НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
ВЫПУСК 29

А. В. КАРМИШИН

ВЕТЕР
И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

ПОД НАУЧНОЙ РЕДАКЦИЕЙ
проф. Е. М. ФАТЕЕВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

16-2-1

К ЧИТАТЕЛЮ

Ваши отзывы и пожелания о книжках «Научно-популярной библиотеки» просим направлять по адресу: Москва, Орликов пер., д. 3, Гостехиздат.

Редактор *В. А. Мезенцев.* Техн. редактор *С. Н. Ахломов.*

Подписано к печати 21/III 1951 г. Бумага 82 × 108/32. 1 бум. л. 3,28 печ. л. 2,96 уч.-изд. л. 36 100 тип. зн. в печ. л. Т-02306. Тираж 100 000 экз. Цена книги 90 коп. Заказ № 2330.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Главполиграфиздата при Совете Министров СССР. Москва, Валовая, 28.



I. ВЕТЕР В ПРИРОДЕ

1. АТМОСФЕРА И ЕЁ ДВИЖЕНИЕ

Земля окружена толстым слоем воздуха — атмосферой. С высотой воздух становится всё более разрежённым, менее плотным. У поверхности Земли, на уровне моря, один кубический метр воздуха весит при 0 градусов около 1,3 килограмма; а на высоте 25 километров над земной поверхностью кубический метр воздуха весит уже в тридцать с лишним раз меньше.

Хотя толщина земной атмосферы достигает многих сотен километров, но по сравнению с объёмом земного шара она совсем не велика.

Нижний слой атмосферы, в пределах от 9 до 18 километров над поверхностью Земли, называется тропосферой. В этом слое находится более 3/4 по весу воздуха. Верхние слои называют стратосферой и ионосферой.

Воздух, как и все предметы, имеет вес; он давит на Землю и на всех, живущих на ней, с большой силой; эта сила у поверхности Земли равна примерно одному килограмму на каждый квадратный сантиметр площади тела.

С высотой давление воздуха постепенно уменьшается. Но и у поверхности Земли, как мы увидим далее, атмосферное давление никогда не бывает постоянным, оно всегда меняется.

Давление воздуха, равное давлению, которое оказывает при 0 градусов столб ртути высотой в 760 миллимет-

ров, называется нормальным атмосферным давлением. Это давление равно 1,0336 килограмма на квадратный сантиметр.

В метеорологии*) давление воздуха принято измерять в миллибарах. Один миллибар равен примерно давлению, которое оказывает один грамм на поверхность одного квадратного сантиметра. Нормальное атмосферное давление равно примерно 1000 миллибар.

Атмосфера никогда не находится в покое. Всюду — у полюсов и под тропиками, внизу, у поверхности Земли, и вверху, там, где плывут облака,— воздух находится в движении.

Движение воздуха, окружающего Землю, и называют ветром.

Что же вызывает движение воздуха в атмосфере? Почему дуют ветры?

Чтобы хорошо уяснить себе причину ветра, вспомните всем известное явление. Когда зимой вы открываете дверь из натопленной комнаты на улицу или в более холодную комнату, понизу устремляется в тёплую комнату холодный воздух. Одновременно с этим поверху будет выходить наружу тёплый комнатный воздух. Убедиться в этом легко. Зажгите свечу или спичку и поместите её у открытой двери — сначала внизу, у порога, а затем — вверху (рис. 1). Внизу пламя свечи будет заметно отклоняться потоком холодного воздуха в комнату, а вверху, наоборот, поток теплого воздуха, идущего из комнаты, отклонит пламя свечи наружу, из комнаты.

Почему это так происходит?

А вот почему. Если взять два одинаковых объёма воздуха, но различно нагретые, то более холодный объём воздуха будет всегда более плотным, а значит, и более тяжёлым. Нагреваясь, воздух, как и все тела, расширяется, становится менее плотным и более лёгким. Когда мы открываем дверь на улицу, более холодный и более плотный наружный воздух устремляется в тёплую комнату, вытесняя менее плотный и более лёгкий комнатный воздух кверху.

*) Метеорология — наука об атмосфере и происходящих в ней явлениях, преимущественно физических. В более узком понятии — это наука о погоде и её изменениях.

Как более тяжёлый, наружный воздух входит в комнату понизу, располагается в комнате в нижних слоях, у пола. Вытесняемый холодным тяжёлым воздухом тёп-



Рис. 1.

лый воздух поднимается вверх и уходит из комнаты наружу через верхнюю часть открытых дверей.

Этот пример позволит нам понять причины движения воздуха в атмосфере.

Солнечное тепло, падающее на Землю, нагревает прежде всего её поверхность. Атмосфера поглощает только незначительную часть солнечной тепловой энергии. От нагретой поверхности земного шара нагреваются нижние,

соприкасающиеся с ней слои воздуха. Тёплые слои воздуха перемешиваются с холодными, отдают им своё тепло; так происходит нагревание воздуха.

Таким образом, чем сильнее нагревается Солнцем земная поверхность, тем сильнее нагревается и воздух, лежащий над ней.

Но как нагревается поверхность Земли Солнцем? Далеко не одинаково. Это связано прежде всего с тем, что в разное время года и в разных климатических поясах

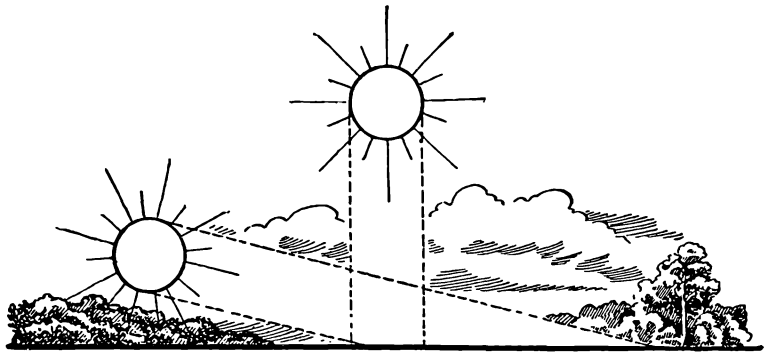


Рис. 2.

Земли Солнце поднимается над горизонтом по-разному. Чем выше Солнце стоит над горизонтом, тем более приходится солнечного тепла на одну и ту же площадь поверхности Земли (рис. 2).

Благодаря шарообразной форме Земли на экваторе и близ него лучи Солнца падают круто, в полдень почти отвесно. В странах умеренного климата солнечные лучи падают на земную поверхность уже значительно более полого. А в полярных странах и на полюсах солнечные лучи лишь как бы скользят по земной поверхности — Солнце поднимается над горизонтом сравнительно невысоко. Более того, зимой Солнце здесь совсем не появляется над горизонтом: стоит длинная полярная ночь.

По этой же причине изменяется температура поверхности Земли в течение суток. Днем, когда Солнце находится высоко в небе, поверхность Земли нагрета сильнее

всего, вечером же, когда Солнце уходит за горизонт, Земля начинает остывать, а ночью и утром температура её падает ещё ниже.

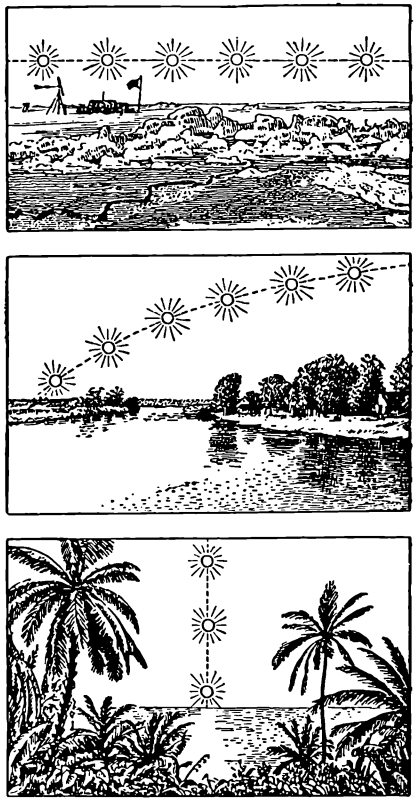


Рис. 3. Ход Солнца на небесном своде: вверху — за полярным кругом, в середине — в странах умеренного климата и внизу — на экваторе.

Кроме того, неравномерный нагрев земной поверхности объясняется тем, что различные участки поверхности нагреваются Солнцем и охлаждаются различно. Особенное значение имеет способность воды и суши различно нагреваться и охлаждаться.

Суша быстро нагревается до более высокой температуры, но быстро и остывает. Вода же (особенно в морях и океанах) благодаря постоянному перемешиванию нагревается очень медленно, но зато сохраняет своё тепло значительно дольше, чем суша. Объясняется это тем, что теплоёмкость*) воды и суши различна.

По-разному нагреваются под лучами Солнца и различные участки суши. Например, чёрная голая земля нагревается значительно сильнее, чем, скажем, зелёное поле. Сильно нагревается Солнцем песок и камень, много слабее — лес и трава.

Способность различных участков земли по-разному нагреваться под лучами Солнца зависит также от того, какая доля падающих на поверхность лучей поглощается поверхностью и какая отражается. Различные тела имеют различную отражательную способность. Так, снег усваивает лишь 15 процентов солнечной энергии, песок — 70 процентов, а вода отражает только 5 процентов и поглощает 95 (рис. 4).

От различно нагретых участков земного шара по-разному нагревается и воздух. Насколько различно количество тепла, получаемое воздухом в разных местах, видно из такого примера. В пустыне воздух получает от нагретого песка в 130 раз больше тепла, чем получает воздух от воды в море, находящемся на одной широте с пустыней.

Но различно нагретый воздух имеет, как уже говорилось, и различную плотность. Это создаёт в разных местах различное атмосферное давление: там, где воздух менее нагрет и, значит, более плотный, атмосферное давление выше; наоборот, где воздух нагрет сильнее и, следовательно, более разрежён, давление воздуха ниже.

А воздух с более высоким давлением всегда стремится двигаться туда, где имеется более низкое атмосферное давление, подобно тому, как вода всегда течёт от более высокого уровня к более низкому. Так и возникает в природе ветер.

---

*) Теплоёмкостью называется количество тепла, необходимое для нагревания тела на один градус.

Постоянное движение воздуха создает разность температур и давлений в атмосфере, что связано с неравномерным нагреванием земного шара Солнцем.

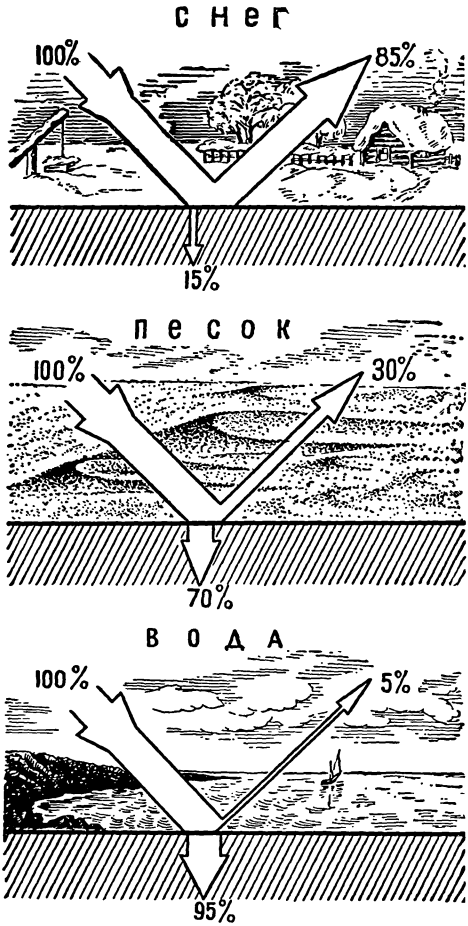


Рис. 4.

Таким образом, ветер в природе возникает за счёт энергии солнечных лучей.

На рисунке 5 мы приводим упрощённую схему главных воздушных течений. Как видно из схемы, даже в простейшем виде движение воздушных масс над Землёй представляет собой довольно сложную картину.

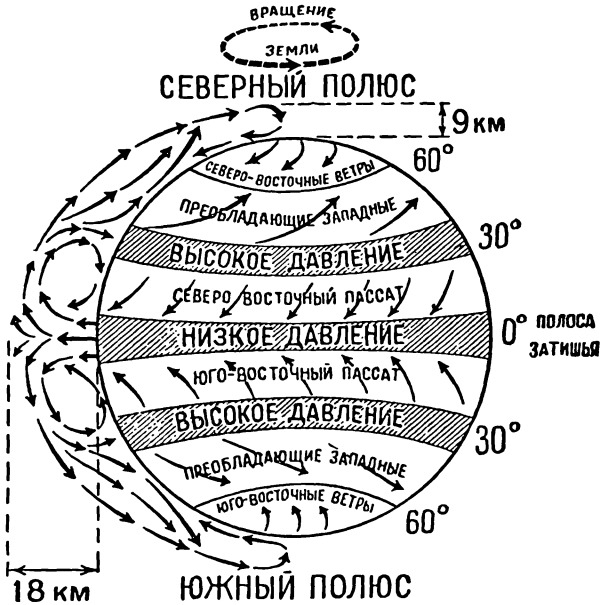


Рис. 5. Упрощённая схема главных воздушных течений.

У экватора благодаря сильному нагреванию поверхности наблюдается постоянное пониженное давление воздуха. Сюда текут воздушные потоки с севера и с юга и создают постоянные ветры — п а с с а т ы. Эти ветры отклоняются под влиянием вращения Земли. В северном полушарии, если смотреть по тому направлению, куда дует пассат, ветер отклоняется вправо, в южном — влево. На высоте 3—7 километров в этих областях дуют а н т и п а с с а т ы — ветры обратных направлений. У самого экватора находится зона затишья.

По мере удаления от экватора антипассаты всё сильнее отклоняются от своего направления к полюсам.

Примерно на широте 30 градусов *) по обе стороны от экватора наблюдаются полосы затишья; в этих районах притекающие от экватора воздушные массы (антипассаты) опускаются и создают области повышенного давления. Именно здесь и зарождаются пассаты.

Отсюда же внизу дуют ветры по направлению к полюсам. Ветры эти — преобладающие западные; по сравнению с пассатами они значительно более изменчивы.

Старые моряки называют области между 30 и 60 градусами областями «западных штормов».

Полосы затишья около 30 градусов широты называют иногда конскими широтами. Здесь преобладает ясная погода при высоком атмосферном давлении. Это странное название сохранилось ещё с тех времён, когда мореплаватели ходили на парусных кораблях, и относилось только к району около Бермудских островов. Многие корабли перевозили лошадей из Европы на острова Вест-Индии. Попадая в полосу затишья, парусники теряли возможность двигаться. Нередко при этом моряки оказывались в тяжёлых условиях. Истощались запасы воды, от жажды в первую очередь погибали лошади. Выброшенные за борт трупы лошадей долго носились волнами.

Ветры, дующие от полюсов, часто называют полярными восточными ветрами (см. рис. 5).

Описанная нами картина главных воздушных течений над Землёй ещё более усложняется постоянными ветрами, возникающими благодаря неравномерному нагреванию воды и суши.

Мы уже говорили о том, что суша нагревается и охлаждается быстрее, чем вода. Благодаря этому за день суша успевает нагреться значительно сильнее, чем вода: ночью же, наоборот, вода охлаждается медленнее, чем суша.

Поэтому днём над сушей воздух нагревается сильнее; нагретый воздух подымается вверх и увеличивает там атмосферное давление. Потоки воздуха (примерно на высоте 1 *км*) устремляются к воде, и над водной поверхностью

---

*) Географическая широта — одна из величин, определяющих положение места на земной поверхности, а именно, расстояние этого места от экватора к северу и к югу. Выражается в градусах.

устанавливается повышенное атмосферное давление. В результате этого внизу с воды начинает дуть свежий ветер — б р и з (рис. 6).

Но вот наступает ночь. Суша быстро охлаждается; охлаждается и прилегающий к ней воздух. Холодный воздух, уплотняясь, опускается. Его давление в верхних слоях уменьшается. В то же время вода остаётся долгое

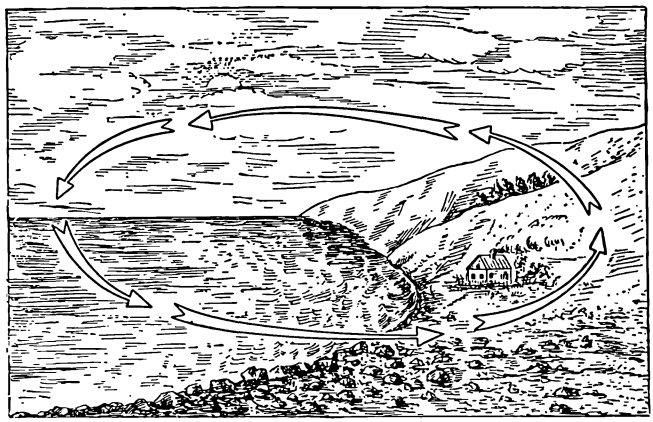


Рис. 6. Схема дневного бриза.

время тёплой и нагревает находящийся над ней воздух. Подсчитано, что охлаждение 1 кубического метра морской воды на один градус даёт такое количество тепла, которого достаточно для нагревания на один градус более 3 тысяч кубических метров воздуха! Нагреваясь, воздух поднимается кверху и создаёт там повышенное атмосферное давление. В результате вверху начинает дуть ветер на берег, а внизу дует материковый бриз — с суши к воде (рис. 7).

Такие береговые ветры известны всем, кто живет на берегу больших озёр или морей. Хорошо известны, например, бризы на Чёрном, Азовском и Каспийском морях; так, в Сухуми бризы бывают круглый год. Бризы дуют и на больших озёрах, на таких, как Севан, Иссык-Куль, Онежское и другие. Наблюдают бризы и на берегах больших рек, например, на Волге у Саратова, на её высоком правом берегу.

Бризы не распространяются далеко. Это — чисто местные ветры. Неравномерное нагревание воды и суши в береговых районах морей и океанов создаёт ветры, аналогичные бризам. Это — так называемые м у с с о н ы.

Муссоны — сезонные ветры, они дуют полгода в одном направлении, полгода в другом. Они дуют благодаря различному нагреванию и охлаждению морей и материков в

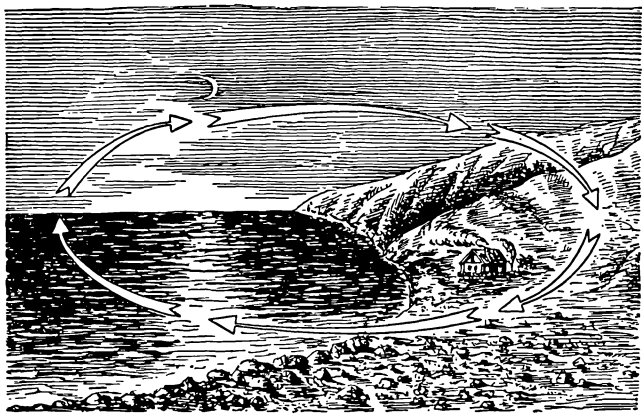


Рис. 7. Схема ночного бриза.

зимнее и летнее время. Летом воздух над материком нагревается намного сильнее, чем над морем. Наоборот, зимой воздух над морем (океаном) оказывается более тёплым, чем воздух над материком. Объясняется это тем, что летом материки нагреваются сильнее, а зимой охлаждаются сильнее, чем вода, в то время как море, более холодное летом, зимой становится теплее суши.

Большая теплоёмкость воды позволяет океану хранить в себе с лета огромные запасы тепла.

Таким образом, летом материки как бы нагревают атмосферу, а моря и океаны — охлаждают её. Зимой положение меняется: «атмосферными печками» становятся моря, а «холодильниками» — материки.

По этой причине и дуют муссоны; зимой—с суши на море, а летом с моря на материк.

Муссоны наблюдаются во всех климатических поясах, даже на берегах Северного Ледовитого океана.

На направление муссонов также влияет вращение Земли.

Наиболее ярко выражены муссоны в Индии.

Наконец, для общей характеристики воздушных течений необходимо сказать и об атмосферных вихрях — циклонах.

Воздушные течения, о которых мы говорили выше, связаны с перемещением в атмосфере громадных объёмов воздуха — воздушных масс. Воздушной массой принято называть такие объёмы воздуха, которые сохраняют некоторое время свои определённые свойства. Так, например, воздушная масса, идущая из Арктики, несёт с собой низкую температуру и сухой прозрачный воздух.

Поверхность раздела двух различных воздушных масс называют фронтом. По обе стороны фронта часто резко различны температура воздуха, скорость ветра и т. д. Поэтому, когда над каким-либо местом проходит фронт, то в этом районе обычно резко меняется погода.

Когда две соседние воздушные массы, имеющие разную температуру (а значит, и разную плотность воздуха), движутся с различной скоростью, или когда они перемещаются друг относительно друга вдоль фронта (рис. 8 вверху) на пограничной поверхности воздушных масс, благодаря взаимодействию тёплых и холодных масс воздуха, возникает волновое возмущение — на фронте образуется как бы воздушная волна. При этом холодный воздух подтекает под тёплый, а тёплый воздух в свою очередь начинает оттеснять холодный воздух. Начинается завихрение воздушных потоков. Волновое возмущение на фронте растёт, поверхность раздела двух воздушных масс изгибается всё более круто: так постепенно возникает всё более сильное вихревое движение воздуха — циклон (см. рис. 8).

Имеется три главных фронта, где возникают циклоны: арктический, полярный и тропический. Арктический фронт является линией раздела арктического и полярного воздуха (северные широты). Полярный фронт разделяет полярный и тропический воздух (умеренные широты). Тропический фронт является

линией раздела тропического и экваториального воздуха (южные широты).

Атмосферное давление в циклоне понижается к его центру. В центре циклона давление воздуха самое низкое. Если на карте местности, где развивается циклон, все

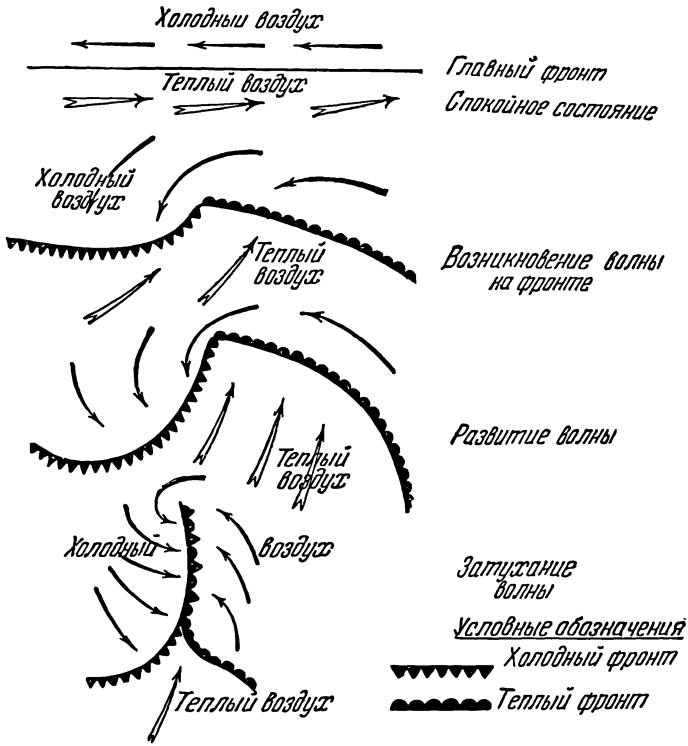


Рис. 8. Схема образования и развития циклона.

точки с одинаковыми давлениями соединить линиями — например, одна линия соединит все точки с давлением 990 миллибар, другая — с давлением 995 миллибар и т. д.,— то окажется, что все такие линии в области циклона будут замкнутыми кривыми линиями (рис. 9). Такие линии называются и з о б а р а м и. Изобара, находящаяся в цент-

ре этой области, будет соединять точки с самым низким давлением.

Благодаря такому распределению давлений в циклоне ветры дуют в нём от краёв к центру, так, что образуется круг ветров, дующих против часовой стрелки.

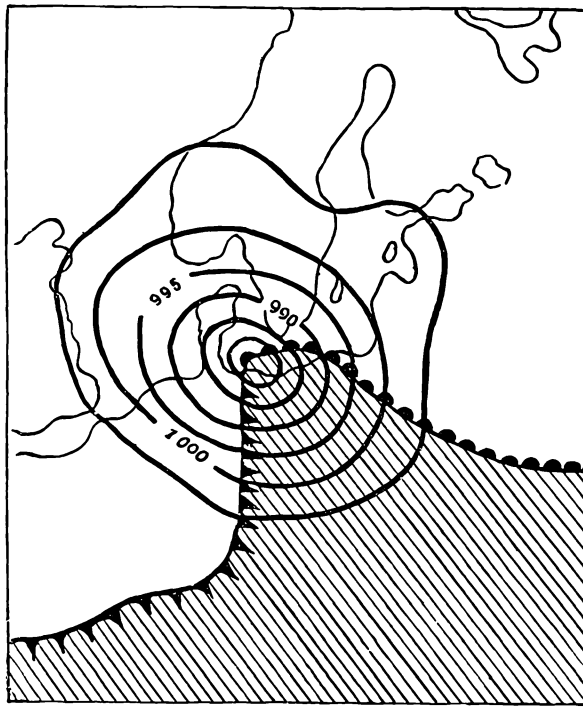


Рис. 9. Изобары на карте погоды.

Циклон перемещается в атмосфере; он приносит с собой резкое изменение ветра по направлению и по скорости. Средняя скорость движения циклонов 25—40 километров в час.

Помимо циклонов, т. е., иными словами, областей с пониженным давлением, в атмосфере возникают также области с повышенным давлением — а н т и ц и к л о н ы. Здесь давление воздуха повышается к центру.

Циклоны и антициклоны нередко захватывают очень большие пространства, простирающиеся на тысячи километров. Поэтому эти атмосферные возмущения оказывают заметное влияние на общую циркуляцию воздуха в атмосфере, в ещё большей степени осложняют её. Возникновение и смена различных ветров в умеренных широтах связаны главным образом с перемещением циклонов и антициклонов.

Очень сильные, ураганные ветры возникают в циклонических возмущениях, зарождающихся на тропическом фронте, над южными морями. Эти циклоны носят название т р о п и ч е с к и х.

2. ЧТО ДЕЛАЕТ ВЕТЕР В ПРИРОДЕ

Велика и многообразна деятельность ветра на Земле.

Посмотрите на рисунок 10. Как образовались скалы такого необычного вида? Это — работа ветра.

Такие причудливые скалы известны во многих странах. Часто форма скал бывает ещё более фантастической — они напоминают гигантские человеческие фигуры, зáмки и т. д.

Ветер разрушает не только отдельные скалы. Под его действием со временем, в течение тысячелетий, разрушаются, становятся всё меньше целые горы и горные хребты!

Вот как это происходит.

Мы уже говорили, что в летнее время горные породы очень сильно нагреваются Солнцем. Особенно это заметно в областях с сухим климатом, удалённых от морей. В среднеазиатских пустынях, например, песок и камни нагреваются днём так сильно, что обжигают ноги. В Кара-Кумах песок так нагревается, что по нему в полуденные часы не могут бегать даже зайцы, живущие в пустыне! Ящерицы и другие мелкие животные прячутся в это время по норам.

Ночью же в таких областях нагревшиеся за день скалы и песок быстро и сильно охлаждаются. Температура воздуха при этом настолько понижается, что на поверхности Земли выпадает обильная роса; нередко летней ночью температура здесь падает до нуля градусов, тогда как днём она достигает 45—50 градусов!

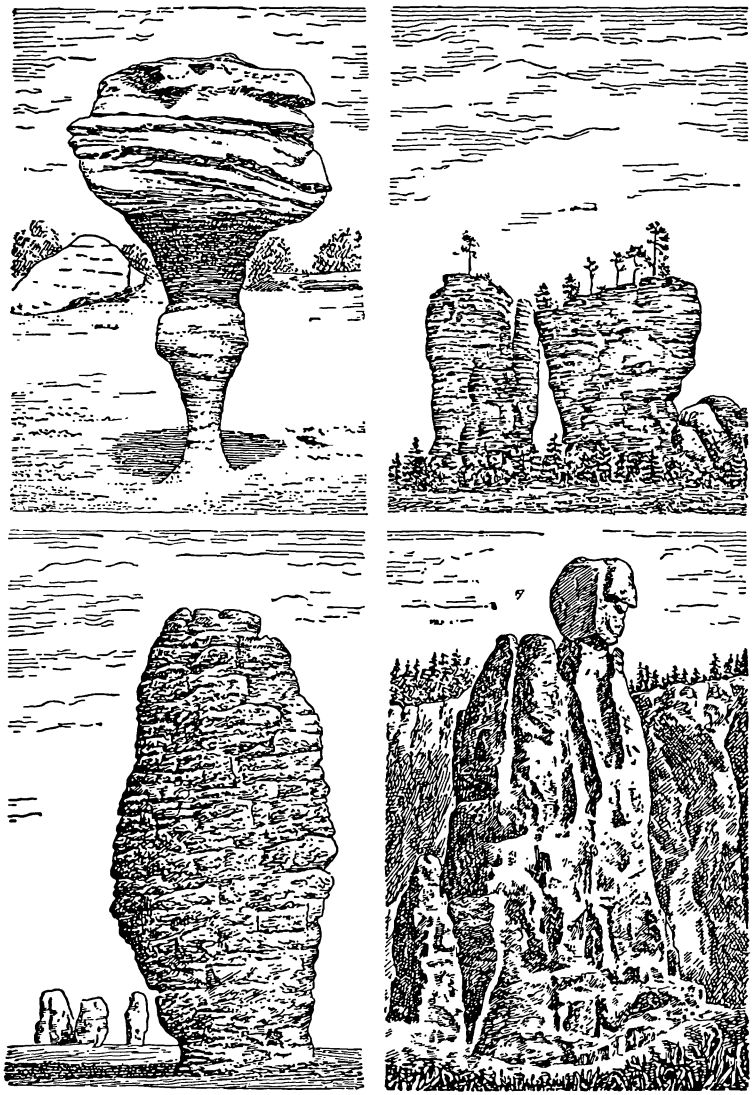


Рис. 10. Скалы самого причудливого вида образуются благодаря действию солнца, воды и ветра.

Такая резкая смена температур в течение суток не проходит бесследно для каменных пород. Камень, как и другие тела, расширяется при нагревании и сжимается при охлаждении. Но естественно, что он при этом не остаётся целым. Нагревание и охлаждение скал происходит лишь по их поверхности, и благодаря этому поверхность скал постепенно покрывается многочисленными трещинами. День за днём скалы растрескиваются всё более. Их верхний слой становится всё более рыхлым, непрочным.

В трещинки скал проникают капли воды и также разрушают камень — замерзая ночью, вода в трещинах разрушает их ещё более. Кроме того, вода растворяет некоторые минералы и тем самым расширяет трещины.

Так под действием Солнца и воды крепкие скальные породы превращаются постепенно в щебень и песок.

И тут начинает действовать ветер. Он выдувает из разрушающихся скал все мелкие частички. Ветер поднимает в воздух не только мелкую пыль, но и песок, сдувает с гор мелкий щебень.

Сильный ветер гонит в воздухе мириады песчинок. Эти песчинки, встречая на своём пути скальные породы, производят на них механическое воздействие — они обтачивают и разрушают скалы. Менее прочные породы легко поддаются действию песка, более прочные — долго противостоят ему. На поверхности скал появляются борозды, впадины, трещины. Песок, поднятый в воздух, создаёт на склонах гор ниши и пещеры. Нередко в скалах образуются сквозные отверстия — окна.

Горы состоят из различных минералов, из различных горных пород. Естественно, что под действием Солнца, воды и ветра разрушаются прежде всего слабые горные породы, такие, как, например, известняк. Это и придаёт разрушающимся скалам нередко крайне причудливый вид.

Так происходит выветривание гор.

Чем древнее горы, тем сильнее они разрушены. Проходят века, и ветер всё более сглаживает горы и горные цепи. Изменяется вид целых стран. На месте, где некогда были высокие горы, остаются их полуразрушенные остатки. И эти остатки постепенно всё более и более разрушаются.

Выветривание горных пород даёт огромные массы песка и мелкой глинистой пыли.

Песок либо уносится водой в реки и моря, либо отлагается в пустынях, образуя переносные, летучие пески — барханы.

А мелкая пыль поднимается ветром на большие высоты (нередко до 3—5 километров) и уносится на многие сотни и



Рис. 11. Переносные пески в пустыне.

тысячи километров. Такая пыль подолгу держится в воздухе, закрывая небо мглой.

В Средней Азии, в Китае и в других местах земного шара есть районы, где верхний плодородный слой почвы состоит из так называемого желтозёма или лёсса. Такая почва даёт высокие урожаи. Установлено, что лёсс — это пыль, которую заносит ветер.

В Китай лёссовая пыль заносится ветром из пустынь Центральной Азии.

Пыль, выносимая ветром из пустыни Сахары (Северная Африка) осаждается на дне Атлантического океана и Средиземного моря.

Переносные пески пустынь — продукт выветривания горных пород — создают постоянную угрозу культур-

ным, обрабатываемым землям. В истории народов сохранилось много примеров того, как переносные пески под действием ветра засыпали города и даже целые области плодороднейших земель. Не имея сил бороться с наступающими песками, люди уходили на новые места.

Во многих местах человек отступает в борьбе с пустыней и сейчас. Так, например, постепенно всё уменьшается число оазисов*) в Северной Африке — их заносят летучие пески. Капиталисты—колонизаторы этого материка совершенно не заботятся о том, чтобы предотвратить наступление пустыни.

Плановая, всенародная борьба с песками ведётся лишь у нас, в Советском Союзе. Осуществляя великий Сталинский план преобразования природы, советское правительство и весь советский народ принимают организованные меры для борьбы с движущимися песками.

Такой мерой является главным образом создание лесонасаждений в зонах движения песков.

Трудящиеся наших среднеазиатских республик успешно выполняют планы таких лесонасаждений. Так, в Бухарской, Ферганской, Сурхан-Дарьинской областях и Кара-Калпакской АССР к 1950 году было создано уже свыше 80 000 гектаров лесонасаждений. В Бухарской области растёт пояс лесов длиною более 100 километров, который предохраняет хлопковые поля от движущихся песков из пустыни Кизыл-Кумы.

В широких масштабах проводится озеленение городов и посёлков.

С осени 1950 года по решению нашего правительства советский народ приступил к строительству величайшего в мире канала в Туркменской ССР. Этот канал пройдёт через западную часть большой азиатской пустыни Кара-Кумы, через безводные районы Прикаспийской равнины западной Туркмении и низовьев Аму-Дарьи. Решением правительства предусмотрены большие работы по лесонасаждениям в зоне канала. Эти насаждения закрепят пески на площади около 500 000 гектаров!

---

*) Оазис — место в пустыне, где есть растительность и вода.

При создании лесозащитных полос в Советском Союзе широко применяется механизация. Так, например, лесные хозяйства Узбекской ССР применяют самолёты для посева леса в пустыне.

Грандиозные лесные искусственные насаждения создаются в нашей стране с 1948 года, когда было принято историческое постановление о плане полезащитных лесонасаждений в степных и лесостепных районах Европей-



Рис. 12. В степных и полупустынных районах нашей Родины вырастают всё новые и новые лесные полосы.

ской части СССР. По этому плану до 1965 года будут посажены леса на огромной площади около 6 миллионов гектаров! Советские люди перевыполняют этот план. Менее чем за два года создано уже миллион триста тысяч гектаров лесонасаждений!

Новые лесные полосы на полях нашей Родины, помимо борьбы с передвижными песками, являются также прекрасной защитой от вредного влияния на сельское хозяйство «суховеев» — сухих знойных ветров среднеазиатских пустынь.

Суховеи губительно действуют на растения — желтеет трава, засыхают листья деревьев, высыхают стебли и колосья хлебов.

Помимо этого, в районах, где нет лесов, где большинство земель распахано, суховеи несут с собой не только засуху, здесь возникают пыльные бури. Горячий иссушающий ветер поднимает в воздух массы мелкой сухой земли, сдувает поверхностный плодородный слой почвы. Весною вместе с землёй ветер нередко уносит с полей засеянные семена.

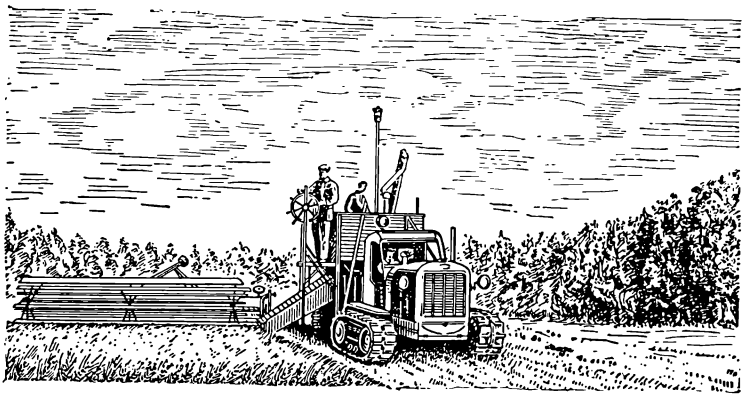


Рис. 13. На колхозных полях, защищённых от знойных ветров пустынь, зреют богатые урожаи.

«Чёрные бури» очень часты в США. Хищническая, беспланова порубка лесов и распашка земель на Великих равнинах привела эту страну к тому, что в настоящее время пыльные бури становятся в Америке уже национальным бедствием. Благополучие американских фермеров находится под постоянной угрозой; не имея каких-либо действенных мер борьбы с ветром, они находятся во власти чёрных бурь.

С каждым годом эти бури становятся всё более и более частыми в стране «частной инициативы». Никаких широких, действенных мер борьбы с этим явлением в США не принимается. 70 процентов лесов принадлежит здесь частным лицам. Уничтожение лесов, которые могут остановить

развитие пыльных бурь, идёт в США такими темпами, что в очень недалёком будущем леса Америки исчезнут совсем. Достаточно сказать, что за годы с 1908 по 1938 в Америке было вырублено 40 процентов всех лесов. А с 1938 года уничтожение лесов идёт ещё быстрее.

Великий Сталинский план преобразования природы в СССР создаёт вполне реальные возможности для того, чтобы с полей нашей Родины пылевые бури исчезли совсем. На огромной территории лесостепных и степных районов европейской части СССР создаются условия для высоких устойчивых урожаев.

Так советский человек борется с вредным влиянием ветра.

Различные ветры оказывают большое влияние на климат.

Вот несколько примеров.

Постоянные ветры — северо-восточные пассаты — порождают в Атлантическом океане близ экватора мощное течение. Ветер гонит к берегам Северной Америки огромные массы воды. Эта вода поступает в Мексиканский залив (Караибское море) и отсюда, описав дугу, идёт сначала около берегов Северной Америки, а затем через узкий пролив между Флоридой и Кубой выходит в открытый океан. Объединяясь с Антильским течением, эта вода даёт самое мощное течение в мире — Гольфстрим.

Гольфстрим достигает берегов Европы и приносит сюда тепло юга. Мягкий климат северо-западной части Европы создают главным образом тёплые воды Гольфстрима.

Теплый климат Западной Европы в большой степени зависит также от того, что здесь часты юго-западные ветры с океана, приносящие с собой тепло и влагу.

Муссоны Индийского океана регулируют все сельскохозяйственные работы в Индии и Пакистане. Зимой — с середины декабря по конец мая — здесь дует сухой северо-восточный ветер — зимний муссон. В это время стоит сухая, ясная погода. С июня наступает период летнего муссона — влажного юго-западного океанского ветра. По всей Индии проходят сильные дожди. От этих дождей и зависит урожай в стране. Если муссонные дожди начи-

наются позднее против обычного (июнь) или заканчиваются раньше, неминуем неурожай и голод.

Юго-восточные ветры, которые дуют в летние месяцы в Приморье (Дальний Восток) и представляют собой летний муссон, приносят большие количества осадков. Благодаря этому лето здесь всегда очень дождливое; с июня по сентябрь во Владивостоке выпадает $^2/_3$ всех осадков за год.

Существенное влияние на климат оказывают и ветры местного характера. Так, во многих странах в гористых районах временами дуют знойные сухие ветры — фёны. Фёны резко повышают температуру воздуха, в короткое время тают большие массы снега.

Хорошо известны фёны в Альпах и на Кавказе. Зимой этот ветер на Кавказе повышает температуру иногда до 25 градусов тепла!

Дующий на восточных склонах Скалистых гор (Америка) ветер «чинук», родственный по своей природе фёну, настолько горяч и сух, что под его знойным дыханием испаряется, не превращаясь в воду, толстый слой снега!

Мы привели лишь немногие примеры того, что делает ветер в природе. Рассказанным далеко не ограничивается влияние ветра на нашу жизнь. Нельзя, например, забывать о том, что не кто иной, как ветер, очищает воздух, которым мы дышим.

Ветер разносит влагу по всему земному шару. Мощные воздушные потоки приносят влагу в сухие безводные области. Насколько велика работа ветра по переносу воды над Землёй, можно видеть из того, что каждую секунду на земном шаре выпадает не менее 15 миллионов тонн атмосферных осадков!

Таким образом, ветер производит в природе огромную механическую работу.

Чему же равна его энергия?

3. ЧЕМУ РАВНА ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Основным показателем силы ветра является его с к о р о с т ь. Скорость воздушного потока определяется тем расстоянием (в метрах), которое проходит воздух в единицу времени (секунду). Говорят, что ветер имеет, например,

скорость 7 метров в секунду. Чем больше скорость ветра, тем больше его сила.

Для определения скорости ветра имеются специальные приборы — ветромеры. Одним из таких приборов служит флюгер Вильда (рис. 14).

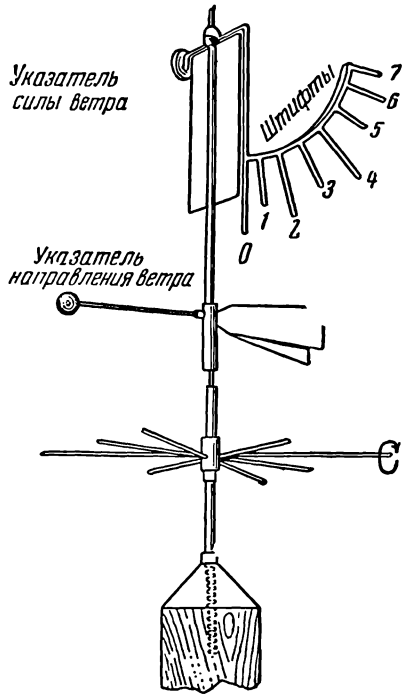


Рис. 14. Флюгер Вильда.

Скорость ветра можно определить и без приборов — наблюдая за полётом лёгких предметов, например маленького листочка бумаги, по ветру. Брошенный в воздушный поток такой предмет движется в нём примерно с той же скоростью, какую имеет ветер.

Силу ветра принято также в зависимости от его скорости выражать в особых единицах — баллах.

Существует общепринятая шкала ветров. Вот она:

Баллы	Скорость ветра в метрах в секунду	Название ветра	Действие ветра
0	0—0,5	Штиль	Дым поднимается отвесно
1	1—1,5	Тихий	Отклоняется дым из труб
2	2—3	Лёгкий	Шелестят листья деревьев
3	4—5	Слабый	Колышатся тонкие ветки деревьев
4	6—8	Умеренный	Качаются сучья деревьев; ветер поднимает пыль
5	9—10	Свежий	Качаются тонкие стволы деревьев; шумят верхушки деревьев; на воде появляются волны с барашками
6	11—12	Сильный	Качаются толстые сучья деревьев
7	13—15	Крепкий	Заметно гудят телеграфные провода; качаются верхушки деревьев
8	16—18	Очень крепкий	Ветер ломает тонкие ветки и сухие сучья деревьев
9	19—21	Шторм	Ветер срывает черепицу с крыш и кирпичи с дымовых труб
10	22—25	Сильный шторм	Значительные разрушения; деревья вырываются с корнем
11	26—29	Жестокий шторм	Большие разрушения (наблюдаются очень редко)
12	30 и более	Ураган	Очень большие разрушения (наблюдаются очень редко)

Ветер в пять баллов (9—10 метров в секунду) давит на поверхности тел с силой около 10 килограммов на каждый квадратный метр площади. Ветер, дующий со скоростью 20 метров в секунду, производит на встречные тела давление, равное уже примерно 50 килограммам на квадратный метр поверхности. Ураганы, скорость которых достигает 50—60 метров, оказывают давление в 200 и более килограммов на квадратный метр!

Такова сила ветра.

Чтобы представить себе эту силу, достаточно вспомнить, какие разрушения производят подчас ураганные ветры.

В 1860 году над Францией пронеслась буря; ветер был настолько силён, что опрокинул с рельс два железнодорожных состава!

Ураган 1703 года в Англии и Франции вырвал с корнем, поломал и разбросал на огромных расстояниях около 250 тысяч деревьев, разрушил около тысячи домов и церквей, разбил о берег 400 кораблей, убил несколько тысяч человек.

Огромные разрушения производят тропические циклоны. В 1780 году так называемый «великий ураган» опу-



Рис. 15. Местный ветер «сарма», дующий на озере Байкал, налетая внезапно, сбрасывает в воду огромные камни.

стошил Антильские острова. Многие города были уничтожены этим ураганом полностью. Ветер снимал с земли траву и вырывал с корнем вековые деревья! В море затонуло более сорока военных судов.

В океанах такой ветер поднимает волны высотой в десять-пятнадцать метров. Обрушиваясь на отлогий берег, они смывают в море целые посёлки!

Морской прибой ежегодно разрушает не один десяток кубических километров берегов. Это неудиви-

тельно — ведь морские волны, поднимаемые ветром, ударяются о берег с силой в десятки тонн на квадратный метр!

Все эти примеры говорят о том, что энергия ветра, или, как её образно называют, энергия «голубого угля», огромна.

Академик П. П. Лазарев подсчитал, что энергия угля, ежегодно сжигаемого во всём мире, в 3000 раз меньше той энергии, которую может нам дать за то же время ветер.

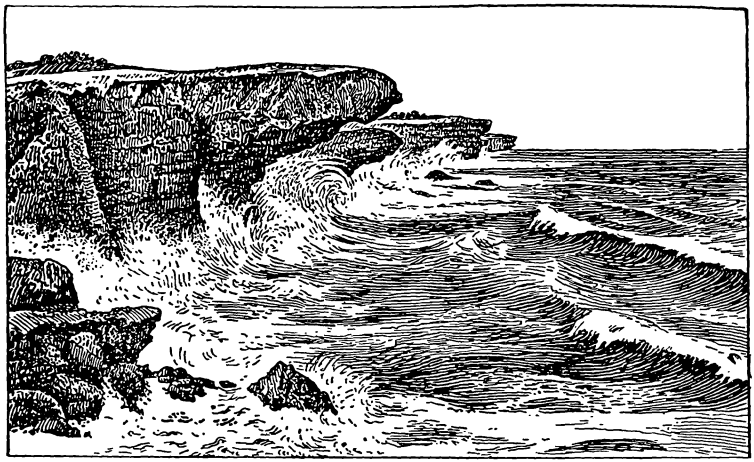


Рис. 16. Морские волны, поднимаемые ветром, сильно разрушают берег моря.

Известно, что более сильные ветры наблюдаются на морских побережьях. Среднегодовые скорости воздушных потоков здесь достигают 6—8 метров в секунду. Такие ветры дуют, например, на побережье Каспия, на берегах Северного Ледовитого океана, на берегах Балтийского моря. Если бы мы могли полностью использовать энергию ветра этих районов, то на каждом квадратном километре поверхности земли мы получили бы в течение года до миллиона киловатт-часов электрической энергии!

Так велика энергия ветра.

Запасы «голубого угля» в природе неистощимы. Ведь движение в атмосфере происходит, как мы уже говорили, за счёт энергии солнечных лучей.

Возникает заманчивая мысль об использовании энергии воздушных потоков. Её преимущества очевидны — энергия ветра огромна, она имеется всюду, её не нужно добывать, подобно углю, из шахт.

Как же человек использует энергию «голубого угля»?

II. «ГОЛУБОЙ УГОЛЬ»

1. НЕМНОГО ИСТОРИИ

Каждому известно, что итти против ветра значительно труднее, чем по ветру. Повидимому, это ещё в глубокой древности и привело людей к мысли об использовании силы ветра. Надо полагать, что прежде всего сила ветра была использована для перемещения простейших лодок на воде. К плоту или лодке прикреплялся парус — обычно большой кусок ткани. Ветер, давя на поверхность паруса, двигал лодку.

Так возникли парусные суда, на которых в течение столетий люди плавали по рекам и озёрам, пересекали моря и океаны.

С развитием ремесленного труда сила ветра стала широко применяться в простейших машинах— ветряных двигателях.

Первые ветродвигатели были устроены очень просто.

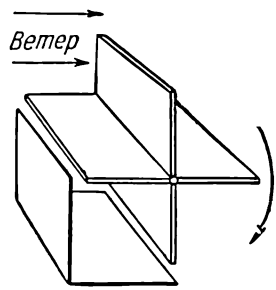


Рис. 17. Схема простейшего барабанного ветродвигателя.

Представьте себе горизонтальное бревно — вал с двумя крестовинами на концах. К крестовинам прикреплены продольные доски-лопасти. Вал помещается в двух опорах, укреплённых на столбах. Ветроколесо такого простейшего ветродвигателя (рис. 17) очень похоже на общеизвестное водяное колесо; работа его также напоминает работу водяного колеса.

Лопасти такого ветродвигателя ниже вала прикрываются щитом. Если поместить теперь вал поперёк ветра, то ветер будет давить лишь на верхние лопасти ветродвигателя. Нижние лопасти не будут испытывать давления ветра, так как их прикрывает щит. Благодаря этому лопасти начнут под действием ветра вращаться и будут вращать вал.

Такие ветровые машины называются б а р а б а н н ы м и ветродвигателями: они раньше применялись там, где ветер часто дует в одном направлении.

Если ось барабанного ветродвигателя расположить вертикально, мы получим тип карусельного ветродвигателя (рис. 18). У таких ветродвигателей лопасти имеют самую разнообразную форму.

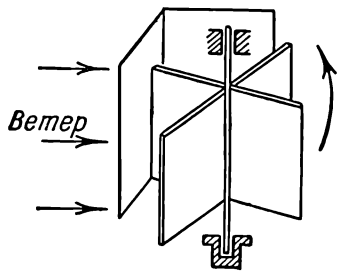


Рис. 18. Схема карусельного ветродвигателя.

Эти простые, карусельные и барабанные ветродвигатели применялись ещё несколько тысячелетий назад в Китае.

Остатки очень старинных ветряных мельниц встречаются также в Египте. Каменная кладка сохранившихся частей мельниц говорит о том, что они были построены около 2 000 лет тому назад. Таким образом, народы восточных государств ещё в глубокой древности использовали энергию ветра для получения работы.

В Европе впервые ветродвигатели появились примерно в VIII веке. Они применялись для водоснабжения, а также для перемалывания зерна в муку.

Особенно широко были распространены ветряные мельницы и ветронасосные установки в Голландии. С помощью ветронасосных установок эта маленькая страна постоянно отвоёвывала свою землю у наступающего моря.

В Голландии был создан свой оригинальный тип ветряного двигателя, массивная башня которого была неподвижна, а на ветер поворачивалась вместе с ветровым колесом её верхняя часть или шатёр. Такие ветряные дви-

гатели получили название шатрового или голландского типа (рис. 19).

Ветродвигатели в развитии хозяйства Голландии сыграли огромную роль. По этому поводу Карл Маркс в «Капитале» писал: «Частью недостаток естественных водопадов, частью борьба с избытком воды в других формах

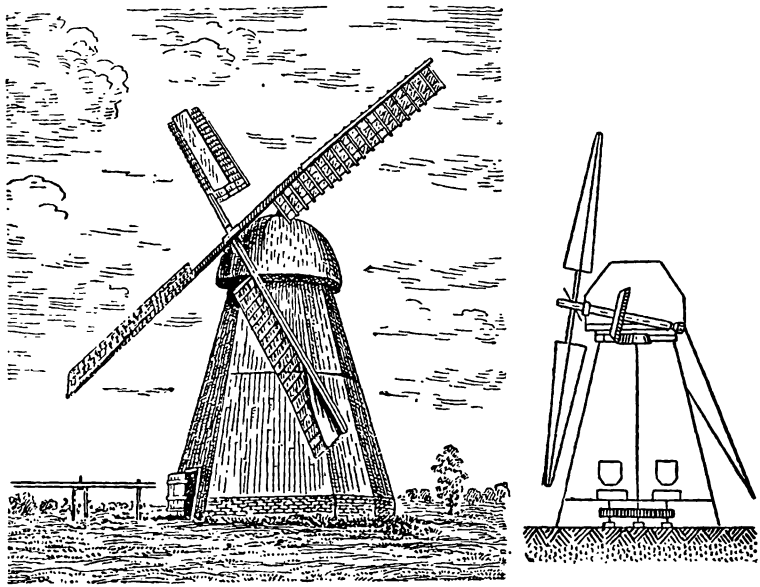


Рис. 19. Шатровая ветряная мельница и схема её устройства.

заставили голландцев применять ветер в качестве двигательной силы. Самые ветряные мельницы голландцы заимствовали из Германии, где это изобретение вызвало серьёзную борьбу между дворянством, попами и императором из-за того, кому же из них троих «принадлежит» ветер... Ещё в 1836 г. в Голландии было в ходу 12 000 ветряных мельниц в 6 000 лошадиных сил, которые предохранили две трети страны от обратного превращения в болото» («Капитал», том I, глава 13, стр. 381, прим. 93, Госполитиздат, 1949 г.).

Но вот в XIX столетии появляются паровые машины. Ветродвигатели не могли конкурировать с ними. И применение ветровых установок резко сократилось. Однако от них совсем не отказались потому, что эти машины используют совершенно даровую и неиссякаемую энергию ветра, которая к тому же находится всюду.

С развитием машиностроения и учения о движении воздуха — аэродинамики — появилась возможность строить более совершенные и мощные ветросиловые установки. Роль ветровых двигателей, особенно в сельском хозяйстве, вновь возросла.

2. СЕЛЬСКИЕ МЕЛЬНИЦЫ И КУСТАРНЫЕ ВЕТРОДВИГАТЕЛИ

Представьте себе картину недалёкого прошлого... Вы медленно едете на крестьянской телеге по пыльной ухабистой дороге. Кругом бескрайные поля с редкими перелесками, балками и оврагами. Только скучный скрип телеги нарушает тишину. Но вот вдали за пригорком что-то мелькнуло и скрылось; потом опять показалось и вновь исчезло... Вы присматриваетесь и догадываетесь, что там, за пригорком, медленно крутятся крылья сельской мельницы. Это значит, что близко деревня или село. Пейзаж сельских местностей дореволюционной России неизменно отмечался традиционными ветряными мельницами. В стране их насчитывалось более 200 тысяч штук.

Ветряные мельницы производили большую работу. Ещё в 1914 году на них было переработано около двух миллиардов пудов зерна из общего урожая хлеба в 4,3 миллиарда пудов.

Мукомолье, пожалуй, единственный вид сельскохозяйственного производства, где энергия ветра используется с незапамятных времён. Для этого в России широко применялись как описанные выше мельницы голландского или шатрового типа (рис. 19), так и козловые ветряки (рис. 20).

Козловая ветряная мельница отличается тем, что для установки ветрового колеса на ветер, весь её корпус поворачивается водилом вручную на специальном фундаменте. Для поворота всего громоздкого устройства козловой

мельницы требуется значительное усилие. Поэтому обычно такие мельницы строились небольшими с диаметрами ветровых колёс 8—12 метров.

Сельские ветряные мельницы старой постройки были очень громоздкими. На их строительство затрачивалось много труда и материалов.

Попытку усовершенствовать сельскую ветряную мельницу ещё 60 лет тому назад сделал русский инженер

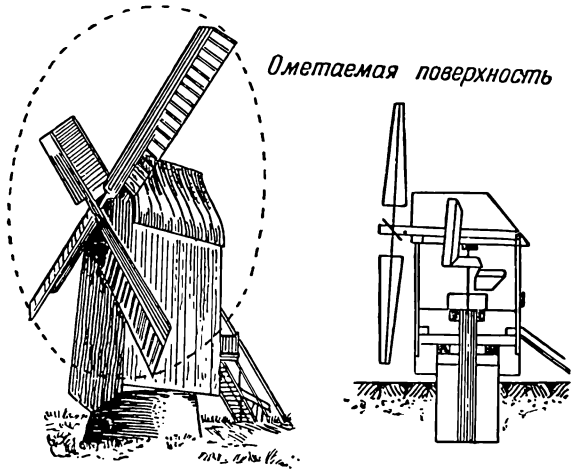


Рис. 20. Мельница козлового типа.

В. П. Давыдов. Он разработал оригинальный деревометаллический ветродвигатель. Ветровое колесо автоматически выводилось из-под ветра, когда его скорость достигала больших значений и представляла опасность для ветродвигателя.

Деревометаллические ветродвигатели В. П. Давыдова могли использоваться как для помола зерна, так и для механизации водоснабжения и других производственных процессов в сельском хозяйстве.

На рисунке 21 показаны ветродвигатели В. П. Давыдова на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде в 1896 году.

Однако царское правительство не заботилось о серьёзной механизации сельского хозяйства. Поэтому ветродви-

гатели В. П. Давыдова, хотя и были признаны очень хорошими для того времени машинами, не получили широкого распространения.

После Великой Октябрьской революции положение изменилось. Вопросами механизации сельского хозяйства

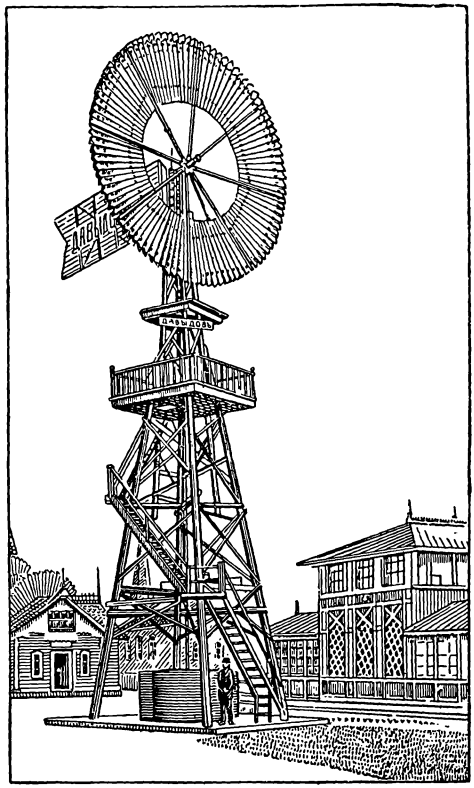


Рис. 21 Ветродвигатель системы инженера Давыдова.

стали заниматься крупные научные учреждения страны. Для повышения мощности ветряных мельниц Центральный аэро-гидродинамический институт (ЦАГИ) ещё в 1923 году разработал усовершенствованную конструкцию крыльев. Это дало возможность повысить мощность и производительность ветряной мельницы в 2—2,5 раза.

В годы Великой Отечественной войны в Научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ), под руководством проф. Е. М. Фатеева, была произведена реконструкция старой

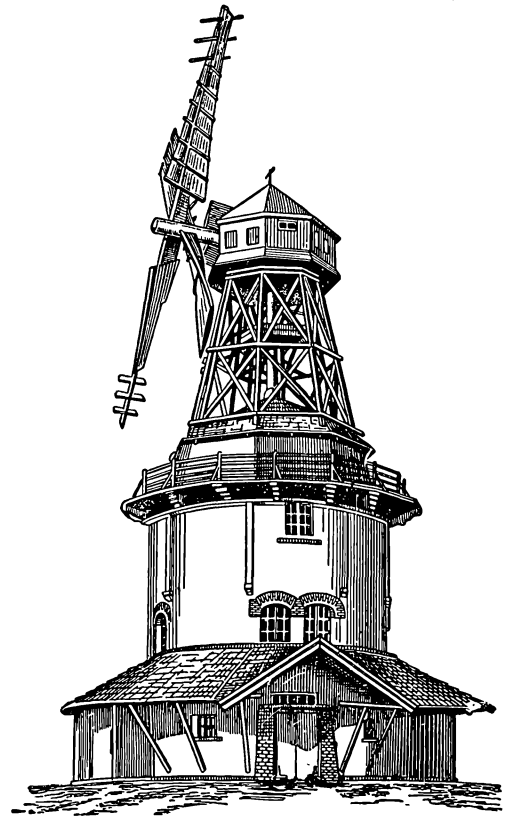


Рис. 22. Дерево-металлический ветродвигатель Д-16 мощностью до 16 лошадиных сил

ветряной мельницы. Созданные здесь дерево-металлические ветродвигатели имеют четырёхлопастные ветровые колёса с диаметром от 8 до 16 *м* и мощностью от 4 до 20 лошадиных сил (рис. 22). Производительность новых усовершенствованных ветряных мельниц в 2—3 раза выше, чем у старых мельниц.

Такие ветродвигатели в основном предназначены для размола зерновых продуктов, но могут быть также приспособлены и для выполнения других работ. Для этого к нижней части вертикального вала через дополнительную металлическую или деревянную зубчатую передачу подключается горизонтальный вал. На нём размещаются рабочие шкивы для привода различных машин.

3. СИСТЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время имеется много систем ветродвигателей, как с горизонтальной, так и с вертикальной осью вращения. Отличаются они друг от друга не только внешним видом и устройством, но и техническими возможностями в зависимости от того, для каких целей они применяются. По устройству приёмника энергии ветра и по расположению его в воздушном потоке различают несколько систем ветродвигателей.

Мы уже говорили о ветродвигателях карусельного и барабанного типа. Известен ещё так называемый р о т о р н ы й ветродвигатель (рис. 23). Его лопасти вращаются, как у карусельного ветродвигателя, в горизонтальной плоскости и приводят в движение вертикальный вал.

Широко распространены в настоящее время к р ы л ь ч а т ы е ветродвигатели, самым древним типом которых и являются обычные ветряные мельницы. Основной частью любого крыльчатого ветродвигателя является в е т р о в о е к о л е с о. Оно состоит из нескольких лопастей и вращается под действием ветра. При помощи пары конических шестерён, смонтированных на г о л о в к е ветродвигателя (рис. 24), вращение колеса превращается в более быстрое движение вертикального вала или в возвратно-поступательное перемещение приводной штанги. Для поворота головки и ветрового колеса на ветер у ветряных мельниц имеется в о д и л о, а у современных небольших ветродвигателей — х в о с т с вертикальным оперением на конце. У крупных крыльчатых ветродвигателей существуют и другие более сложные механизмы для

автоматического установа ветрового колеса на ветер (о них будет сказано ниже). Чтобы скорость вращения ветроколеса не превышала предельной, имеется специальное устройство для автоматического регулирования числа оборотов.

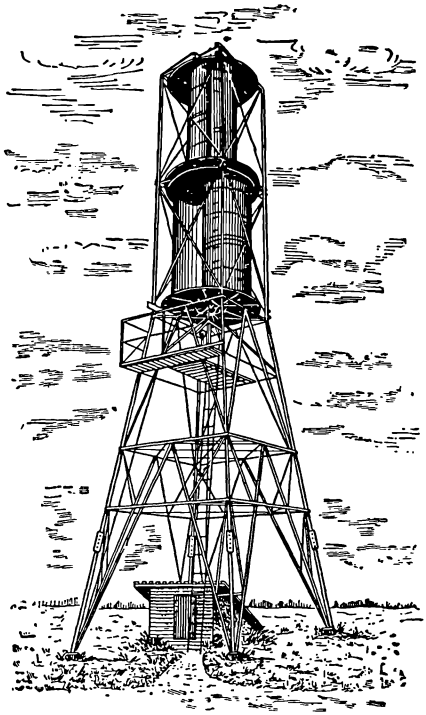


Рис. 23. Ветродвигатель роторного типа.

Обычно у поверхности земли воздушный поток вследствие различных препятствий бывает неравномерным, ослабленным, поэтому ветровое колесо устанавливают на высокой мачте или башне, выше препятствий.

По устройству ветровых колёс современные крыльчатые ветродвигатели делятся на быстроходные и тихоходные.

У тихоходного ветродвигателя ветровое колесо состоит из большого числа лопастей (рис. 25). Оно легко трогается с места. Благодаря этому тихоходный ветродвигатель удобен для работы с поршневым насосом и другими машинами, требующими при пуске в работу большое начальное усилие.

Тихоходные ветродвигатели в основном используются в районах, где скорость ветра в среднем не превышает 4,5 метра в одну секунду. Все механизмы многопластных

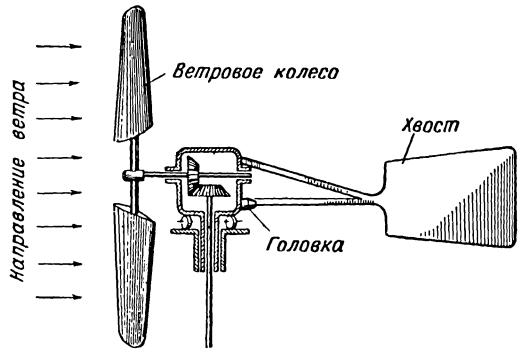


Рис. 24. Схема крыльчатого ветродвигателя.

ветродвигателей, как правило, несколько проще, чем у быстроходных. Однако ветровые колёса тихоходных ветродвигателей представляют собой довольно громоздкие конструкции. При больших размерах таких колёс трудно создать необходимую устойчивость, особенно при высоких скоростях ветра. Поэтому в настоящее время многолопастные ветродвигатели строятся с диаметрами ветровых колёс не более 8 метров. Мощность такого ветродвигателя достигает 6 лошадиных сил. Этой мощности вполне достаточно для того, чтобы подавать на поверхность воду из скважин глубиной до 200 метров.

Быстроходные ветродвигатели имеют в ветровом колесе не более четырёх крыльев с обтекаемым профилем (см., например, рис. 27). Это даёт возможность им хорошо выдерживать очень сильные ветры. Даже при сильном и порывистом ветре хорошо устроенные механизмы регулиро-

вания создают равномерное вращение ветровых колёс быстроходных ветродвигателей.

Эти положительные особенности быстроходных ветродвигателей позволяют им работать при переменном ветре любой силы.

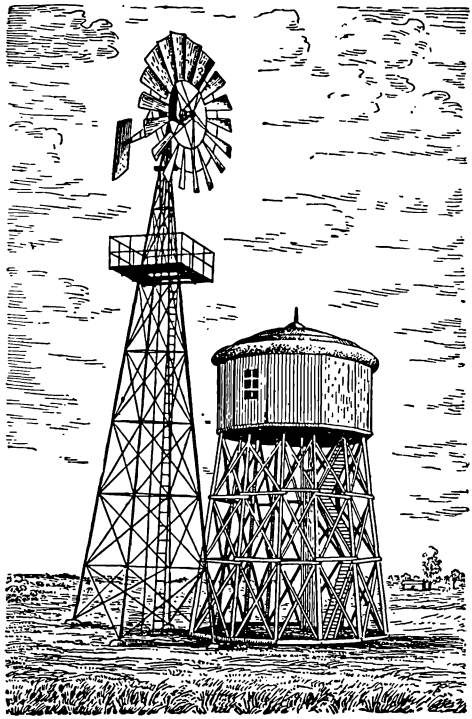


Рис. 25. Современный многолопастный ветродвигатель ТВ-5 мощностью до 2,5 лошадиной силы.

Поэтому быстроходные ветродвигатели могут строиться с очень большими диаметрами ветровых колёс, достигающими пятидесяти и более метров и развивающими мощность несколько сот лошадиных сил.

Благодаря высокой и устойчивой равномерности у ветровых колёс быстроходные ветродвигатели используются для привода самых разнообразных машин и электри-

ческих генераторов. Современные быстроходные ветродвигатели являются универсальными машинами.

Сравнение ветродвигателей различных систем удобно производить, вводя понятие о нормальной быстроходности. Эта быстроходность определяется отношением окружной скорости на внешнем конце вращающейся лопасти при скорости ветра 8 метров в секунду к скорости воздушного потока.

Лопасти карусельных, роторных и барабанных ветродвигателей при работе перемещаются вдоль воздушного потока и скорость любой их точки никогда не может быть больше скорости ветра. Поэтому нормальная быстроходность ветродвигателей этих типов будет всегда меньше единицы (так как числитель будет меньше знаменателя).

Ветровые колёса крыльчатых ветродвигателей вращаются поперёк направления ветра, а поэтому скорость движения концевых частей у их крыльев достигает больших величин. Она может быть в несколько раз больше скорости воздушного потока. Чем меньше лопастей и лучше их профиль, тем меньшее сопротивление испытывает ветровое колесо. Значит, тем быстрее оно вращается. Лучшие образцы современных крыльчатых ветродвигателей имеют нормальную быстроходность, достигающую девяти единиц. Большинство ветродвигателей заводского производства имеет быстроходность, равную 5—7 единицам. Для сравнения отметим, что даже лучшие крестьянские мельницы имели быстроходность, равную всего 2—3 единицам (и в этом смысле они являются более совершенными, чем карусельные, роторные и барабанные ветродвигатели).

С ростом числа лопастей у ветрового колеса увеличивается его способность трогаться с места при небольших скоростях ветра. Поэтому многолопастные крыльчатые ветродвигатели, у которых суммарная площадь лопастей составляет 60—70 процентов от о м е т а е м о й поверхности (см. рис. 20) ветрового колеса, вступают в работу при скоростях ветра 3—3,5 метра в секунду.

Быстроходные же ветродвигатели с малым числом лопастей трогаются с места при скоростях ветра от 4,5 до 6 метров в секунду. Поэтому их приходится пускать в работу или без нагрузки или при помощи специальных устройств.

Хорошее трогание с места и простота конструкции карусельных, роторных и барабанных ветродвигателей подкупают многих изобретателей и конструкторов, которые считают их идеальными ветродвигателями. В действительности, однако, эти машины имеют ряд существенных недостатков. Эти недостатки затрудняют их использование даже с такими распространёнными и простыми машинами, как поршневые насосы и жерновые мукомольные установки.

Ветродвигатели с приёмниками энергии ветра роторного типа очень плохо используют энергию воздушного потока, коэффициент использования энергии ветра у них в 2—2,5 раза меньше, чем у крыльчатых ветродвигателей. Поэтому при равных ометаемых лопастями поверхностях крыльчатые ветродвигатели могут развить мощность в 2—2,5 раза большую, чем карусельные, роторные и барабанные ветросиловые установки.

Ветродвигатели роторного типа в настоящее время используются лишь в виде небольших кустарных установок мощностью до 0,5 лошадиной силы. Например, они находят применение для привода в движение различных вентиляционных устройств в помещениях для скота, кузницах и других производственных помещениях в сельском хозяйстве.

От чего зависит мощность ветродвигателя?

Мы знаем, что энергия воздушного потока непостоянна, поэтому любой ветряной двигатель имеет переменную мощность. Мощность любого ветродвигателя зависит от скорости ветра. Установлено, что при увеличении скорости ветра в два раза мощность на крыльях ветродвигателя увеличивается в 8 раз, а при росте скорости воздушного потока в 3 раза мощность ветродвигателя увеличивается в 27 раз.

Мощность ветродвигателя зависит также и от величины приёмника энергии ветра. В этом случае она пропорциональна той площади, которую ометают лопасти ветрового колеса или ротора. Например, у крыльчатых ветродвигателей ометаемая лопастями поверхность будет площадью круга, который описывает конец лопасти за один полный оборот. У барабанных, карусельных и роторных ветродвигателей ометаемая лопастями поверхность представляет площадь прямоугольника с высотой, равной длине лопасти,

и с шириной, равной расстоянию между наружными кромками противоположных лопастей.

Однако любое ветровое колесо или ротор превращает в полезную механическую работу лишь часть энергии воздушного потока, проходящего через ометаемую лопастями поверхность. Эта часть энергии определяется коэффициентом использования энергии ветра. Величина коэффициента использования энергии ветра всегда меньше единицы. У лучших современных быстроходных ветродвигателей этот коэффициент достигает 0,42. У серийных заводских быстроходных и тихоходных ветродвигателей коэффициент использования энергии ветра обычно равен 0,30—0,35; это значит, что примерно лишь одна треть энергии воздушного потока, проходящего через ветровые колёса ветродвигателей, превращается в полезную работу. Остальные две трети энергии остаются не использованными.

Советский учёный Г. Х. Сабинин на основании расчётов установил, что даже у идеального ветряка коэффициент использования энергии ветра равен только 0,687.

Почему же этот коэффициент не может быть равным или даже близким к единице?

Объясняется это тем, что часть энергии ветра затрачивается на образование вихрей у лопастей и скорость ветра за ветроколесом падает.

Таким образом, фактическая величина мощности ветродвигателя зависит от коэффициента использования энергии ветра. Мощность ветродвигателя пропорциональна его значению. Это значит, что с увеличением коэффициента использования энергии ветра увеличивается мощность ветродвигателя, и наоборот.

Барабанные, карусельные и роторные ветродвигатели с простейшими лопастями имеют очень низкие коэффициенты использования энергии ветра. Их значения колеблются в широких пределах от 0,06 до 0,18. У крыльчатых же двигателей этот коэффициент находится в пределах от 0,30 до 0,42.

Кроме этого, полезная мощность любого ветродвигателя пропорциональна ещё коэффициенту полезного действия механизма передачи, а также плотности воздуха. Обычно коэффициент полезного действия механизмов современных ветродвигателей равен от 0,8 до 0,9.

Из сказанного о мощности ветродвигателя следует, что при данном ветре тот ветродвигатель будет иметь более высокую мощность, у которого через поверхность, ометаемую крыльями, протекает наибольшее количество воздушного потока, а лопасти ветроколеса имеют хорошо обтекаемый профиль.

4. КАК СОВРЕМЕННЫЕ ВЕТРОДВИГАТЕЛИ БОРЮТСЯ С «КАПРИЗАМИ» ВЕТРА

В дореволюционной России не было промышленности, производящей ветродвигатели; они строились лишь кустарным способом. Но мысль о способе наилучшего, наивыгоднейшего использования энергии ветра зародилась в России.

Великий русский учёный, «отец русской авиации», профессор Н. Е. Жуковский (1847—1921) создал также теоретические основы ветродвигателя. Его замечательные труды только при советской власти нашли практическое применение.

По инициативе Н. Е. Жуковского и при поддержке В. И. Ленина в 1918 году был организован в Москве Центральный аэро-гидродинамический институт (ЦАГИ). Здесь и были построены первые отечественные быстроходные ветродвигатели.

На основе трудов проф. Н. Е. Жуковского его ученики проф. В. П. Ветчинкин (1888—1950), заслуженный деятель науки и техники проф. Г. Х. Сабинин и проф. Н. В. Красовский разработали теоретические основы конструирования высококачественных современных ветродвигателей, а проф. Е. М. Фатеев разработал основы правильной эксплоатации их в сельском хозяйстве.

Советские конструкторы создали оригинальные и ещё непревзойдённые по своим качествам быстроходные ветродвигатели мощностью от нескольких десятков ватт до нескольких тысяч киловатт.

Цельнометаллические ветродвигатели заводского производства, в отличие от рассмотренных деревометаллических ветросиловых установок, имеют специальные устройства для борьбы с «капризами» ветра.

Всем известно, что ветер может менять своё направление и скорость по нескольку раз в сутки.

Простейшие барабанные ветродвигатели имели приёмник энергии ветра, который жёстко, раз навсегда устанавливался в каком-либо одном положении. Карусельные и роторные ветродвигатели работоспособны при любом направлении ветра, но они, как и ветродвигатели барабанного типа, не защищены от возможных разрушений при сильном ветре. Простейшая ветряная мельница может нормально работать только в присутствии человека. Человек должен следить за ветром и во-время устанавливать ветровое колесо в нужное положение. Если ветряная мельница большая, то для установа колеса на ветер необходимо не менее двух человек, если она не имеет специального ворота (простейшей машины для подъёма груза). При дальнейшем развитии техники строительства ветродвигателей стали стремиться использовать силу ветра не только для вращения ветрового колеса, но и для автоматической его установки против ветра, как это можно видеть у обычного флюгера, показывающего направление ветра. Для этого к задней части поворотной головки стали прикреплять хвост, состоящий из длинного штока или специальной фермы с поверхностью на конце, которую называют оперением хвоста (см. рис. 24).

Если ветер менял своё направление, хвост автоматически поворачивал головку. Ветровое колесо вновь устанавливалось в лоб к ветру. Так появилось простейшее устройство для поворота ветрового колеса на ветер без вмешательства человека. У современных ветродвигателей хвосты рассчитываются так, чтобы они начинали поворачивать головку с ветровым колесом на ветер, когда его направление изменится на угол около 10 градусов.

Для поворота головок больших ветродвигателей иногда делают оперение хвоста в виде двух или трёх вертикальных поверхностей, поставленных параллельно на некотором расстоянии друг от друга (см. рис. 27).

У других систем ветродвигателей роль хвоста выполняет само ветровое колесо. Оно устанавливает себя против ветра, как только ветер меняет своё направление. Для этого ветровое колесо помещается не впереди башни, а за башней. В этом случае колесо, как флюгер, автоматически следует за ветром.

При больших размерах ветрового колеса резкие повороты хвостом могут вызвать поломку крыльев. Поэтому при помощи хвостов обычно устанавливают на ветер только небольшие ветровые колёса с диаметрами до 18 метров.

Для поворота на ветер больших ветровых колёс современных быстроходных ветродвигателей применяются другие остроумные устройства. Они при любом ветре аккуратно и плавно выводят ветровое колесо на ветер.

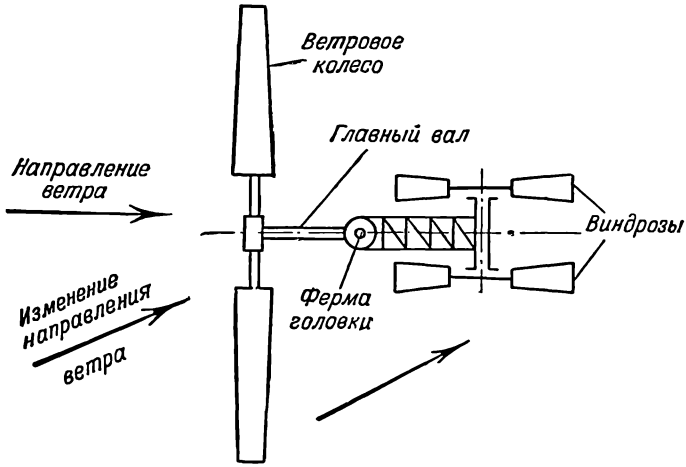


Рис. 26. Схема поворота головки ветродвигателя на ветер при помощи виндроз.

Наиболее распространены устройства, состоящие из двух многолопастных ветровых колёс, помещающихся на задней части фермы головки. Такие устройства называются виндрозами. Виндрозы расположены так, что если ветер дует в лоб рабочему колесу, они оказываются расположенными ребром к направлению ветра и стоят неподвижно. Когда же ветер дует сбоку, виндрозы приходят в движение и передаточным механизмом поворачивают головку с ветровым колесом на ветер до тех пор, пока оно не станет строго против ветра (рис. 26). В это время виндрозы вновь расположатся ребром к ветру и остановятся, пока ветер снова не изменит своё направление.

Обычно виндрозные механизмы поворачивают головку относительно башни с очень небольшой скоростью один полный оборот за несколько минут.

У крупных ветродвигателей головка устанавливается на ветер при помощи электромотора, управляемого небольшим флюгером. При изменении направления ветра флюгер поворачивается и замыкает электрическую линию, включая автоматически электромотор.

Электромотор остановится лишь при разъединении линии. А это произойдёт тогда, когда флюгер расположится вдоль воздушного потока, а ветровое колесо — в лоб к ветру.

Таковы основные устройства у современных ветродвигателей для автоматического поворота ветрового колеса на ветер.

Однако ветер может менять не только своё направление, но и скорость. Следовательно, меняется и сила давления на ветровое колесо. С увеличением скорости ветра увеличивается число оборотов ветрового колеса. Они могут достигнуть больших значений. Это опасно не только для прочности колеса, но и для всей установки и приключённых к ней машин.

Чтобы избежать этого, современные ветродвигатели снабжаются специальными устройствами, которые вступают в действие при большой скорости ветра. Они следят за тем, чтобы при дальнейшем усилении ветра число оборотов ветрового колеса не увеличивалось, а в случае бури останавливалось.

Наиболее простой метод ограничения оборотов у ветрового колеса заключается в том, что оно при ветре с определённой скоростью начинает частично выходить из-под ветра.

По мере увеличения скорости ветра ветровое колесо поворачивается на всё более значительный угол, а при буре располагается ребром к воздушному потоку и останавливается. При этом растягиваются регулирующие пружины или поднимается специальный груз, которые при уменьшении скорости ветра вновь выводят ветровое колесо на ветер.

Регулирование оборотов путём вывода всего ветрового колеса из-под ветра применяется обычно лишь у тихо-

ходных ветродвигателей с небольшими ветровыми колёсами.

Для регулирования оборотов у больших быстроходных ветродвигателей из-под ветра выводят не ветровые колёса, а отдельные крылья или их концевые части, равные $^1/_4$ или $^1/_3$ полной длины крыла.

В настоящее время наиболее совершенным является регулирование быстроходных ветродвигателей при помощи особых обтекаемых поверхностей — стабилизаторов, которые на стойках прикрепляются к поворотным частям крыльев. Стабилизаторы управляются центробежными грузами, находящимися внутри крыльев. Грузы очень чувствительны к изменениям оборотов у ветрового колеса, а следовательно, и к скорости ветра. Незначительное перемещение центробежных грузов вызывает поворот стабилизаторов, на которых при этом возникает сила от встречного ветра, поворачивающая концы лопастей подобно тому, как маленький руль поворачивает большую лодку. При выходе поворотных частей крыльев из-под ветра число оборотов ветрового колеса уменьшается.

Это оригинальное регулирование разработано советскими учёными и конструкторами под руководством заслуженного деятеля науки и техники проф. Г. Х. Сабинина и проф. Н. В. Красовского. Оно применяется у большинства современных быстроходных ветродвигателей мощностью от 10 до 1000 киловатт.

Изобретатель А. Г. Уфимцев и проф. В. П. Ветчинкин предложили регулирование оборотов у ветровых колёс быстроходных ветродвигателей путём вывода из-под ветра крыльев за счёт давления на них воздушного потока. При сильном ветре крылья, как флюгеры, могут поворачиваться относительно осей махов, свободно пропуская воздушный поток. Необходимая равномерность оборота ветроколеса с этим регулированием достигается за счёт работы так называемого инерционного аккумулятора, говоря проще, маховика, включаемого в трансмиссию. Быстро вращаясь, диск аккумулятора поглощает избыток энергии при возрастании скорости ветра и отдаёт эту энергию рабочим машинам при снижении скорости ветра. Такое регулирование установлено, например, у ветродвигателей 1-Д-18 системы Уфимцева-Ветчинкина (рис. 27).

У небольших быстроходных ветродвигателей поворот крыльев осуществляется за счёт дополнительных центробежных сил, которые возникают на специальных грузах, закреплённых у крыльев вблизи вала ветроколеса.

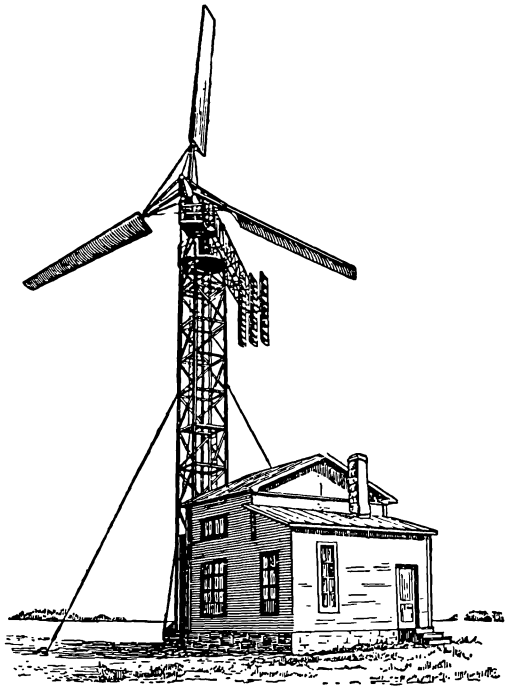


Рис. 27. Ветродвигатель 1-Д-18 мощностью до 30 киловатт.

Это простейшее по выполнению и весьма оригинальное по замыслу устройство было предложено лауреатом Сталинской премии В. С. Шаманиным.

Таковы основные автоматические механизмы современных крыльчатых ветродвигателей, при помощи которых ветровые колёса устанавливаются на ветер и удерживают заданные обороты при больших его скоростях.

5. ВЕТРОДВИГАТЕЛИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Современные ветродвигатели являются вполне совершенными энергетическими установками. При их помощи от непостоянного ветра можно получить полезную энергию для механизации разнообразных производственных процессов.

Современные ветродвигатели выгодно отличаются от других энергетических установок тем, что не требуют топлива. Это имеет исключительное значение для тех районов нашей страны, где запасы местного топлива невелики.

Так, эксплоатация быстроходных ветроэлектрических станций в хозяйствах Главного управления Северного морского пути показала, что в условиях Крайнего Севера ветроэлектростанции с успехом могут обеспечивать выработку почти всей необходимой энергии. Топливные двигатели пускались в работу лишь при ремонтах ветродвигателей.

Ветросиловые установки нужно использовать в первую очередь там, где производственные процессы без ущерба допускают перерывы, которые могут быть вызваны периодами штиля, слабого ветра или бурь. К таким производствам относится большинство сельскохозяйственных работ: водоснабжение, переработка зерна, приготовление корма, молотьба, осушение заболоченных земель, орошение, механизация разнообразных кустарных производств и промыслов.

Эффективность использования ветродвигателей в сельском хозяйстве была отмечена ещё В. И. Лениным. В 1918 году в «Набросках плана научно-технических работ» он дал указание Академии Наук использовать «Водные силы и ветряные двигатели вообще и в применении к земледелию».

В постановлении Совета Министров Союза ССР и ЦК ВКП(б) от 18 апреля 1949 года о трёхлетнем плане развития общественного и совхозного продуктивного животноводства указывается на большое хозяйственное значение ветродвигателей для механизации трудоёмких сельскохозяйственных работ.

Известно, что наиболее трудоёмкой работой на животноводческой ферме является обеспечение животных водой.

Современные ветронасосные установки с успехом могут использоваться для механизации сельскохозяйственного

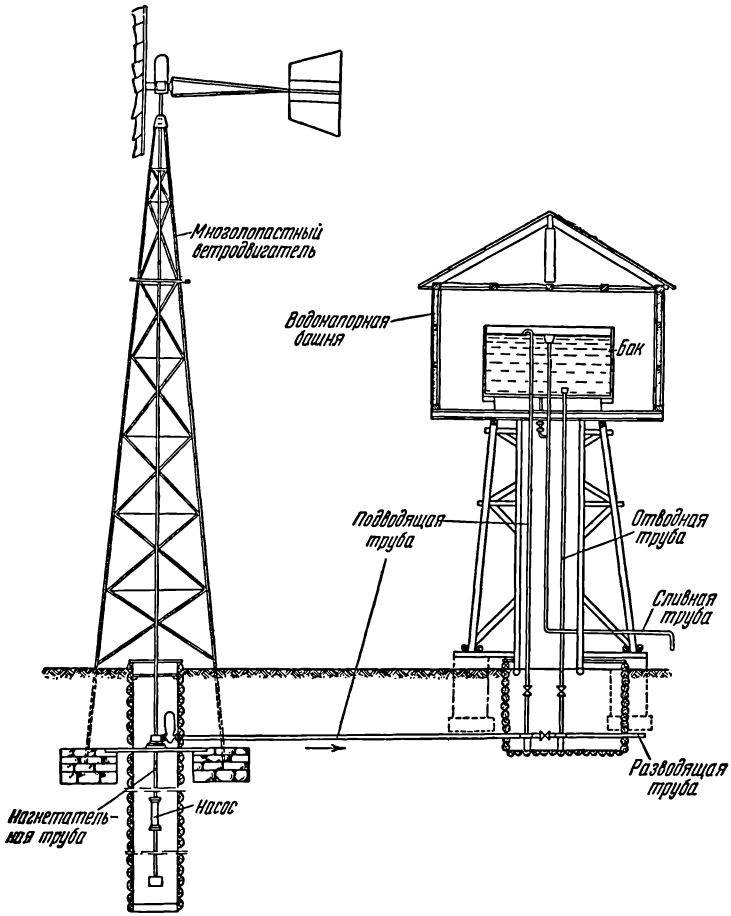


Рис. 28. Схема ветронасосной установки сельскохозяйственного типа.

водоснабжения. До 75 процентов необходимой для этого энергии может быть получено от ветра.

Простейшая и оправдавшая себя ветронасосная установка сельскохозяйственного типа (рис. 28) состоит из много-

лопастного ветродвигателя (марки ТВ-5 или ТВ-8 с диаметрами ветровых колёс 5 и 8 метров), трансмиссия которого соединяется со штангой насоса простого действия. Насос опущен в трубчатый или шахтный колодец. Цилиндр насоса прикрепляется к нижнему концу колонны нагнетательных труб, которая подвешивается к переходной коробке, установленной на дне насосной шахты. От переходной коробки вода по трубопроводу, проложенному в земляной траншее, подаётся в бак водонапорной башни. Отсюда она по разводящей трубе поступает к водоразборным колонкам или к автопоилкам в помещениях для скота.

Утеплённый водонапорный бак вместимостью до 25 кубических метров является неотъемлемой частью любой ветронасосной станции сельскохозяйственного типа. При помощи водонапорного бака не только создаётся необходимый запас воды на периоды безветрия, но и регулируется потребление воды. Одновременно в водонапорном баке хранится необходимый запас воды для противопожарных мероприятий.

Без водонапорного бака любая ветронасосная установка не может бесперебойно снабжать потребителей водой.

В настоящее время наша промышленность выпускает специально для механизации водоснабжения многолопастный ветродвигатель ТВ-5 мощностью до 2,5 лошадиной силы (см. рис. 25). Ветровое колесо этого ветродвигателя состоит из 18—24 металлических лопастей. Для поворота ветрового колеса на ветер ветродвигатель снабжён хвостом. Число оборотов регулируется автоматически — выводом ветрового колеса из-под ветра за счёт смещения его оси относительно оси башни.

Ветродвигатель ТВ-5 может поднимать воду на высоту до 70 метров; его средняя производительность — до 3—3,5 кубического метра в час.

Для более высокого (до 120 метров) подъёма воды предназначается многолопастный ветродвигатель марки ТВ-8 на 6 лошадиных сил с диаметром ветрового колеса 8 метров (рис. 29). Этот ветродвигатель имеет вертикальный вал, который внизу соединяется с универсальной приводной лебёдкой. При помощи этой лебёдки можно качать воду поршневым насосом и через ременную передачу приводить в движение различные кормоприготовительные

машины, жерновую мельницу, центробежный насос, четырёхконную молотилку и другие машины, потребляющие мощность до 6 лошадиных сил.

Ветродвигатель ТВ-8 может обслужить и группу машин, которые в этом случае подключаются к шкиву приводной лебёдки через контрпривод.

Ветровое колесо у ветродвигателя ТВ-8 устанавливается на ветер при помощи хвоста, а число оборотов регули-

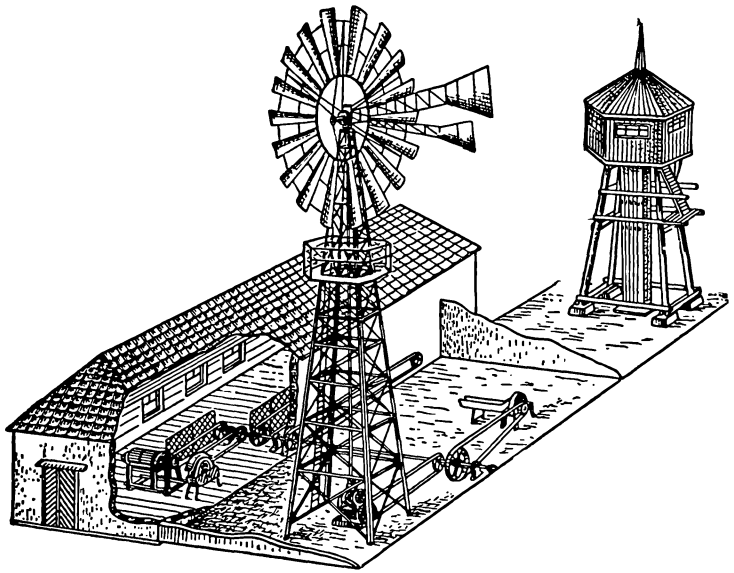


Рис. 29. Многолопастный универсальный ветродвигатель ТВ-8 мощностью до 6 лошадиных сил.

руется путём частичного вывода ветрового колеса из-под ветра при помощи боковой лопаты (рис. 30).

При работе с жерновой мельницей ветродвигатель ТВ-8 может в час переработать на муку до 200 килограммов зерна. Если же его соединить с центробежным насосом, можно полить 5—6 гектаров овощных культур, при подъёме воды на высоту до 10 метров.

Для подъёма воды из буровых скважин и колодцев сейчас строятся ветронасосные установки Д-5 системы

лауреата Сталинской премии А. А. Рожновского. Многолопастный ветродвигатель этой установки укрепляется на крыше металлической водонапорной башни вместимостью до 20 кубических метров воды (рис. 31).

Приводная штанга ветродвигателя напрямую соединяется с поршнем насоса, установленным в колодце.

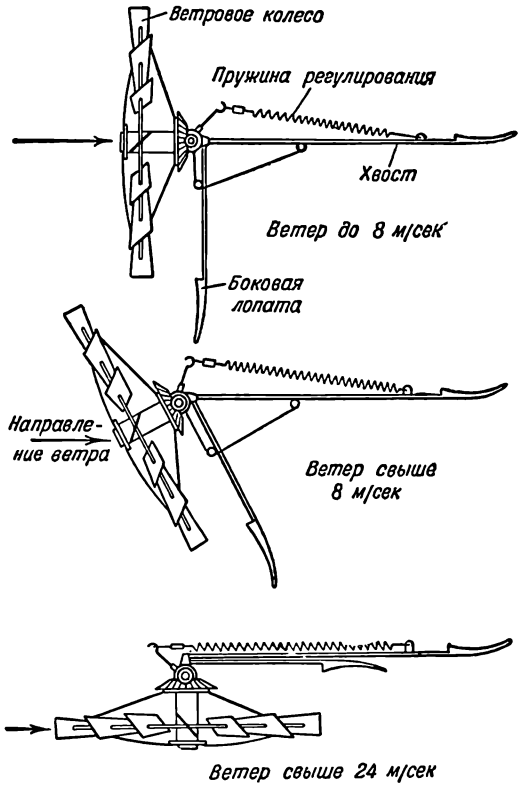


Рис. 30. Схема регулирования оборотов ветроколеса у ТВ-8 при помощи боковой лопаты.

Опыт использования ветродвигателей в сельском хозяйстве показывает, что они окупают себя в течение первого же года работы. Так, по 17 колхозам Ивановской области ветросиловые установки (ТВ-8 и ТВ-5) позволили в 1949 году сэкономить 7699 конедня и 7419 трудодня.

Большое количество воды в сельском хозяйстве требуется для полива растений, особенно в районах с недостаточным увлажнением почвы. В этих районах, как правило,

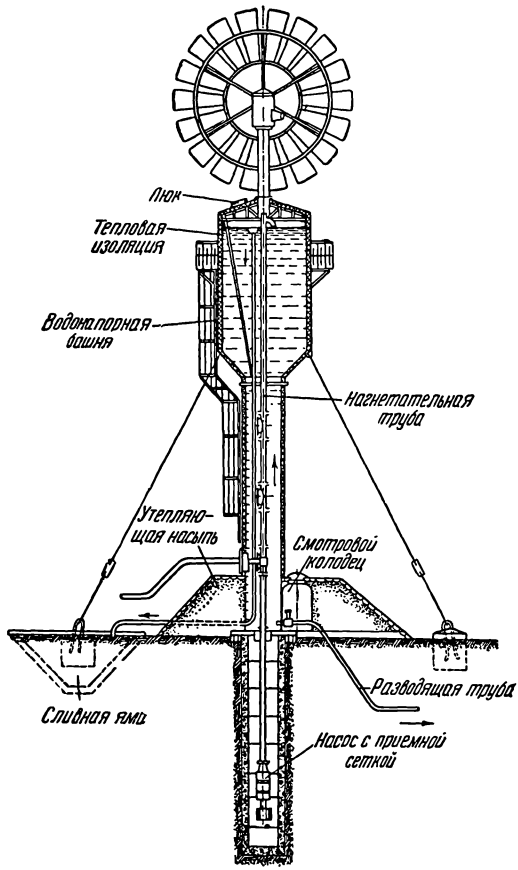


Рис. 31. Ветронасосная установка Д-5 на металлической водонапорной башне.

дуют сильные ветры. В период засухи ветер обычно усиливается. Это даёт возможность использовать энергию ветра для механического орошения.

Великий русский учёный К. А. Тимирязев придавал большое значение ветродвигателям в борьбе с засухой.

В 1893 году он писал: «Если голландцы при помощи своих ветряков борются с океаном, превращая море в сушу, если в наших городах различные ветряные двигатели качают воду в верхние этажи домов, почему бы тот же ветер не мог поднять воду со дна оврагов до уровня полей, почему не заставить его возвратить корням воду, которую он отнял у растений».

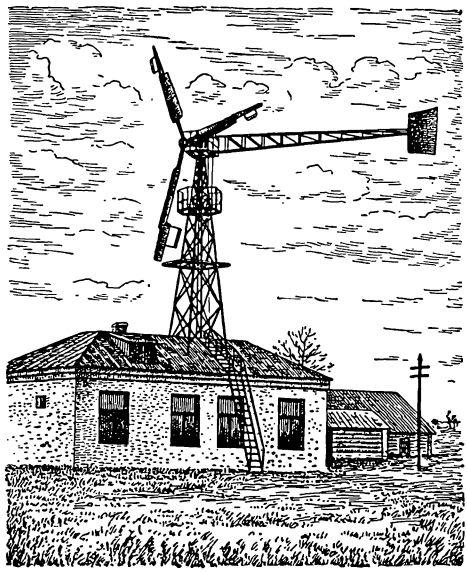


Рис. 32. Быстроходный ветродвигатель Д-12 мощностью до 14 лошадиных сил.

Значительный интерес для использования в сельском хозяйстве, особенно для механического орошения, представляет быстроходный, трёхлопастный ветродвигатель Д-12 с нормальной мощностью до 14 лошадиных сил (рис. 32). Крылья этого ветродвигателя имеют стабилизаторы для регулирования числа оборотов ветрового колеса.

Академик А. Н. Костяков подсчитал, что ветронасосная установка с ветродвигателем Д-12 при работе с центробежным насосом может обеспечить орошение огородных культур на площади до 17 гектаров.

Большое значение для механизации укрупнённых колхозов имеет мощный быстроходный ветродвигатель Д-18 с нормальной мощностью до 27 киловатт (рис. 33). Он отличается от ветродвигателя Д-12 тем, что поворот головки с ветровым колесом у него производится при помощи

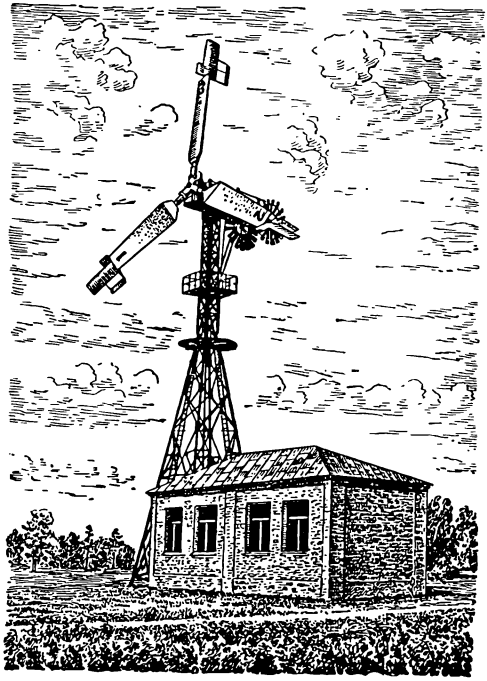


Рис. 33. Быстроходный ветродвигатель Д-18.

виндроз (см. рис. 10). Конструкторы ветродвигателя Д-18 В. И. Сидоров, А. В. Кармишин, В. С. Шаманин, С. В. Назаров и П. А. Аникин удостоены Сталинской премии.

Ветродвигатели с успехом могут использоваться для силового обслуживания и других трудоёмких работ в сельском хозяйстве, а также для электрификации в районах, где среднегодовые скорости ветра выше 4,5 метра в секунду.

Для освещения небольших построек (клубов, школ, помещений для скота, железнодорожных казарм и т. п.) и для зарядки аккумуляторов автомашин, радио и телефона применяются ветроэлектрические двигатели ЦАГИ-Д-2 мощностью до 100 ватт. Они могут питать также колхозные радиоузлы. Большое значение имеют эти ветродвигатели для снабжения электроэнергией различных экспедиций и изыскательных партий.

Таковы широкие возможности использования ветроэлектрических установок.

6. АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

Основным недостатком использования энергии ветра является его непостоянство. Ветродвигатели в безветренную погоду и при слабом ветре не работают. Таким образом, приходится искать способы накопления, или, как говорят, аккумулирования энергии ветра на период безветрия.

Простейшим видом аккумулирования энергии ветра является запасание перерабатываемого продукта на время безветрия. По этому принципу работают все ветронасосные и ветромукомольные установки. Целый ряд других сельскохозяйственных производств допускает такой вид аккумулирования энергии ветра.

Сложнее аккумулировать энергию на период безветрия. Простейшим видом такого аккумулирования является использование при ветроэлектрических установках обычных электрических аккумуляторов. Однако электрические аккумуляторы — довольно громоздки и дороги. К тому же они требуют квалифицированного ухода. Поэтому электрические аккумуляторы применяются только при мелких ветроэлектрических установках мощностью не более трёхчетырёх киловатт. При более мощных ветроэлектростанциях необходимо устанавливать резервный двигатель.

Например, единственным местным топливным ресурсом Астраханской области является камыш, в изобилии растущий в Волго-Ахтубинской пойме. Однако камыша нехватит для полной электрификации сельского хозяйства области. Между тем в Астраханской области можно широко использовать энергию ветра.

Использование здесь ветроэлектростанций, имеющих тепловой резерв в виде локомобильной установки, сжигающей камыш, может обеспечить бесперебойную подачу энергии потребителям.

В лесистых районах в качестве резерва при ветроэлектростанции может быть использована газогенераторная установка. В отдельных районах Московской, Ленинградской и других областей топливом для резервных установок при ветроэлектростанциях может служить местный уголь и торф.

Большой интерес представляет совместная работа ветросиловых установок с гидростанциями на малых реках, работа которых весьма неустойчива по временам года. Как правило, летом и зимой при сильных морозах ощущается недостаток воды перед плотиной мелкой гидростанции. Воду приходится экономить и накапливать, работая с неполной мощностью или совсем останавливая турбину. Этого можно избежать, если параллельно с гидростанцией установить один или несколько ветродвигателей, которые в ветреные дни будут подавать электроэнергию потребителям. В это время на гидростанции будет накапливаться вода перед плотиной. Так вода и ветер, удачно дополняя друг друга, могут обеспечить работу комбинированной энергетической установки.

Аккумулирование непостоянной энергии ветра заключается не только в совместной работе гидростанции с ветросиловой установкой.

В районах с пересечённым рельефом местности и при обилии воды целесообразно устраивать верхние водоёмы — аккумуляторы. В них вода подаётся ветронасосными установками и затем используется для получения электроэнергии от гидростанции.

Во многих местах Советского Союза имеются весьма подходящие условия для строительства комбинированных силовых установок на базе использования энергии воды и ветра.

Советские инженеры являются пионерами в разработке и строительстве мощных ветроэлектрических установок. Ещё в 1931 году была спроектирована и построена в районе г. Севастополя ветроэлектростанция ЦАГИ-Д-30 мощностью до 100 киловатт (рис. 34).

На основе этого опыта советские конструкторы ещё в 1935 году создали проект более мощной и совершенной ветроэлектростанции ЦВЭИ-Д-50 мощностью до 1000 киловатт.

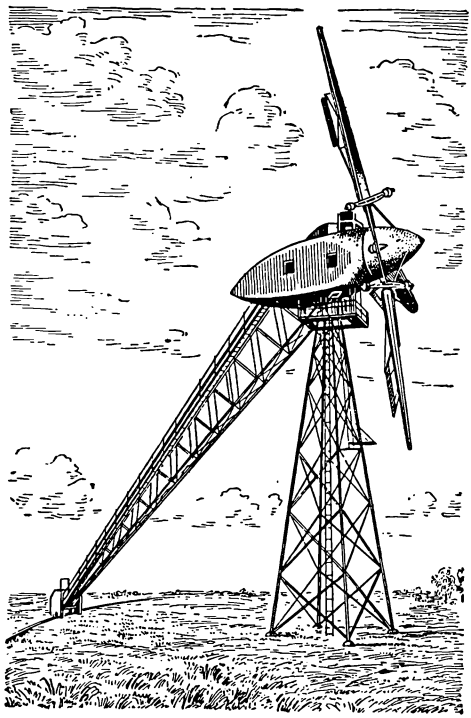


Рис. 34. Ветроэлектрическая станция ЦАГИ-Д-30 мощностью до 100 киловатт.

Большой интерес для практического использования представляет водородный способ аккумулирования энергии ветра, над которым работают советские конструкторы.

Ветроэлектростанция с водородным аккумулированием состоит из быстроходного ветродвигателя, который вращает электрический генератор постоянного тока. Электро-

энергия от генератора поступает к электролизеру *), где вода разлагается на водород и кислород. Полученные таким путём газы собираются в газгольдерах **) и в дальнейшем служат топливом для газового двигателя.

Широкое развитие высоковольтных кольцевых линий электропередач открывает новые возможности для работы мощных ветросиловых установок в единой энергетической системе. При этом мощные ветродвигатели, работая на общую сеть, в значительной степени увеличивают выработку энергосистемы без затраты топлива.

* * *

Таково заманчивое и вполне реальное будущее широкого использования энергии ветра — «голубого угля». Массовое использование ветродвигателей может дать то изобилие дешёвой электроэнергии во всех уголках нашей страны, которое необходимо для удовлетворения производственных и бытовых потребностей наступающей эпохи коммунизма.

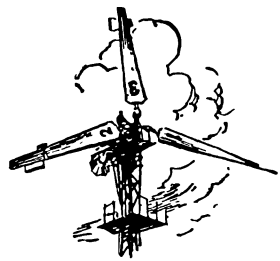
Советские учёные и конструкторы сделали большой вклад как в теорию ветротехники, так и в дело разработки оригинальных конструкций ветродвигателей.

Так, передовая советская наука и техника подошли вплотную к освоению неисчерпаемых запасов «голубого угля».

---

*) Электролизер — аппарат, в котором происходит разложение вещества электрическим током.

**) Газгольдер — хранилище для больших количеств газа.



СОДЕРЖАНИЕ

I. Ветер в природе 3
1. Атмосфера и её движение 3
2. Что делает ветер в природе 17
3. Чему равна энергия ветра 25

II. «Голубой уголь» 31
1. Немного истории 31
2. Сельские мельницы и кустарные ветродвигатели 34
3. Системы современных ветродвигателей 38
4. Как современные ветродвигатели борются с «капризами» ветра 45
5. Ветродвигатели в сельском хозяйстве 51
6. Аккумулирование энергии ветра 59

ЧТО ЧИТАТЬ О ВЕТРЕ И ВЕТРОДВИГАТЕЛЯХ

1. **Кармишин А. В.**, Энергия ветра и ветродвигатели; Госкультпросветиздат, 1950.

2. **Кармишин А. В. и Пашенков Я. М.**, Применение ветродвигателей для орошения и водоснабжения; Сельхозгиз, 1949.

3. **Лазарев П. П.**, Энергия, её источники на Земле и её происхождение; Госэнергоиздат, 1947.

4. **Фатеев Е. М.**, Ветродвигатели; Госэнергоиздат, 1946.

5. **Фатеев Е. М.**, Ветродвигатели и ветроустановки; Сельхозгиз, 1948.

6. **Фатеев Е. М.**, Как сделать самому ветроэлектрический агрегат; Энергоиздат, 1949.

7. **Сидоров В. И.**, Ветродвигатели в Арктике; Издательство Главсевморпути, 1946.