеренки получаются одинаковой конструкции. Главные размеры их необходимо делать, исходя из передаточного числа.

На фиг. 51 дан общий вид зацепления шестеренок с плоскими зубьями. Здесь же под буквой *а* показано устройство плоского зуба. Обод шестеренки изготовляется тем же способом, какой был описан выше (фиг. 47 и 48). Разница лишь в том, что там на ободе сделаны гнезда под зубья в виде круглых отверстий, а здесь эти гнезда представляют прямоугольники. При этом середина прямоугольников располагается по линии окружности, ко-

торую мы вычерчиваем для нанесения центров зубьев. Расстояние между плоскими зубьями то же, что между круглыми.

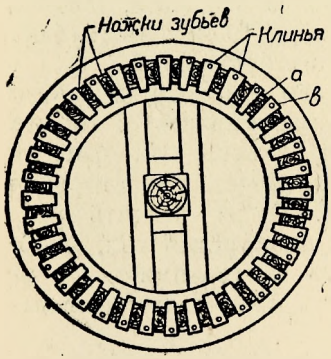
Чтобы зубья прочно сидели в гнездах, они прижимаются друг к другу клиньями, которые вгоняются в зазоры между ножками зубьев. Для этого концы зубьев обрабатываются в виде ласточкина хвоста (фиг. 51а).



Фиг. 51а. Деревянные шестеренки с плоскими зубьями

Глубину и ширину гнезд необходимо делать в строгом соответствии с размерами зуба, так чтобы последний плотно садился в свое гнездо.

Отверстия в ободе необходимо пробивать на некотором расстоянии от внешнего края обода. Понятно, в этом случае накладки, образующие обод, должны быть примерно в полтора раза шире тех, какие показаны на фиг. 47 и 48. Диаметр обода по внешней окружности получится примерно на 50 *мм* больше того, какой мы делали под круглые зубья.



Фиг. 51а. Деревянные шестеренки с плоскими зубьями

В практике обычно избегают делать малую шестеренку с плоскими зубьями, что объясняется частыми поломками ее зубьев от чрезмерных усилий.

Необходимо заметить, что если ветряк предназначается к одной определенной рабочей машине, которая должна делать меньшее число оборотов, чем ветряное колесо, например поршневой насос, тогда шестеренки меняются местами, а именно: шестеренка меньшего диаметра насаживается на вал ветряка, а большая—на вал, передающий движение рабочей машине.

Деревянный вал. При невозможности достать или изготовить металлический вал его можно сделать из дерева самому с помощью кузницы и механической мастерской.

На фиг. 52 дан чертеж устройства такого вала. Его можно устанавливать либо вертикально, либо горизонтально в зависимости от того, как это требуется установкой.

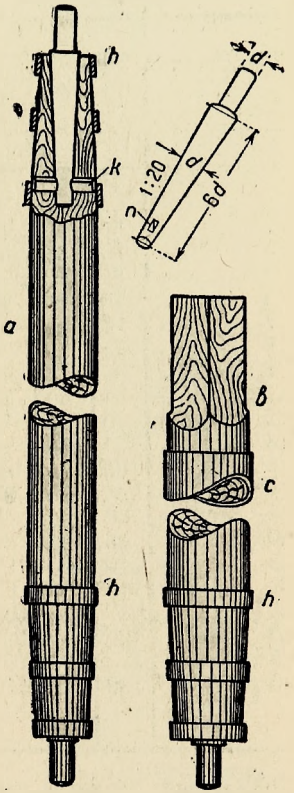
Дерево для вала выбирается сухое и совершенно ровное. Отрезав необходимую для вала длину бревна, обрабатываем его поверхность под рейку и шнур. Затем наносим на торцах центры, по которым сверлом соответствующего диаметра просверливаем отверстия, а затем выжигаем их до необходимых размеров.

В полученные отверстия вгоняем стальные стержни, служащие цапфами вала. Цапфа — это шейка вала, вращающаяся в подшипнике.

Далее проверяем, совпадают ли оси вала и его цапф. Эту проверку делаем на двух горизонтальных опорах, дающих наименьшее трение в цапфах, которые опираются на них своими концами. Если при поворачивании вала происходит его виляние, то это значит, что оси цапф не совпадают с общею осью вала. Необходимо виляние устранить путем вторичной центрировки и наконец добиться, чтобы вал на опорах вращался совершенно ровно, а при остановке находился в равновесии. После этого цапфы окончательно закрепляем на своих местах посредством клина k, который проходит сквозь вал и проушину n в ножке цапфы.

Чтобы концы вала не раскололись, необходимо укрепить их шинами h, которые нагоняем вплотную, после того как вал окончательно выверен.

Деревянный вал под ветряное колесо крыльчатого ветряка можно сделать так, как показано на фиг. 52,b. На заднем конце вала закреплена такая же цапфа, какая показана на фиг. 52,a. Передний конец срезан на квадрат для удобства крепления махов. Позади них надета втулка, служащая цапфой, опирающейся на подшипник.



Фиг. 52. Деревянный вал для передачи движения рабочим машинам

Основной размер вала—его диаметр—определяют по уравнению:

$$d = 14{,}4\sqrt[3]{\frac{N}{n}}\ см$$

для металлических валов, где N — мощность, передаваемая валом, а n — его число оборотов.

Для различных мощностей и чисел оборотов вала приводится табл. 5 диаметров металлических валов в *мм*, подсчитанная по данному уравнению.

ТАБЛИЦА 5

Диаметры нормальных приводных валов в *мм*, подсчитанные по уравнению: $d = 14{,}4\sqrt[3]{\frac{N}{n}}$ *см*

Мощность N	Число оборотов n														
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	225	250	275	300	350	400
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	50	45	45	40	40	35	35	35	35	35	35	30	30	30	30
2	60	55	50	50	45	45	40	40	40	40	40	35	35	35	35
3	65	60	55	50	50	50	45	45	45	45	40	40	40	40	40
4	70	65	60	55	55	50	50	50	50	45	45	45	45	40	40
5	75	65	60	60	55	55	55	50	50	50	50	45	45	45	45
6	75	70	65	60	60	55	55	55	50	50	50	50	50	45	45
8	85	75	70	65	65	60	60	55	55	55	55	50	50	50	50
10	85	80	75	70	65	65	60	60	60	55	55	55	55	50	50
12	90	85	75	75	70	65	65	65	60	60	60	55	55	55	50
14	95	85	80	75	75	70	70	65	65	60	60	60	60	55	55
15	95	85	80	75	75	70	70	65	65	65	60	60	60	55	55
16	100	90	85	80	75	70	70	70	65	65	65	60	60	60	55
18	100	90	85	80	75	75	70	70	70	65	65	65	60	60	60
20	105	95	85	85	80	75	75	70	70	70	65	65	65	60	60
25	110	100	90	85	85	80	80	75	75	70	70	70	65	65	60
30	115	105	95	90	85	85	80	80	75	75	70	70	70	65	65
35	120	105	100	95	90	85	85	80	80	80	75	75	75	70	70
40	120	110	105	100	95	90	85	85	85	80	80	75	75	70	70
45	125	115	105	100	95	95	90	85	85	85	80	80	75	75	70
50	130	115	110	105	100	95	90	90	85	85	85	80	80	75	75

Определение диаметра вала по данной таблице делают так. В графе 1 отыскивают мощность, которую передает вал, затем в строке найденной мощности над цифрой числа оборотов вала находят его диаметр.

Например мощность, передаваемая валом, равна 3 *л. с.*, а число оборотов $n = 120$. Определить диаметр вала. В графе 1 находим цифру 3 и вправо в этой строке в графе 6 под числом 120 находим цифру 50. Это и есть диаметр металлического вала.

Диаметры для деревянных валов можно определять по этой же таблице. При этом найденную величину диаметра необходимо увеличивать приблизительно в 2,15 раза.

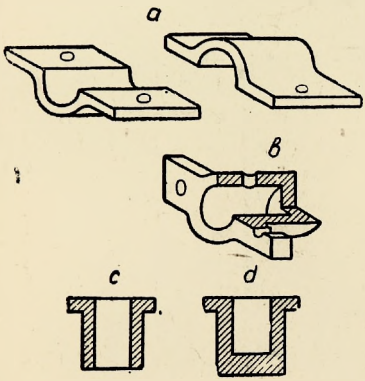
Если вал испытывает кроме кручения большую изгибающую нагрузку, например от веса ветряного колеса, расположенного не у самой опоры вала, то его диаметр, определенный по таблице, должен быть несколько увеличен соответственно изгибающей нагрузке.

Простейшие подшипники. Не всегда можно среди железного лома отыскать подходящие подшипники. В этом случае опять-таки выход один: сделать подшипник самому в кузнице с помощью кузнеца.

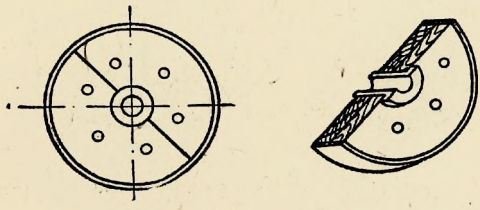
На фиг. 53 дано их устройство. Подшипники под буквами *a* и *b* имеют назначение для горизонтального вала крыльчатого ветряка, а под буквами *c* и *d* — для вертикального, *c* — верхний подшипник, *d* — нижний, называемый также пятником.

Материалом для этих подшипников может быть полосовое железо 10×50 *мм* и для пятника — круглое диаметром около 50 *мм*. Заготовленные в кузнице подшипники должны быть проточены в слесарной мастерской и пригнаны под соответствующие размеры цапф каждого вала.

Необходимо заметить, что ветряк будет работать значительно лучше и производительнее, если вместо простых подшипников поставить шарико-



Фиг. 53. Простейшие подшипники



Фиг. 54. Каток для передвижки ветряка

вые. Эти подшипники недороги и в продаже всегда имеются.

Катки. Для передвижения ветряка на прикрепленные к нижней раме станка оси можно надеть катки телеги. Если таковых не окажется, то их нетрудно сделать самому.

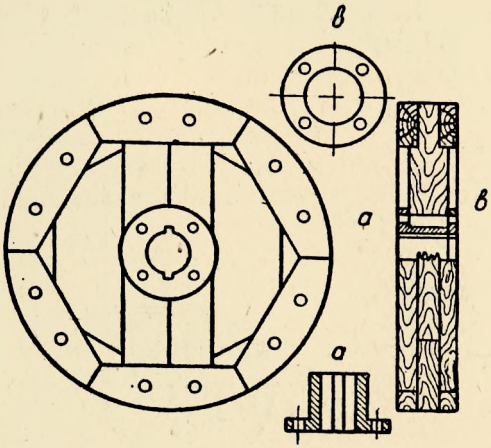
Для этого из досок в 30 *мм* толщиною скрепляем нагелями и клеем щиты в два слоя размером 400×400 *мм*. Когда щиты просохнут, вычерчиваем на них окружности диаметром 400 *мм* и по ним выпиливаем круги. В кузнице на эти круги натягиваем шины, а в их центры вставляем втулки, внутренний диаметр которых соответствует диаметру осей, на которые будут надеваться готовые катки.

На фиг. 54 дано устройство такого катка.

Шкив. При отсутствии шестеренок передачу вращения от ветродвигателя рабочим машинам можно делать посредством гибкой связи, состоящей из ремня или каната. Ремень охватывает шкив, насаженный на вал ветряка, и шкив, который сидит на валу рабочей машины. Металлические шкивы с успехом заменя-

ются деревянными. Изготовление его также просто, как изготовление обода деревянной шестеренки, и делается тем же порядком, как это мы делали при заготовке обода шестеренок.

Разница лишь в том, что обод шкива значительно шире и несколько тоньше обода шестеренки. Если шкив небольшого диаметра, то обод его закрепляется на двух спицах, как показано на фиг. 55. Если же он больше 50 *см* в диаметре, то необходимо число спиц увеличить. Крепление шкива на валу производится посредством втулки *a*, кольца *b*, четырех болтов и двух шпонок.



Фиг. 55. Простейший деревянный шкив

IV. Ветроэлектрические двигатели

В последнее время ветротехника уделяет большое внимание применению ветродвигателей для электрификации сельского хозяйства.

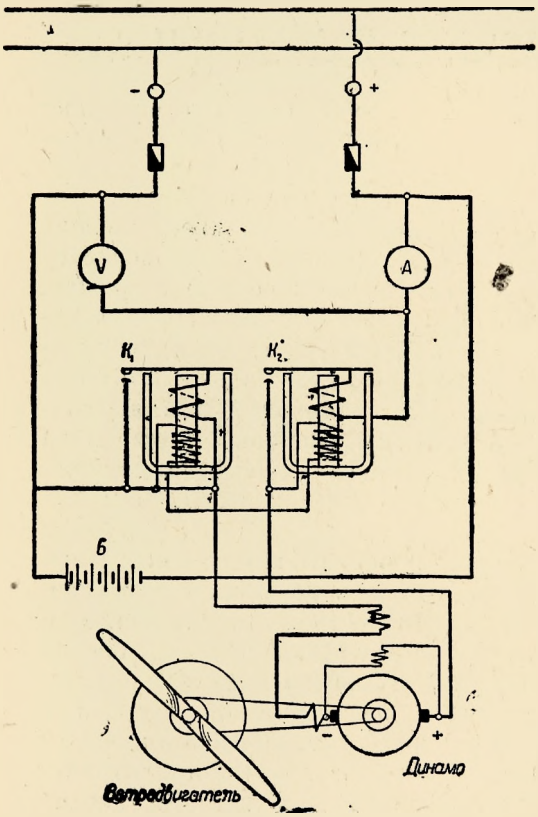
Техническая сторона этого вопроса почти разрешена. За границей, особенно в Германии, работает довольно много мелких ветроэлектрических станций мощностью ниже 100 *квт* постоянного тока. В нашем Союзе в этом отношении пошли еще дальше. По проекту Центрального ветроэнергетического института построена ветроэлектрическая станция в Крыму, которая по величине является в данный момент первой в мире. На фиг. 17 показан ветродвигатель этой станции. Он работает на генератор переменного тока мощностью до 120 *квт*, который помещен на верху башни в кабине ветряка. Вырабатываемый электрический ток посылается в общую сеть Севастопольской силовой станции.

Что же касается другой стороны проблемы ветроэлектрификации—вопроса экономического, то в этом отношении ветротехника не обладает еще достаточным количеством практических и опытных данных, которые могли бы вызвать заслуженное доверие потребителей электрической энергии. Теоретические же подсчеты дают стоимость вырабатываемой электрической энергии с помощью ветродвигателя дешевле, чем от тепловой машины, и дороже, чем от гидравлической. Таким образом ветроэлектрическая станция в районах, обладающих сильными ветрами, вполне может конкурировать с теплосиловой.

1. Некоторые замечания по ветроэлектрическим установкам

Ветроэлектрическая станция может работать параллельно с другой гидравлической или тепловой, посылая свой ток в общую сеть. Это наиболее благоприятный случай для такой станции в смысле ее оборудования, а также конструкции ветряка. Если же она работает изолированно от других, ее оборудование, а также

обслуживание получаются несколько сложнее и дороже, чем в первом случае. Одной из важных частей оборудования изолированной ветроэлектрической установки является аккумуляторная батарея, которая составляет основной расход установки. В то же время она играет чрезвычайно важную роль в работе ветроэлектрической станции, а именно: во-первых, поглощает избыток электрической энергии в сильные ветра, доставляя ее потребителю в период безветрия, и, во вторых, выравнивает напряжение, которое без батарей вследствие непостоянства силы ветра было бы неравномерным, что не позволило бы его практически использовать для освещения и работы электромоторов.



Фиг. 56. Электрическая схема ветроэлектрической станции на 1 *квт*

Зарядка батарей происходит сейчас же, как только динамо ветряка начнет посылать ток в электросеть больше того, что может взять потребитель.

Если же ветер спадает и напряжение динамо упадет ниже, чем у батареи, автоматически прерывается служащая для зарядки цепь, и этим предотвращается возможность разрядки батарей на динамо. Когда ветряк совсем остановится, потребитель пользуется энергией из батареи.

Необходимой принадлежностью распределительного устройства электроустановки является автоматический прибор — выключатель, который служит для автоматического размыкания цепи, когда напряжение тока, идущего от динамо в батарею, становится ниже ее напряжения. Без этого могла бы произойти обратная разрядка аккумулятора через динамо. А как только напряжение динамо поднимается выше напряжения батареи, автоматически приключается генератор и начинается зарядка батареи.

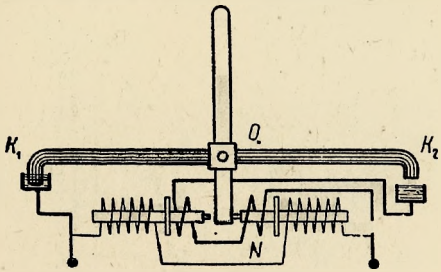
На фиг. 56 дана схема небольшой ветроэлектрической станции с автоматическим выключателем. Динамо данной станции специ-

ального закрытого типа на 1 *квт*, 30/45 *в*. Аккумуляторная батарея на 16 элементов на 30 *в* и от 73 до 109 *а-ч*.

Работа схемы заключается в следующем. Когда напряжение в батарее *Б* ниже, чем на генераторе, контакты K_1 и K_2 замкнуты, и ток от генератора поступает в батарею на ее зарядку и к потребителю. Например в данный момент генератор дает 70 *вт*, а потребитель берет только 30 *вт*. Следовательно остальные 40 *вт* идут на зарядку батареи. В том же случае, когда потребителю нужно больше того, что может дать ветряк, тогда потребитель дополнительную энергию получает из аккумуляторной батареи *Б*. Например ветряк дает 25 *вт*, а потребителю нужно 45 *вт*, следовательно дополнительные 20 *вт* потребитель получает из аккумуляторной батареи.

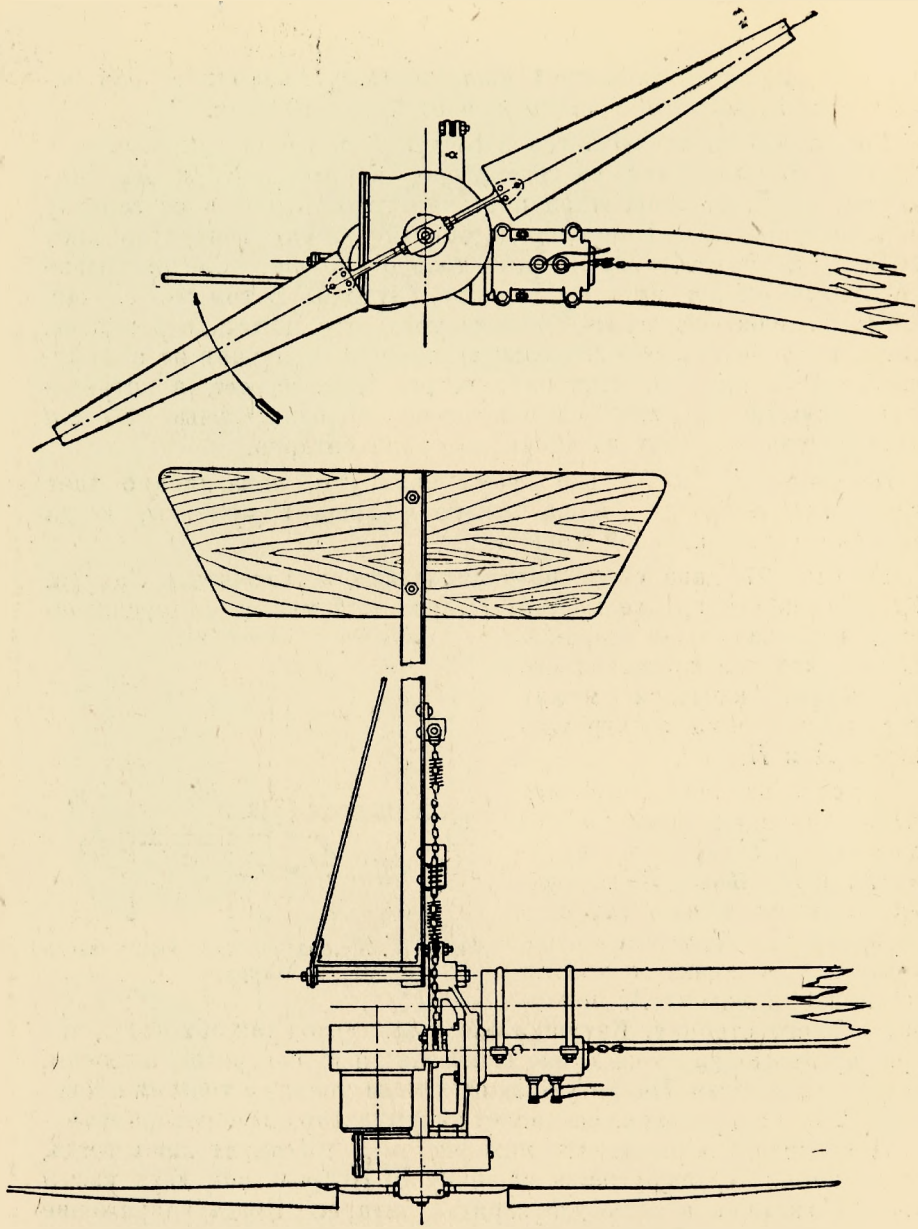
Контакты K_1 и K_2 все время замкнуты, пока динамо дает какую-либо мощность, и размыкаются лишь в моменты, когда ветряк не дает никакой мощности.

На фиг. 57 дана схема автоматического выключателя Лакура. Устройство его крайне просто. Стержневой магнит *M* уравновешен вертикально на шарнире *O* так, что нижний конец его *N* может качаться между двумя полюсами электромагнитов *A* и *B*.



Фиг. 57. Автоматический выключатель Лакура

В точке качания к магниту *M* жестко прикреплен медный стержень с загнутыми концами K_1 и K_2. Конец K_1 все время погружен в чашечку *a*, в то время как K_2 может погружаться в чашечку *b* только тогда, когда магнит *M* покачнется в его сторону. Катушки электромагнитов так обмотаны, что при прохождении тока одна оказывается с северным полюсом, другая—с южным. На катушках намотаны тонкая и толстая проволоки. Тонкая проволока соединяет аккумулятор с генератором; толстая соединена с рычажным механизмом и действует лишь тогда, когда конец K_2 погружен в чашечку *b*. Посредством двух клемм прибор включен в цепь для зарядки батареи. Когда напряжение динамо выше напряжения батареи, ток через клеммы и контакты K_1 и K_2 направляется в батарею. Как только ток в батарее станет выше, чем дает динамо, конец магнита *M* притянется электромагнитом *B*, а контакт K_2 поднимется и прервет цепь Таким образом недопускается обратное течение тока из батареи к динамо.



Фиг. 58. Ветроэлектрический двигатель мощностью на 60 *вт*, диаметр крыльев 1,5 *м*

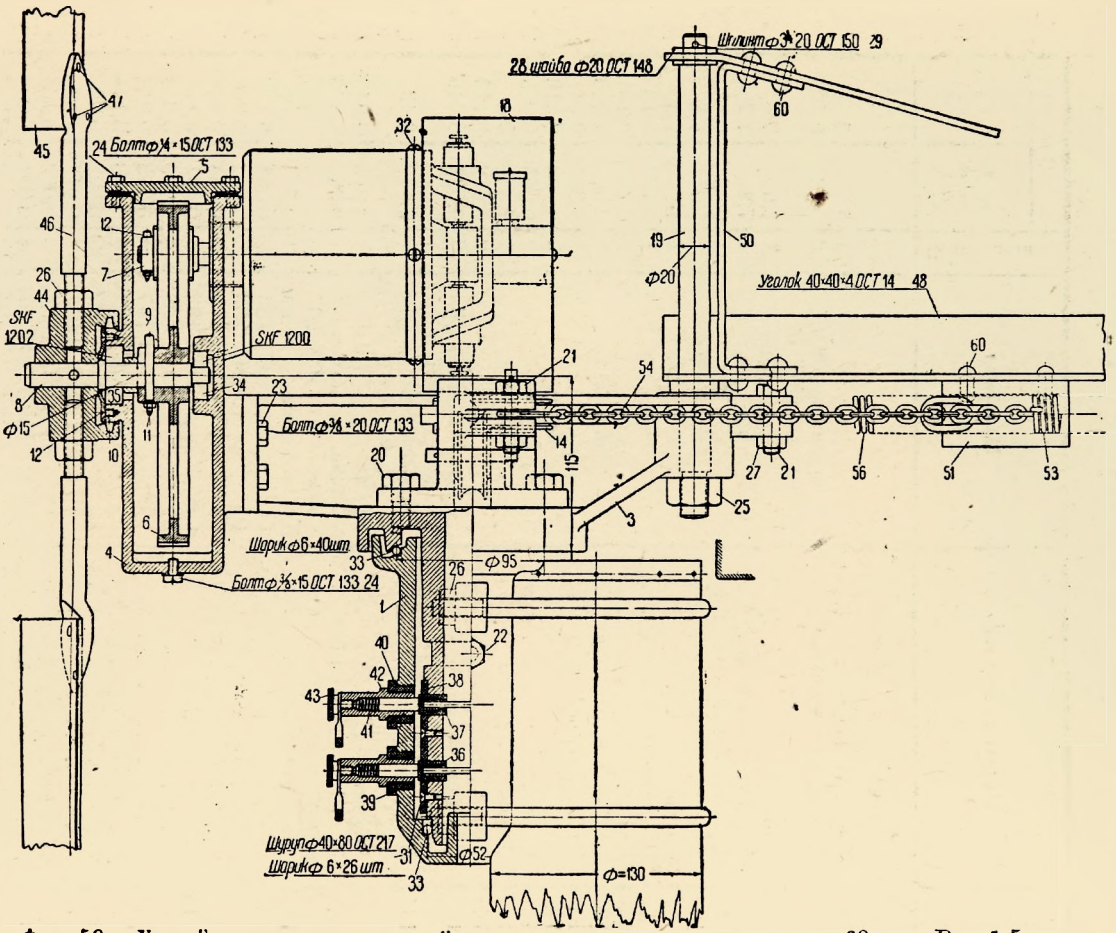
2. Как построить самому ветроэлектрический двигатель

Сам ветродвигатель для получения электрической энергии несложен. Однако вследствие того, что вместе с ветродвигателем делается полная ветроэлектрическая станция, увеличивается количество деталей.

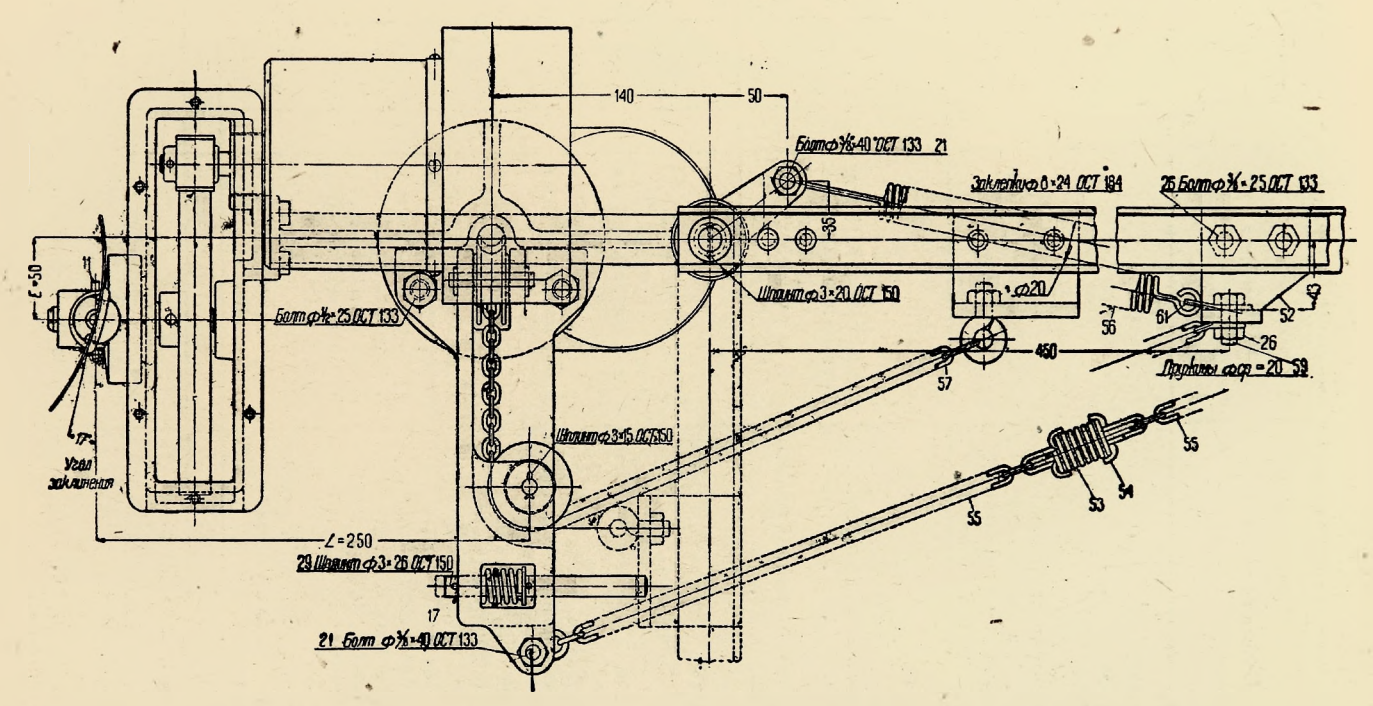
ТАБЛИЦА 6

Спецификация ветроэлектрического двигателя $D = 1{,}5$ *м* ЦВЭИ (фиг. 59)

№ деталей	Название деталей	Материал	Колич. деталей	Вес, *кг* Одной детали	Вес, *кг* Общий
	I. Головка				
1	Опора головки	Чугун	1	5	5
2	Хомут для крепления опоры	Круглое железо ∅ 12 *мм* ОСТ 8	2	0,38	0,76
3	Картер	Чугун	1	7,6	7,6
4	Коробки скоростей	„	1	7,2	7,2
5	Крышка коробки скоростей	„	1	0,93	0,93
6	Шестерня большая	Сталь	1	1,6	1,6
6а	То же	„	1	1,5	1,5
7	Шестерня малая	„	1	0,12	0,12
8	Вал	„	1	0,16	0,16
9	Шайба к подшипнику . .	Железо	1	0,023	0,023
10	Крышка подшипника . . .	„	1	0,04	0,04
11	Клин	Сталь	2	0,008	0,016
12	Клин	„	2	0,005	0,005
13	Кронштейн ролика	Чугун	1	2,4	2,4
14	Ролик	„	2	0,062	0,124
15	Ось ролика	Круглое железо ∅ 10 *мм* ОСТ 8	2	0,023	0,046
16	Штырь ударного буффа .	Круглое железо ∅ 12 *мм* ОСТ 8	1	0,43	0,43
17	Пружина	Сталь ∅ 3 *мм*	1	0,018	0,018
18	Кожух динамомашины . .	Оцинк. кровел. железо 4 *кг* ОСТ 23	1	0,36	0,036
19	Ось хвоста	Кругл. железо ∅ 20 *мм*	1	0,7	0,7
20	Болт	∅ $^1/_2$ × 25 ОСТ 133	2	0,061	0,122
21	„	∅ $^3/_8''$ × 40 ОСТ 133	2	0,042	0,084
22	„	∅ $^3/_8''$ × 25 ОСТ 133	2	0,034	0,068
23	„	∅ $^3/_8''$ × 20 ОСТ 133	4	0,031	0,124
24	„	∅ $^3/_8''$ × 15. ОСТ 133	6	0,009	0,054
25	Гайка	∅ $^5/_8$ ОСТ 147	1	0,058	0,058
26	„	∅ $^1/_2$ ОСТ 147	4	0,036	0,144
27	„	∅ $^3/_8$ ОСТ 147	2	0,02	0,02
28	Шайба	∅ 16 *мм* ОСТ 148	2	0,01	0,02
29	Шплинт	4 × 0 *мм* ОСТ 150	3	0,002	0,006
30	„	3 × 15 *мм* ОСТ 150	4	0,001	0,004
31	Винт с потайной головкой	∅ 4 × 8 *мм* ОСТ 217	12	0,0002	0,0024
32	Винт с круглой головкой .	∅ 4 × 50 *мм* ОСТ 214	5	0,001	0,0005
33	Шарик с круглой головкой	∅ 6 *мм* сталь	75	—	—
34	Шарикоподшипник	№ 1200	1	0,032	0,032
35	„	№ 1202	1	0,05	0,05



Фиг. 59а. Устройство отдельных частей ветроэлектрического двигателя на 60 *вт*, $D = 1{,}5$ *м* (боковой вид).

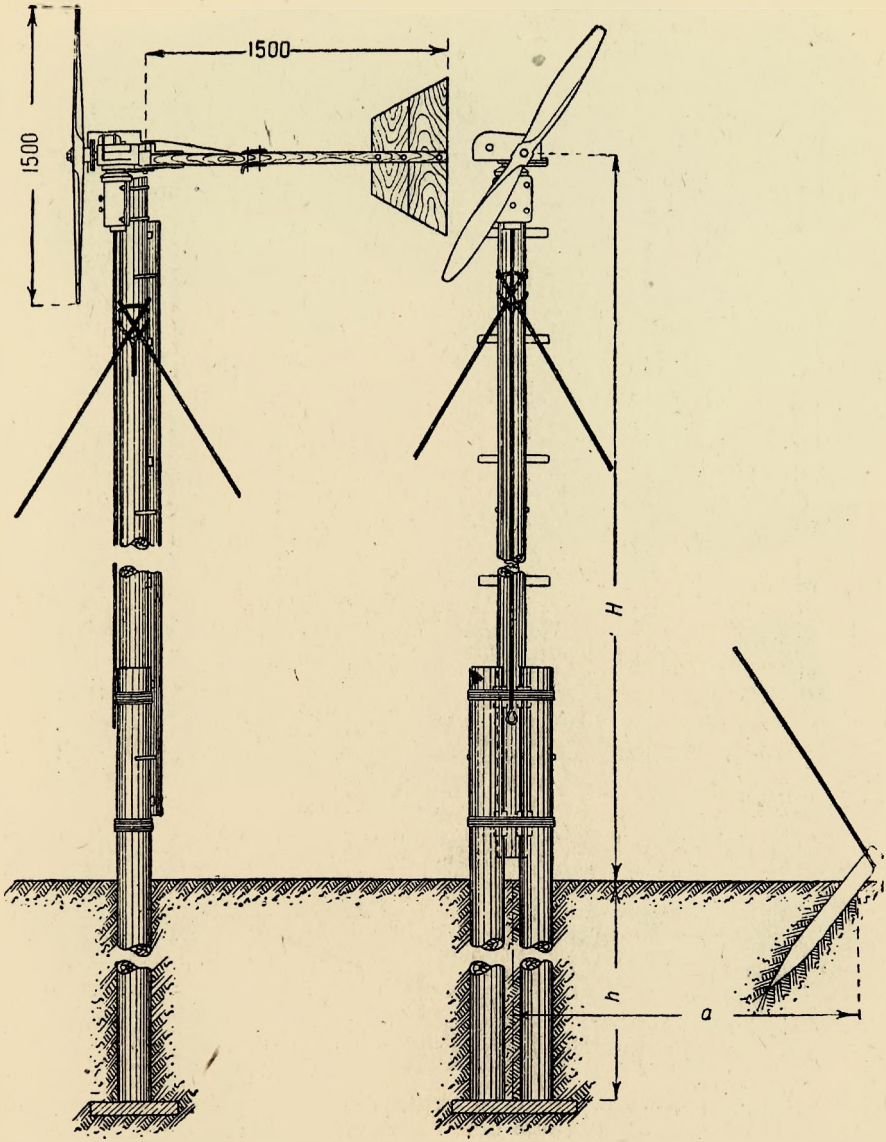


Фиг. 59б. Устройство отдельных частей ветроэлектрического двигателя на 60 *см*, $D = 1{,}5$ *м* (план)

Продолжение табл. 6

№ деталей	Название деталей	Материал	Колич. деталей	Вес, *кг* Одной детали	Вес, *кг* Общий
36	Изолирующая втулка . . .	Эбонит	2	—	—
37	Втулка	Медь	2	0,009	0,018
38	Изолирующая пластинка . .	Эбонит	2	—	—
39	Кольцо токоприемника . .	Медь	2	0,08	0,16
40	Изолирующая втулка . . .	Эбонит	2	—	—
41	Пружинка для контактов .	Стальн. пров. ∅ 1 *мм*	2	0,0001	0,0002
42	Колочка для контактов . .	Медь	2	0,052	0,104
43	Винт для контактов . . .	„	2	0,009	0,018
			—	—	30,28
	II. Крыло				
44	Втулка крыла	Чугун	1	1,2	1,2
45	Лопасть крыла	Сталь оцинков. 1 *мм*	2	0,38	0,76
46	Max	Круглое жел. ⌀ 15 *мм* ОСТ 8	2	0,276	0,552
47	Заклепка с потайной голов. .	∅ 6 × 14 *мм* ОСТ 185	6	0,005	0,03
26	Гайка	∅ 1/2″ ОСТ 184	2	0,036	0,072
			—	—	2,60
	III. Хвост				
48	Уголок хвоста	Угловое железо 40 × × 40 × 4 *мм* ОСТ 14	1	3,34	3,34
49	Планка	Полос. жел. 30 × 4 *мм* ОСТ 13	1	0,85	0,85
50	Распорка	„	1	0,4	0,4
51	Ударная пластинка	Полос. жел. 80 × 8 *мм* ОСТ 13	1	0,026	0,026
52	Кронштейн пружины . . .	„	1	0,035	0,035
53	Буферная пружина	Пров. стальн. ∅ 3 *мм*	1	0,026	0,026
54	Крючок буферной пружины	Пров. желез. ∅ 3 *мм*	2	0,009	0,018
55	Цепь буферной пружины .	Короткозвен. ∅ 3 *мм*	2	—	—
56	Пружина регулирующая .	Пров. стальн. ∅ 3 *мм*	1	0,23	0,23
57	Цепь останова	Короткозвен. ∅ 3 *мм*	—	—	—
58	Оперение хвоста	Доски толщин. 12 *мм*	—	—	—
59	Пластинка	Полосов. железо 45 × × 4 *мм* ОСТ 13	1	0,37	0,37
60	Заклепка с круглой головкой	∅ 8 × 24 *мм* ОСТ 184	6	0,013	0,075
61	Скоба регулирующей пружины	Полосов. железо 25 × × 4 × 45 *мм* ОСТ 13	1	0,056	0,056
			—	—	5,43
	Общий вес двигателя . . .		—	—	38,32

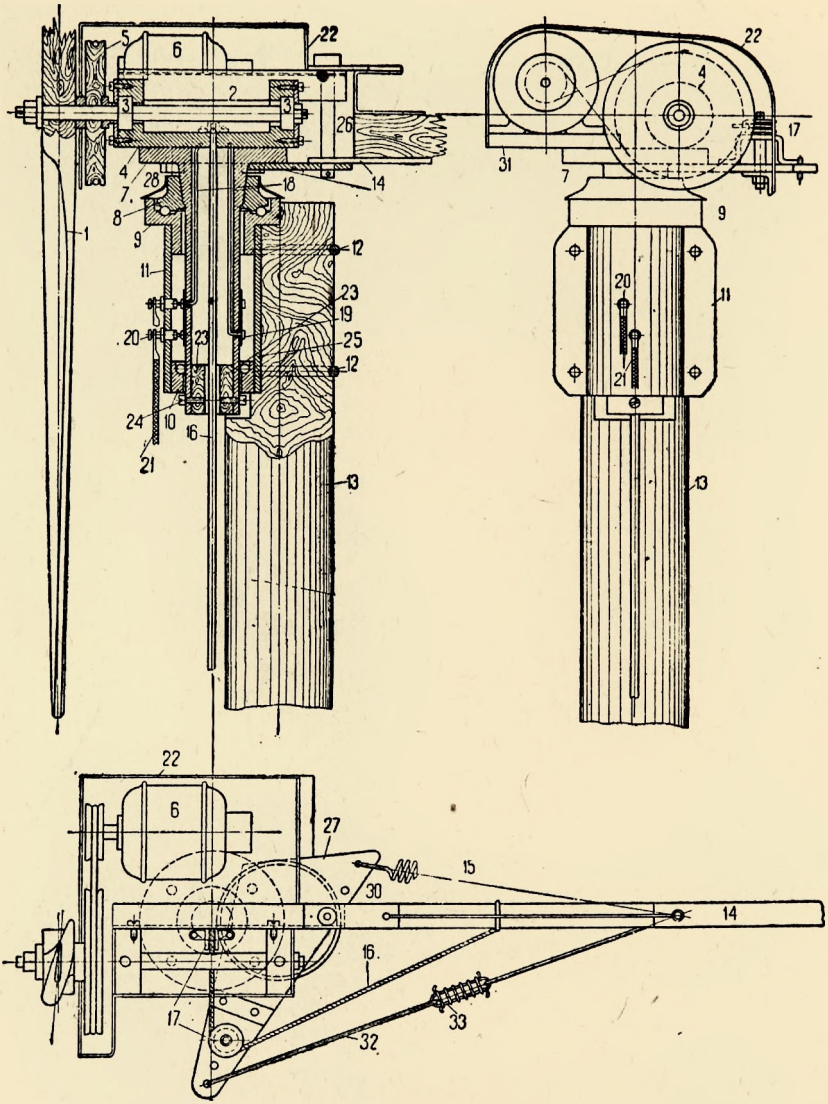
Примечание. На фиг. 59 показаны не все детали, перечисленные в данной спецификации.



Фиг. 60а. Общий вид ветроэлектрического двигателя

Кроме того требуется несколько большее количество металлических частей, так как необходимо делать ветроэлектрическую установку по возможности автоматической.

На фиг. 58 дан общий вид небольшого ветроэлектрического двигателя с диаметром ветряного колеса 1,5 *м*, мощностью на



Фиг. 60б. Устройство отдельных частей ветроэлектрического двигателя, который можно сделать самому

60 *вт*, а на фиг. 59 показано устройство его отдельных частей, веса и количество которых приведены в табл. 6. Такой ветродвигатель изготовляется заводским порядком по проекту ЦВЭИ.

Подобный же ветроэлектрический двигатель нетрудно выполнить и самому с помощью небольшой механической мастерской для обточки некоторых деталей. Общий вид и устройство отдельных частей такого ветряка показаны на фиг. 60а и б.

Ветряное колесо *1* пропеллерного типа насажено на горизонтальный вал *2*, который вращается в шарикоподшипниках *3*. Последние закреплены в опоре *4*, которая двумя болтами привернута к фланцу чугунной трубы *7*, подбираемой из железного лома. Посредством деревянных шкивов *5* вращение ветряного колеса передается динамомашине *6*, закрепленной на плите *31*, которая привернута к этому же фланцу другою парою болтов. Труба *7* кольцом *8* опирается на шариковую опору *9*, а внизу проходит сквозь кольцо *10* и боковыми стенками опирается на шарики, размещенные в кольцевой выточке. Таким образом труба *7* вместе с закрепленным на ней ветродвигателем и динамо легко может поворачиваться в опоре *9* и кольце *10*. Последние обхвачены хомутом *11* и привернуты к плите *25*, а вместе с нею к столбу *13* посредством болтовых хомутов *12—12*.

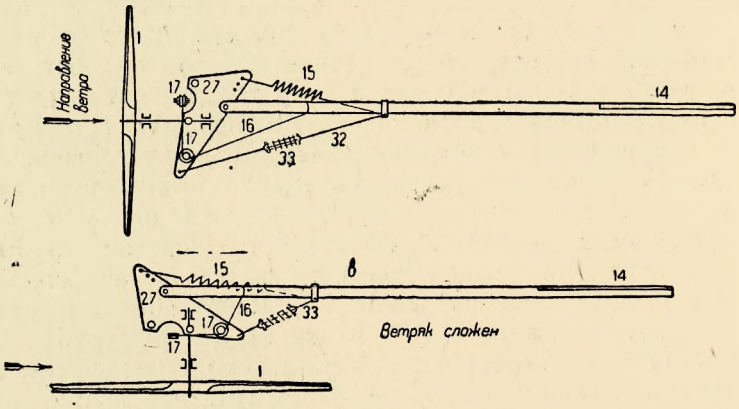
Ветряк устанавливается по ветру автоматически посредством хвостового руля *14*, называемого просто хвостом. При этом хвост соединен с ветряком шарнирно так, что, когда необходимо остановить работу ветряка, ветряное колесо и хвост можно сложить, установив в одной плоскости; тогда хвост будет держать ветряное колесо ребром к ветру, и вращаться оно не будет. В таком положении ветродвигатель называют сложенным.

Складывание ветряка производится посредством веревки *16*, которая одним концом привязана к хвосту, а другой ее конец, перекинутый через ролики *17*, проходит в отверстие трубы *7* и спускается вниз. На нижнем конце трубы вставлена деревянная втулка *23* и закреплена шурупами *24*. Небольшое отверстие во втулке служит направляющей веревки по центру трубы. Если снизу потянуть за нижний конец веревки, то хвост начнет поворачиваться на шарнирном болте *34*, будучи все время уравновешен пружиной *15*. Когда хвост станет в одной плоскости с ветряком (см. схему на фиг. 61), веревку *16* закрепляют, и ветряк не будет работать до тех пор, пока не освободят веревку. Канат *32* с буферной пружиной *33* удерживает хвост от ухода его влево под действием пружины *15*. Буферная пружина *33* поставлена для того, чтобы не происходило ударов при быстром раскладывании хвоста и внезапных порывах ветра со стороны каната *32*.

Этот ветродвигатель автоматически же предохраняется от разноса в сильные ветры, а в бурю сам складывается без воздействия на него веревкой *16*.

Для этого сделано следующее устройство. Ось вращения ветряного колеса смещена на 50 *мм* относительно вертикальной оси трубы *7*. При давлении ветра на ветряное колесо получается сила ветра, приложенная на плече, равном 50 *мм*, вправо от вертикальной оси вращения. Совершенно очевидно, что эта сила повернет головку ветряка на оси трубы *7*, что легко осущест-

вимо, так как труба опирается на шариковую опору *9*. Однако вследствие того, что по другую сторону этой оси действует усилие пружины *15*, которая одним концом закреплена к косынке *27*, а другим к хвосту, складывание ветряка от действия силы ветра на ветряное колесо с правой стороны оси будет происходить не сразу, а по мере возрастания силы ветра. При этом будет иметь место следующее явление. Как только увеличится сила ветра, ветряное колесо отклонится на некоторый угол, при этом рычаг вытянет пружину, отчего сейчас же увеличится ее сила. Таким образом будет получаться постоянное равновесие между силой ветра, действующей справа на плече в 50 *мм*, и силой пружины, действующей на некотором плече с левой стороны оси вращения. Делая предварительную затяжку пружины слабее или сильнее, можно добиться того, что ветряк будет начинать складываться при определенной скорости ветра,



Фиг. 61. Схема вывода ветряка из-под ветра

а совершенно сложится уже при скорости ветра, превышающей 25 *м/сек*. При этом во все время складывания ветряк будет работать и остановится лишь тогда, когда ветряное колесо станет совершенно ребром к ветру. Если бы не происходило изменения положения ветряного колеса к направлению ветра, то при возрастании его скорости ветряное колесо также увеличивало бы свою скорость вращения. Так как при повышении скорости ветра выше необходимой ветряное колесо начинает уклоняться от прямого действия ветра, то и рабочая сила его на крыльях колеса не возрастает, а следовательно и число оборотов до некоторой степени удерживается постоянным.

Электрический ток от динамомашины передается проводами *18*, проходящими внутри трубы *7*, медным кольцам *19*, надетым на эту трубу. Между кольцами и стенкой трубы поставлена изолирующая прокладка. Электрический ток с колец забирается сколь-

зящими контактами *20* и по проводам *21* передается к распределительному щиту, расположенному в помещении, где должна помещаться также и аккумуляторная батарея. От распределительного щита ток направляется к потребителю электрической энергии.

Весь механизм ветродвигателя и электродинамо предохранен от атмосферных осадков кожухом *22*, сделанным из кровельного железа или из фанеры.

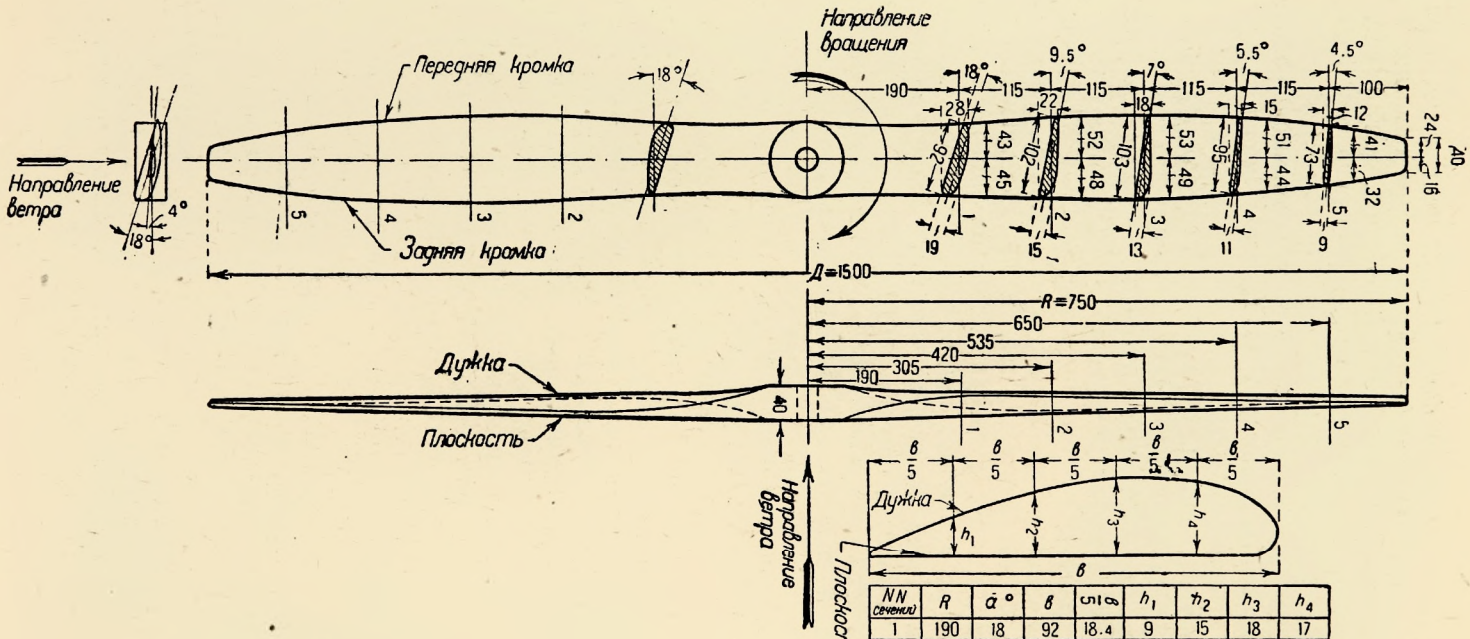
Далее рассмотрим, каким образом можно самому построить основные детали данного ветроэлектрического двигателя.

Ветряное колесо ветроэлектрического двигателя. Из практики и опытов известно, что быстроходность ветряного колеса зависит от его диаметра и числа лопастей. Чем меньше число лопастей ветряного колеса и чем меньше диаметр его, тем оно будет быстроходнее, и чем больше лопастей и больше его диаметр, тем тихоходнее. Это обстоятельство необходимо принимать во внимание, когда стоит вопрос о быстроходности ветряка. Далее известно, что многолопастное ветряное колесо может начинать работать почти с полной начальной нагрузкой, тогда как малолопастное в начале вращения имеет слабый крутящий момент и не может брать значительную нагрузку с места.

В практике обычно и ставят ветряные колеса с большим числом лопастей у ветродвигателей, которые принуждены работать с полной начальной нагрузкой, например на поршневые насосы, и с малым числом лопастей — у ветродвигателей, начальная нагрузка которых невысокая, например, при работе с генератором. Кроме того генератор требует большого числа оборотов, а малолопастное ветряное колесо как раз и отличается этим свойством. Поэтому у ветряков, применяемых для электрических целей, в большинстве случаев ставят малолопастные ветряные колеса.

Двухлопастное ветряное колесо представляет наименьшее число лопастей. Правда, можно пользоваться и однолопастным ветряным колесом, как это иногда делают у авиационных ветрянок, служащих для вращения электродинамо на самолетах, однако в практике ветротехники однолопастные ветряные колеса не применяются вследствие их слишком малого начального крутящего момента. Ветряное колесо из двух лопастей является наиболее подходящим для небольших ветроэлектрических двигателей.

Изготовление двухлопастного ветряного колеса пропеллерного типа диаметром 1,5 *м* можно делать так. Возьмите тесину, совершенно ровную, хорошо высушенную, без сучков, размером 20×200 *мм* в сечении и 4,5 *м* длиною, разрежьте ее на три равные части (длина каждой из них будет равна 1,5 *м*). Нарезанные доски необходимо хорошо выстрогать так, чтобы толщина их стала примерно по 16 — 17 *мм*, а затем смазать столярным



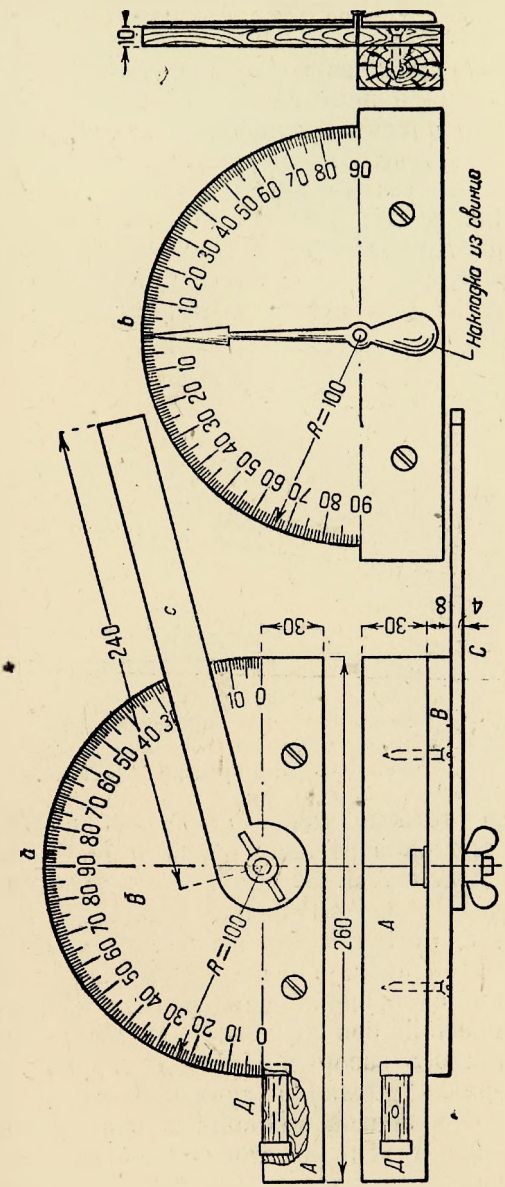
NN сечений	R	α°	в	в/5	h_1	h_2	h_3	h_4
1	190	18	92	18.4	9	15	18	17
2	305	9.5	102	20.4	7	11.5	14.5	14
3	420	7	103	20 6	7	11	12.5	11.5
4	535	5.5	95	19.0	6	9	11	9.5
5	650	4.5	73	14 6	5	7.5	9	8

Фиг. 62. Двухлопастное ветряное колесо пропеллерного типа

клеем, сложить в три слоя и зажать в тисках. После того как данная заготовка хорошо высохнет, можно приступить к ее обработке. Придание лопасти необходимой формы (фиг. 62) представит наиболее трудную задачу. Необходимо с большой осторожностью срезать с заготовки излишний материал, проверяя каждый раз с помощью самодельного угломера и шаблонов дужек каждое сечение лопасти, показанное на чертеже. При этом наклон лопасти к плоскости вращения ветряного колеса, считая от оси вращения на расстоянии 190 *мм*, должен быть 18°. Это сечение обозначено цифрой *1*. Далее в сечении *2* угол наклона должен быть 9,5°, в сечении *3* — угол 7°, в сечении *4* — угол 5,5° и в сечении *5* — угол 4,5°. Устройство угломера показано на фиг. 63.

На деревянной рейке *А* закрепите транспортир *В*, выпиленный из доски. В центре транспортира поместите на шарнире линейку *С* так, чтобы линия ее нижней кромки проходила как раз через центр. Нижняя кромка линейки *С* и будет указывать углы ее наклона.

Чтобы легче было проверять горизонтальное положение рейки *А*, на ней можно закрепить уровень *Д*, как показано на фиг. 63, *а*. Более простой угломер можно построить так. Выпилите из доски транспортир, наметьте деления градусов по окруж-

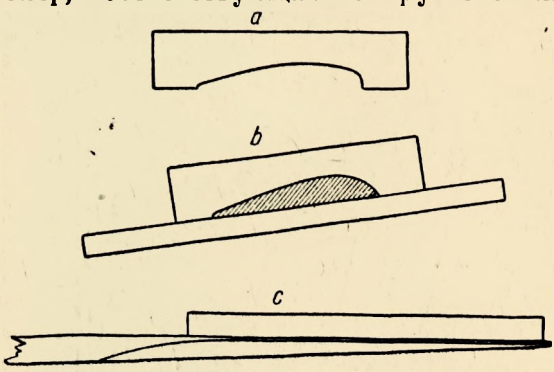


Фиг. 63. *а*—угломер с уровнем, *б*—угломер с качающейся стрелкой

ности, а в центре на гвоздь наденьте свободно стрелку с грузиком на хвосте (фиг. 63, *b*). При наклонениях угломера стрелка будет грузиком устанавливаться вертикально и показывать углы отклонений на дуге транспортира.

Нанесение делений на дуге угломера можно сделать с помощью маленького транспортира, установив его центр в центр угломера и наметив на нем точки делений по дуге транспортира. Затем, проведя радиальные линии через центр угломера и намеченные точки, вы получите шкалу градусов на дуге вашего простейшего угломера. Для легкости отсчетов углов расставьте цифры по шкале так, как указано на чертеже.

Шаблоны для дужек сечений лопасти можно выпилить из тонкой тесины или фанеры. Каждый шаблон должен иметь свой номер, соответствующий номеру сечения. Дужки шаблонов вырезаются по размерам, данным в таблице к фиг. 62. На фиг. 64 дано устройство одного из таких шаблонов. При проверке сечения шаблон устанавливается нижней кромкой на какую-нибудь поверхность, приложенную к нижней поверхности лопасти, которая перед этим уже должна быть обработана и пригнана по угломеру. Дужка шаблона должна точно совпадать с дужкой лопасти, после того как она окончательно обработана. При предварительных обмерах дужек необходимо делать так, чтобы каждое сечение имело некоторый запас материала толщиной примерно $^1/_2$ *мм*. Этот запас вами снимется, когда вы будете проверять лопасть по ее длине. При этой проверке необходимо добиться того, чтобы при наложении совершенно ровной линейки на обработанную лопасть по продольной оси (фиг. 64, *c*) между линейкой и лопастью не получалось зазоров. Путем осторожного сострагивания лишнего материала можно получить полное совпадение линейки с лопастью в продольном направлении и шаблонов в поперечном.



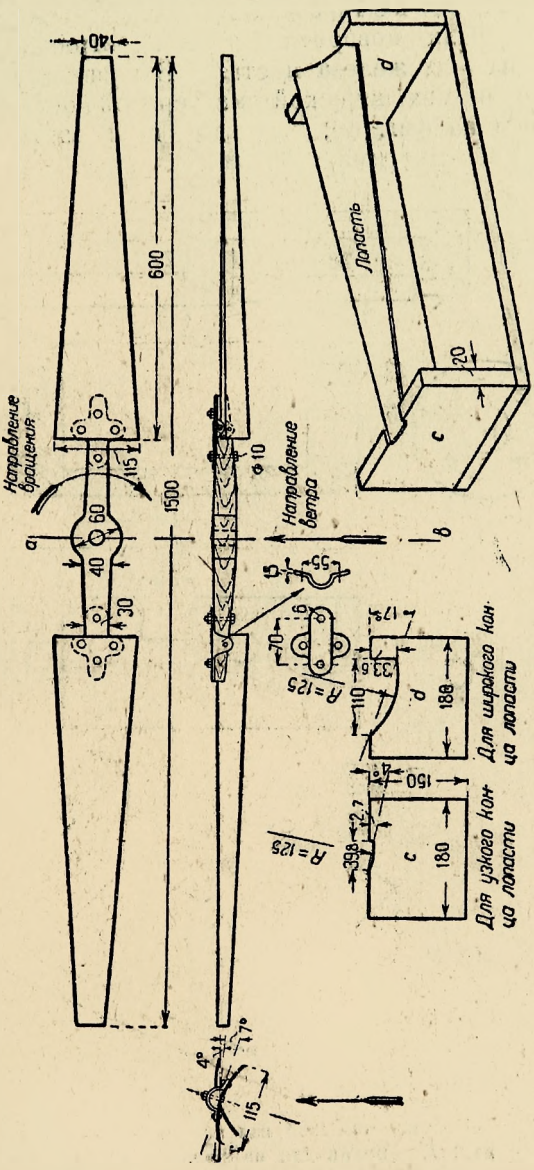
Фиг. 64а. *a* — шаблон для проверки дужек лопасти; *b* — выверка лопасти в поперечном направлении; *c* — выверка лопасти в продольном направлении

Менее трудно изготовить лопасти для такого ветряного колеса из листового железа (фиг. 65).

От железного листа толщиною приблизительно в 1 *мм* отрезаются две заготовки под лопасти размером каждая по длине 600 *мм*, а по ширине в узкой части 42 *мм* и в широкой

120 *мм*. Заготовка должна представлять правильную трапецию. С помощью тисков и молотка каждую заготовку необходимо обработать так, чтобы ее концы стали друг к другу под углом в 13°. При этом узкий конец лопасти с горизонтом должен составлять 4°, а широкий 17°. После этого заготовки с помощью деревянного молотка и кругляка, диаметр которого равен 250 *мм*, выбиваются в виде желобка, дужка которого имеет радиус 125 *мм*. Хорда дужки полученной лопасти на широком конце будет иметь 115 *мм*, а на узком 40 *мм* (фиг. 65, *а*).

Далее необходимо проверить, сохранился ли угол в 13° между этими хордами. Для проверки можно сделать простое приспособление из двух подставок *с* и *d* (фиг. 65, *b*). У подставки *с* дужка вырезается с тем же радиусом, что и узкий конец лопасти, а хорда этой дужки с горизонтом составляет 4°. Подставка *d* под широкий конец лопасти должна иметь дужку с тем же радиусом, т. е. 125 *мм*, а хорда составлять угол с горизонтом в 17°. При проверке необходимо добиться, чтобы лопасти на подставках лежали без зазоров между лопастью и дужкою подставки.

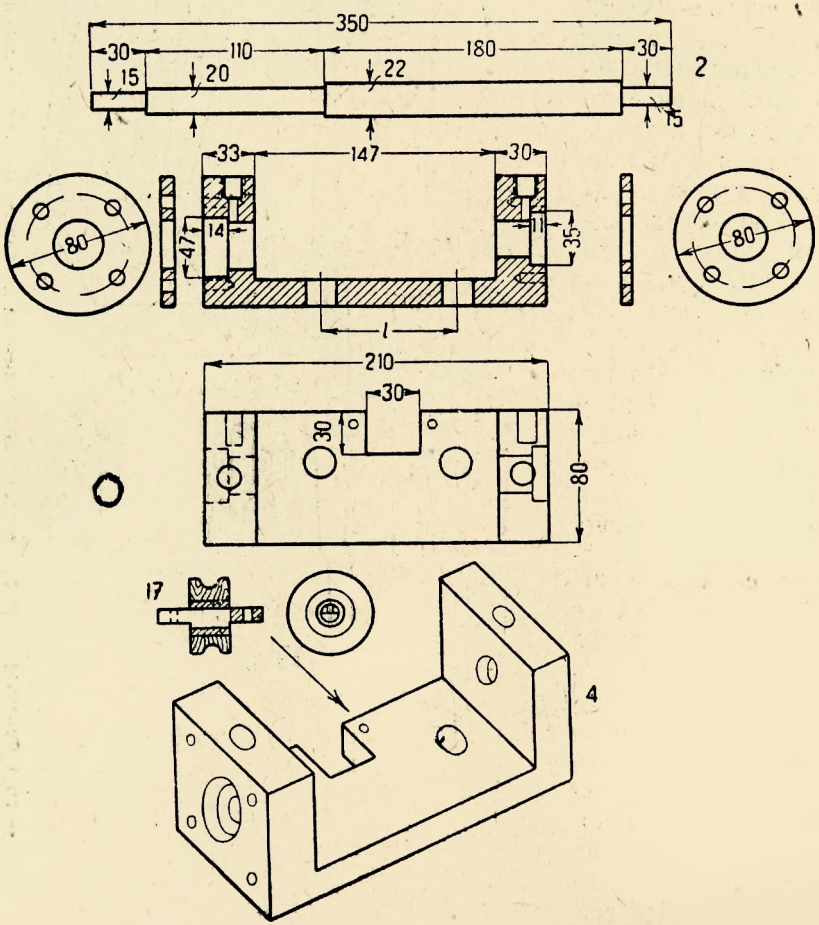


Фиг. 65. *а* — двухлопастное ветряное колесо с лопастями из листового железа; *b* — проверка углов наклона лопасти с помощью приспособления

Крепление лопастей на махах делается так, чтобы хорда ши-

рокой части лопасти стояла под углом 17° к плоскости вращения ветряного колеса, тогда конец ее станет под углом 4°. Устройство махов и крепление к ним лопастей ясно из чертежа.

Детали ветроэлектрического двигателя. Основные детали поворотной части ветряка, называемой головкой, делаются из железа и стали. В кузнице делаются заготовки, которые в механической мастерской обтачиваются по размерам, данным на фиг. 66, и каждая пригоняется на свое место в сочетании с другими деталями.

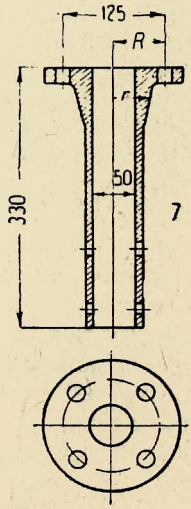


Фиг. 66. *2* — горизонтальный вал ветряка; *4* — опора, несущая горизонтальный вал; *17* — ролик для направления каната по центру трубы *7*

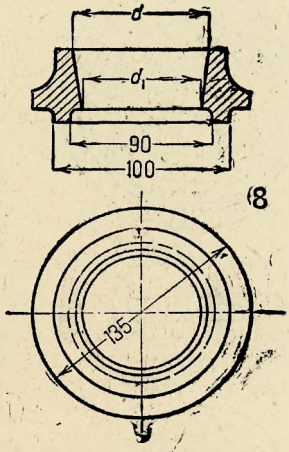
Порядок изготовления их не требует особых указаний. По поводу некоторых деталей, их размеров, а также размеров, не указанных на чертеже, необходимо заметить следующее:

Детали *2*—вал и *4*—опора, несущая этот вал (фиг. 66), обрабатываются после того, как куплены шарикоподшипники. Размеры вала и гнезд под шарикодшипники в опоре *4* необходимо делать в соответствии с размерами полученных шарикоподшипников. Для данного диаметра ветряка размеры шарикоподшипников подойдут такие. Передний подшипник должен иметь внешний диаметр 47 *мм*, а ширину кольца 14 *мм*, задний же должен иметь диаметр 35 *мм*, а ширину колец 11 *мм*. По этим размерам вытачиваются в опоре два гнезда. Внутренние диаметры шарикоподшипников соответственно равны 20 и 15 *мм*.

Труба *7*—основная опора ветряка—берется из старых чугунных фланцевых труб с диаметром в свету 50 *мм* (фиг. 67). Эта



Фиг. 67. Фланцевая труба, на которой монтируется ветряк



Фиг. 68. Стальное кольцо, надеваемое на трубу 7

деталь более надежно будет работать, если изготовить ее из стальной трубы с приварным фланцем. К фланцу этой трубы болтами привертываются опора *4*, плита *31* под динамо, которая отдельно на чертеже не дана и изготовляется по месту при сборке ветряка, и косынка *27*. Болтовые отверстия для крепления этих деталей к фланцу и расстояние между ними необходимо делать такие же, как и у самого фланца.

Отверстие кольца *8* обрабатывается на конус. Размеры его d и d_1 (фиг. 68) подгоняются по трубе в том месте, где оно должно сидеть. При этом необходимо подогнать его так, чтобы верхняя кромка кольца не подходила вплотную к головкам болтов фланца.

Шарики, уложенные на шариковой опоре *9* и кольце *10* (фиг. 69), должны иметь диаметр около *7 мм*. Количество их для опоры *9* при диаметре *7 мм* будет равно 54, а для кольца *10* равно 32. Вообще количество шариков определяется делением длины окружности, по которой укладываются шарики, на их диаметр, т. е. $\frac{2\pi r}{d}$, например для детали *9* имеем: $\frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 60}{7} = 54$.

Фиг. 69. *9* — шариковая опора, на которой поворачивается ветряк при установке на ветер и выводе из-под ветра; *10* — шариковое кольцо для восприятия боковых усилий

Косынка *27* вырезается из 3-или 4-миллиметрового железа (фиг. 70). Ее отверстия для крепления к фланцу, а также под ось, на которой поворачивается хвост, необходимо наметить по месту, установив на фланце опору *4* с привернутым к ней уголком *30*. На этой косынке устанавливается из 3-или 4-миллиметрового листового железа скоба с роликом *17* для направления веревки *16* к другому такому же ролику *17*, показанному на фиг. 66. Последний закрепляется в выточке на основании опоры *4*. Ролики вытачиваются из клена или дуба внешним диаметром их 50 *мм*, а глубина канавки под канат *10 мм*. В отверстие ролика под ось, на которой он вращается, необходимо вогнать металлическую трубочку с диаметром в свету 10 *мм*; с таким же диаметром должна быть и ось ролика.

Детали *11*, *12* и *25*, показанные на фиг. *71*, изготовляются по размерам, указанным на чертеже. Отверстия в детали *11* под контакты должны быть расположены против колец *19*, одетых на трубу *7*.

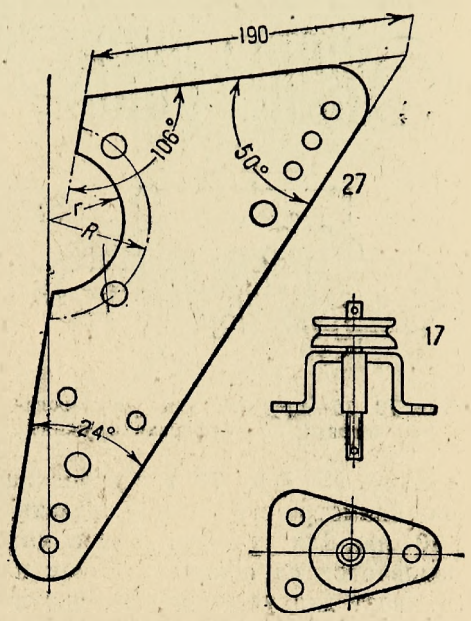
При сборке необходимо сначало сделать посадку кольца *8* на трубу *7*, затем надеть на нее втулку *9* и только после этого надевать на трубу изоляцию и контактные кольца *19*.

Далее нижний конец трубы вставляется в кольцо *10*, и все

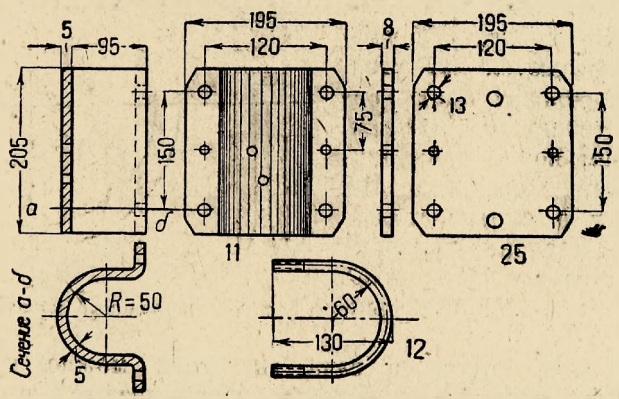
устройство двумя шурупами прихватывается к плите *25*. Для этой цели во втулке *9* и кольце *10* срезана одна сторона внешней поверхности на плоскость, на которой сделано отверстие с нарезкой под шурупы. После этого посредством хомута *11* и двух болтовых хомутов *12* данное устройство закрепляется наверху столба *13*, конец которого срезается соответственно форме деталей, соприкасающихся со столбом.

Серьезную задачу при изготовлении данного ветряка представит пружина *15*, показанная на фиг. 72. Если ее не удастся навить в механической мастерской, то можно подобрать из старых пружин, соединив их в одну более длинную. Сюда могут подойти также хорошие дверные пружины. Диаметр проволоки этой пружины должен быть не более 2,5 *мм*. Размеры пружины для данного ветряка должны быть таковы: свободная длина $L = 170$ *мм* при положении витков вплотную друг к другу; ее диаметр $D = 25$ *мм*; количество витков 64.

Буферная пружина *33* делается из этой же проволоки с

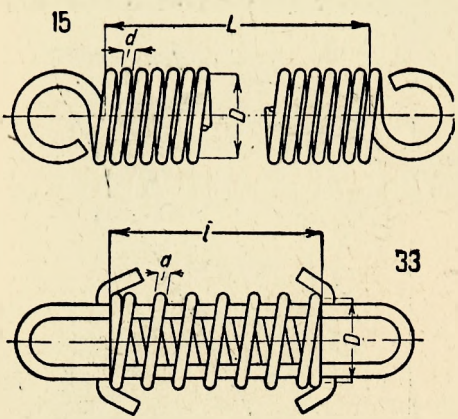


Фиг. 70. Косынка для крепления деталей регулирования ветродвигателя



Фиг. 71. *11*—хомут из листового железа для крепления трубы *7* к столбу ветряка; *12*—хомут из круглого железа для этой же цели; *25*—плита, на которой монтируются труба, опора и кольцо *10*

тем же диаметром D. Количество витков должно быть равным 7. Ввиду того что эта пружина работает на сжатие, расстояние между витками должно быть не менее 10 *мм*, когда пружина находится в свободном состоянии, что дает свободную длину пружины около 65 *мм*.

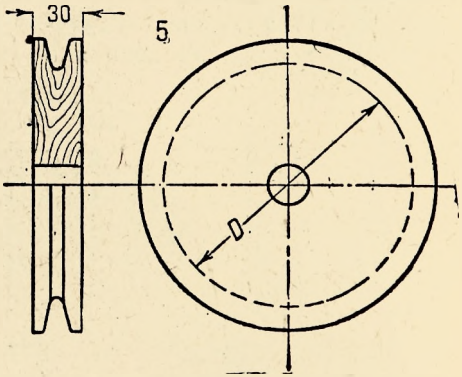


Фиг. 72. *15*—пружина для регулирования ветряка; *33*—буферная пружина

Диаметры шкивов для передачи вращения от ветряка к динамо делаются в зависимости от числа оборотов динамо и ветряка. Проектируемый нами ветряк может давать около 500 об/мин при скорости ветра 8 *м/сек*.

Следовательно, если динамо требует 1 000 об/мин, передаточное число равно 2. Это значит, что диаметр шкива, сидящего на валу ветряка, должен быть в два раза больше диаметра шкива на валу динамо. На фиг. 73 дан деревянный шкив для канатной передачи. Диаметр его можно делать для нашего случая не более 150 *мм*. Для лучшего охвата малого шкива канатиком последний надевается на шкивы так, как показано на фиг. 59.

Хвост для установа ветряка по ветру изготовляется из дерева. Основные размеры его даны на фиг. 74. Хвостовое оперение делается из трех досок, которые прибиваются к хвостовине гвоздями так, чтобы каждая доска своим краем находила на соседнюю доску, для чего края их срезаются на угол. Хвостовина должна иметь сечение не менее 40 × 30 *мм*. На переднем конце привернуты болтами две железных планки *a* и *b* с отверстиями под ось *c*, которая проходит сквозь пластину *a*, уголок *30*, пластину *b* и наконец косынку *27*.

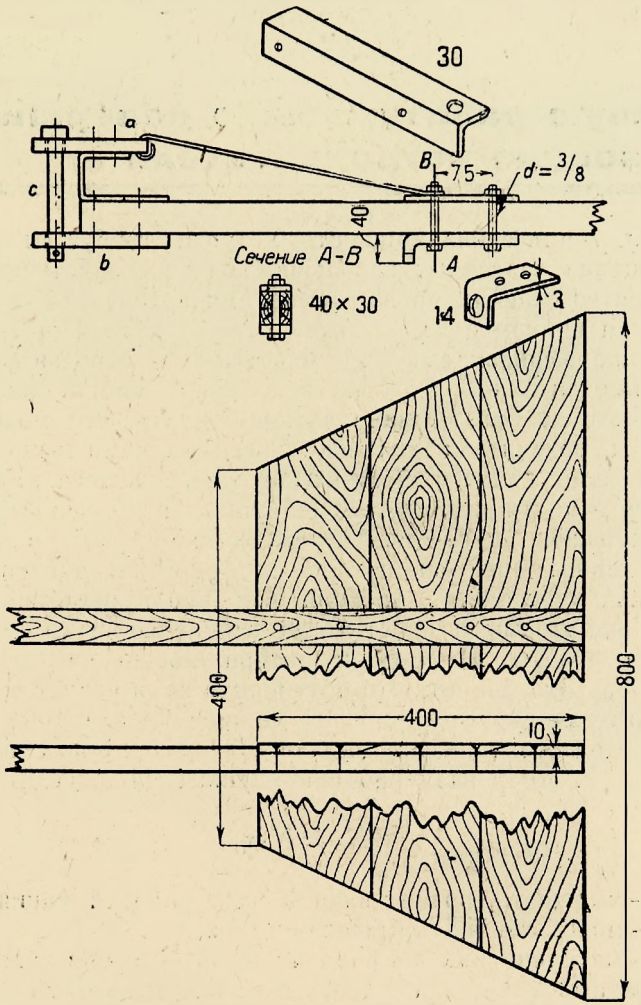


Фиг. 73. Деревянный канатный шкив

Смазку горизонтального вала двигателя можно производить штауферными масленками, которые завертываются в отверстия, сделанные в опоре *4* над шарикоподшипниками. Смазка шариков опоры *9* производится заливкой смазки на эту опору. Масло за-

держивается бортиками с внешней и внутренней сторон кольца опоры. Шарики кольца 10 смазываются маслом, стекающим с опоры *9*.

Электрическое оборудование для такого ветряка будет состоять из динамо на 60 *вт*, аккумуляторной батареи из 6 элементов



Фиг. 74. *14*—хвост для установа ветряка по ветру; *30*—уголок для крепления шарнира, на котором поворачивается хвост

на 12 *в*, 4,5 *а* и автоматического выключателя, изготовленного по системе Лакура или Форда. Последний имеется в продаже в магазинах запчастей автомашин и тракторов.

V. Какую работу можно совершить с помощью ветродвигателя

В табл. 7 приведена мощность, которая требуется от ветряка для вращения различных небольших сельскохозяйственных машин, и количество работы, совершаемое ими в течение часа.

Обращая внимание на последнюю графу данной таблицы, видим, что хорошо выполненный нами простейший ветродвигатель может быть применен для приведения в движение многих машин, перечисленных в таблице. Однако нужно помнить, что мощность, которую мы подсчитали для изготовляемых нами ветряков, относится к мощности на крыльях ветряного колеса. Если же эту мощность отнести к валу рабочей машины, то она будет значительно меньше, так как при передаче ее от крыльев к валу рабочей машины имеются потери на трение в подшипниках и в механизмах передачи. Эти потери особенно велики, когда подшипники не шариковые, а простые, да к тому же плохо смазываемые во время работы. В среднем потери можно считать равными около 30%. Это значит, что полученная нами расчетом мощность ветродвигателя передает рабочей машине не все 100%, а только 70%. Следовательно, если мощность ветродвигателя на крыльях равна 1 *л. с.*, то к валу рабочей машины он подведет мощность, равную

$$N_e = N \cdot \eta,$$

где N_e — мощность, подведенная к валу рабочей машины,

N — мощность, на крыльях ветряка,

η[1] — механический коэфициент полезного действия, в нашем случае равный 70%, или в долях равный 0,7, который показывает, какая часть мощности от ветряка передана рабочей машине.

Подставляя значения $N = 1$ *л. с.* и $\eta = 0{,}70$, получим подведенную мощность от ветродвигателя к валу рабочей машины равной

$$N_e = 1 \cdot 0{,}7 = 0{,}70 \text{ л. с.}$$

---

[1] η—греческая буква, читается „эта".

Таким образом, чтобы установить, к каким рабочим машинам подходит наш ветродвигатель, мы должны мощность ветряка, подсчитанную по уравнению

$$N = \frac{\rho F v^3 \xi}{2 \cdot 75},$$

умножить на механический коэфициент полезного действия, который берется равным около 0,7. После этого получим мощность, переданную ветряком рабочей машине, а именно:

$$N_e = \frac{\rho F v^3 \xi \eta}{2 \cdot 75}.$$

Если же мы хотим определить из табл. 7, какова должна быть мощность ветродвигателя на крыльях ветряного колеса, то необходимо цифровое значение мощности, взятой из таблицы, разделить на механический коэфициент полезного действия ветродвигателя η, т. е. $N = \frac{N_e}{\eta}$. Например мощность по таблице, необходимая для сортировочной машины картофеля, равна $N_e = 0{,}5$ *л. с.* Следовательно ветродвигатель, приводящий в движение эту машину, должен иметь на валу ветряного колеса мощность, равную

$$N = \frac{0{,}5}{0{,}7} = 0{,}71 \text{ л. с.}$$

Для удобства подбора ветродвигателя к определенной рабочей машине, указанной в табл. 7, ниже приводится табл. 8 мощностей крыльчатых и роторных ветродвигателей на валу ветряного колеса разных размеров.

Эти мощности подсчитаны по уравнению

$$N = \frac{\rho F v^3 \xi}{2 \cdot 75}$$

для разных скоростей ветра при $= 0{,}30$ ξ для крыльчатого ветряка и $\xi = 0{,}15$ для роторного ветряка. В графе 1 табл. 8 даны диаметры крыльчатых ветродвигателей; в графе 2—ометаемая ветряным колесом поверхность, которая для крыльчатого равна $F = \frac{\pi D^2}{4}$, а для роторного $F = D \cdot H$, где D — диаметр ротора, а H — его высота. В графах 3 и 4 даны размеры ротора, имеющего ту же ометаемую поверхность, что и крыльчатый ветряк. В

ТАБЛИЦА 7

Название машин	Сколько машина может обработать за 1 час, кг	Какая мощность треб. от ветродвигателя, л. с.
Молотилки		
Молотилка для очистки зерна. Ширина барабана 46 *см*, поперечник 33 *см*	275	2,0
Штифтовая молотилка с простой очисткой. Ширина барабана 56 *см*, поперечник 40 *см*	325	3
Зерноочистительные и сортировочные машины		
Веялка. Ширина внутри 80 *см*	1 650	0,5
Сортировка типа „Триумф“ № 2, ширина 50 *см*	1 650	2,0
Триер. Длина барабана 100 *см*, поперечник 40 *см*	350	0,5
Сортировка для картофеля	4 000	0,5
Картофельная мойка	1 000	0,5
Машины для приготовления корма		
Соломорезка. Ширина ножей 30 *см*	550	2
Корнерезка. Поперечник ножевого колеса 80 *см*	2 000	0,5
Жмыходробилка 50 × 60 *см*	500	2,0
Машины для молочного хозяйства		
Сепаратор средний	400	0,25
„ большой	1 000	1,0
Маслобойка	25	0,25
Прибор для отжимания масла	—	0,25
Насосы		
Насос для подачи на высоту 10 *м*	4 000	0,5
„ „ „ „ „ 40 *м*	1 800	1,5
„ „ перекачивания навозной жижи	8 500	0,5
Станки для кустарей и сельских мастерских		
Токарный станок по дереву	—	0,25
Круглая пила для досок, поперечник 50 *см*	—	3,0
Ленточная пила по дереву, поперечник колеса 60 *см*	—	1,0
Токарный станок по металлу	—	0,5
Точильный камень, поперечник 100 *см*	—	0,25
Сверлильный станок по металлу для отверстия до 3 *см*	—	1,0
Вентилятор для кузнечного горна	—	0,25
Мельницы		
Ординарный постав с лежачими жерновами, поперечник 100 *см* (шестерик)	410	15,0
То же с жерновами 125 *см* (семерик)	525	20,0
Мельниц „Фермер“ № 2 со стоячими жерновами, поперечник 56 *см*	300	10,0
Крупорушки		
Гречеобдирка. Длина барабана 63 *см*, поперечник 50 *см*	328	5,0
Вейко-сортировка для гречневой крупы	328	5,0
Просорушки, без очистки	200 (проса)	2,0

ТАБЛИЦА 8

Мощность крыльчатых и роторных ветродвигателей при разных скоростях ветра

Основные размеры ветряных колес крыльчатых и роторных ветродвигателей при одной и той же мощности					Скорость ветра v *м/сек*									
Диаметр ветряного колеса крыльчатого ветряка D, *м*	Ометаемая поверхность ветряков, $м^2$		Диаметр ротора D, *м*	Высота ротора H, *м*	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	крыльчатого	роторного												
3	7,06	14,10	3,0	4,7	0,05	0,10	0,20	0,40	0,60	0,9	1,30	1,76	1,76	1,76
4	12,6	25,2	4,0	6,3	0,085	0,20	0,40	0,70	1,1	1,6	2,3	3,0	3,0	3,0
5	19,6	39,2	4	9,8	0,130	0,30	0,60	1,0	1,7	2,5	3,6	5,0	5,0	5,0
6	28,2	56,2	4,5	12,5	0,20	0,45	0,90	1,5	2,4	3,6	5,0	7,0	7,0	7,0
7	38,3	76,5	5,0	15,3	0,26	0,60	1,30	2,0	3,3	5,0	7,0	9,6	9,6	9,6
8	50,3	100,0	5,0	20,0	0,34	0,80	1,60	2,7	4,3	6,4	9,0	12,5	12,5	12,5
9	63,6	127,2	5,0	25,4	0,42	1,0	2,0	3,4	5,4	8,0	11,0	16,0	16,0	16,0
10	78,5	157,0	6,0	26,2	0,53	1,25	2,40	4,0	6,7	10,0	14,0	19,6	19,6	19,6
11	95	190,0	6,0	31,7	0,64	1,50	3,0	5,0	8,0	12,0	17,0	24,0	24,0	24,0
12	113	226	6,0	37,7	0,76	1,80	3,5	6,0	9,4	14,0	20,0	28,0	28,0	28,0

Примечание. Мощность ветродвигателя при скоростях ветра выше 10 *м/сек* не увеличивается, так как после этой скорости положение ветряка по отношению к ветру необходимо изменять, чтобы мощность не возрастала и ветряк не перегружался.

остальных графах даны цифровые значения мощностей крыльчатых и роторных ветряков соответственно ометаемой ими поверхности при скоростях ветра, начиная от 3 до 10 *м/сек*. Для скоростей ветра выше 10 *м/сек* мощности не даны, потому что ветродвигатель нами рассчитан на скорости ветра не выше 10 *м/сек*. При больших скоростях ветра необходимо тем или иным путем изменять положение ветряного колеса по отношению к ветру, чтобы мощность ветряка приблизительно оставалась постоянной.

У простейших ветряков это приходится делать вручную, а у более совершенных ветродвигатель сам автоматически изменяет положение ветряного колеса по отношению к ветру, так что при увеличении скорости ветра его мощность не возрастает выше той, на какую рассчитана конструкция ветряка на прочность.

Пользоваться табл. 7 и 8 при подборе размеров ветродвигателя к рабочей машине следует так.

По табл. 7 в последней графе смотрим, какую мощность потребляют рабочие машины, которые мы желаем приводить в движение от ветряка. Делим эту мощность на 0,7, получаем ту мощность, которую ветряк должен развивать на крыльях. Эта мощность для разных скоростей ветра и приведена в табл. 8.

В графе, соответствующей скорости ветра 8 *м/сек*, отыскиваем мощность, равную или близкую к той, которую мы получили делением мощности из табл. 7 на 0,7. На той же строке влево мы находим основные размеры ветряного колеса ветродвигателя, который может обслужить рабочие машины, намеченные нами по табл. 7.

При пользовании изготовленным нами передвижным ветряком прежде всего необходимо приблизительно определить один из описанных выше способов скорости ветра. Затем по этой скорости и размерам ветряного колеса смотрим по табл. 8, какую мощность нам ветряк дает при этой скорости. Умножив эту мощность на 0,7, находим по табл. 7, какую машину в данный момент может приводить в движение наш ветряк.

VI. Заключение

В данной книжке мы не останавливали внимание читателя на более совершенных ветряках, так как наша задача заключалась в том, чтобы показать, как работает простейший ветряк и как сделать его самому.

Мы видим, что ветряной двигатель малой мощности весьма несложен. Мало того, он легко осуществим с помощью таких инструментов, как топор, пила и долото. И вообще нужно сказать, что сам ветродвигатель отличается чрезвычайной простотой. И только благодаря тому, что ветер постоянно меняется по скорости и по направлению, приходится усложнять устройство ветряка.

Для более полного использования энергии ветра ветряк во время работы должен стоять ветряным колесом перпендикулярно направлению ветра, а когда дует очень сильный ветер (буря), его необходимо выводить из-под ветра, иначе ветряк может разнести. Далее, каждая рабочая машина рассчитана на определенную мощность, поэтому ветряк должен давать примерно ту мощность, какую требует присоединенная к нему машина. Но мы знаем, что ветер в течение коротких промежутков времени изменяется по скорости на довольно значительную величину, а вместе с этим изменяется и мощность ветряка. Во всех этих случаях необходимо тем или иным способом изменять положение ветряного колеса или его лопастей по отношению к ветру так, чтобы он работал равномерно, а когда работа от него не требуется, мог бы быть остановлен и предохранен от сильных ветров. Все эти изменения в положении ветряного колеса или его лопастей по отношению к ветру называются регулированием. Регулирование простейших ветродвигателей осуществляется вручную. Однако такой способ регулирования сопряжен с большими потерями энергии ветра и требует человеческого труда.

Ветродвигатели заводского производства изготовляются с автоматическим регулированием. Нужно заметить, что автоматическое регулирование ветродвигателей как раз и представляет основную трудность при изготовлении более совершенного ветряка.

Один из наиболее простых способов автоматического регулирования нами применен в рассмотренном выше ветроэлектрическом двигателе (фиг. 60 и 61). Это регулирование совершается по системе „Эклипс“ и является наиболее часто применяемым у ветродвигателей малой мощности.

Описание различных способов регулирования будет сделано во II части книжки „Сделай сам ветродвигатель“. Кроме того там будет изложено, как построить самому простой с автоматическим регулированием ветродвигатель для обслуживания различных колхозных и совхозных работ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Редактор Энергоиздата **В. К. Рерих**
Технический редактор **С. В. Вишневский**

Сдано в производство 7—V—34 г.
Подписано к печати 11—X—34 г.

Уполномоченный Главлита В-92234. Формат бумаги 82×III/32; 7 печатных листов по 4560 знаков; 7,2 авторских листа. Энергоиздат № 573; Заказ № 1089. Тираж 25000 экземпляров.

8-я типография „Мособлполиграф", ул. Фр. Энгельса, 46.

Завтра пускай
придет Колька
или сам часов выше
~~в,в~~

Цена 1 р. пер. 35 к.

ЗГ-50-6 (2)-1