

ВСЕСОЮЗНАЯ АКАДЕМИЯ С.-Х. НАУК ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ИНЖЕНЕР
Е. М. ФАТЕЕВ

ЭЧЗ

ВЕТРОДВИГАТЕЛИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

~~Наркомлес СССР.
Центральная научно-техническая библиотека~~



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
«СЕЛЬХОЗГИЗ»
МОСКВА — 1939

ПРЕДИСЛОВИЕ

Правильное использование энергии ветра в сельском хозяйстве требует от работников на местах знаний не только самого ветродвигателя, но и способов его применения на различных процессах работ в хозяйстве.

Предлагаемая вниманию читателей книга содержит две основные части.

В первой части даются общие сведения о различных конструкциях ветродвигателей, а также их характеристики. В этом разделе частично использован материал, помещенный в книге автора «Ветродвигатели», изданной в 1935 г. Об основных показателях ветра в этой части говорится весьма кратко, поскольку это требуется для понимания рассматриваемых в книге вопросов.

Во второй части исследуется работа ветродвигателей с точки зрения эксплуатации их в сельском хозяйстве. Дается ряд примеров правильного подбора насосов и с.-х. машин, а также готовые таблицы, которые могут быть полезны при решении задачи о подборе машин к ветродвигателю. Для ознакомления читателей с существующими ветроустановками в сельском хозяйстве дано описание ряда ветроустановок, обследованных и частично испытанных лабораторией ветроиспользования ВИМЭ под руководством автора в 1936/37 г. в различных областях Союза.

Просьба к читателям отзывы о книге направлять по адресу: Москва, Орликов пер., д. 3, Сельхозгиз.

~~ПРОВЕРИТЬ~~

ВВЕДЕНИЕ

Энергией ветра человечество пользуется очень давно, однако промышленное значение она приобретает у нас лишь в настоящее время.

Требования, предъявляемые в Советском Союзе к энергетике со стороны гигантски растущих промышленности и сельского хозяйства огромны.

Ветросиловые установки в нашем Союзе в массовом порядке начинают находить применение в сельском хозяйстве совсем недавно: 1935/36 г. Между тем в США общая мощность ветродвигателей, работавших только по водоснабжению в 1931 г., достигала 1 миллиона лошадиных сил. Эта цифра соответствует 500 000 шт. ветродвигателей Д-5 м, при полной их загрузке.

Возможность экономически выгодно использовать энергию ветра у нас на многих участках народного хозяйства несомненно велика. А по водоснабжению эта выгода уже сейчас доказана на первых ветронасосных установках, несмотря на то, что они страдают еще многими недостатками, выявленными во время эксплуатации и легко устранимыми в процессе заводского производства.

Уже есть ветросиловые установки у нас, которые оказались настолько выгодными, что окупили себя в течение 2, 3 и 4 месяцев своей работы по подъему воды. О них будет сказано в главе о ветроустановках в различных областях нашего Союза.

Исключительно велики возможности в применении ветродвигателей малой мощности (от 2 до 15 л. с.) для водоснабжения и орошения в колхозах и совхозах, а также осушения заболоченных лесных массивов. Огромные участки земли в Поволжье, а также в среднеазиатской части СССР требуют орошения. Значительные участки этих земель могут быть орошены с помощью ветродвигателей.

Кроме того, энергию ветра можно широко использовать в сельском хозяйстве для различных стационарных работ: обработка кормов для скота, перемол зерна, удобрений, пила леса и т. п.

Использование энергии ветра представляет чрезвычайный экономический и культурный интерес для обслуживания ряда окраинных районов Союза, лишенных других источников энергии.

На далеком севере, в Западном Казахстане, во многих засушливых районах наиболее дешевой и доступной к использованию энергией является ветер.

Применение ветроэлектростанций в Арктике с ветродвигателем ЦВЭИ Д-12 м, Херсонского завода им. Петровского, согласно полученным сведениям в 1936 г., даст весьма положительный эффект. Поскольку там ветры отличаются большими скоростями, эти ветродвигатели, обладая хорошим регулированием системы проф. Г. Х. Сабина, дают вполне доброкачественный ток, годный к практическому использованию на освещение, моторную нагрузку и нагрев овощных парников.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕТРОДВИГАТЕЛЯХ

1. ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ВЕТЕРА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

При разрешении различных вопросов по изучению ветродвигателей неизбежно приходится рассматривать их в связи с основными величинами, характеризующими ветер как источник энергии. Поэтому в данном разделе нашей книги мы кратко остановимся на основных характеристиках ветра; они помогут нам более просто объяснить тот или иной вопрос, а также дадут возможность подсчитать ряд таблиц, имеющих теоретическое и практическое значение.

Скорость ветра

Основными величинами, характеризующими ветер, с точки зрения технического его использования, являются его скорость и повторяемость этой скорости в течение года. Величина скорости, по которой обычно судят о силе ветра, определяется расстоянием, проходимым ветром в единицу времени. Расстояние измеряется метрами, а время — секундами. Если, например, расстояние, пройденное ветром за 20 секунд, равно 100 м, то скорость ветра за наблюдаемый промежуток времени была равной:

$$v = \frac{100}{20} = 5 \text{ м/сек.}$$

Обычно скорость ветра измеряется с помощью приборов, называемых анемометрами.

На фиг. 1 показан ручной анемометр Фуса; им наиболее часто пользуются при измерении скорости ветра. Он состоит из крестовины с пустотелыми полушариями, которая вращается при действии на нее ветра. Ось крестовины приводит в движение ряд зубчатых шестеренок, помещенных в коробке. Оси шестеренок выведены на циферблат коробки, где нанесены шкалы метров, проходимых ветром. Стрелки, помещенные на осях зубчатого механизма, показывают цифровые значения метров, пройденных ветром за какой-либо промежуток времени. Разделив число, показываемое стрелками на циферблате, на число секунд, в течение которых вращался анемометр, получим скорость ветра за наблюдаемый период времени. Например, на циферблате перед началом наблюдений стрелки показывали величину, равную 4 540 м, а по истечении 5 минут работы анемометра на его циферблате стрелки показывают 6 130 м. Следовательно, ветер за 5 минут совершает путь, равный 6 130—4 540=1 590 м. А скорость ветра за этот промежуток времени будет равна

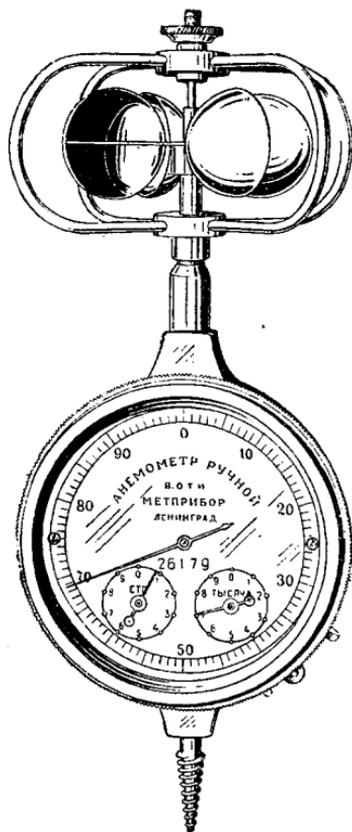
$$v = \frac{1590}{5.60} = 5,3 \text{ м/сек.}$$

Это есть средняя скорость ветра за 5 минут.

Есть и другие системы анемометров для измерения скоростей ветра с той или иной степенью точности; на описании их мы не останавливаемся, предлагая читателю, желающему ознакомиться с ними, обратиться к специальным книгам по метеорологии и аэрологии.

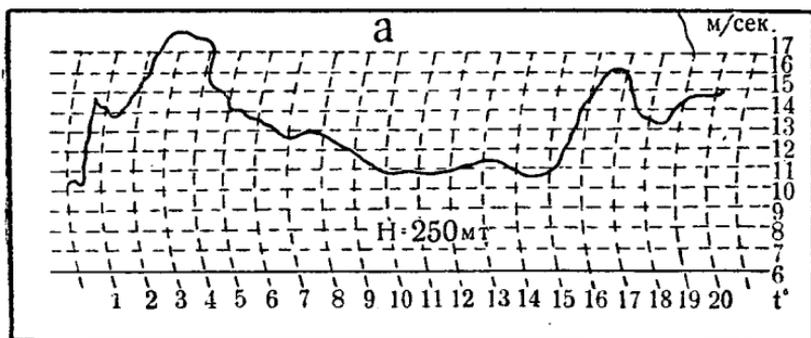
Различного рода препятствия на земной поверхности — холмы, деревья, строения и т. п. — нарушают естественное направление и скорость ветра.

Ветер, движущийся высоко от поверхности земли, более постоянен и имеет почти прямолинейное направление. Если же на его пути встречаются препятствия, то позади них ветер закручивается в вихревые кольца, которые срываются с них и уносятся воздушным потоком в направлении ветра; вместо них образуются новые вихри и т. д. Протекая препятствия, воздушный поток теряет часть своей живой силы на удары о препятствия и на образование вихрей. В свое первоначальное состояние поток ветра приходит примерно на пятнадцатикратном расстоянии от препятствия, что необходимо иметь в виду при выборе места для установки ветродвигателя. Если ветряк устанавливается вблизи препятствий, то высота его башни должна быть такой, при которой нижний конец крыла ветроколеса находился бы минимум на 2 м выше препятствий, наруша-



Фиг. 1. Ручной анемометр Фуса.

ющих прямолинейность и скорость ветра. Нерационально ставить ветродвигатель среди высоких деревьев или в оврагах. Это весьма невыгодный рельеф поверхности для работы ветряка.

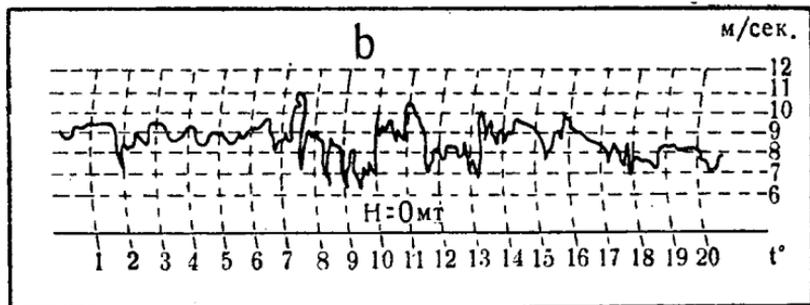


Фиг. 2. Изменение скорости ветра по времени на высоте.

ющих прямолинейность и скорость ветра. Нерационально ставить ветродвигатель среди высоких деревьев или в оврагах. Это весьма невыгодный рельеф поверхности для работы ветряка.

Как изменяется скорость ветра по времени, на высоте и вблизи поверхности земли, показано на фиг. 2 и 3.

Для практического использования энергии ветра требуется знать по крайней мере средние скорости ветра за месяц и за год в тех районах, где предполагается постройка ветросиловых установок. Эти скорости определяются по данным наблюдений метеорологических станций за несколько лет. В таблице 1 даны среднемесячные и среднегодовые скорости ветра в некоторых районах СССР. Таблица пока-



Фиг. 3. Изменение скорости ветра по времени вблизи поверхности земли.

зывает, что наибольшими средними скоростями отличаются ветры в районах, расположенных вблизи морей. Как правило, максимум скоростей ветра падает на осенний и зимний период.

Повторяемость ветра

Основным показателем, кроме средней скорости ветра, которым пользуются при подсчете ветровых энергоресурсов, является повторяемость ветра определенной скорости. При подсчете выработки мощности ветродвигателем необходимо знать, сколько часов каждая скорость повторяется в течение месяца, а также года, в районе установки ветродвигателя, а еще лучше — в той точке, где этот ветродвигатель работает.

В таблице 2 приведены действительные повторяемости скорости ветра в часах в районе установки Крымской ветроэлектростанции б. ЦВЭИ у Балаклавы.

М. М. Поморцев при анализе повторяемости ветров и среднегодовых скоростей ветра установил, что между повторяемостью ветра и его среднегодовой скоростью существует определенная зависимость. На этом основании он построил таблицу повторяемости ветра для различных среднегодовых скоростей.

Повторяемость ветра по М. М. Поморцеву приведена в таблице 3, где даны приблизительные числа часов в году повторяемости скоростей ветра от 0 до 20 м/сек. в зависимости от среднегодовых скоростей ветра.

Аналогичные исследования проделаны Гулленом; значение величины повторяемости ветров по Гуллену приведены в таблице 4.

По этим таблицам легко определить выработку установки, если известны среднегодовая скорость ветра и та скорость, при которой ветряк

Среднемесячные и среднегодовые скорости ветра в СССР

Таблица 1

Название пунктов с метеостанциями	Месяцы года												Среднегодовая скорость ветра % м/сек.	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	без по- правоч. коэф.	с по- прав. коэф.
Маточнин Шар	7,4	7,6	8,6	7,2	6,6	7,2	6,6	5,0	6,2	7,0	7,0	6,8	6,9	7,6
Малые Кармакувы	9,8	8,8	8,5	8,2	6,9	6,0	6,9	5,9	7,2	7,5	8,7	8,9	7,8	9,8
Александровск	6,1	5,9	5,9	5,0	4,8	4,6	4,1	4,0	4,6	5,6	5,6	5,8	5,2	5,9
Обдорск	3,9	3,7	4,4	5,1	5,7	6,2	5,3	5,5	5,0	5,7	4,5	4,2	4,9	6,0
Инига	3,9	3,8	4,4	3,6	4,1	3,7	3,1	3,1	3,7	3,5	4,1	3,7	3,8	4,8
Архангельск	4,1	4,1	4,0	3,6	4,0	3,9	3,2	3,5	4,2	4,5	4,5	4,2	4,0	4,65
Холмогоры	2,8	2,7	2,8	2,7	3,4	3,0	2,6	2,8	3,1	3,0	3,0	2,8	2,9	3,9
Вилуйск	1,8	1,9	2,2	2,8	3,0	2,9	2,4	2,5	2,6	2,7	2,2	1,9	2,4	3,1
Петроваводск	5,2	4,8	5,0	4,4	4,4	4,2	4,0	4,3	5,4	5,0	5,3	4,9	4,8	5,8
Олонец	4,1	3,6	3,9	3,9	3,8	3,6	3,7	3,6	3,3	4,6	4,2	4,2	3,9	4,8
Великий Устюг	3,4	3,2	3,7	3,4	3,8	3,3	3,0	2,9	3,7	3,8	3,9	3,6	3,5	4,06
Чердынь	3,1	3,3	3,5	3,4	3,4	3,8	3,3	2,9	3,5	3,7	3,4	3,1	3,4	3,7
Исков	4,3	4,3	4,4	3,7	3,8	3,6	2,9	2,8	3,8	4,4	4,3	4,3	3,9	4,8
Вологда	6,6	5,9	6,6	6,4	5,8	5,0	4,5	4,4	5,7	6,6	6,5	6,3	5,9	5,7
Кострома	4,4	4,4	4,1	3,6	3,5	3,5	3,1	3,2	3,5	3,7	4,1	4,3	3,8	4,2
Киров	5,2	5,3	5,4	5,0	5,0	4,2	3,7	4,2	4,9	5,5	5,6	4,8	4,9	5,4
Пермь	4,0	4,1	4,4	4,8	4,0	3,8	3,0	3,0	3,6	4,4	4,5	4,0	3,9	4,3
Ирбит	3,4	3,4	3,6	4,0	4,1	3,1	3,0	3,2	3,5	3,8	3,9	3,5	3,5	3,8
Тобольск	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	4,2	3,6	3,4	3,8	3,9	3,9	3,9	4,1	4,5
Нарым	2,5	2,5	2,6	2,6	3,2	3,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,2	2,8	3,0	3,8
Елисейск	2,3	2,2	2,5	2,6	3,0	2,4	1,8	1,9	2,3	3,0	3,0	2,3	2,4	3,0
Охотск	4,3	3,9	3,6	3,8	3,6	4,0	3,7	3,4	4,0	4,7	5,1	4,7	4,1	5,5
Ржев	4,5	4,3	4,3	3,6	3,7	3,4	3,1	3,3	3,7	3,6	4,3	4,1	3,8	4,7
Вязьма	4,5	4,8	3,9	3,6	3,9	3,1	2,8	3,1	3,6	4,1	4,6	3,8	3,6	4,0
Москва	4,6	4,6	4,7	4,3	4,1	3,5	3,2	3,3	3,9	4,3	4,6	4,4	4,1	4,26
Малоярославск	4,1	4,0	4,5	3,8	3,6	3,6	3,0	2,8	3,4	3,9	4,5	3,8	3,8	4,6
Горький	4,8	4,6	4,6	4,3	4,0	3,7	3,4	3,4	4,2	4,9	5,0	4,7	4,3	4,8
Владимир	5,3	5,6	5,1	4,5	4,1	3,3	3,4	3,4	4,1	4,7	5,0	4,6	4,4	5,3
Сарапул	3,7	3,9	3,6	3,4	3,5	3,4	2,9	3,2	3,4	3,4	3,5	2,7	3,4	3,60
Свердловск	4,6	4,5	4,8	4,8	4,6	4,0	3,8	3,9	4,4	5,1	5,1	4,4	4,5	4,6
Челябинск	3,1	3,0	4,2	3,8	4,0	3,5	3,4	3,3	3,2	3,6	3,8	2,7	3,5	3,5
Новосибирск	3,6	3,2	3,6	3,2	3,3	2,8	2,3	2,5	2,8	3,7	3,8	3,5	3,2	3,6
Усть-Камчатск	6,0	5,9	5,2	4,8	3,2	4,6	3,4	3,4	2,9	3,1	4,3	6,2	4,4	5,6
Минск	4,2	4,6	5,2	4,8	4,2	3,6	3,6	3,4	3,5	3,9	4,3	4,6	4,2	4,8
Смоленск	4,1	3,7	3,7	3,5	3,0	2,6	2,5	3,1	3,6	4,1	4,0	3,5	3,5	4,0
Могилев	4,5	4,3	4,8	4,0	3,6	3,8	3,7	3,4	3,5	4,4	4,5	4,1	4,1	4,9
Орел	4,4	4,5	4,3	4,2	3,8	3,2	2,8	3,0	2,6	3,7	4,0	4,1	3,8	4,7
Пенза	3,5	3,4	3,2	2,6	2,7	2,6	2,1	2,2	2,8	3,1	3,2	3,0	2,9	2,9
Кувшино	4,3	3,9	4,2	3,5	3,9	3,1	2,6	2,5	3,3	4,2	4,2	4,0	3,7	4,5
Уфа	5,5	5,4	6,4	5,5	5,0	4,6	4,0	2,9	4,8	5,9	6,5	5,4	5,2	5,2
Полтава	4,0	3,8	4,9	4,1	4,1	2,8	2,8	3,0	3,7	4,6	4,3	3,8	3,8	5,2
Петропавловск	4,9	5,2	5,2	4,8	4,6	4,3	3,7	3,7	4,1	4,8	5,3	4,8	4,6	5,7
Сумы	5,5	5,1	5,4	5,0	4,3	3,6	3,4	3,7	4,1	4,7	5,7	5,3	4,6	5,0
Курск	5,0	5,1	5,1	4,8	4,4	3,9	3,8	3,8	4,3	4,5	4,9	4,7	4,5	5,2
Воронеж	6,1	5,6	5,1	5,1	4,9	4,1	3,8	3,7	4,2	5,2	5,3	5,4	4,9	5,7
Саратов	5,6	4,5	4,9	4,4	4,0	3,7	3,6	3,2	4,2	5,2	4,7	4,8	4,4	5,4
Уральск	4,0	4,4	4,3	4,3	4,2	3,8	3,5	3,6	3,9	3,9	4,1	4,1	4,1	4,5
Оренбург	4,8	4,6	4,9	4,5	4,4	3,9	3,7	3,5	4,1	4,4	4,5	4,6	4,3	4,2
Новороссийск	5,2	5,4	6,0	5,1	4,7	4,1	4,2	3,9	4,1	5,0	5,0	5,0	4,8	5,4
Иркутск	2,2	2,3	2,8	3,4	3,4	2,8	2,2	2,2	2,6	2,6	2,3	1,7	2,5	2,9
Благовещенск	2,0	2,3	3,1	4,2	3,7	3,1	2,6	2,7	2,8	3,2	2,6	2,2	2,9	3,5
Александровск на Сахалине	5,1	4,1	5,4	4,8	4,2	3,5	3,4	4,1	3,1	6,8	6,9	6,1	4,2	4,5
Харьков	3,7	3,9	9,7	3,6	3,4	3,0	2,8	2,9	3,3	3,2	3,6	3,5	3,4	3,7
Ворошиловград	7,0	7,1	8,1	7,3	5,4	5,0	4,6	4,7	4,7	6,4	6,5	7,2	6,1	6,7
Днепропетровск	3,9	4,0	3,7	3,6	3,1	2,8	2,6	2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,3	4,2
Новочеркасск	5,0	5,8	4,5	4,4	4,2	3,5	3,1	3,4	4,5	4,6	4,0	4,5	4,5	4,5
Сталинград	6,3	6,3	6,9	6,0	5,5	6,3	4,8	4,7	4,7	5,5	5,3	5,8	5,6	6,1
Ахтуба	4,7	4,9	5,2	5,0	4,4	4,0	3,5	3,8	3,8	4,2	4,4	4,5	4,4	5,1
Тургай	5,7	6,2	6,3	5,8	5,4	4,7	4,4	4,4	5,0	5,1	5,0	5,1	5,2	6,5
Хабаровск	2,7	2,0	3,1	3,2	2,6	2,6	2,4	2,4	2,6	3,6	3,2	3,2	3,1	3,9
Херсон	4,6	4,7	4,4	4,3	3,5	3,2	3,1	3,3	3,3	3,7	4,1	4,3	3,9	4,4
Одесса	5,7	5,7	5,5	5,6	4,6	4,1	4,0	4,0	4,5	4,8	5,2	5,4	4,9	5,4
Ростов на Дону	5,2	5,1	4,8	4,8	4,3	3,8	3,6	3,8	4,0	4,2	4,6	4,7	4,4	4,7
Мариуполь	4,7	5,0	4,7	4,6	4,3	3,9	3,4	3,9	4,0	4,4	4,2	5,1	4,3	4,9
Керчь-порт	5,1	5,2	5,0	5,1	4,7	4,4	4,2	4,7	4,6	5,1	4,7	5,1	4,9	5,9
Севастополь	5,2	5,3	5,2	5,1	3,9	4,4	4,1	4,3	4,4	4,7	4,8	4,7	4,7	4,5
Караби-Яйла	7,3	7,2	7,8	8,1	6,6	6,2	5,4	6,1	6,6	7,0	7,0	7,7	6,9	7,6
Ай-Петри	7,3	6,9	6,2	6,1	4,7	5,0	5,2	5,3	5,6	5,3	6,3	7,0	5,9	6,2
Мархотский перевал	10,9	10,4	10,0	9,2	8,0	7,4	6,9	7,6	8,3	9,2	10,5	10,5	9,0	9,0

Повторяемость ветров в часах у Балаклавы по записям БЭС ЦВЗИ за 1931 г.

Таблица 2

Скорость ветра в м/сек.

Месяцы	Скорость ветра в м/сек.												15-16			
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12		12-13	13-14	14-15
Январь	89	77	94	44	57	52	49	42	80	38	43	43	29	20	9	39
Февраль	172	429	404	58	43	37	11	27	21	23	20	15	5	2	—	1
Март	49	43	44	59	66	42	57	46	38	54	17	43	47	46	32	94
Апрель	48	35	74	60	66	40	51	39	26	20	8	32	20	10	12	23
Май	45	72	92	81	95	97	67	50	40	30	7	15	11	7	7	23
Июнь	60	45	82	82	99	88	71	70	42	30	11	8	8	3	2	3
Июль	3	34	78	126	131	96	70	83	42	23	21	7	3	4	7	5
Август	30	59	86	73	99	113	78	59	37	31	30	13	9	6	2	2
Сентябрь	24	42	60	74	89	83	76	60	52	41	41	45	44	10	13	38
Октябрь	24	53	77	67	74	63	66	69	50	53	35	29	24	10	9	41
Ноябрь	26	72	89	77	70	37	34	22	30	24	36	19	28	19	16	17
Декабрь	16	23	35	50	56	59	52	65	62	82	48	21	24	18	13	21
За год	526	684	915	851	938	807	652	632	470	449	297	260	222	155	122	300

Таблица 3

Количество часов повторяемости ветра по М. М. Поморцеву

Скорость ветра в м/сек.

Среднегодные скорости ветра % м/сек.	Скорость ветра в м/сек.												19	20											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12	13	14	15	16	17	18				
1	2 230	3 600	2 190	653	87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2	876	2 020	2 590	2 020	873	330	51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	500	1 030	1 700	4 990	1 710	4 050	525	193	62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	307	630	1 070	4 445	4 610	4 445	4 070	640	315	152	52	26	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	475	376	684	1 003	1 310	4 445	4 310	4 050	700	376	483	70	52	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	87	228	420	700	963	4 210	4 320	4 223	4 000	700	488	262	431	52	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	52	149	262	462	700	930	4 100	4 180	4 120	963	720	500	342	470	36	18	16	—	—	—	—	—	—	—	—
8	44	88	187	334	492	685	876	4 030	1 100	4 033	886	700	516	350	220	445	61	26	17	—	—	—	—	—	—
9	18	62	140	228	350	500	700	840	960	1 000	960	850	700	520	368	250	157	87	52	18	—	—	—	—	—
10	0	18	70	180	280	394	520	684	788	876	896	876	796	688	520	420	290	493	131	79	61	—	—	—	—

начинает работать. При этом таблицей 3, составленной по М. М. Порморцеву, пользуются для средних скоростей ветра, не превышающих 6 м/сек. Для среднегодовых скоростей от 6 м/сек. и выше можно более точно подсчитать выработку по таблице 4, построенной по Гуллиену. Насколько близко подходят теоретические кривые повторяемости

Таблица 4

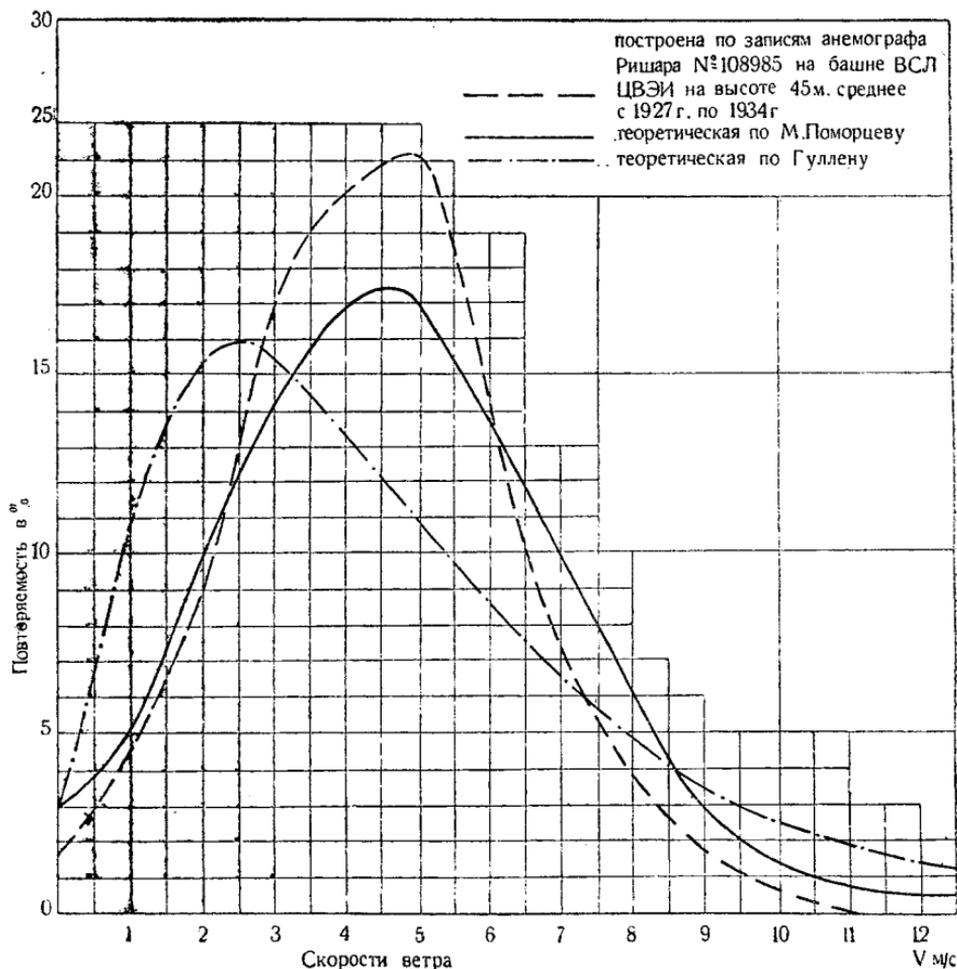
Повторяемость ветра по Гуллиену в часах за год

(v_0 — среднегодовая скорость ветра)

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

ветра по Гуллину и по М. М. Поморцеву к действительным повторяемостям ветра, видно из графиков, приведенных на фиг. 4 и 5.

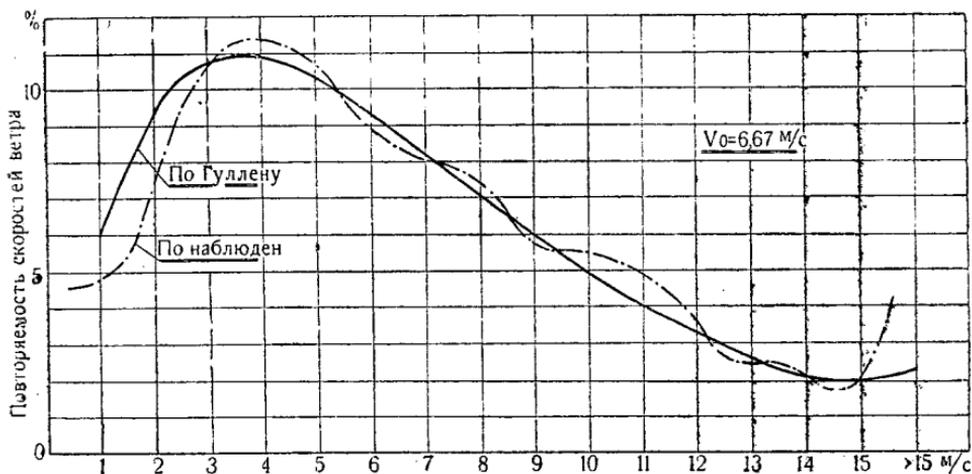
Допустим, ветродвигатель, установленный в районе, где среднегодовая скорость ветра равна 5 м/сек., начинает работать при скорости ветра 3 м/сек. Нужно определить, сколько часов в году этот ветродвигатель будет работать. Пользуемся таблицей 3, где в первой графе даны



Фиг. 4. Сравнение теоретических кривых повторяемости ветра по М. Поморцеву и Гуллину с действительной, полученной по записи на вышке ЦВЭИ с 1927 по 1934 г.

среднегодовые скорости ветра, а в каждой последующей графе даны часы повторяемости соответствующей скорости ветра, при которой ветродвигателю придется работать. Эти скорости отложены в верхней строке таблицы. Так как в условии дана среднегодовая скорость ветра, равной 5 м/сек., то производим суммирование часов, данных в строке для среднегодовой скорости ветра, равной 5 м/сек. Суммирование начинаем с цифры 1003, которую находим в графе против $v_n = 3$ м/сек.

и кончаем цифрой 26, при этом получаем 7 525. Это и есть то количество часов, которое данный ветродвигатель может работать в течение года. Если среднегодовая скорость ветра равна 6 м/сек. или выше, то при подсчете годового количества часов работы ветроустановки лучше воспользоваться таблицей⁴, составленной по Гуллиену.



Фиг. 5. Сравнение теоретической кривой повторяемости ветра по Гуллиену с действительной кривой повторяемости, построенной по записям Балаклавской ВЭС.

Работа ветра и мощность ветродвигателя

Посмотрим далее, каким количеством энергии обладает воздушный поток, движущийся с определенной скоростью.

Всякое движущееся тело обладает кинетической энергией, которая определяется уравнением:

$$A = \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

где m — масса тела, v — скорость движения этой массы.

Количество проносящейся воздушной массы m , движущейся с определенной скоростью через определенное сечение, пишется уравнением:

$$m = \rho Fv, \quad (2)$$

где ρ — массовая плотность воздуха, равная 0,125 при 15°C и 760 мм ртутного столба давления атмосферы, F — сечение воздушного потока в квадратных метрах, v — скорость движения воздушной массы в м/сек.

Подставив значение массы m из уравнения 2 в уравнение 1, получим:

$$A = \frac{\rho Fv^3}{2} \text{ кгм за 1 секунду.} \quad (3)$$

Это есть основное уравнение, по которому определяется энергия ветра.

Оно показывает очень важное свойство ветровой энергии, заключающееся в том, что энергия ветра возрастает пропорционально кубу скорости ветра.

Например, поток ветра с определенным поперечным сечением, имеющий скорость ветра $v_1 = 4$ м/сек., обладает энергией:

$$A_1 = \frac{\rho F v_1^3}{2} = 64 \frac{\rho F}{2}. \quad (a)$$

Этот же поток, при его скорости $v_2 = 8$ м/сек., обладает энергией, равной

$$A_2 = \frac{\rho F v_2^3}{2} = 512 \frac{\rho F}{2}. \quad (б)$$

Поделив равенство (б) на равенство (а), получим:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{512}{64} = 8.$$

Отсюда видим, что с увеличением скорости ветра в два раза, его энергия возрастает в 8 раз. Если скорость ветра увеличится в 3 раза, то его энергия возрастает в 27 раз.

Далее посмотрим, какое количество энергии ветра преобразует ветродвигатель в механическую работу при набегании на его ветроколесо воздушного потока с определенной скоростью.

Уравнение (3) представляет работу в килограммометрах за 1 секунду. Одна лошадиная сила равна 75 кгм за 1 секунду. Если мы разделим правую часть равенства (3) на 75, то получим мощность (в лошадиных силах) воздушной массы, проносящейся через круговую поверхность, ометаемую вращающимся ветряным колесом. Однако ветроколесо преобразует в механическую работу только часть энергии воздушного потока, которая определяется коэффициентом использования энергии ветра, обозначаемого греческой буквой (кси) ξ . Величина этого коэффициента на основании экспериментальных исследований для различных систем ветроколес различна. Для ветродвигателей, применяемых сейчас в практике, этот коэффициент можно брать равным от 0,30 до 0,35. Это значит, что ветряк превращает в механическую работу 30—35 % энергии ветра, остальные 70—65 % энергии не используются.

Теоретический коэффициент использования энергии ветра значительно выше. По теории проф. Н. Е. Жуковского он равен $\xi_i = 0,593$ и называется идеальным коэффициентом использования энергии ветра. По новой теории проф. Г. Х. Сабинина этот коэффициент несколько выше, а именно: $\xi_i = 0,687$. Это тот предел, который может быть получен идеальным ветроколесом, работающим совершенно без потерь.

Имея в виду вышеизложенное, напомним уравнение мощности ветродвигателя:

$$N = \frac{\rho F v^3 \xi}{2 \cdot 75} \text{ лoш. сил}, \quad (4)$$

зная, что $\rho = 0,125$;

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 D^2 \text{ —}$$

ометаемая ветроколесом поверхность, иначе говоря — поперечное сечение воздушного потока, пропускающегося через ветроколесо определенного диаметра D , получим:

$$N = 0,000654 D^2 v^3 \xi \text{ л. с.} \quad (5)$$

По этому уравнению можно быстро подсчитать мощность ветродвигателя при любой скорости ветра, если известен диаметр ветроколеса D и коэффициент использования энергии ветра.

Допустим диаметр ветроколеса равен $D=8$ м, а коэффициент использования энергии ветра равен $\xi=0,30$, посмотрим, какая будет мощность данного ветродвигателя при скорости ветра $v=8$ м/сек.

По уравнению (5) имеем:

$$N = 0,000654 \cdot 8^2 \cdot 8^3 \cdot 0,30 = 6,5 \text{ л. с.} \quad (a)$$

Это — мощность на валу ветроколеса.

Более быстро можно определить приблизительную мощность на валу ветроколеса при скорости ветра $v=8$ м/сек., приняв $\xi=0,30$ из следующего простого соотношения:

$$N = 0,1 \cdot D^2.$$

Чтобы знать, какая же мощность ветродвигателя передается рабочей машине, необходимо учесть механические потери на трение в подшипниках, в зубчатом зацеплении передаточного механизма ветродвигателя и т. п. Эти потери учитываются механическим коэффициентом полезного действия, который обозначается греческой буквой (эта) η и берется равным от 0,8 до 0,9.

Следовательно, мощность, передаваемая рабочей машине, будет равна:

$$N = 0,000654 D^2 \cdot v^3 \cdot \xi \cdot \eta \text{ лощ. сил.} \quad (6)$$

Для ветродвигателя нашего примера и при тех же условиях это даст (см. уравнение «а»):

$$N = 6,5 \cdot 0,8 = 5,2 \text{ л. с.} \quad (б)$$

В таблице 5 подсчитаны мощности на валу ветроколеса ветродвигателей для разных скоростей ветра и разных диаметров ветроколеса, где коэффициент использования энергии ветра принят равным $\xi=0,30$.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ ВЕТРОКОЛЕС

Проверка эффективности ветроколеса той или иной системы производится экспериментом либо в аэродинамической трубе, где воздушный поток направляется на ветроколесо посредством вентилятора, либо на действительном ветре на вышке, оборудованной специальными измерительными приборами.

На фиг. 6 дана схема аэродинамической трубы, в которой производится продувка моделей самолетов, здесь же можно производить испытание моделей ветряных колес.

В результате испытаний получают характеристики ветроколеса (фиг. 7), — кривые изменения коэффициента использования энергии

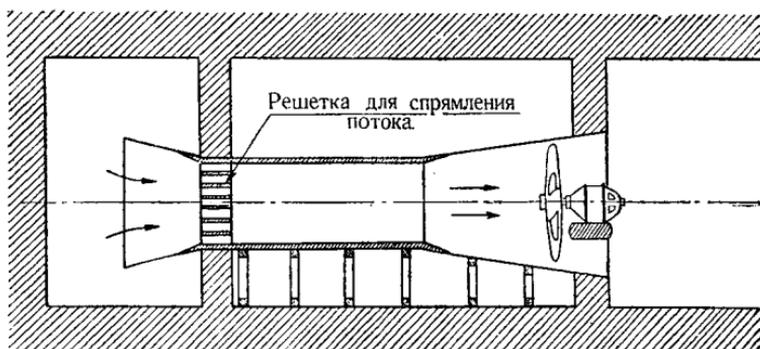
Мощность ветродвигателей в лошадиных силах на валу ветроколеса

Диам. Ветроколеса крыльчатого ветродвигателя м	Ометаемая поверхность ветроколеса м ²	Скорость ветра в м/сек.												
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14 и выше
3	7,06	0,0141	0,05	0,10	0,20	0,4	0,6	0,9	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
4	12,6	0,0252	0,085	0,20	0,40	0,7	1,1	1,6	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
5	19,6	0,0392	0,130	0,30	0,60	1,0	1,7	2,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
6	28,2	0,0665	0,20	0,45	0,90	1,5	2,4	3,6	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
7	38,5	0,0770	0,46	0,60	1,30	2,0	3,3	5,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
8	50,3	—	0,34	0,80	1,60	2,7	4,3	6,4	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
9	63,6	—	0,42	1,0	2,0	3,4	5,4	8,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
10	78,5	—	0,53	1,25	2,40	4,0	6,7	10,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
12	113	—	0,76	1,80	3,5	6,0	9,4	14,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
14	153,8	—	—	2,44	4,75	8,15	12,7	19,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
18	254	—	—	4,05	7,86	13,5	21,0	31,4	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
24	452	—	—	7,2	14,00	24,0	37,5	56,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
30	706	—	—	—	21,80	37,4	58,6	87,6	125,0	176,0	176,0	176,0	176,0	176,0
50	1960	—	—	—	—	100,0	163,0	242,0	346,0	490,0	647,0	1080,0	1340,0	

При скорости ветра 9,10 и выше м/сек. мощность ветродвигателей диаметром до 30 м дана постоянной, так как после этих скоростей ветра предполагается, что ветродвигатель регулируется и сохраняет мощность приблизительно постоянной. Ветродвигатель $D = 50$ м начинает регулироваться после $v = 14$ м/сек.

ветра и крутящего момента данного ветроколеса в зависимости от его быстроходности.

На горизонтальной оси отложена быстроходность ветроколеса, выраженная отношением окружной скорости конца лопасти ωR



Фиг. 6. Схема аэродинамической трубы.

к скорости ветра. Это отношение называют еще модулем и обозначают буквой Z , т. е.

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

На вертикалях против соответствующей точки быстроходности отложены относительный крутящий момент, обозначаемый буквой \bar{M} с чертой вверху и коэффициент использования энергии ветра, обозначаемый буквой ξ (кси).

Отмеченные на кривых точки \bar{M}_{max} , \bar{M}_n , \bar{M}_0 , Z_0 и Z_n являются основными величинами, характеризующими свойства ветряного колеса, причем эти точки означают:

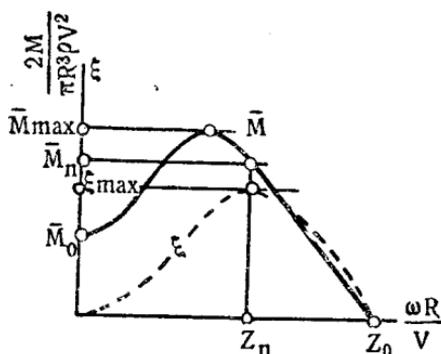
\bar{M}_{max} — максимальный момент, который может развить ветроколесо; определяется точкой касания характеристики моментов с горизонтальной касательной.

\bar{M}_n — крутящий момент, развиваемый ветроколесом при нормальной его быстроходности.

\bar{M}_0 — начальный момент, или момент трогания с места, когда $Z=0$.

Z_0 — то число модуля, при котором $\bar{M} = 0$; определяется точкой пересечения характеристики моментов с горизонтальной осью.

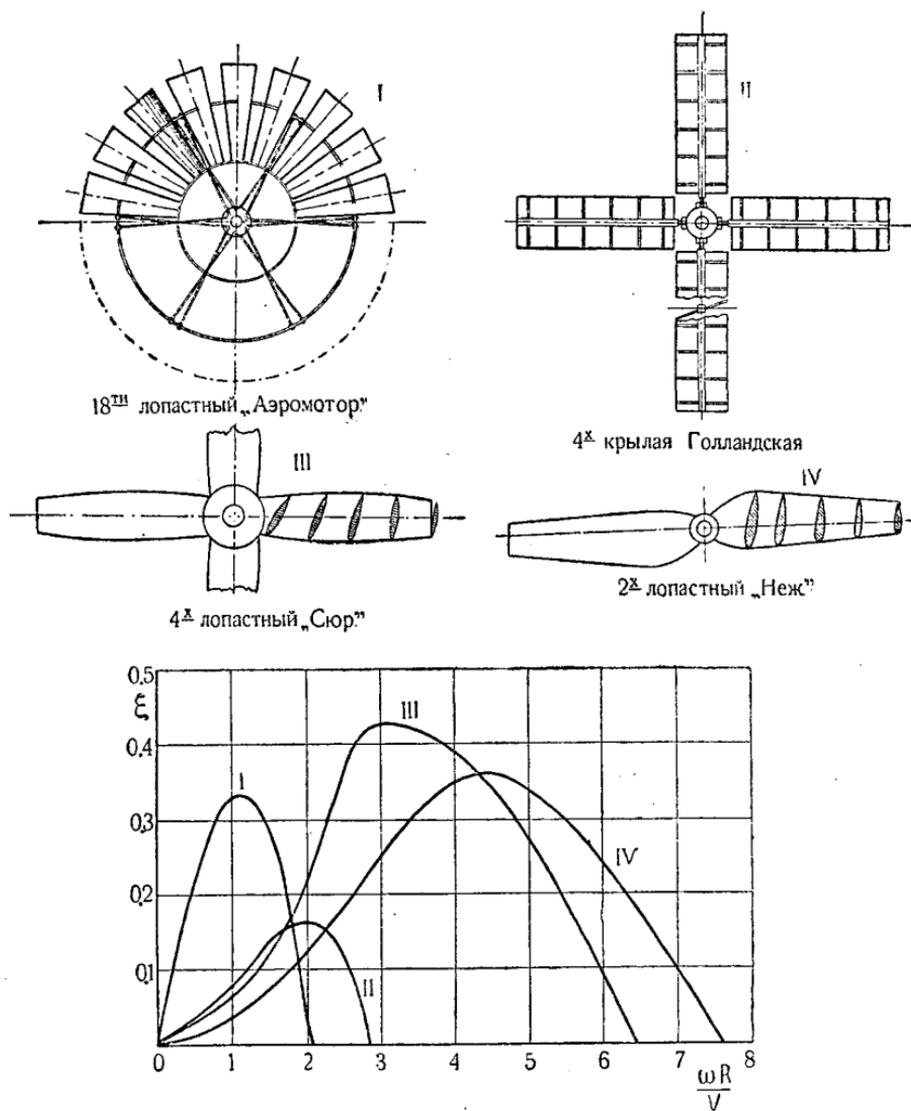
Z_n — то число модуля или быстроходности, при котором получается ξ_{max} — максимальный коэффициент использования энергии ветра. Z_n и ξ_{max} определяются проведением горизонтальной касательной к ха-



Фиг. 7. Основная характеристика ветроколеса.

рактические мощности и опусканием перпендикуляра из точки касания на горизонтальную ось.

На фиг. 8 даны характеристики коэффициентов использования энергии ветра малолопастных и многолопастных ветряных колес, а на



Фиг. 8. Характеристики коэффициентов использования энергии ветра различных ветроколес.

фиг. 9 — характеристики их крутящих моментов. Эти характеристики построены на основании опытов, проделанных в аэродинамической лаборатории Государственного научно-исследовательского геофизического института в Кучине Г. Х. Сабининым и И. В. Смирновым над моделями, показанными на этих же фигурах: I — 18-лопастный «Аэро-

мотор»; II — 4-крылая голландская; III — 4-лопастный «Сюр» и IV — 2-лопастный «Неж».

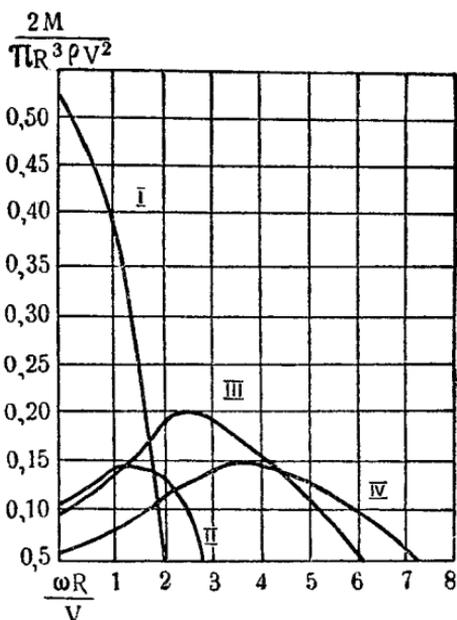
Из рассмотрения этих характеристик мы можем установить отличительные особенности малолопастных и многолопастных ветряных колес, а именно.

Малолопастное ветряное колесо отличается большей быстроходностью, чем многолопастное, что видно по кривым III и I на фиг. 8 и 9; оно же отличается и большим коэффициентом использования энергии ветра. В то время как у многолопастного число модуля $z \cong 1$ при ξ_{max} (кривая I), быстроходный ветряк обладает числом модуля $z = 3,5$ и $4,5$, т. е. малолопастный ветряк в 4,5 раза быстроходнее многолопастного.

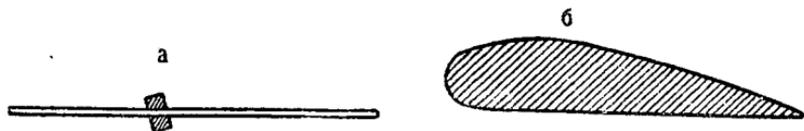
Зато начальный момент, или момент трогания у многолопастных значительно выше, чем у малолопастных, что видно по кривым I и III фиг. 9. Эта особенность многолопастных и малолопастных ветродвигателей предопределяет их область применения в народном хозяйстве.

Многолопастные ветродвигатели, как отличающиеся большим начальным моментом и тихоходностью, наиболее удобны для приведения в движение рабочих машин, обладающих большой нагрузкой в момент трогания с места, как, например, поршневые насосы.

Малолопастные ветродвигатели отличаются быстроходностью и малым начальным моментом. Рабочими машинами с такими же свойствами являются электрогенераторы для выработки электрического тока и центробежные насосы. Поэтому быстроходные ветродвигатели применимы в основном для работы с этими машинами. Эти же ветро-



Фиг. 9. Характеристика крутящих моментов различных ветроколес.



Фиг. 10. а — профиль крыла крестьянской ветряной мельницы. б — сечение крыла с обтекаемым профилем.

двигатели можно применять и для работы на поршневой насос, сделав автоматическое приспособление для включения в работу насоса лишь после того, как ветродвигатель разовьет достаточный крутящий момент, однако последнее практикой не проверено.

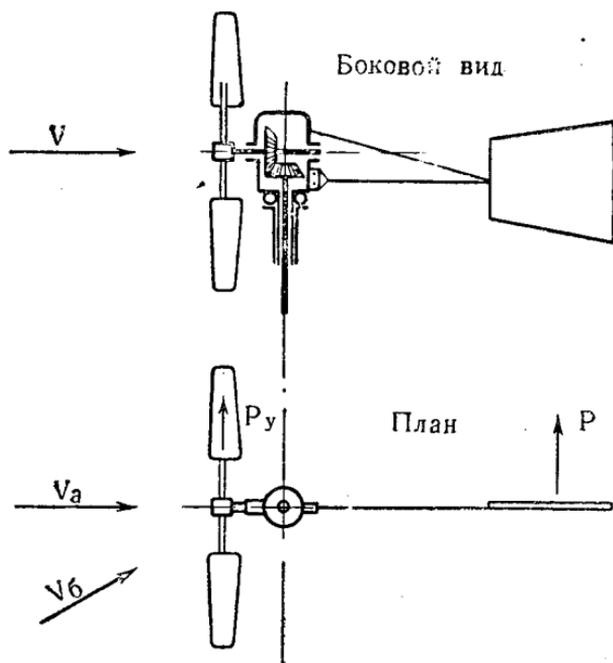
В какой степени отражается форма лопасти крыла на характеристике мощности, видно из кривых II и III фиг. 8. Кривая II относится к ветроколесу крестьянской ветряной мельницы с крылом, сечение которого показано на фиг. 10а. Открытый мах крыла, на котором закреплена поверхность из тесин, создает большое сопротивление. Это сопротивление примерно в шесть раз больше, чем у крыла с обтекаемым профилем, который показан на фигуре 10б. Вследствие этого и коэффициент использования энергии ветра у крыла крестьянской ветряной мельницы примерно в два раза ниже, чем у крыла с обтекаемым профилем (кривые II и III фиг. 8).

3. УСТАНОВ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ВЕТЕР

Количество энергии ветра, воспринимаемое ветроколесом, вращающимся в вертикальной плоскости, обуславливается положением ветроколеса в потоке ветра. Максимальное количество ветровой энергии

будет воспринято в те моменты, когда плоскость ветроколеса перпендикулярна направлению потока. Данное условие требует устройства механизма, позволяющего ветроколесу следовать за всеми изменениями направления ветра. Этот механизм в практике ветроиспользования называется установом на ветер.

У простейших ветродвигателей, например у крестьянских ветряных мельниц козлового типа, установ на ветер осуществляется вручную. Это самый несовершенный способ регулирования, так как при частых изменениях направле-



Фиг. 11. Схема устройства ветродвигателей на ветер хвостом. Вид сбоку и в плане.

ния ветра невозможно своевременно менять установ ветродвигателя.

Все современные ветродвигатели заводского изготовления имеют автоматический механизм установа на ветер. Мы здесь останавливаемся лишь на принципиальных схемах этих устройств, имея в виду, что о них придется еще говорить при описании различных конструкций ветродвигателей.

У маломощных ветродвигателей автоматический установ на ветер осуществляется с помощью хвоста, работающего аналогично флю-

геру. Это наиболее распространенный и простой установ на ветер. Схема данного устройства показана на фиг. 11.

Когда хвост установа расположен параллельно направлению ветра, на его оперении нет никаких сил, которые отклоняли бы хвост в ту или другую сторону (положение стрелки V_a).

Как только ветер изменит свое направление (положение стрелки V_b) на поверхности хвоста, сейчас же возникает боковая сила P , которая поворачивает его около вертикальной оси в направлении ветра. Головка ветродвигателя, на которой смонтирован механизм передачи и закреплен хвост перпендикулярно плоскости вращения ветроколеса, поворачивается вместе с ним около вертикальной оси до тех пор, пока хвост не расположится параллельно, а ветроколесо перпендикулярно направлению ветра.

Установ на ветер хвостом применяется у ветродвигателей мощностью до 20 л. с., для больших мощностей хвост получается слишком громоздок и тяжел.

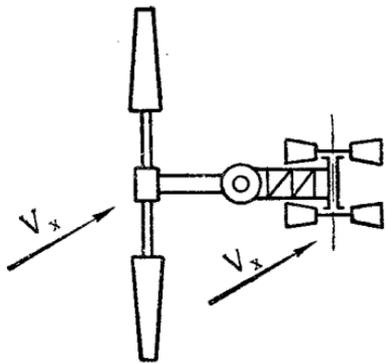
В этих случаях установ на ветер осуществляется виндрозами.

Это также довольно распространенный способ установа не только у больших крестьянских ветряных мельниц шатрового или голландского типа, но и у ветродвигателей заводского производства.

Работа установа виндрозами заключается в следующем. На головке ветродвигателя на некотором вылете позади ветроколеса монтируются два ветрячка (виндрозы), плоскость вращения которых перпендикулярна плоскости вращения ветроколеса и параллельна направлению потока (фиг. 12). Как только ветер изменит свое направление, как показано стрелками, сейчас же начнут вращаться виндрозы. Их вращение посредством зубчатого зацепления, состоящего из конических и цилиндрических шестеренок, передается большому зубчатому колесу, посаженному на верхнем отсеке башни. А так как башня неподвижна, то вся система передачи с головкой поворачивается в горизонтальной плоскости, устанавливая ветроколесо на ветер. Это перемещение продолжается до тех пор, пока остановятся виндрозы, что произойдет лишь тогда, когда они станут параллельно потоку. Следовательно, ветроколесо в этот момент будет стоять перпендикулярно направлению ветра.

Отличительная особенность работы установа на ветер виндрозами заключается в том, что они медленно поворачивают головку около вертикальной оси, вследствие чего на ветроколесе не возникают значительные гироскопические силы, ломающие махи ветроколеса.

Существует еще весьма простой способ установа на ветер, который осуществляется самим ветроколесом. Для этого ветроколесо монтируется на несколько большем вылете относительно вертикальной оси поворота головки и располагается позади башни, на которой смонти-

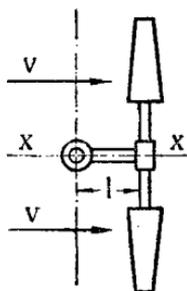


Фиг. 12. Схема установа ветроколеса на ветер виндрозами.

рован ветродвигатель, в данном случае ветроколесо играет роль флюгера (фиг. 13).

При набегании ветра на ветроколесо, оно всегда стремится занять положение за башней перпендикулярно направлению ветра. Большой вылет ветроколеса относительно башни, а также быстрый установ ветроколеса на ветер, обуславливающий появление значительных гироскопических сил, — вот основной недостаток этого способа установка на ветер.

У ветродвигателей, мощность которых выше 100 л. с., работающих для целей электрификации, установка на ветер осуществляется посредством электромотора, который автоматически включается в работу сейчас же при отклонении ветра в ту или иную сторону от направления оси вращения ветроколеса. При этом мотор приводит в движение передаточный механизм установки на ветер, который вращает головку ветродвигателя около вертикальной оси до тех пор, пока ветроколесо не станет перпендикулярно направлению ветра.



Фиг. 13. Установка ветроколеса на ветер расположением его позади башни.

4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ И МОЩНОСТИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Пульсирующий характер энергии ветра требует такую рабочую машину, приводимую в движение ветродвигателем, которая допускает возможность изменять ее мощность пропорционально работе ветра. Таких машин почти нет, если не считать мельничные жернова, позволяющие до некоторой степени увеличивать их производительность вне зависимости от скорости вращения, а также сельхозмашины, загружаемые вручную.

Как правило, рабочая машина наиболее производительна при некотором определенном числе оборотов, которые в процессе работы должны сохраняться постоянными. Чтобы удовлетворить этому требованию, ветродвигатель должен регулироваться, т. е. давать постоянное число оборотов независимо от скорости ветра.

Вообще под регулированием ветродвигателя следует понимать такое изменение положения ветряного колеса или его лопастей, которое позволяет ему удерживать по возможности постоянным число оборотов ветряного колеса, а также позволяет ветродвигателю давать необходимую мощность при данной скорости ветра.

При этом регулирование ветродвигателя должно быть рассчитано на ту максимальную скорость ветра, которая наиболее часто повторяется в той местности, где устанавливается ветродвигатель, т. е. на ту скорость ветра, которая является наиболее выгодной. Такая скорость ветра для средней части СССР является 8 м/сек., для Крыма — 10 м/сек., для Новороссийска до 14 м/сек.

Ветродвигатель с хорошим регулированием, рассчитанным на эти скорости, сохраняет постоянным число оборотов, а также мощность при всех скоростях, превышающих расчетные. Тем не менее потери ветровой энергии от этого не очень значительны, так как количество

дней в году со скоростями выше названных сравнительно мало, что можно проверить по таблицам 3 и 4 количества часов повторяемости ветра по М. М. Поморцеву или Гуллеу.

Существует много систем регулирования ветродвигателей. Здесь мы рассмотрим две основные: а) регулирование выводом ветроколеса из-под ветра и б) регулирование поворотом лопасти или части ее. Эти системы регулирования применяются у ветродвигателей, выпускаемых сейчас Херсонским заводом им. Петровского.

а) Регулирование выводом ветроколеса из-под ветра

Изменение рабочей силы ветра на ветряном колесе и следовательно его числа оборотов наиболее просто осуществляется выводом ветроколеса из-под ветра.

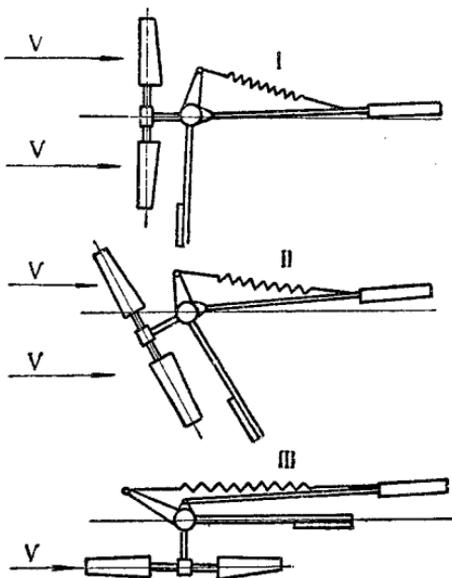
Этот способ регулирования построен на том основании, что при действии ветра на ветроколесо под углом через его ометаемую поверхность протекает меньшее количество воздушной массы. Поэтому при увеличении скорости ветра выше расчетной ветроколесо, становясь под углом, не может увеличить свою мощность и, кроме того, до некоторой степени сохраняет число оборотов постоянным.

Автоматическое регулирование выводом ветроколеса из-под ветра носит название системы «Эклипс» и применяется у многолопастных мало мощных ветродвигателей. Регулирование по этой системе совершается двумя способами: во-первых, с помощью лопасти, устанавливаемой сбоку за ветроколесом с правой или левой стороны его оси вращения. Во-вторых, размещением оси вращения ветроколеса на некотором расстоянии (50—100 мм) вправо или влево от вертикальной оси поворота головки ветряного двигателя.

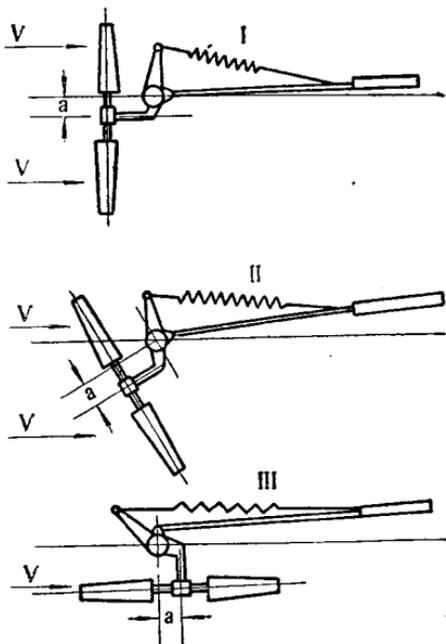
В первом случае (рис. 14) ветряное колесо выводится из-под ветра вследствие его давления на боковую лопасть.

Во втором случае (рис. 15) отклонение ветроколеса происходит благодаря тому, что оно смещено относительно вертикальной оси на расстоянии a , и точка приложения равнодействующей лобового давления ветра (центр парусности) тоже соответственно смещена относительно вертикальной оси.

В положении I (рис. 14) ветряк находится в работе до регулирования, скорость ветра ниже 8 м/сек.; положение II — ветряк в работе во время регулирования, скорость ветра выше 8 м/сек. и положение III — ветряк остановлен, скорость ветра выше 12 м/сек.



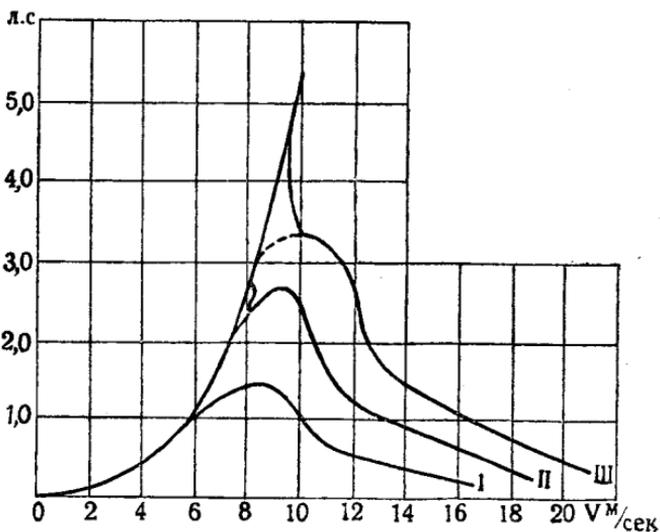
Фиг. 14. Регулирование системы «Эклипс» выводом ветроколеса из-под ветра, с помощью боковой лопасти.



Фиг. 15. Регулирование системы «Эклипс» выводом ветроколеса из-под ветра, за счет смещения оси ветроколеса относительно оси башни.

III соответствуют различным затяжкам пружины регулирования.

По данной характеристике замечаем, что регулирование начинается после скорости ветра 8 м/сек. Кривая показывает возрастание мощности примерно до скорости ветра 10 м/сек., а затем мощность быстро падает. Повышение мощности в виде пики практически получается благодаря тому, что вывод ветроколеса из-под ветра начинается с некоторым запаздыванием, которое вызывается значительным трением в опорах головки в момент трогания ее с места. Быстрое же падение мощности после скорости ветра выше 12 м/сек. происходит вследствие чисто конструктивного недостатка данного регулирования.



Фиг. 16. Влияние регулирования системы «Эклипс» на характеристику мощности ветродвигателя.

В том и другом случае сила ветра, действующая с избытком по одну сторону вертикальной оси, уравнивается пружиной, прикрепляемой с одной стороны к хвосту ветряка, с другой — к рычагу, укрепленному на его головке. Это наиболее простой автоматический способ регулирования маломощных многолопастных ветродвигателей, применяемых для водоснабжения в сельском хозяйстве.

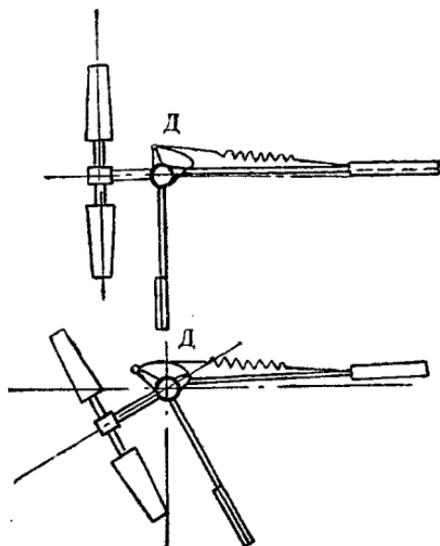
Весьма существенным недостатком данного регулирования является быстрое складывание ветряка в моменты регулирования, отчего происходит также быстрое падение мощности ветродвигателя при отклонениях ветроколеса, а это создает потери энергии ветра. На фиг. 16 дана характеристика мощности ветродвигателя ЦВЭИ Д-5 м, регулирующегося по системе «Эклипс», где по вертикали отложены мощности ветряка, а по горизонтали — скорости ветра. Кривые I, II,

ния, а именно: при отклонении ветроколеса существует равновесие между силой пружины, действующей на плече рычага, к которому она прикреплена и силой лобового давления ветра на ветроколесо и боковую лопаду; при этом момент от силы ветра возрастает быстрее, чем момент от силы пружины. Этот недостаток можно устранить, подобрав плечо рычага так, чтобы момент пружины, действующей на этом плече, допускал отклонение ветроколеса на тот угол, при котором обороты и мощность двигателя сохраняются постоянными.

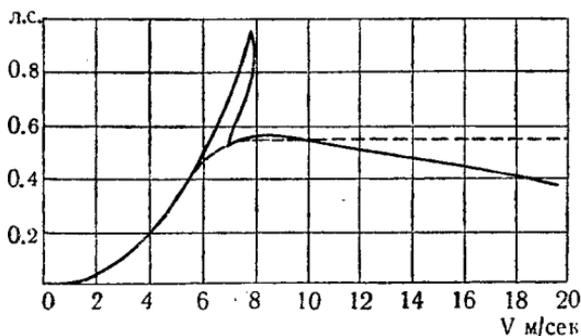
Работами б. ЦВЭИ найдена возможность исправить этот недостаток введением в систему регулирования дополнительного устройства, которое заключается в следующем.

От рычага пружины идет направляющая дужка *Д*. При отклонениях ветроколеса трос, натягиваемый пружиной, ложится по этой дужке (фиг. 17). Последняя дает переменное плечо для пружины так, что ее момент приблизительно равен моменту силы ветра при всех необходимых углах отклонения ветроколеса при выходе его из-под ветра. Дужка данного устройства изогнута в виде улитки, почему ей и дано название «улитка».

Характеристика мощности ветряка ЦВЭИ *Д-3* м, регулирующегося по системе «Эклипс» с улиткой, показана на фиг. 18, где сплошная



Фиг. 17. Приспособление к регулированию системы «Эклипс» (улитка).



Фиг. 18. Характеристика мощности ветродвигателя при регулировании по системе «Эклипс» с улиткой.

кривая получена при испытании, а пунктирная линия показывает теоретическую мощность ветродвигателя во время регулирования. Из данной характеристики видно, что регулирование улиткой дает почти такую же мощность, которая требуется теоретически.

Регулирование выводом ветроколеса из-под ветра, благодаря своей простоте, нашло широкое применение у многолопастных маломощных ветродвигателей, применяемых главным образом по подъему воды в сельском хозяйстве.

б) Регулирование вращением лопасти или части ее около оси маха

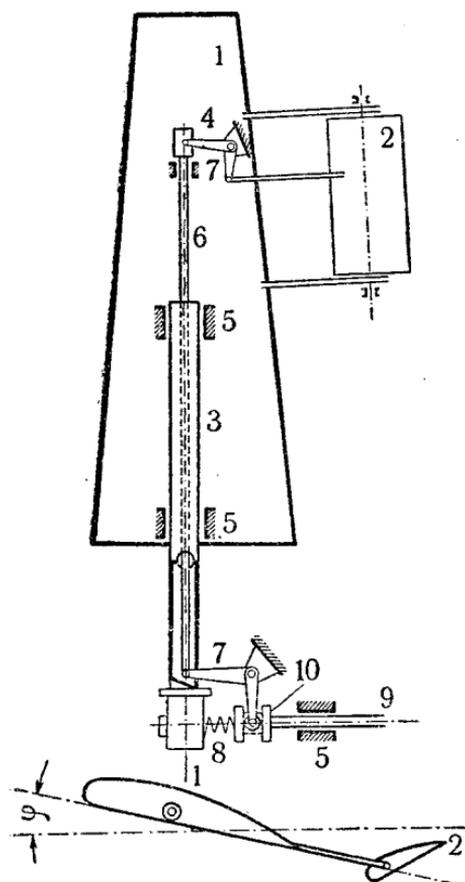
С изменением наклона лопасти по отношению к ветру меняется ее подъемная сила, действующая в направлении вращения ветроколеса. Это обстоятельство и положено в основу регулирования поворотом лопасти или части ее около оси маха.

Поворот лопастей около оси маха совершается двумя способами.

В о - п е р в ы х, непосредственным действием ветра на лопасть, которая, будучи свободно насажена с некоторым эксцентриситетом относительно оси маха, стремится повернуться в направлении ветра и, удерживаясь посредством груза или пружины в равновесии, допускает возможность регулировать число оборотов. С такой системой регулирования построен ветродвигатель Уфимцева в Курске.

В о - в т о р ы х, действием центробежных сил либо от нормального центробежного регулятора, либо от грузов, помещаемых на крыльях ветряного колеса.

В момент увеличения числа оборотов ветряного колеса центробежные грузы, перемещаясь вдоль оси махов, действуют на тяги, которые, будучи соединены посредством шарнирного механизма с лопастями, поворачивают их в направлении, уменьшающем угол атаки. Вслед за этим сейчас же уменьшается подъемная сила на крыльях, в то время, как сила сопротивления возрастает, а следовательно, понижаются крутящий момент и число оборотов ветроколеса. Во время регулирования имеется постоянное равновесие между регулирующей пружиной и центробежной силой грузов.

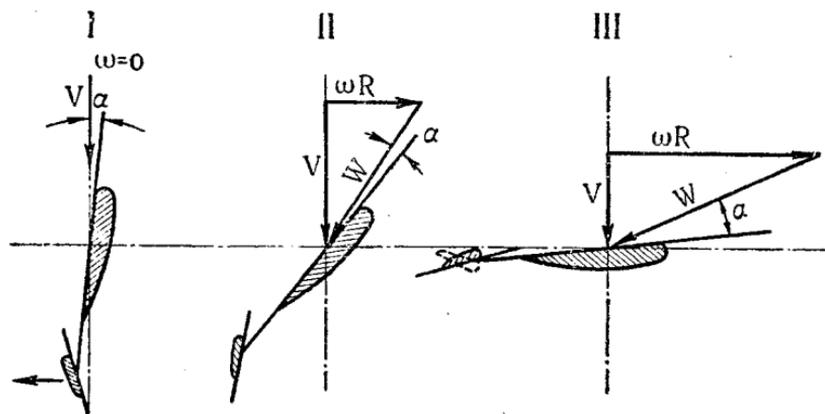


Фиг. 19. Схема регулирования поворотом лопасти около оси маха — помощью стабилизатора:

1 — лопасть, 2 — стабилизатор, 3 — труба маха, 4 — центробежный груз, 5 — подшипник, 6 — тяга регулирования, 7 — рычажки регулирования, 8 — пружина регулирования, 9 — вал ветроколеса.

С целью уменьшения центробежной силы грузов, необходимой для поворачивания лопасти на определенный угол атаки, у ветродвигателей ЦВЭИ поворот лопасти совершается действием силы ветра на открывок, закрепляемый на оси у задней кромки крыла. Этот открывок называется иногда стабилизатором, а регулирование — стабилизаторным. Схема устройства данного регулирования показана на фиг. 19.

Процесс регулирования протекает следующим образом. В нерабочем состоянии лопасть и стабилизатор стоят по одной линии в разрез к ветру. Перед запуском освобождается пружина регулирования, которая через рычажки и тягу поворачивает стабилизатор под некоторый угол (положение I фиг. 20) — пуск ветродвигателя. Подъемная сила, возникшая на стабилизаторе (положение II), сейчас же повернет крыло и поставит его на рабочий ход. Положение III показывает нормальную работу. Если при увеличении скорости ветра начнет возрастать число оборотов, то под действием центробежных сил стабилизатор повернется на некоторый угол, как показано пунктиром в положении III. В этом случае подъемная сила на стабилизаторе сейчас же изменит свое направление и повернет лопасть под новый угол атаки соответственно нормальному числу оборотов ветроколеса.



Фиг. 20. Различные положения крыла во время регулирования стабилизатором.

В последних конструкциях ветродвигателей ЦВЭИ это регулирование изменено тем, что поворачивающейся сделана не вся лопасть, а только ее часть на внешнем конце крыла. Это позволило значительно уменьшить центробежные грузы, регулирующую пружину и стабилизатор. Принцип же регулирования сохраняется почти целиком тот, который мы только что изложили. Схема конструкции стабилизаторного регулирования с поворотом конца лопасти показана на фиг. 21. В первом случае на махе вращалось все крыло, во втором — крыло закреплено на махе жестко под определенным углом заклинения и во время регулирования может поворачиваться только часть лопасти на конце крыла примерно на одной трети длины радиуса. И тот и другой случай дают лучшую равномерность хода, которая вообще известна в ветротехнике.

Экспериментальные исследования б. ЦВЭИ, а также практика эксплуатации ветродвигателей со стабилизаторным регулированием показывают, что отклонения числа оборотов в сторону увеличения или уменьшения от нормального не превосходят $\pm 2,5$ —3%.

На фиг. 22 дана характеристика числа оборотов стабилизаторного регулирования, полученная самописцами скорости ветра и числа обо-

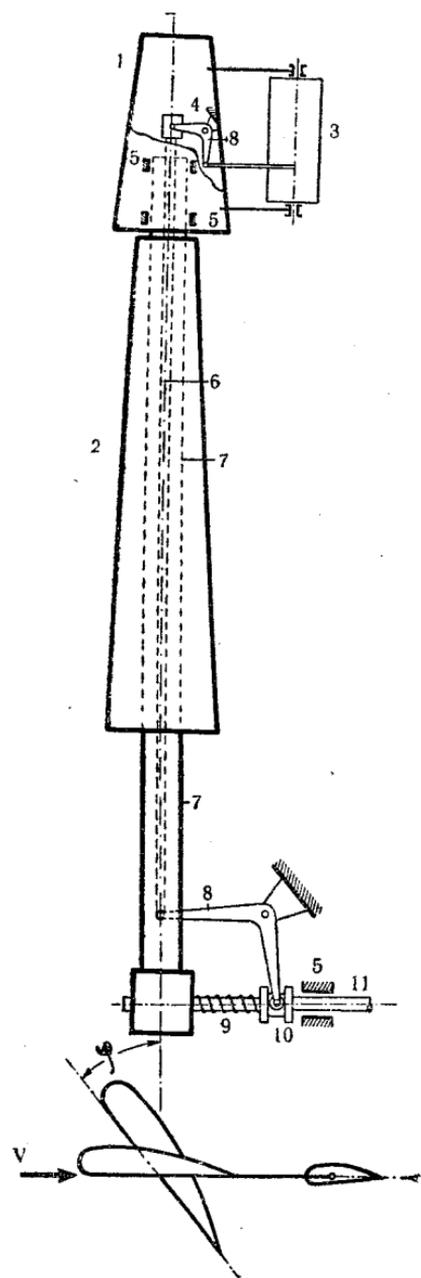
ротов при испытании ветродвигателя с этим регулированием. Кривая *A* показывает, как изменялась скорость ветра в исследуемый промежуток времени, а кривая *B* — как изменялось число оборотов ветродвигателя за тот же промежуток. По этим кривым видно, что, несмотря на большие скачки в скорости ветра, число оборотов колеблется очень незначительно: кривая *B* приближается к горизонтальной прямой.

Большая равномерность хода ветродвигателей с этим регулированием позволяет применять их для приведения в движение тех машин, которые требуют постоянства числа оборотов. Это регулирование позволило применять ветродвигатели для работы с электрогенераторами переменного тока.

II. КОНСТРУКЦИИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

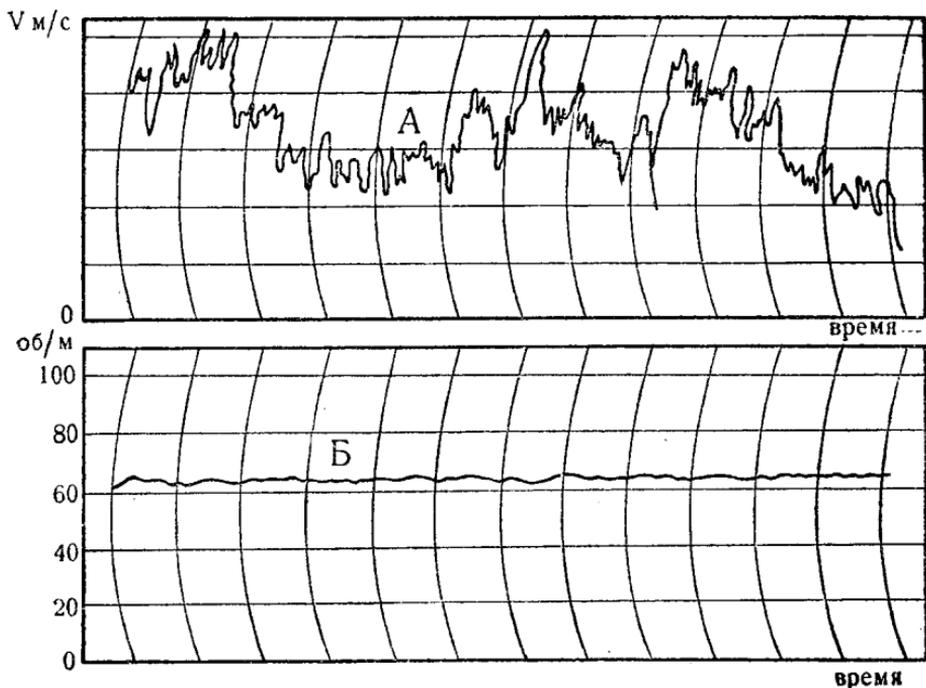
I. ВЕТРОДВИГАТЕЛИ В ДЕРЕВОЛЮЦИОННОЙ РОССИИ

В дореволюционной России применялись ветродвигатели исключительно кустарного изготовления. Конструкции их отличались крайне грубым оформлением рабочего механизма. Толстые махи ветроколеса, несущие на себе составленную из иглиц решетку, зашитую с одной стороны тесом, закреплены хомутами на огромном валу из одного или нескольких бревен, стянутых пиной; этот вал опирается на простейшие подшипники, откованные из железной плиты. На валу надето и закреплено деревянными клиньями колесо с деревянными зубьями, которые находятся в зацеплении с цевочной деревянной шестерней, надетой на верхний конец вертикального вала. Этот вал изготовлен из бревна диаметром до 500 мм, на концах которого по центру вставлены стальные штыри. Внизу вал опирает-



Фиг. 21. Схема стабилизаторного регулирования поворотом конца лопасти:

1 — поворотная часть лопасти, 2 — жесткая часть лопасти, 3 — стабилизатор, 4 — центральный груз, 5 — подшипники, 6 — тяга регулирования, 7 — труба маха, 8 — рычажки, 9 — пружина регулирования, 10 — скользящая муфта, 11 — вал ветроколеса.



Фиг. 22. Характеристика числа оборотов ветроколеса со стабилизаторным регулированием в зависимости от скорости ветра.

ся на металлическую плиту, а сверху вращается в простейшем подшипнике, изготовленном в кузнице. Внизу на вертикальном валу надето большое деревянное зубчатое колесо, которое находится в зацеплении с одной или двумя цевочными шестернями, посаженными на вал мельничных поставов.

Такова конструктивная схема основного рабочего механизма большинства кустарных ветродвигателей дореволюционного периода, называемых ветряными мельницами.

Мы не останавливаемся на рассмотрении конструкций крестьянских ветряных мельниц, отсылая читателей к литературе по ветротехнике прежних изданий.

Ветродвигатели более легкой конструкции с автоматическим установом на ветер и регулированием в дореволюционной России строились по проектам В. П. Давыдова. Ветродвигатель его конструкции применялся главным образом для ветроводокачек. На фиг. 23 показан один из типов многолопастного ветродвигателя его конструкции, который был построен на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде в 1896 г.

2. СОВРЕМЕННЫЕ ВЕТРОДВИГАТЕЛИ В СССР

Изготавливаемые сейчас в нашем Союзе ветродвигатели выполняются двух типов. Один тип ветродвигателя с вертикальной штангой возвратно-поступательного движения специально для качания воды поршневым насосом из глубоких колодцев и скважин.

Второй тип ветродвигателя изготавливается с вращающимся вертикальным валом для работы либо на поршневой насос, либо на какую-либо сельхозмашину, либо на ряд машин одновременно.

а) Ветродвигатель ВД-5 м

Схема конструкции ветродвигателя ВД-5 м в части регулирования и передаточного механизма построена по типу американского ветродвигателя «Аэромотор».

Впервые производство этого ветродвигателя было налажено на заводе им. Медведева в г. Орле, а затем изготовление этих ветродвигателей было переведено на завод им. Петровского в Херсоне. Сейчас этот завод выпускает их свыше 2 000 шт. в год.

Чертеж общего вида ветродвигателя показан на фиг. 24. Двигатель состоит из 6 основных частей или групп: ветроколеса, головки, хвоста, башни, лебедки и поршневого насоса.

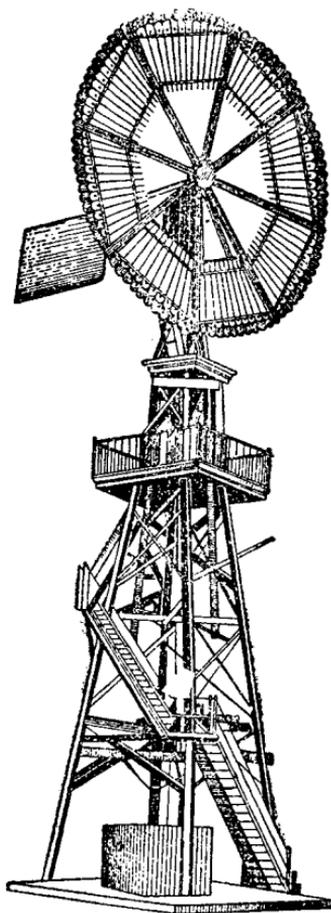
1. Ветроколесо — основной рабочий механизм двигателя, на который непосредственно действует воздушный поток, приводя его во вращательное движение.

Общий вид ветроколеса показан на фиг. 25. Оно имеет в диаметре 5 м и состоит из 18 лопастей с переменным углом заклинивания. У внутреннего конца хорда лопасти с плоскостью вращения составляет угол 45° , а у внешнего — 17° .

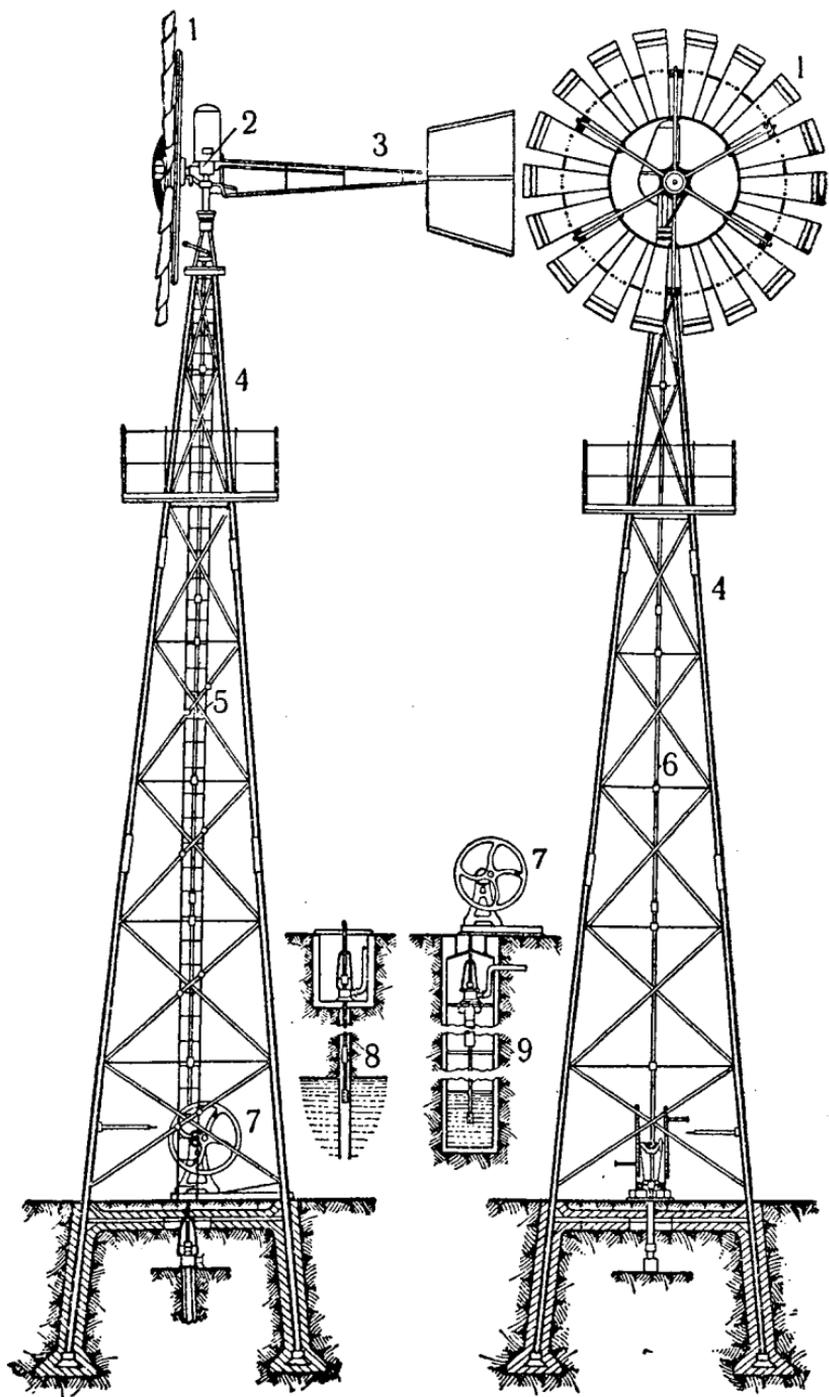
Размер лопасти— $290 \times 650 \times 1\ 410$ мм.

Лопасты связаны между собой двумя ободами из полосового железа и посредством спиц из углового железа присоединены к ступице, жестко насаженной на горизонтальный вал. Материал лопастей — листовое оцинкованное железо толщиной в 1,25 мм.

2. Головка двигателя представляет кожух, отлитый из чугуна. Внутри кожуха размещен меха. изм. состоящий из двух малых шестерен, посаженных на валу ветроколеса, и двух больших зубчатых колес, находящихся в зацеплении с малыми шестеренками. Большие зубчатые колеса несут на своих пальцах два шатуна, преобразующих вращательное движение ветроколеса в возвратно-поступательное движение приводной штанги. Передаточный механизм позволяет иметь два хода штанги: 300 и 400 мм, для чего на больших зубчатых колесах имеется два пальца: один на радиусе 150 мм, другой на радиусе 200 мм.



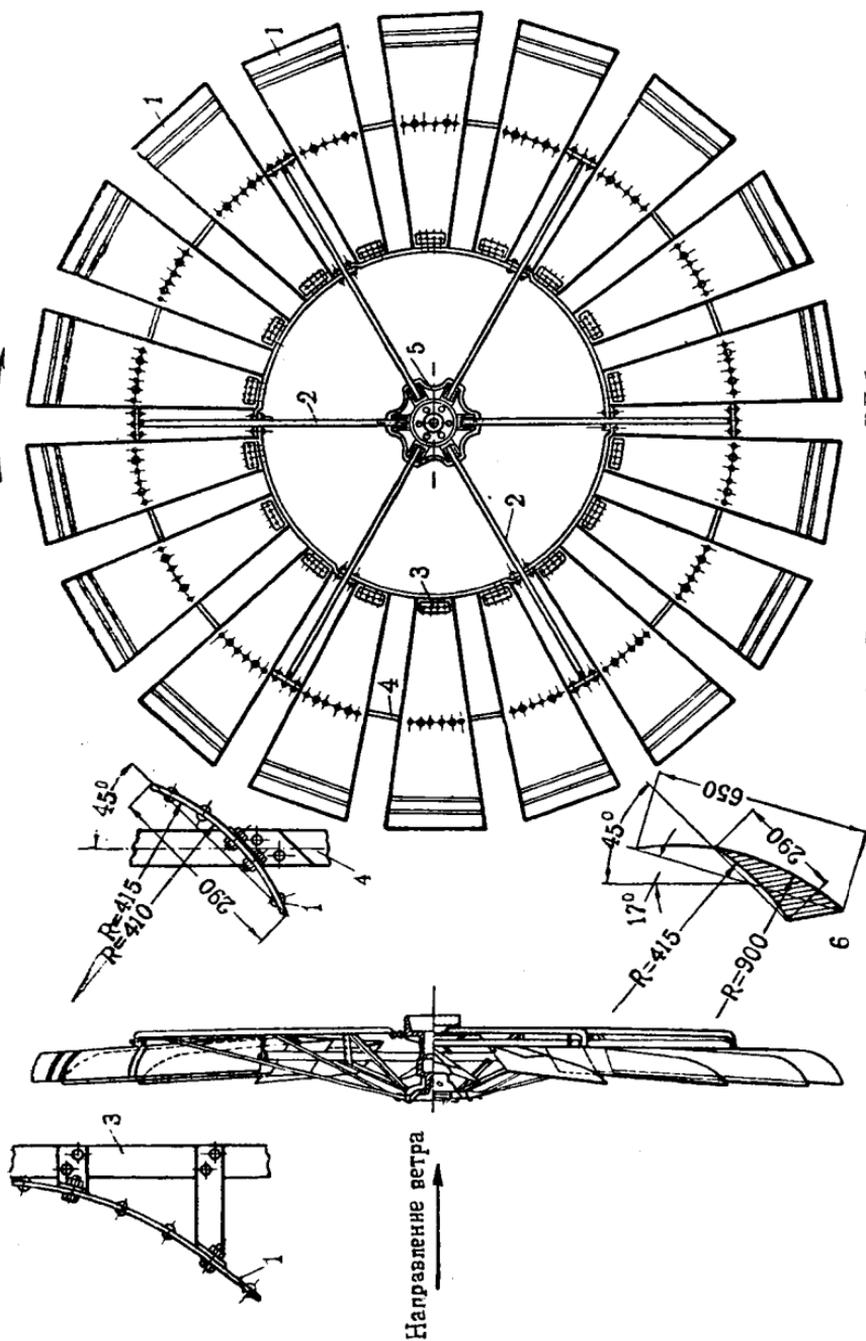
Фиг. 23. Ветродвигатель конструкции В. П. Давыдова.



Фиг. 24. Общий вид ветродвигателя ВД-5 м:

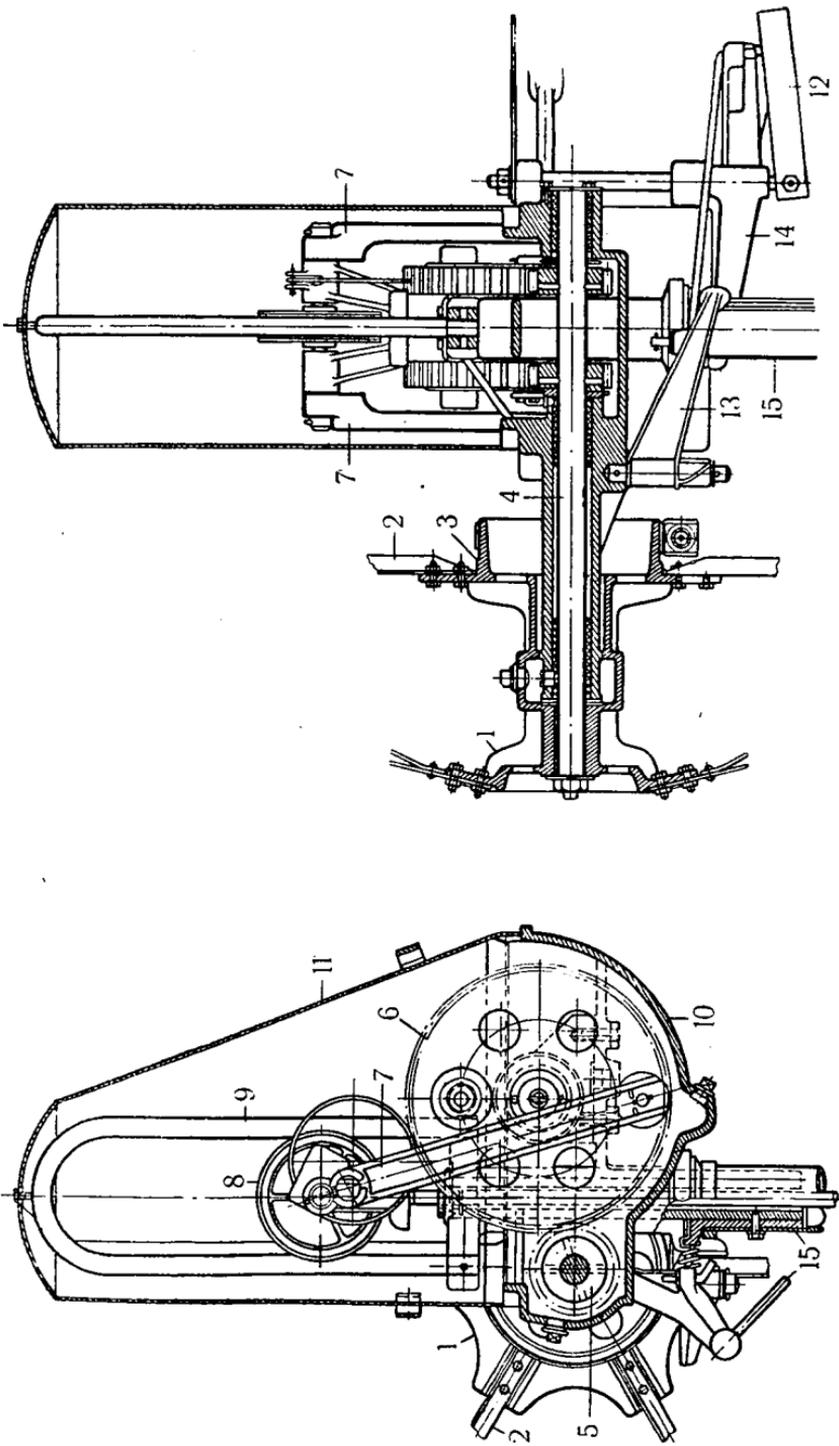
1 — ветроколесо, 2 — головка ветродвигателя, 3 — хвост, 4 — башня, 5 — лестница, 6 — штанга двигателя, 7 — приводная лебедка, работающая от резервного двигателя, 8 — насос в скважине, 9 — насос в колодце.

Направление вращения



Фиг. 25. Ветряное колесо ВД-5 м:

1 — лопасти, 2 — шлицы, 3 — внутренний обод, 4 — внешний обод, 5 — ступица, 6 — уши заклинивания лопастей.



Фиг. 26. Головка ветродвигателя ВД-5 м:

1 — ступица ветроколеса, 2 — шлицы ветроколеса, 3 — шкив для торцовоной ленты, 4 — вал ветроколеса, 5 — ведущая шестерня, 6 — цилиндрическое зубчатое колесо с кривошипным механизмом, 7 — шатуны, 8 — шатуны, 9 — направляющая дуга, 10 — картер головки, 11 — корпус, 12 — ферма хвоста, 13 — опорная труба, 14 — хвостовой рычаг, 15 — опорный рычаг.

Общий вид головки с передаточным механизмом показан на фиг. 26.

3. Хвост двигателя состоит из хвостовины, построенной в виде треугольной фермы из углового железа и оперения хвоста, представляющего поверхность размером 2,82 м² из листового оцинкованного железа. Продольная ось хвоста монтируется с отклонением в сторону регулирующей пружины от оси главного вала на 4—5°, что обеспечивает ему держание ветроколеса против ветра до начала регулирования. С этой же целью оперение хвоста построено в виде дужки с вогнутостью в сторону регулирующей пружины.

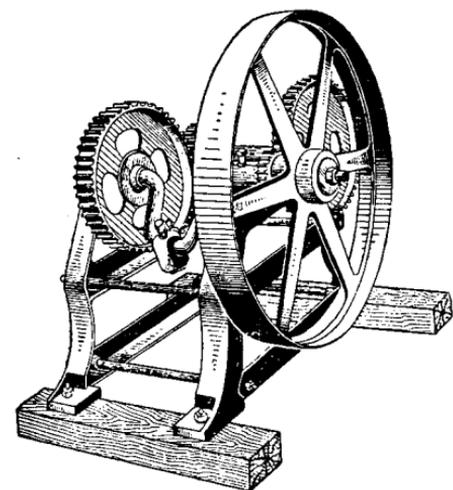
Работает хвост аналогично флюгеру и удерживает ветроколесо против ветра при всех его изменениях.

4. Башня двигателя служит для вынесения ветроколеса в более высокие слои воздушного потока, где нет препятствий, вызы-

вающих его завихрения. Она представляет металлическую ферменную конструкцию высотой около 15 м; в 4,5 м от оси вращения ветроколеса на башне устроена площадка, состоящая из металлической рамы, застланной досками. Подъем на эту площадку совершается по лестнице, стойки которой изготовлены из полосового железа, а ступени — из пруткового.

5. Лебедка ветродвигателя устанавливается у основания башни и служит для подачи воды во время безветрия. На фиг. 27 дан общий вид приводной лебедки к ВД-5 м.

6. Поршневой насос, приводимый в действие двигателем, качает воду из скважины и колодцев.

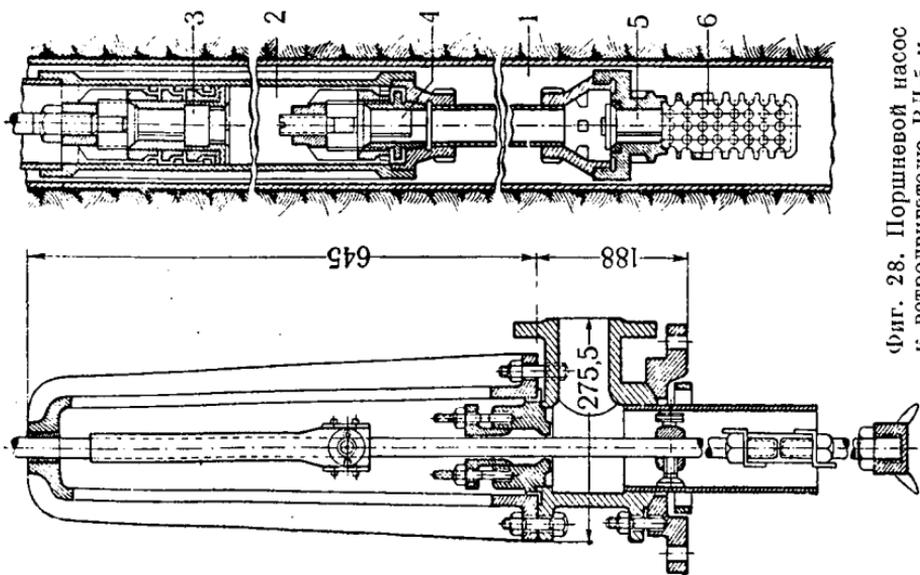


Фиг. 27. Лебедка к ветродвигателю ВД-5 м.

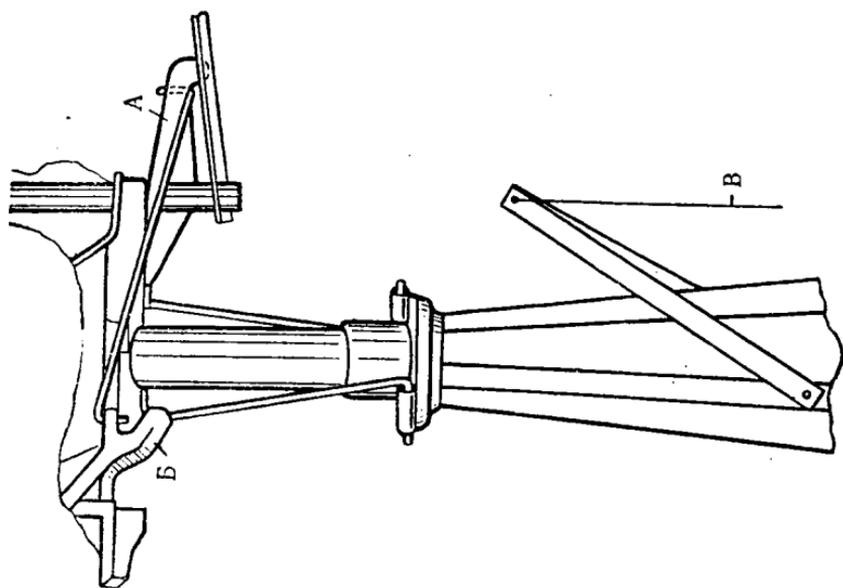
На фиг. 28 дан в разрезе цилиндр насоса с поршнем в обсадной трубе скважины, где 1 — обсадная труба; 2 — цилиндр насоса; 3 — поршень насоса с тремя манжетами и одним нагнетательным клапаном; 4 — верхний всасывающий клапан, помещенный на дне цилиндра насоса; 5 — нижний всасывающий клапан, помещенный в коробке храповика 6. На этой же фиг. показана переходная коробка с сальником, от которой через патрубок с фланцем вода поступает в распределительную водопроводную магистраль.

Регулирование ветродвигателя осуществляется по системе «Эклипс», схема которого показана на фиг. 15. Остановка ветродвигателя производится деревянным рычагом, шарнирно соединенным с ногой башни внизу на расстоянии 1 м от поверхности земли. К рычагу присоединен трос или проволока диаметром 6 мм, идущая к двухплечному рычагу из полосового железа.

Поводок соединен с муфтой, которая может перемещаться вдоль по опорной трубе.



Фиг. 28. Поршневой насос к ветродвигателю ВД-5 м.



Фиг. 29. Схема действия механизма останова ВД-5 м.

На муфту останова опирается диск, в проушины которого вставлены костыли, верхние концы которых имеют полушаровую головку в виде грибка. Этими головками костыли входят в гнезда фигурных рычагов тормозного и хвостового.

При остановке ветродвигателя переводят рукоятку деревянного рычага вниз, при этом муфта останова поднимается вверх и костыли, действуя на рычаги поворачивают их в горизонтальной плоскости.

Рычаг *A* (фиг. 29), поворачиваясь, упирается концом в хвостовую ферму, стремясь повернуть ее и сложить с ветроколесом. А так как хвост удерживается в своем положении потоком ветра, то ветроколесо выводится из-под ветра и складывается с хвостом. В то же время второй рычаг *B* концом нажимает на конец тормозной ленты, которая охватывает обод ступицы и при полном сложении ветроколеса с хвостом затормаживает ветроколесо и удерживает его от проворачивания.

При запуске ветродвигателя освобождается нижний деревянный рычаг, к которому идет трос *B*, и переводится из нижнего положения в верхнее, при этом весь механизм останова освобождается. Это позволяет силой растянутой пружины поставить ветроколесо в рабочее положение так, как это происходит при регулировании.

Нормальная мощность ветродвигателя при скорости ветра 8 м/сек. = = 2,5 л. с. на валу ветроколеса, которое при этом делает 40 об/мин., а штанга насоса — 12,5 кач/мин. Производительность дана в таблице 4 (см. часть II, главу 1).

Вес ветродвигателя без упаковки по грузам составляет:

Ветроколесо	344 кг
Головка	535 »
Хвост	92 »
Башня с качающейся штангой	1 198 »

Итого 2 169 кг

Оборудование

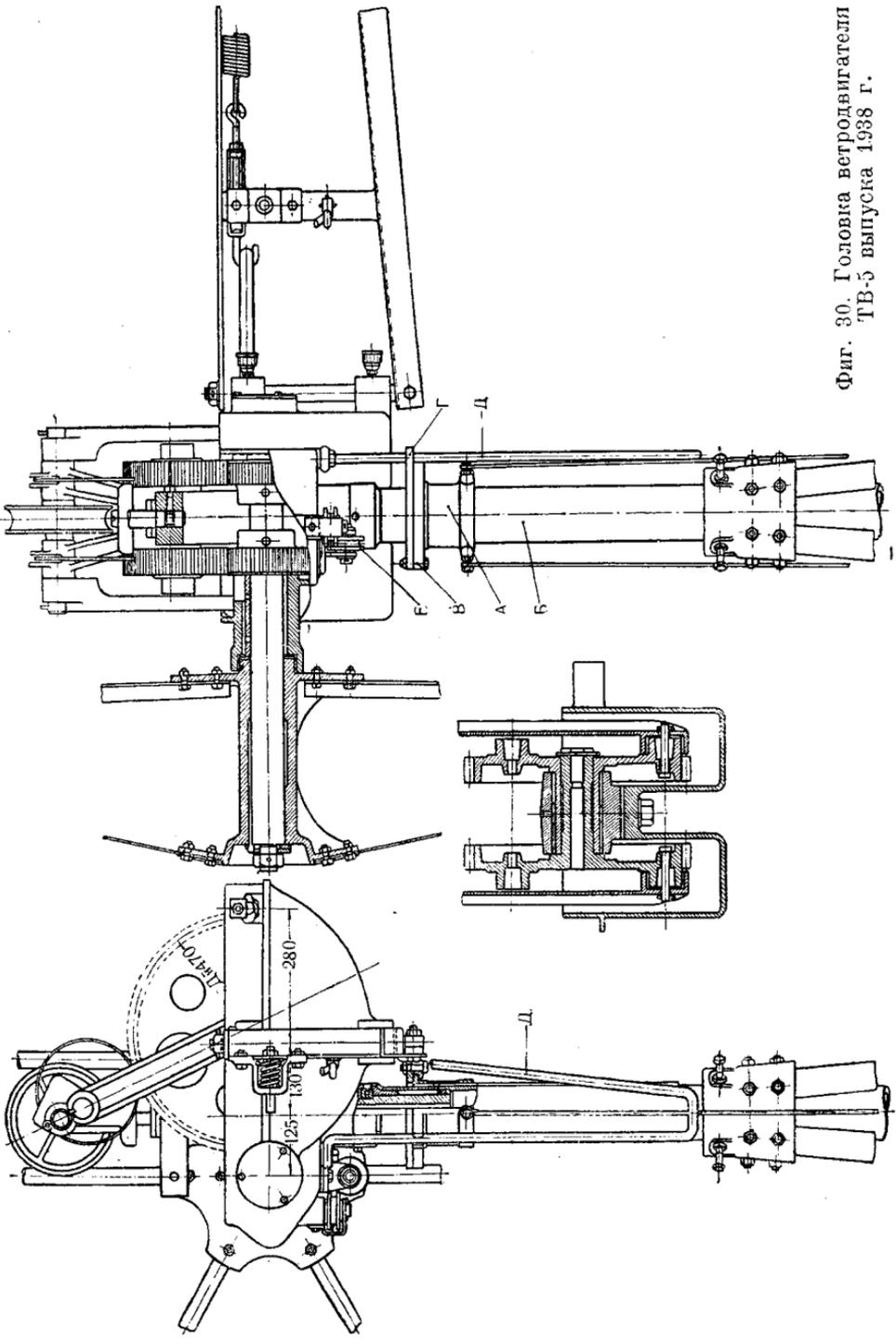
Приводная лебедка	320 кг
Насос $d = 3\frac{3}{4}$ "	124 »
Переходная коробка	60 »
Насосные штанги 28 м	40 »
Нагнетательный трубопровод $d = 4$ ", длин. 30 м	325 »
Разводящий трубопровод $d = 2$ ", длин. 10 м	49 »

Итого 918 кг

Жерсонский завод им. Петровского внес некоторые изменения в конструкцию головки и останова данного ветродвигателя. На фиг. 30 показан общий вид головки новой конструкции. Вместо останова, состоящего из рычажного механизма, делается останов более простой системы.

Муфта останова *A* перемещается продольно по опорной трубе *B*. На этой муфте надето кольцо *B*, которое может скользить, вращаясь относительно муфты, и вместе с нею перемещаться продольно. Кольцо имеет лапку *C* с прорезью, в которую входит направляющий кронштейн *D*, из круглого железа, закрепленный на головке ветродвигателя. Головка при поворачивании вокруг вертикальной оси поворачивает направляющим кронштейном и кольцо, надетое на муфте, чем и достигается свободное действие механизма останова, связанного с одной стороны с подвижной

Фиг. 30. Головка ветродвигателя
ТВ-5 выпуска 1938 г.



частью ветряка — головкой, а с другой — с неподвижной башней. К кольцу, надетому на муфте, присоединен трос, идущий через два ролика *E*, закрепленных на головке ветряка, к хвосту, а к муфте с двух сторон присоединен второй трос, который идет вниз к ручной лебедке, закрепленной внизу на ноге башни. Действием этой лебедки производится пуск и останов ветродвигателя.

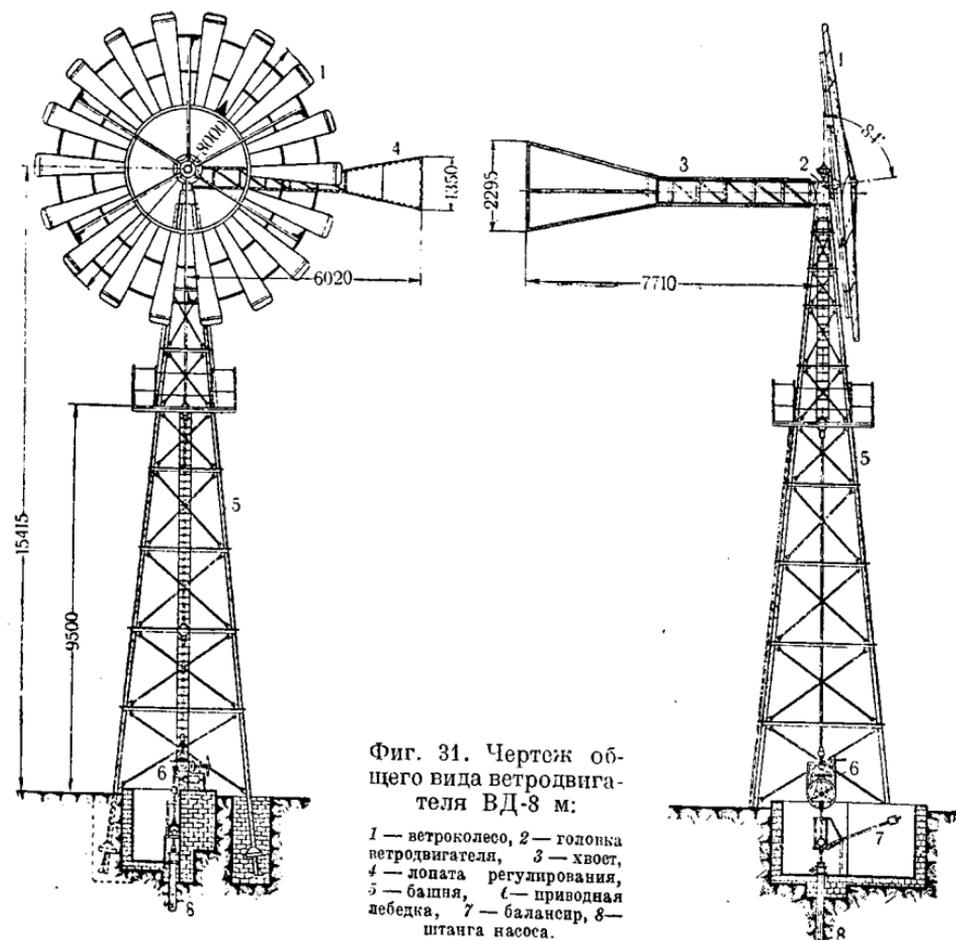
В связи с изменением системы механизма останова, изменена несколько и головка ветряка. Ветроколесо смещено ближе к башне за счет укорочения ступицы, которая имела обод для тормозной ленты. В измененной конструкции тормозная лента исключена.

Измененная конструкция ВД-5 с 1938 г. выпускается под маркой ТВ-5, что означает: тихоходный ветродвигатель с диаметром ветроколеса — 5 м.

б) Ветродвигатель ВД-8 м

Ветродвигатель ВД-8 м, спроектирован б. Центральным ветроэнергетическим институтом (ЦВЭИ) по типу заграничного ветродвигателя «Геркулес».

На фиг. 31 дан общий вид ветродвигателя выпуска 1936 г.



Фиг. 31. Чертеж общего вида ветродвигателя ВД-8 м:

- 1 — ветроколесо, 2 — головка ветродвигателя, 3 — хвост,
- 4 — лопасть регулирования,
- 5 — башня, 6 — приводная лебедка, 7 — балансир, 8 — штанга насоса.

1. Ветроколесо диаметром 8 м имеет 18 лопастей из оцинкованного листового железа, толщиной 1,25 мм, закрепленных на трех ободах, связанных между собой 6 спицами из углового железа 40×40 мм. Лопасти закреплены с переменным углом заклинения, а именно: у внешнего обода угол между хордой лопасти и плоскостью вращения ветроколеса равен 22°, а у внутреннего — этот угол равен 47°. Размер лопасти 410×674×2 450 мм.

Спицы закреплены на фланцах ступицы ветроколеса четырьмя болтами каждая. Общий вид конструкции ветроколеса дан на фиг. 32.

2. Головка ветродвигателя (фиг. 33) представляет собой фигурной формы конус из чугунного литья, в стенке которого заделана ось под углом 6½° к горизонту, что сделано с целью приблизить ветроколесо к башне, не допустив задевания лопастями ее ног. На этой оси посажены два конических роликовых подшипника и на них надета ступица ветрового колеса. К заднему фланцу ступицы прикреплен болтами обод конического зубчатого колеса, которое находится в зацеплении с конической шестеренкой, посаженной на вертикальном валу двигателя. Число зубьев большого колеса $z_1=63$, у шестеренки $z_2=17$. Нижним основанием конус головки надет на трубу, которая свободно поворачивается в двух опорах. Верхняя опора воспринимает в основном вертикальную нагрузку и состоит из подшипника скользящего трения, шарикового пятника и самоустанавливающейся сферической пяты. Нижняя — воспринимает боковые нагрузки; она представляет чугунный корпус, закрепленный растяжками к ногам башни. В него свободно входит точеный конец опорной трубы, которая с посаженной на нее головкой свободно поворачивается в опорах, что происходит при пуске, останове и регулировании ветродвигателя.

3. Хвост ветродвигателя состоит из фермы, конец которой заканчивается трапецией, обшитой оцинкованным листовым железом. Площадь оперения хвоста составляет 4,95 м².

4. Боковая лопасть регулирования по конструкции аналогична хвосту и имеет площадь, равную 1,95 м².

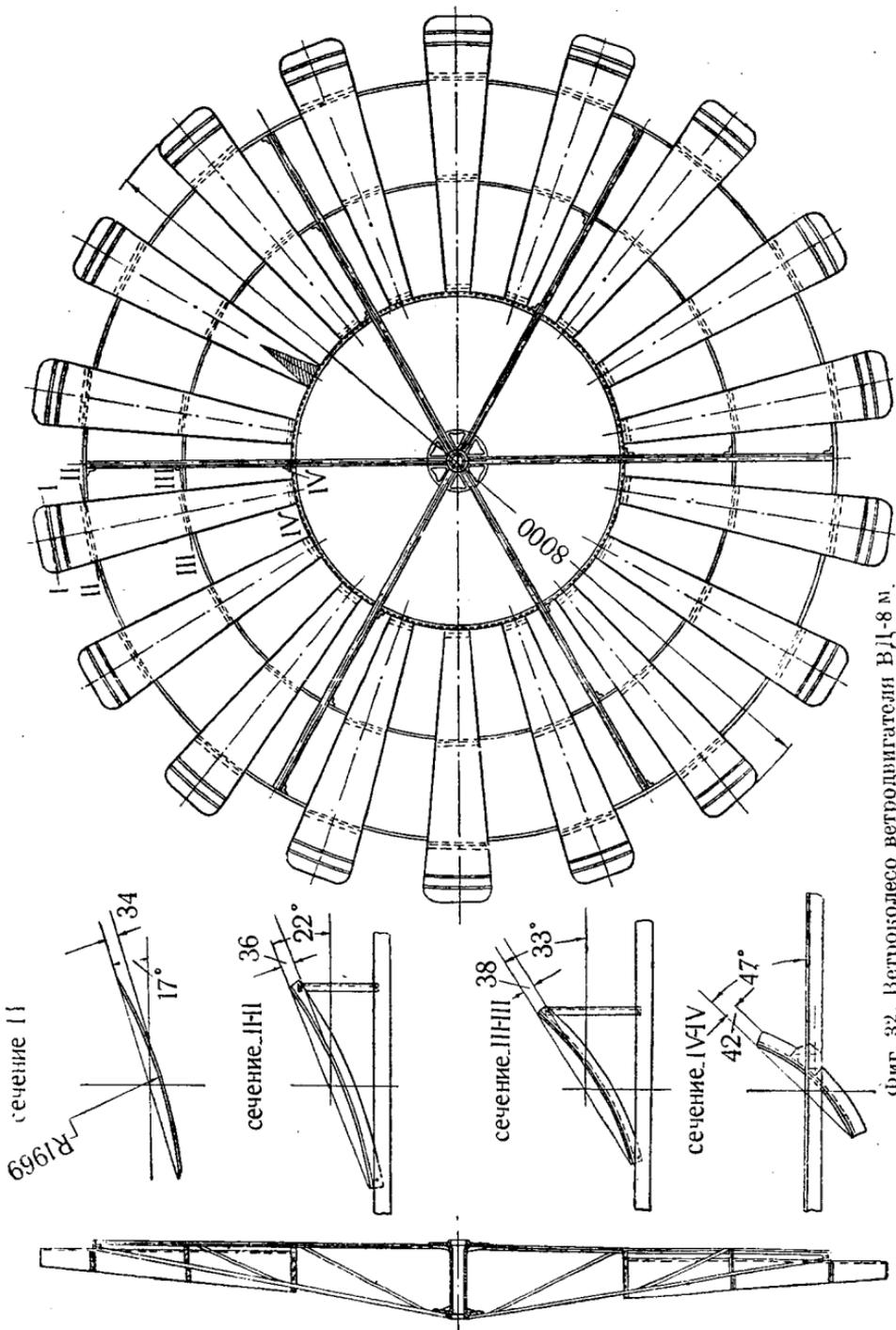
5. Башня ветродвигателя высотой 14,85 м построена по той же системе, что и башня ветродвигателя ВД-5.

6. Лебедка воспринимает работу вертикального вала ветродвигателя для передачи ее либо на поршневой насос, либо на сельхозмашины: соломорезку, мельничный постав, корнерезку, зернодробилку и т. п. Устройство лебедки показано на фиг. 34.

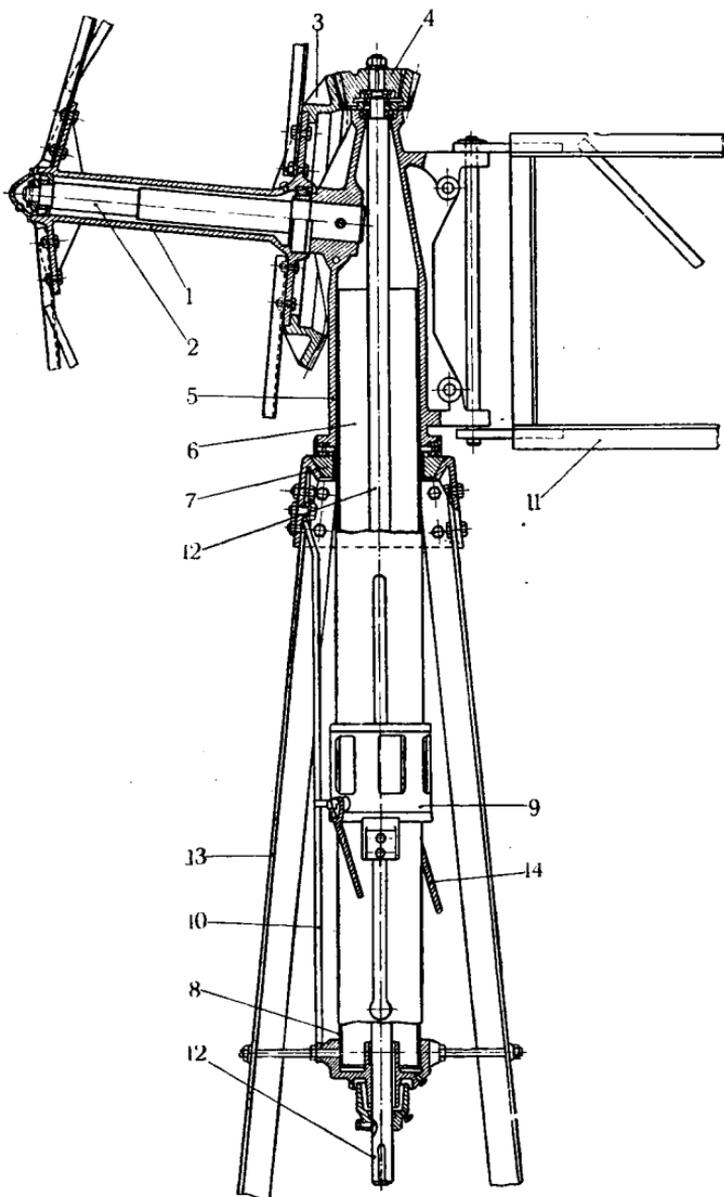
Этой же лебедкой при отсутствии ветра можно приводить в работу поршневой насос либо от конного привода, либо от трактора, при этом вертикальный вал двигателя отключается от лебедки разведением кулачковых муфт, надетых на верхний и нижний отсеки вертикального вала.

7. Регулирование ветродвигателя осуществляется по системе «Эклипс» с боковой лопастью, схема которого показана на фиг. 14.

8. Останов и пуск ветродвигателя осуществляется снизу лебедкой, которая закреплена на ноге башни у ее основания (фиг. 35). Трос, идущий от лебедки вверх, двумя концами присоеди-



Фиг. 32. Ветроколесо ветродвигателя ВД-8 м.

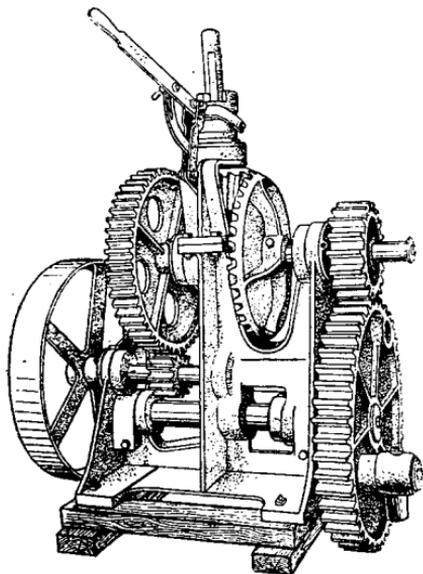


Фиг. 33. Головка ветродвигателя ВД-8 м:

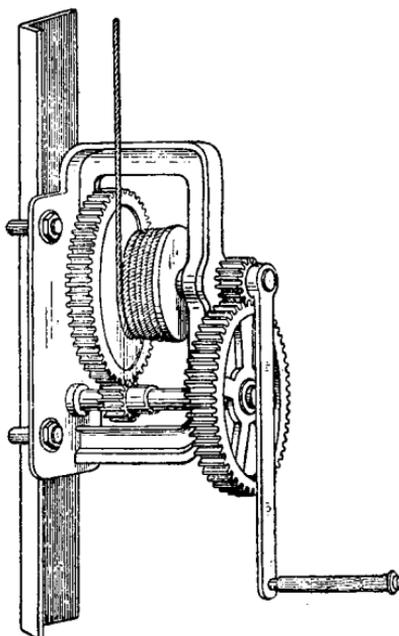
1 — ступица ветроколеса, 2 — ось ветроколеса, 3 — коническое зубчатое колесо, 4 — коническая шестерня, 5 — конусный кожух головки, 6 — опорная труба, 7 — верхняя опора головки, 8 — нижняя опора головки, 9 — муфта останова, 10 — направляющий железный прут для муфты 9, 11 — ферма хвоста, 12 — вертикальный вал, 13 — батия, 14 — трос останова.

нен к муфте останова, продольно перемещающейся по опорной трубе. Чтобы муфта не могла увлекаться опорной трубой при ее вращении около вертикальной оси, на муфте имеется лапка с вырезом, в который входит железный прут, закрепленный одним концом у верхней опоры, другим — у нижней. Этот прут служит направляющей муфты.

Верхний конец троса останова закреплен на хвосте и от него через два ролика *I* — *II* (фиг. 36) проходит внутрь опорной трубы, где присоединен к тяге *A*, которая может перемещаться вверх и вниз в проеме опорной трубы. Тяга на чижном конце имеет кронштейн *B*, которым захватывает муфту, этим достигается связь вращающейся части



Фиг. 34. Лебедка ветродвигателя ВД-8 м.



Фиг. 35. Лебедка для останова и пуска ветродвигателя ВД-8 м.

механизма останова, соединенной с головкой ветродвигателя, с другой частью, имеющей возможность перемещаться только поступательно вдоль опорной трубы. При желании остановить ветродвигатель вращают нижнюю лебедку, при этом на барабан лебедки наматывается трос и тянет муфту останова вниз. Муфта *B* увлекает тягу *A*, соединенную через верхний трос с хвостом ветряка, при этом происходит складывание ветроколеса с хвостом.

Хвост все время устанавливается параллельно ветру, а поэтому ветроколесо, становясь также параллельно ему, перестанет вращаться.

При пуске ветродвигателя в работу лебедкой разматывается трос, при этом усилие натянутой регулирующей пружины поворачивает головку, устанавливая ветроколесо перпендикулярно направлению ветра. Если ветер имеет достаточную скорость, ветроколесо начинает вращаться.

Мощность ветродвигателя на валу ветроколеса при скорости ветра 8 м/сек. равна около 7 л. с.; число оборотов ветроколеса при этой скорости составляет 25 об/мин.

Весовые данные

Ветроколесо	820 кг
Головка	500 »
Хвост	160 »
Боковая лопасть	90 »
Башня с вертикальным валом	1 900 »

Итого 3 470 кг

Оборудование

Приводная лебедка	380 кг
Направляющий механизм	335 »
Переходная коробка	32 »
Насос $d = 5 \frac{3}{4}$ "	370 »
Насосные штанги 40 м	100 »
Нагнетательный трубопровод $d = 6$ ", длиной 30 м	534 »
Распределительный трубопровод $d = 3$ ", длиной 6 м	50 »

Итого 1 801 кг

Этот ветродвигатель Херсонским заводом переконструирован с целью устранения тех дефектов, которые были обнаружены в первых экземплярах, поступивших в эксплуатацию в 1936—1937 гг. В новой конструкции усовершенствована смазка верхней передачи, усилены башня, ветроколесо и внесены некоторые другие изменения с целью повысить прочность деталей.

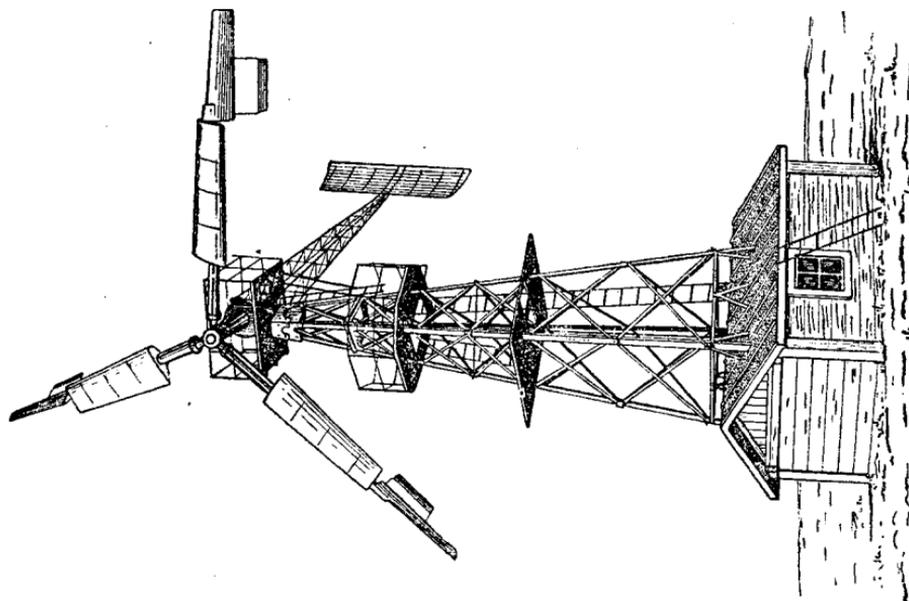
в) Ветродвигатель ЦВЭИ Д-12 и ВИМ Д-12 м

Помимо вышеописанных двух типов ветродвигателей ВД-5 и ВД-8 м, Херсонский завод изготавливает сейчас более мощный ветродвигатель по проекту б. ЦВЭИ. На фиг. 37 дан общий вид ветродвигателя ЦВЭИ Д-12 м, который был изготовлен Херсонским заводом в количестве 15 шт. для работы в Арктике.

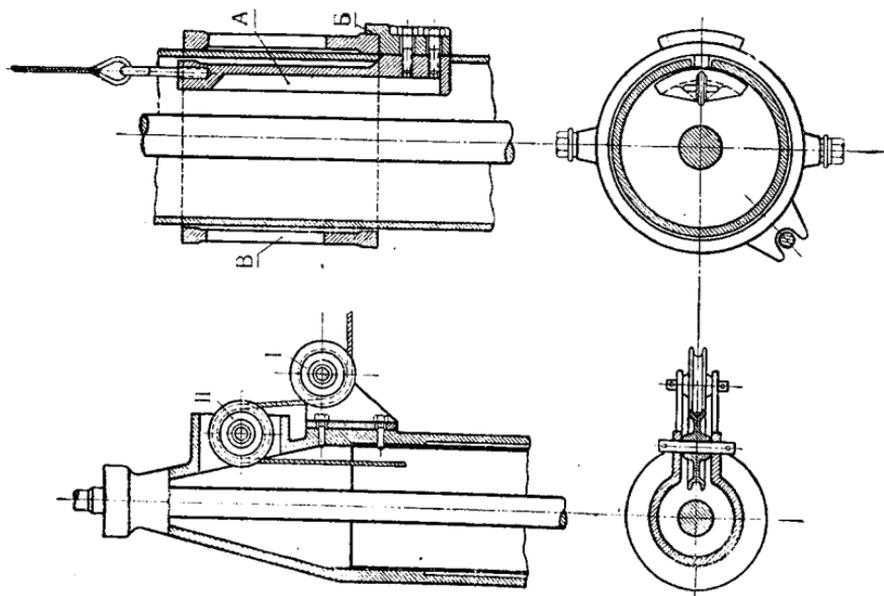
Ветроколесо двигателя Д-12 м имеет 3 лопасти дюралюминиевой конструкции, обшитых кровельным железом.

Лопастей в своей жесткой части закреплены на махах из стальных труб, которые в местах, подвергающихся наибольшему изгибающему нагрузкам, усилены ребрами, приваренными к наружным стенкам трубы. Махи своими основаниями вставлены в специальный тройник и через приварные фланцы притянуты к нему болтами. Крылья этого двигателя построены так, что могут автоматически регулировать число оборотов ветроколеса.

На фиг. 38 дан чертеж крыла этого двигателя. Конец лопасти А жестко закреплен на оси В, которая поворачивается в шарикоподшипниках В и Г. На задней кромке поворотной части лопасти закреплен стабилизатор Д, поворачивающийся на оси Е. Центробежный груз Ж при числах оборотов, превышающих расчетные, перемещается на оси



Фиг. 37. Ветродвигатель ЦВЭИ Д-12 м.



Фиг. 36. Детали цуэга и останоа ветродвига-
теля ВД-8 м.

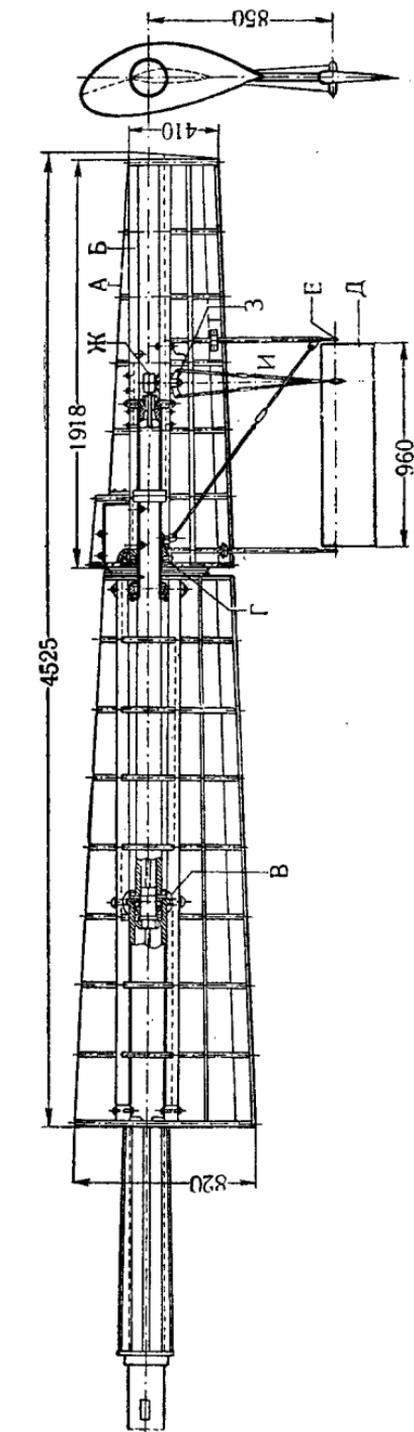
и приводит в движение рычаг 3, который тягой И поворачивает стабилизатор под определенный угол атаки. Вследствие этого на поверхности стабилизатора возникает подъемная сила, которая, действуя на него, поворачивает конец лопасти на определенный угол, необходимый для данного режима работы, чем и определяется регулирование этого типа ветродвигателя.

Отличительной особенностью такого регулирования является четкость его действия, позволяющая работать ветродвигателю с постоянным числом оборотов. Расчетное число оборотов сохраняется как в случае, когда ветряк не нагружен, а ветер значительной силы, так и в случае, если скорость ветра выше расчетной для данного ветряка, хотя бы доходящей до бури.

Головка ветродвигателя представляет фигурной формы картер из чугунного литья, в котором помещены опоры горизонтального вала, а также пара конических зубчатых колес, передающих вращение ветроколеса вертикальному валу. Картер головки (фиг. 39) закреплен на опорной трубе, которая поворачивается около вертикальной оси в двух опорах: верхней — роликовой, воспринимающей боковые усилия, и нижней — шариковой, воспринимающей боковые и вертикальные нагрузки.

В картер до определенного уровня заливается масло, которое смазывает верхнюю передачу.

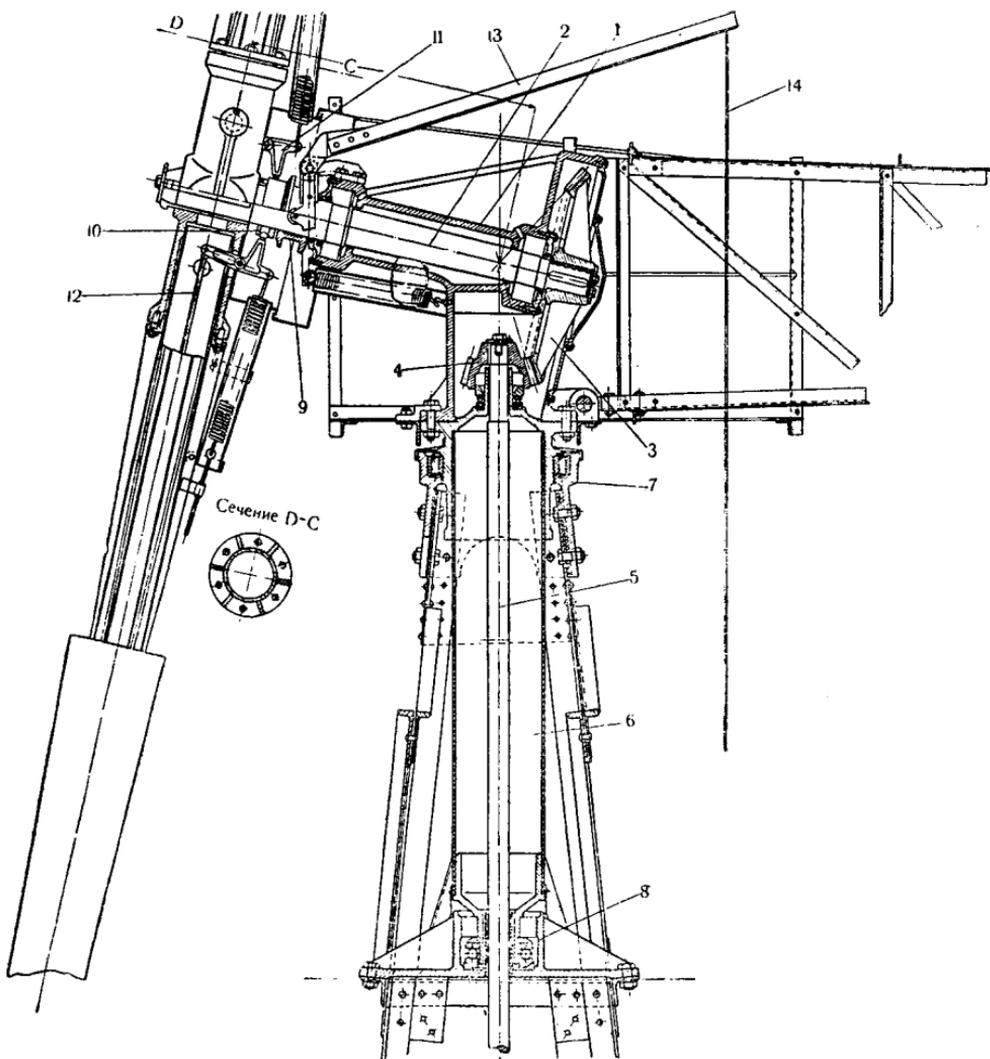
Останов и пуск ветродвигателя осуществляется перемещением муфты по горизонтальному валу сейчас же позади втулки ветроколеса. Эта муфта посредством коленчатых рычагов и тяг, проходящих внутри маха, действует на стабилизатор, ребром к ветру, вследствие этого поворотная часть лопасти также



Фиг. 38. Крыло ветродвигателя ЦВЭИ /1-12 м.

устанавливая их при остановке поворотная часть лопасти также

Крутящий момент от жестко закрепленной части лопасти встречает сопротивление обратно действующего крутящего момента, возникающего при этом на поворотных частях лопастей, и ветряк оста-



Фиг. 39. Головка ветродвигателя ЦВЭИ Д-12 м:

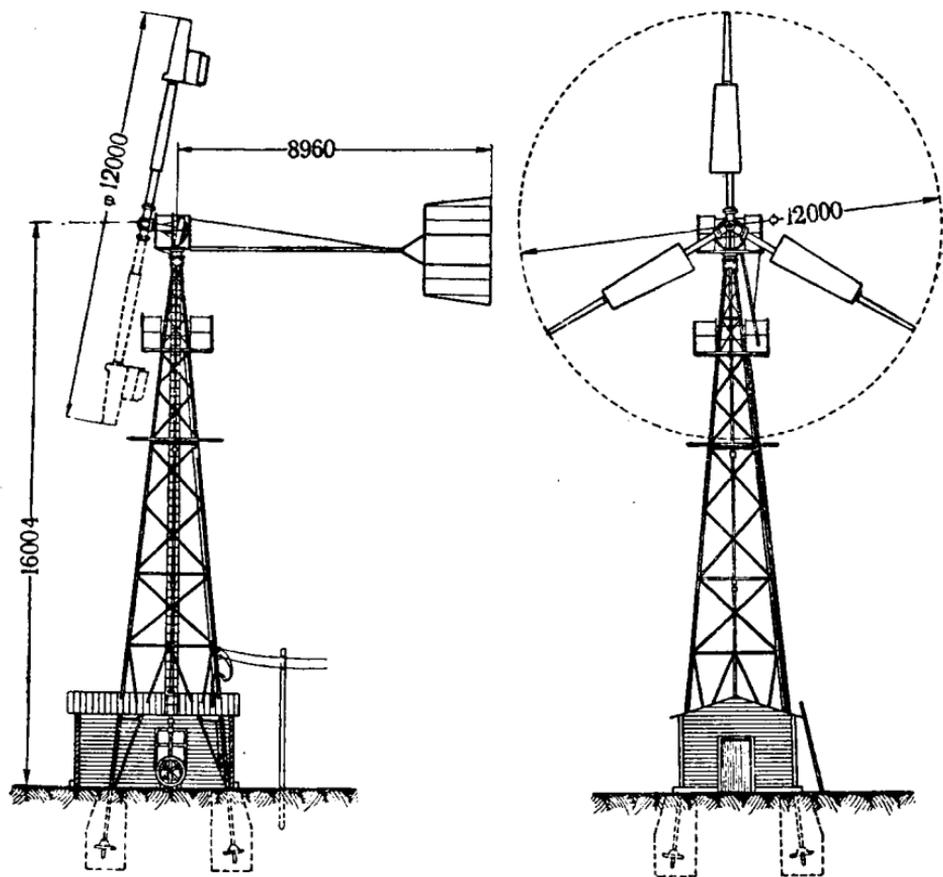
1 — картер головки, 2 — вал ветроколеса, 3 — ведущее коническое зубчатое колесо, 4 — коническая шестерня, 5 — вертикальный вал, 6 — опорная труба, 7 — верхняя опора, 8 — нижняя опора, 9 — муфта, останова, 10 — вторая муфта останова, 11 — рычаги останова и регулирования, 12 — тяги останова и регулирования, 13 — рычаг останова и пуска ветродвигателя, 14 — трос останова и пуска ветродвигателя.

наливается. При запуске ветряка передвигающая муфта останова освобождается, и стабилизаторы действием пружин и тяги с рычажным механизмом автоматически устанавливаются под некоторый угол атаки, заданный при монтаже для определенного режима работы установки. Действием ветра стабилизаторы начинают перемещаться, уста-

навливая концы лопастей в рабочее положение, и ветряк при наличии ветра скоростью от 3 до 4 м/сек. начинает работать.

Головка ветродвигателя смонтирована на металлической башне ферменной конструкции высотой около 12 м.

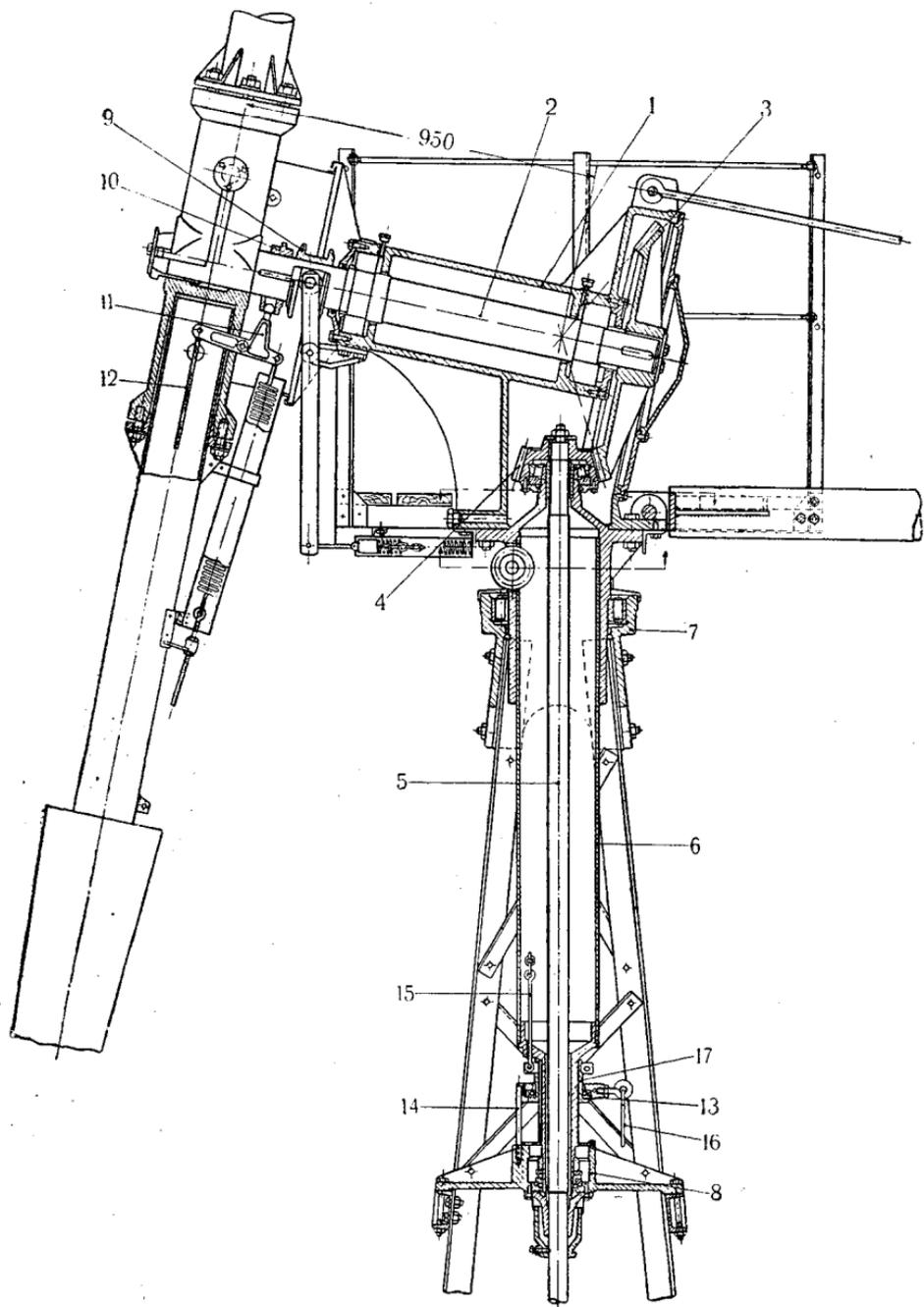
У основания башни смонтирован редуктор для передачи работы ветродвигателя либо электрогенератору, либо станкам и различным сельхозмашинам.



Фиг. 40. Ветродвигатель ВМ Д-12 м.

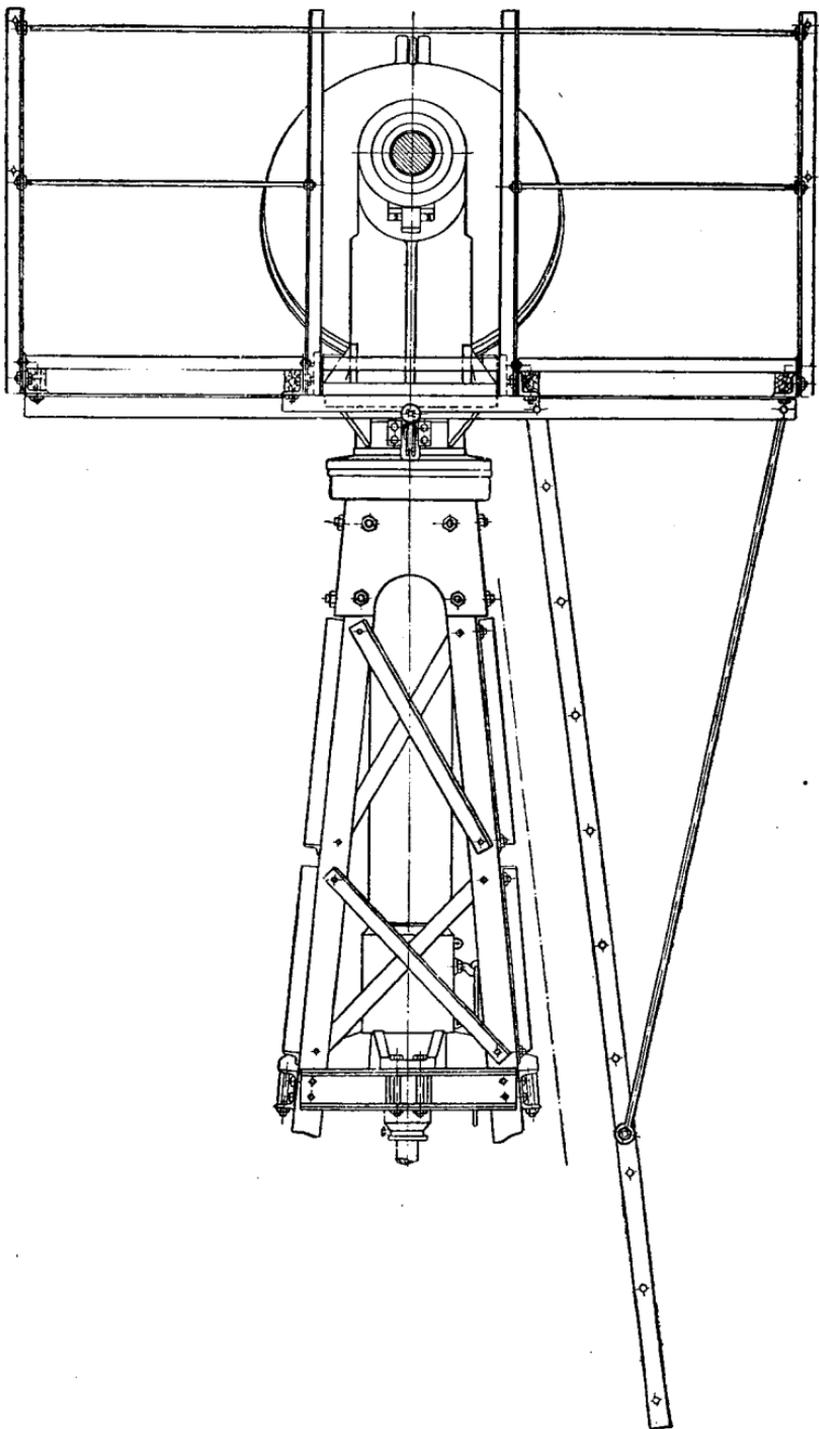
То обстоятельство, что данный ветродвигатель работает почти с постоянным числом оборотов (отклонения — плюс — минус от 1,5 до 3%) позволяет применять его в основном для небольших ветроэлектростанций. В равной степени он может применяться и для приведения во вращение станков в мастерских, а также некоторых сельхозмашин. Его можно выгодно использовать и на орошении больших участков земель.

Лаборатория Ветроиспользования ВМЭ в 1936 г. перепроектировала этот ветродвигатель с целью облегчения конструкции и изменения механизма останова и пуска ветродвигателя. Дело в том, что у выпускаемых заводом ветродвигателей пуск и останов их произ-



Фиг. 40а. Головка ветродвигателя ВИМ Д-12 м:

1 — корпус головки, 2 — вал ветроколеса, 3 — ведущее коническое зубчатое колесо, 4 — коническая шестерня, 5 — вертикальный вал, 6 — опорная труба, 7 — верхняя опора, 8 — нижняя опора, 9 — муфта останова, 10 — вторая муфта останова, 11 — рычаги останова и регулирования, 12 — тяги останова и регулирования, 13 — кольцо останова, 15 — тяга для приведения в действие муфты 9, 14 — штырь, направляющий кольцо 13, 16 — трос останова, 17 — муфта останова



Фиг. 40а (продолжение).

водится с верхней площадки, для чего приходится каждый раз подниматься на площадку башни. В этой части механизм останова изменен так, что им можно действовать снизу маленькой лебедкой.

Новый проект конструкции этого ветродвигателя показан на фиг. 40 и 40а.

Как видим, конструктивная схема этого ветродвигателя в новом варианте сохранена полностью и имеет дополнительное устройство механизма пуска и останова, который приводится в действие лебедкой, смонтированной внизу на ноге башни (фиг. 41); редуктор показан на фиг. 42.

Ветродвигатель при скорости ветра 8 м/сек. может развивать около 15 л. с. Нормальное число оборотов ветродвигателя составляет 55—60 об/мин.

Весовые данные по проекту

Ветроколесо	796 кг
Головка	1 220 »
Хвост	195 »
Башня	1 682 »
Редуктор	236 »
Вертикальный вал	308 »

Итого 4 437 кг

г) Ветродвигатель ВИМ Д-5 м

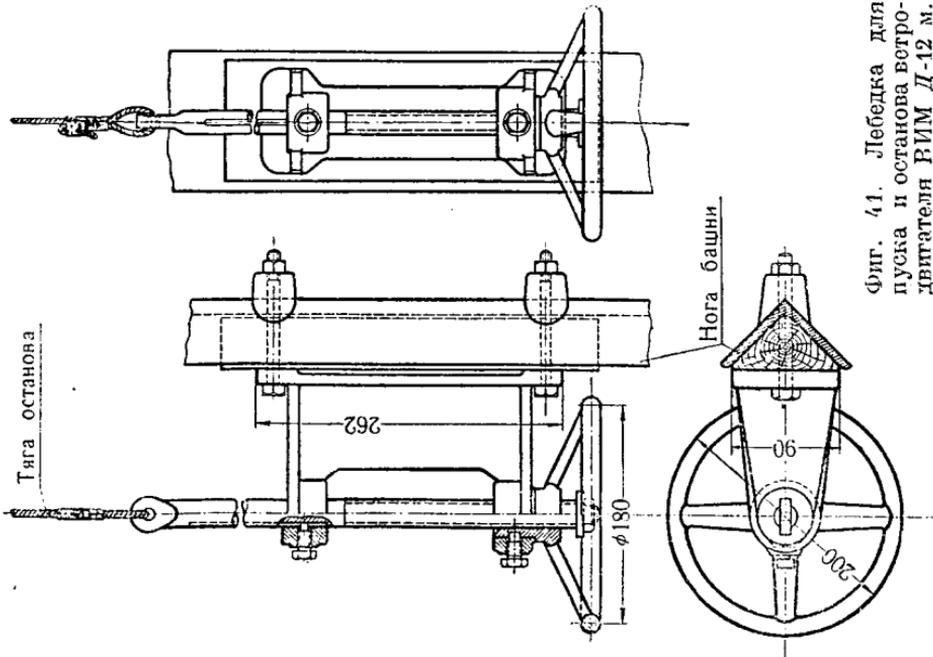
Отличительной особенностью малоллопастных ветродвигателей является их быстроходность, которая обуславливает легкий вес конструкции.

В лаборатории Ветроиспользования ВИМЭ сконструирован 3-лопастный ветродвигатель с диаметром ветрового колеса 5 м для приведения в движение центробежных насосов и различных сельхозмашин, а также электродинамо маломощных ветроэлектростанций в колхозах и совхозах.

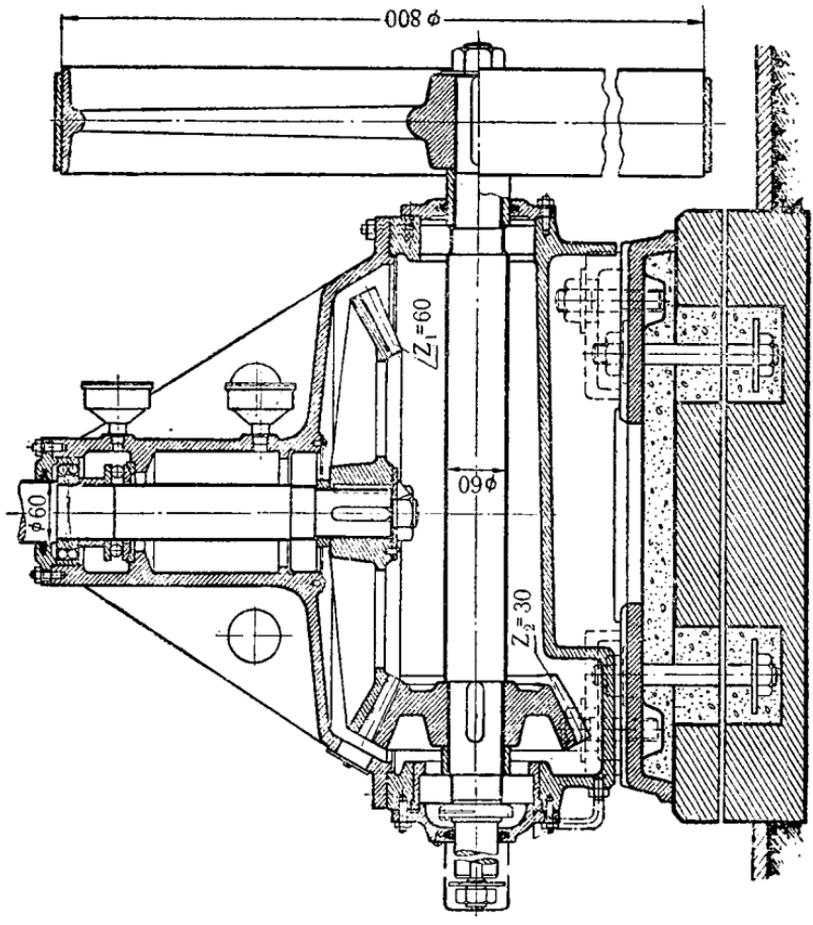
Общий вид данного ветродвигателя показан на фиг. 43, а на фиг. 44 разрез головки с передаточным механизмом.

Вращение ветроколеса передается вертикальному валу через пару конических шестеренок. Большое колесо имеет $z_1=48$ зубьев, шестерня имеет $z_2=32$ зуба. Внизу у основания башни смонтирован редуктор, горизонтальный вал которого воспринимает вращение вертикального вала через такую же коническую передачу ($z_1=48$ и $z_2=32$). На конце вала редуктора насажены 2 шкива, передающие работу электродинамо или сельхозмашинам. Диаметры шкивов: один Д-445 мм, другой Д-835 мм (фиг. 45).

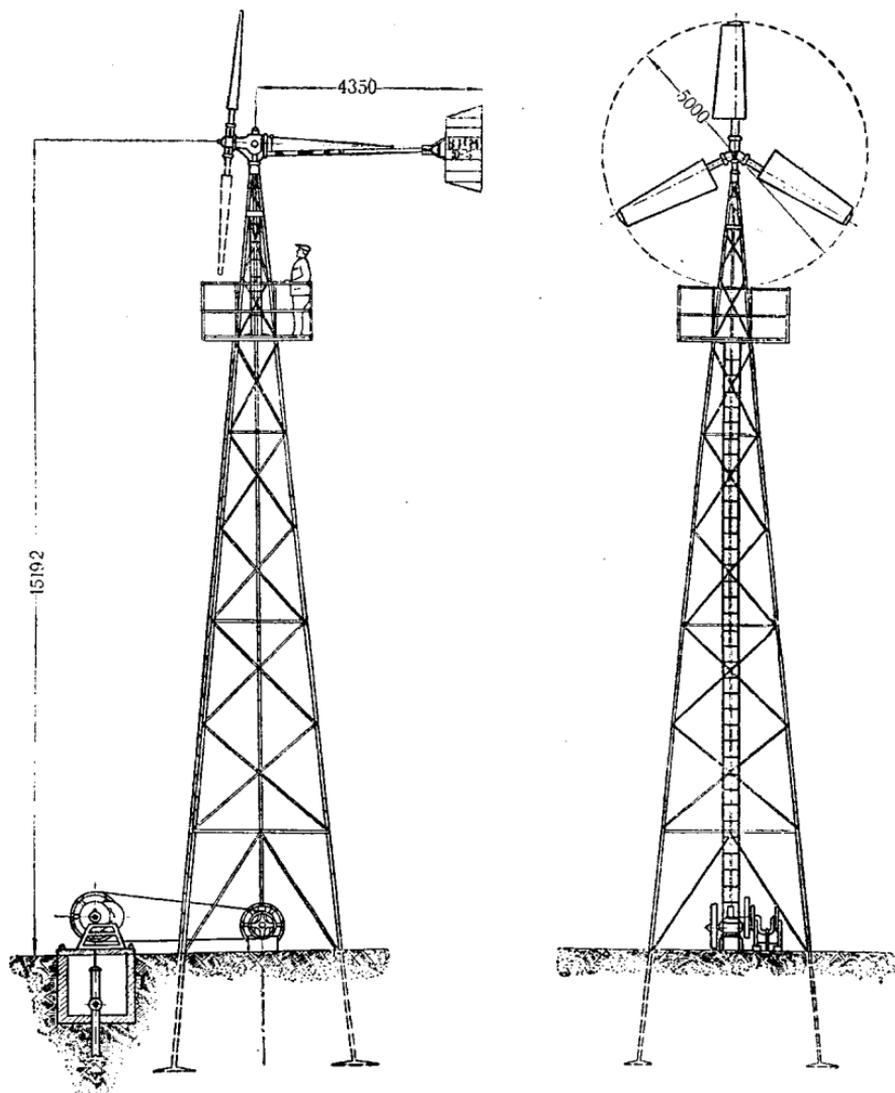
Регулирование ветродвигателя осуществляется поворотом лопастей от центробежных сил регулирующих грузов, помещенных в крыльях ветроколеса. Останов ветродвигателя делается выводом ветроколеса из-под ветра, для чего хвост на головке закреплен шарнирно и может действием ручной маленькой лебедки поворачиваться в одну сторону, так же как у системы «Эклипс». В рабочее положение хвост ставится усилием пружины.



Фиг. 41. Лебедка для пуска и останова ветродвигателя ВИМ Д-12 м.



Фиг. 42. Редуктор ветродвигателя ВИМ Д-12 м.



Фиг. 43. Ветродвиатель быстроходный ВИМ Д-5 м.

Весовые данные по проекту следующие.

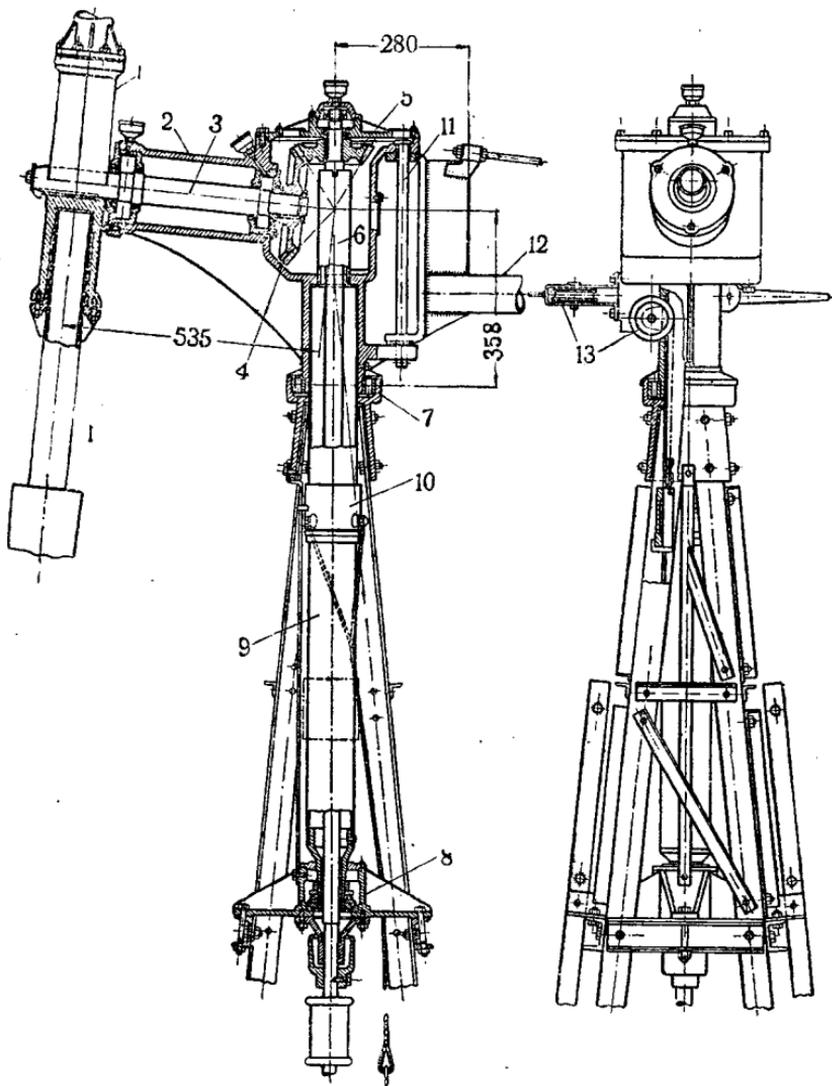
Ветроколесо	185 кг	Башня с тремя отсеками	
Головка	165 »	вала и подшипниками .	1 300 кг
Хвост	65 »	Редуктор	210 »

Итого 1 925 кг

Пять экземпляров этого двигателя изготовлены в 1938 г. заводом ВИМЭ по заказу ГУСМП.

д) Ветродвиатель ЦВЭИ Д-30 м

В 1931 г. впервые не только в СССР, но и в мире, был смонтирован в Крыму близ Балаклавы ветродвиатель мощностью 100 л. с.



Фиг. 44. Головка ветродвигателя ВИМ Д-5 м:

1 — махи ветроколеса, 2 — картер головки, 3 — вал ветроколеса, 4 — коническое зубчатое колесо, 5 — коническая шестерня, 6 — вертикальный вал, 7 — верхняя опора, 8 — нижняя опора, 9 — опорная труба, 10 — муфта останова, 11 — ось хвоста, 12 — труба хвоста, 13 — направляющие ролики троса останова.

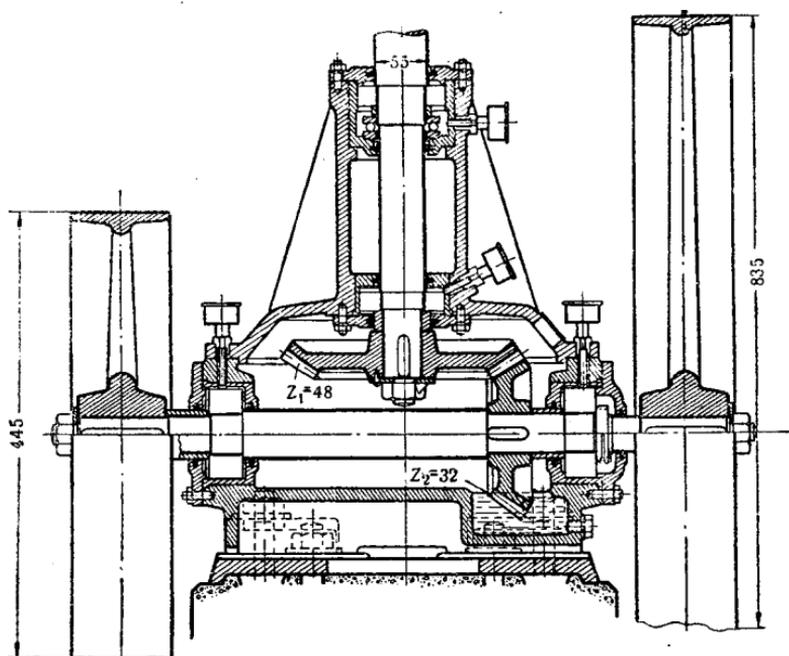
на валу ветроколеса при скорости ветра 8 м/сек. Этот ветродвигатель изготовлен по проекту ЦВЭИ. Работает он как опытная установка, с целью изучения параллельной работы ветроэлектростанции с теплоэлектростанцией.

Общий вид ветродвигателя показан на фиг. 46, а на фиг. 47 дано сечение кабины, где помещен генератор, передача и управление.

Ветроколесо диаметром 30 м имеет 3 лопасти, которые свободно поворачиваются на своих махах, что предусматривается системой регулирования данного двигателя (см. выше о регулировании системы

Г. Х. Сабинина). Лопасти имеют обтекаемый профиль, аналогичный профилю крыла самолета. Размеры лопасти: 11 м длина, 2 м ширина у основания, 1 м ширина на конце и 0,68 м наибольшая толщина у основания. Они поворачиваются на двух шарикоподшипниках, закрепленных на стальных трубах махов диаметром 350 мм. Конструктивная схема крыла показана на фиг. 48. Махи у лопастей соединены между собой легкой фермой из углового и швеллерного железа и труб.

Нижние концы махов закреплены болтами на стальном ободе, диаметр которого равен 3,4 м. Обод с внутренней стороны имеет по-



Фиг. 45. Редуктор ветродвигателя ВИМ Д-5 м.

верхность катания, которой он опирается на два стальных катка, вращающихся в шарикоподшипниках, закрепленных на ферме головки. Ветроколесо с ободом — вращается на этих катках во время работы. Кроме того, на ободе рядом с гладкой поверхностью имеется поверхность с отверстиями, куда вставлены деревянные зубья из граба. Зубья обода находятся в зацеплении с двумя шестеренками, расположенными внутри обода, которые насажены на два вала, передающих вращение дифференциалу, а от него валу генератора.

Дифференциал в передаче применен с целью равномерного распределения мощности между 2 передаточными валами. Общее передаточное число двух зубчатых передач равно 1 : 22. Плоскость вращения ветроколеса имеет наклон 12° к вертикали, что вызвано необходимостью уменьшить вылет ветроколеса относительно башни.

Ветродвигатель смонтирован на башне высотой 25 м. Ферма головки склепана из углового и швеллерного железа и опирается через шаровую

пята на сферическую опору, закрепленную на верху башни. На этой опоре ветродвигатель поворачивается около вертикальной оси при установке ветроколеса на ветер. К ферме головки присоединена шарнирно наклонная хвостовая ферма, на нижнем конце которой шарнирно присоединена тележка с мотором и лебедкой.

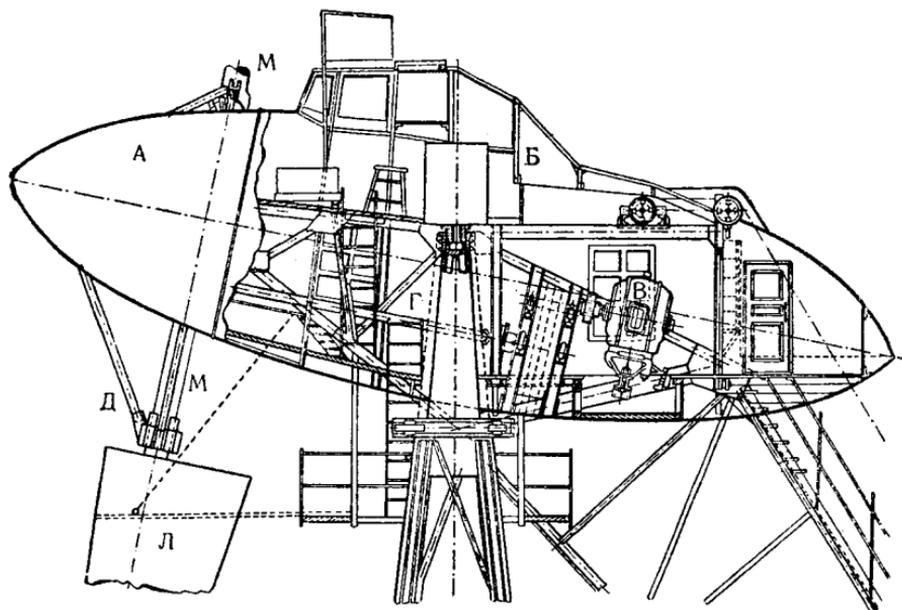
Хвостовая ферма служит для установка ветроколеса на ветер при изменениях его направления. Хвостовая тележка опирается на рельс, уложенный вокруг башни с радиусом 20,5 м. Движение тележки по рельсу производится электромотором мощностью 1,5 л. с. с червячной передачей. Включение мотора в работу происходит автоматически при изменениях направления ветра. Для этого на верху кабины установлен флюгер размером 400×700 мм. При поворачивании ветром флюгера в ту или другую сторону включается одна из катушек электромагнитного переключателя, находяще-



Фиг. 46. Ветродвигатель ЦВЭИ Д-30 м.

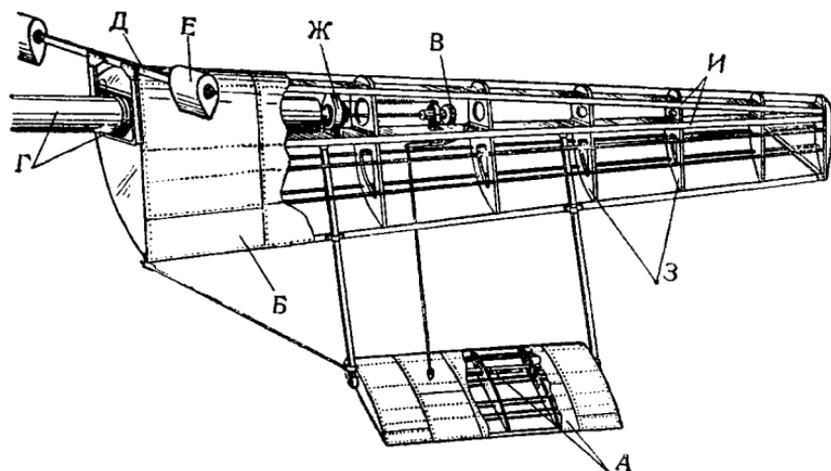
гося в цепи мотора хвостовой тележки. Мотор перемещает тележку по рельсу до тех пор, пока ветроколесо не станет снова против ветра и флюгер не разомкнет контакта. При изменении направления ветра то же устройство реверсирует мотор тележки и передвигает ее в другую сторону. Подъем на башню совершается по хвостовой ферме, на которой для этой цели установлена лестница.

Асинхронный генератор установки представляет нормальный тип трехфазного мотора серии Д, 125 л. с. при 600 об/мин., завода ХЭМЗ. В нормальной конструкции мотора были изменены лишь подшипники.



Фиг. 47. Сечение кабины ветродвигателя ЦВЭИ Д-30:

А — передняя часть кабины, вращающаяся вместе с ветроколесом, Б — кабина, В — генератор, Г — вал (2 шт.), передающий вращение ветроколеса генератору, Д — ферма ветроколеса, Е — махи, Л — лопасть крыла



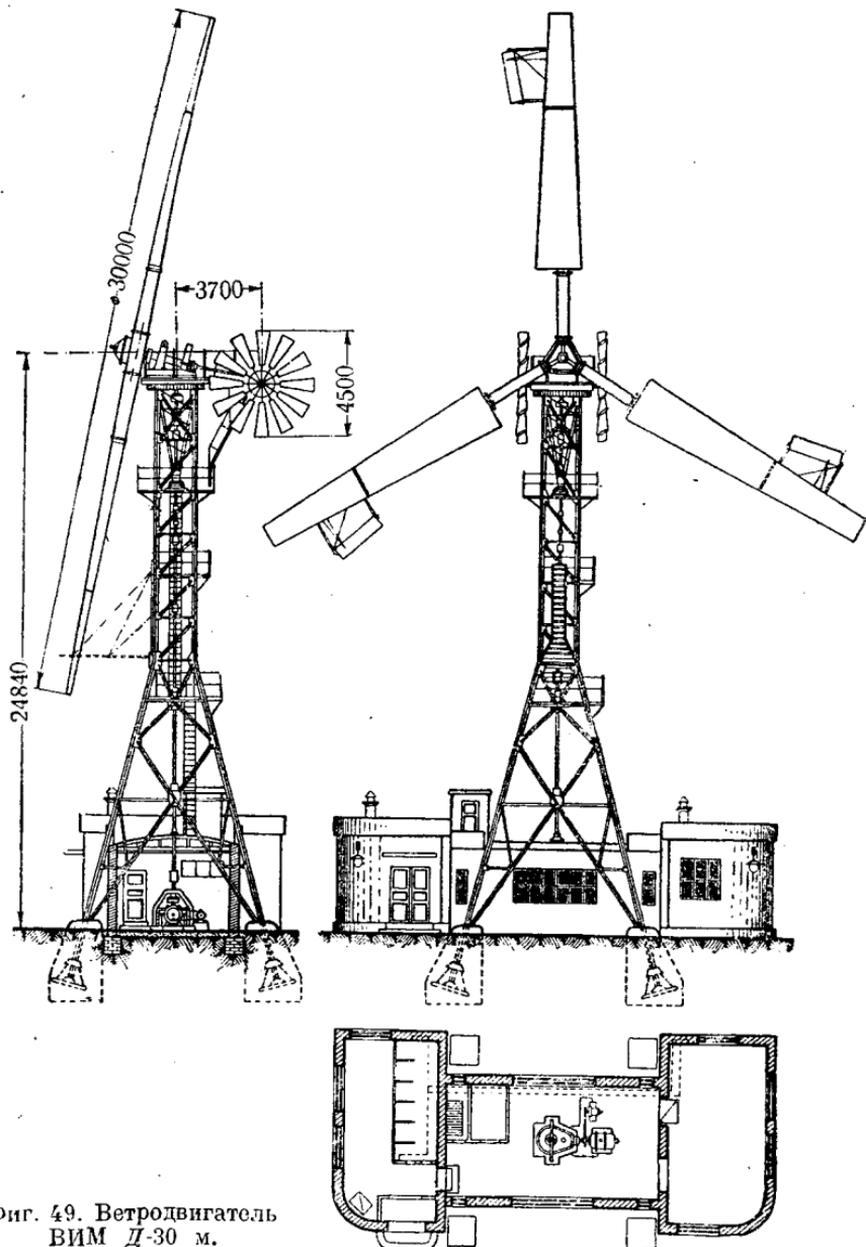
Фиг. 48. Конструктивная схема крыла ветродвигателя ЦВЭИ Д-30 м:

А — стабилизатор, Б — лопасть крыла, В — центробежный груз, Г — мах, Д — штанга компенсирующих грузов, Е — компенсирующие грузы, Ж — опора, З — нервюры, И — лонжероны.

Вместо простых — скользящего трения были поставлены шариковые и добавлен шариковый подпятник, что вызвано наклонным положением оси генератора.

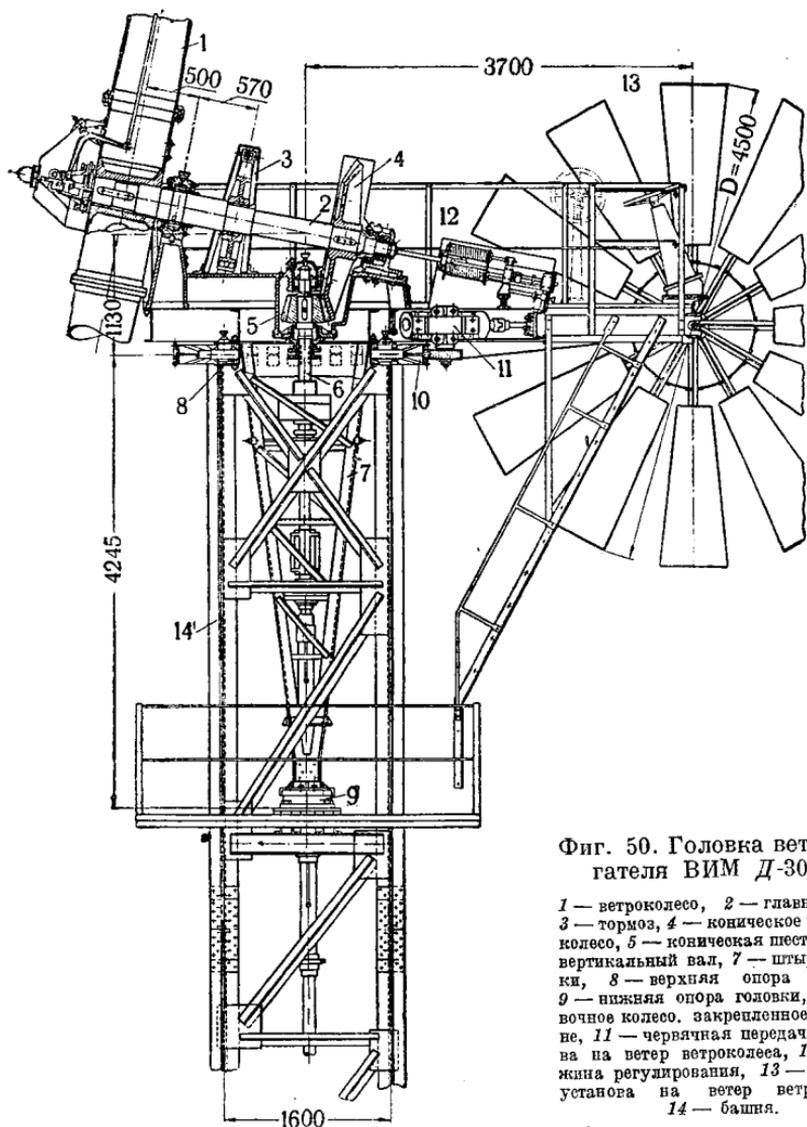
е) Ветродвиатель ВИМ Д-30 м

Ветродвиатель ВИМ Д-30 м спроектирован в 1936/37 г.; его конструкция (фиг. 49) совершенно отличается от первого опытного экземпляра ЦВЭИ Д-30 м, установленного в Крыму близ Балаклавы.



Фиг. 49. Ветродвиатель ВИМ Д-30 м.

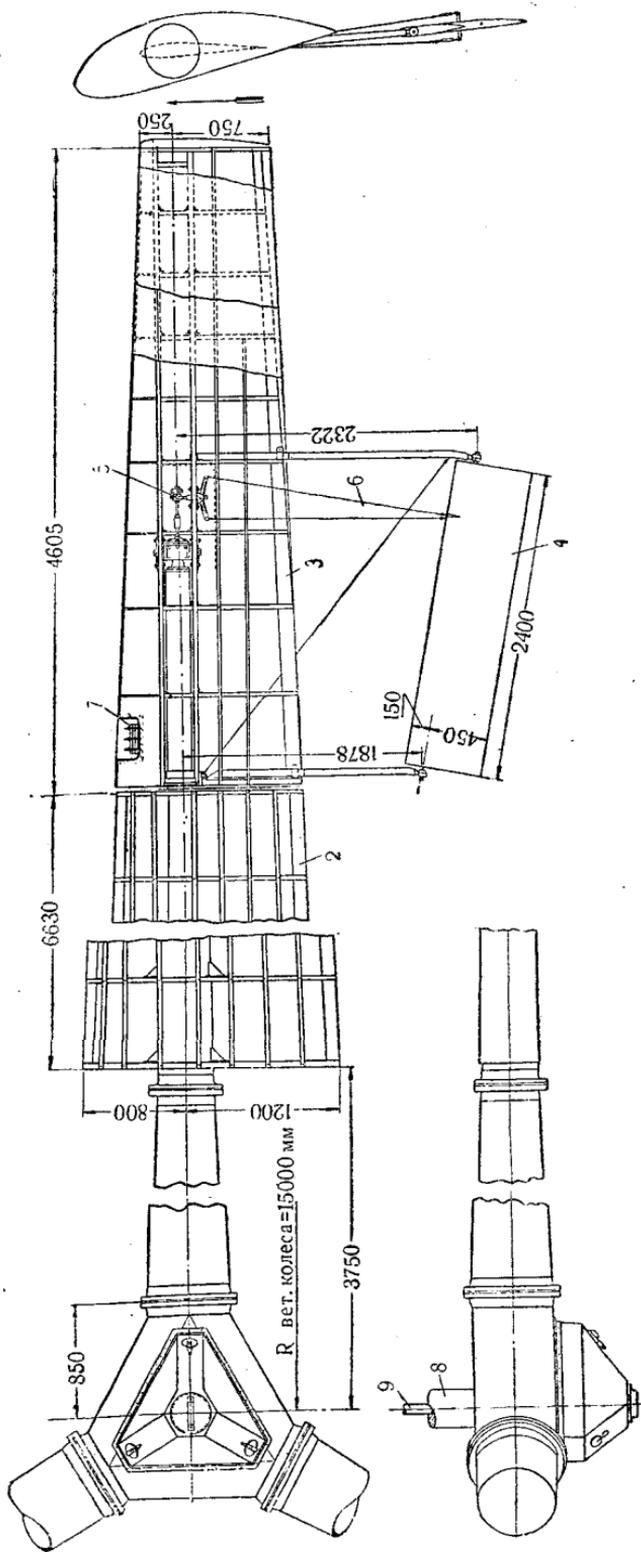
Ветродвижитель ВИМ Д-30 м имеет более простую конструктивную схему в части крепления махов на валу ветроколеса и в части передаточного механизма, что видно из общего вида сечения головки, показанной на фиг. 50. Крыло ветроколеса показано на фиг. 51.



Фиг. 50. Головка ветродвижателя ВИМ Д-30 м:

1 — ветроколесо, 2 — главный вал, 3 — тормоз, 4 — коническое зубчатое колесо, 5 — коническая шестерня, 6 — вертикальный вал, 7 — штырь головки, 8 — верхняя опора головки, 9 — нижняя опора головки, 10 — цепочное колесо, закрепленное на башне, 11 — червячная передача, установленная на ветер ветроколеса, 12 — пружина регулирования, 13 — винтовая установка на ветер ветроколеса, 14 — башня.

Махи 3-лопастного ветроколеса посредством сварной муфты закреплены на главном валу, который через пару конических зубчатых колес с передаточным отношением $i_1 = 1 : 3,45$ вращает вертикальный вал. Смонтированный внизу двухступенчатый редуктор (фиг. 52) с передаточным отношением $i_2 = 1 : 11,65$ получает вращение от вертикального вала и передает его генератору, присоединенному через муфту к оси редуктора.



Фиг. 54. Крыло ветроколеса ВИМ Д-30 м:

1 — мах, 2 — жесткая часть лопасти, 3 — поворотная часть лопасти, 4 — стабилизатор, 5 — центральный груз, 6 — тяги стабилизатора, 7 — компенсирующий груз, 8 — главный вал, 9 — тяга регулирования.

Регулирование ветродвигателя осуществляется по тому же принципу, что и ВИМ Д-12 м, т. е. поворотом концов лопастей с помощью стабилизаторов.

Установ на ветер производится двумя вицдрозами, диаметр которых равен 4,8 м, останов и пуск ветродвигателя осуществляется снизу лебедкой.

Металлическая, ферменной конструкции, башня имеет высоту 24,84 м.

Ветроколесо делает 25 об/мин. Генератор — 1 006 об/мин.

При скорости ветра $v = 8$ м/сек. мощность на валу ветроколеса 100 л. с. Максимальная мощность генератора — 75 квт. Ветродвигатель предназначается для ветроэлектростанций и орошения.

ж) Ветродвигатель ВИМ Д-24 м

Ветродвигатель ВИМ Д-24 во всех основных частях представляет целиком деревянную конструкцию.

Он построен и пущен в работу в ноябре 1936 г. в колхозе у ст. Степная, Ростовской области, как опытная установка. Общий ее вид показан на фиг. 53.

Ветроколесо имеет 4 лопасти, обтекаемой формы. Ширина их равна 2,5 м, махи крыльев построены из сосновых бревен диаметром 290 мм.

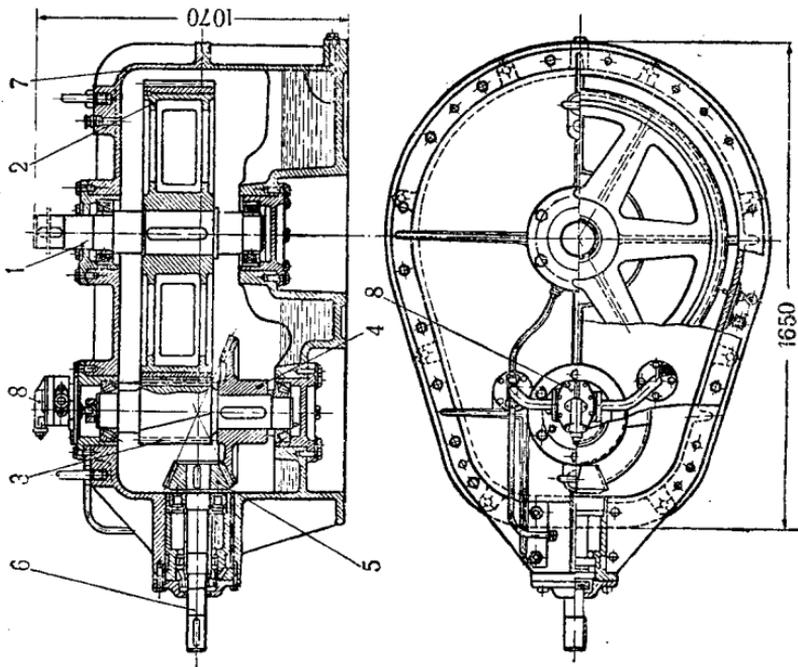
Крыло выполнено по типу крыла ЦАГИ для крестьянских ветромельниц. При скорости ветра 8 м/сек. ветроколесо дает около 20 оборотов в минуту с модульностью $z = 3,1$.

Вал ветроколеса оригинальной конструкции состоит из 4 круглых бревен диаметром по 250 мм каждое. Бревна расположены по квадрату и между ними помещены в неглубоких вырубках кресты спиц главного зубчатого колеса, крест махов, вставки для пятникового пипа, вставки лобовых подкосов и растяжек. По внешнему периметру вала бревна связаны наклонными шпонками, которые воспринимают сдвигающие усилия и кручение. Кроме того, вал охвачен хомутами из круглого железа, состоящими из четырех болтов с кольцами взамен головок, через которые и проходят нарезные концы болтов. Это устройство позволяет делать затяжку на всех 4 ребрах вала.

Зубчатое колесо, смонтированное на главном валу, состоит из чугунных венцов с выступами, укрепленных на деревянных выкружках обода, закрепленного на спицах. Таким же образом выполнена и шестерня, находящаяся в зацеплении с большим колесом и смонтированная на вертикальном валу двигателя. Спицы обеих зубчаток имеют подкосы, предохраняющие их от раскачивания и обеспечивающие выверку зацепления.

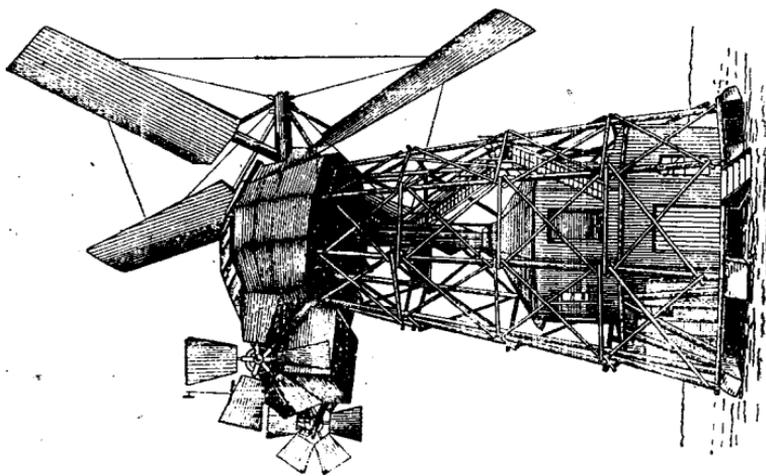
Вертикальный вал представляет такую же конструкцию, как и главный вал. В верхней его части на расстоянии одного метра от шестерни закреплен тормозной шкив, который предохраняет вал от проворачивания при остановленном ветряке: В нижней части вала закреплена шестерня, от которой вращение передается трансмиссии, приводящей в движение генератор и другие сельхозмашины.

Ш а т е р. Главный вал ветроколеса со своими опорами смонтирован на шатре, который состоит из основной рамы, представляющей



Фиг. 52. Двухступенчатый редуктор к ветродвигателю ВИМ Д-30 м:

1 — вертикальный вал редуктора, присоединяющийся к вертикальному валу ветродвигателя с помощью муфты, 2 — цилиндрическое ведущее колесо 1-й ступени, 3 — малое зубчатое колесо 1-й ступени, 4 — коническое колесо 2-й ступени, 5 — малое коническое колесо 2-й ступени, 6 — картер редуктора, 7 — картер редуктора, 8 — шестеренчатый масляный насос для создания циркуляции смазки.



Фиг. 53. Ветродвигатель Д-24 м деревянно-металлической конструкции.

рубленный венец, связанный угловыми бревнами, придающими раме значительную жесткость. На продолжении рамы в сторону противоположную ветроколесу крепятся виндрозы со своей передачей установка на ветер; здесь же расположен и механизм для автоматического регулирования числа оборотов ветрового колеса, а также остачова и пу-ска ветродвигателя.

Б а ш н я. Представляет собой восьмигранную ферменную кон-струкцию с поясами по высоте и раскосами на каждой из граней башни. Внизу ноги башни опираются на бревенчатый венец, соединяясь с ним врубкой и железными хомутами. Ноги башни, пояса и крестовины из-готовлены из круглых бревен.

Основание башни выполнено по типу свайных построек из 16 свай по две штуки под каждую ногу башни. Сваи между собою связаны по верху рубленным венцом из круглых бревен, лежащих в вырубках верх-них отрезков свай и прихваченных к ним скобами.

Нижний отсек башни застроен зданием машинного отделения, где расположена электростанция и трансмиссии для передачи движения сельхозмашинам.

Регулирование числа оборотов осуществляется выводом ветроколеса из-под ветра автоматически, посредством специального механизма, действующего от центробежного регулятора. Механизм регулирования и конструкция ветродвигателя предложены и осуществлены инж. Красновым Н. Д.

з) Ветродвигатель системы Уфимцева

Ветродвигатель системы Уфимцева спроектирован и построен под его руководством в 1928 г. (фиг. 54). Он работает как ветроэлектро-станция на мастерскую, освещение и отчасти на отопление с февраля 1931 г.

Аэродинамический расчет произведен на основании вихревой тео-рии Н. Е. Жуковского под руководством В. П. Ветчинкина. Отличи-тельной особенностью конструкции ветродвигателя является весьма легкий удельный вес. Ветроколесо имеет три лопасти дерево-металли-ческой конструкции с аэродинамическим профилем, подобным крылу аэропланного типа с дужкой инверсии параболы, предложенной С. А. Чаплыгиным и Н. Е. Жуковским. Лопасти жестко закреплены на трубчатых махах, которые свободно поворачиваются в шарико-подшипниках, закрепленных на специальном тройнике, падемом на горизонтальный вал ветродвигателя.

Система регулирования ветродвигателя осуществлена следующим образом. На горизонтальном валу, позади втулки ветроколеса, сво-бодно надета муфта, которая кинематически соединена с махами крыль-ев. К этой муфте с передней ее стороны на тросе подвешен большой груз, а с задней подвешен груз более легкий. Первый груз стремится перемещать муфту вперед, при этом она через рычажный механизм, соединенный с крыльями, ставит их в рабочее положение; второй груз меньший, действуя на муфту, выводит крылья из рабочего положения, когда желают остановить ветряк, при этом поднимают большой груз с помощью маленькой ручпой лебедки, помещенной на стенке внутри машинного отделения.

Этой системой достигнут весьма легкий пуск и останов ветряка.

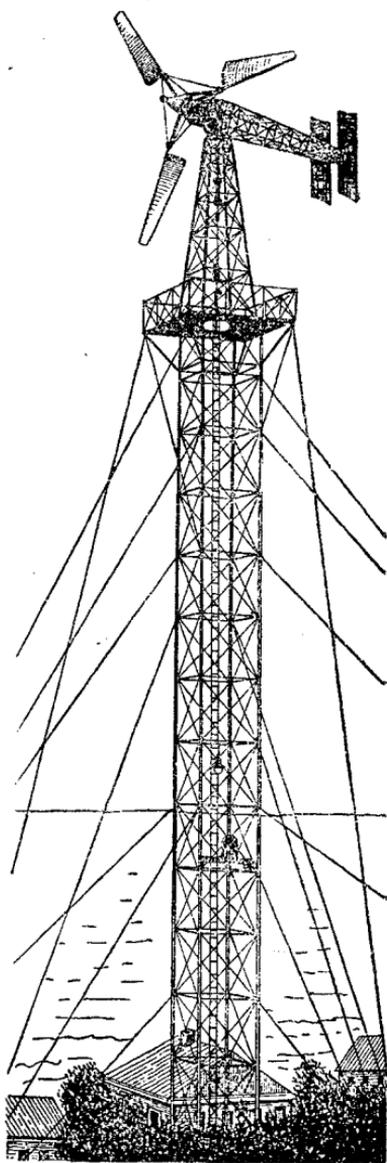
Регулирование мощности ветродвигателя осуществляется отклонением крыльев в направлении давления ветра на лопасти, для чего они закреплены на махах эксцентрично, т. е. махи проходят вблизи носка лопасти так, что центр парусности смещен относительно оси поворота крыла к задней кромке. Таким образом, действие ветра на лопасть и вес малого груза преодолевают вес большого груза, ставя их на определенный угол атаки, чем, собственно, и достигается регулирование данного ветродвигателя.

Вращение ветроколеса передается вертикальному валу через конические зубчаток с передаточным отношением $1 : 3\frac{1}{2}$. Передача заключена в картер, изготовленный из котельного железа. В картере имеется камера для масла. Внизу на вертикальном валу надет большой деревянный шкив, от которого посредством ремня с натяжным роликом передается вращение динамо с передаточным отношением $1 : 10$. На валу динамо посажен шкив со свободным ходом так, что при вращении вала генератора от другого привода его вращение совершается свободно без приведения в движение данного шкива. Это вызвано тем, что вал генератора служит продолжением вала инерционного аккумулятора системы А. Г. Уфимцева. При снижении числа оборотов ветродвигателя инерционный аккумулятор благодаря данной схеме передачи поддерживает имевшееся число оборотов генератора; отставание ветродвигателя при этом на работе аккумулятора не отражается.

Динамо имеет номинальную мощность 3,5 квт при 1 750 об/мин. на 220 вольт, 17 ампер.

Благодаря наличию инерционного аккумулятора, устраняющего быстрые переходы от одного режима работы установки к другому, возможно производить регулирование работы ветроэлектростанции вручную одним из 3 нижеприведенных способов:

1) изменением угла атаки лопастей ручной лебедкой оста-



Фиг. 54. Ветродвигатель системы Уфимцева.

2) уменьшением или увеличением тока возбуждения в магнитах шунтовым реостатом;

3) увеличением или уменьшением нагрузки станции приключением дополнительных ламп и моторов.

Установ на ветер ветроколеса осуществляется хвостом ферменной конструкции, на конце которого установлены 2 поверхности, в связи с чем данный хвост и носит название бипланного.

Такая конструкция хвоста уменьшает угловую скорость поворота на ветер, когда последний набегает под большим углом атаки. Обе поверхности хвоста (оперение) изогнуты по некоторой дужке, что сделано с целью компенсировать реактивный момент вертикального вала, возникающий на зацеплении верхней передачи. Без этого ветряк не мог бы стоять точно по ветру во время его работы.

Кроме того, изгиб поверхности по дужке увеличивает ее прочность.

Башня высотой 40 м имеет прямоугольную ферменную конструкцию с одинаковым квадратным сечением по всей высоте. В вертикальном положении она удерживается растяжками.

Весовые данные в ветродвигателя

Поворотная ферма со всей арматурой	800 кг
Ветроколесо	420 »
Хвостовая ферма с оперением	250 »
Подшипники, на которых поворачивается головка ветряка	160 »
Вертикальный вал с подшипниками	328 »

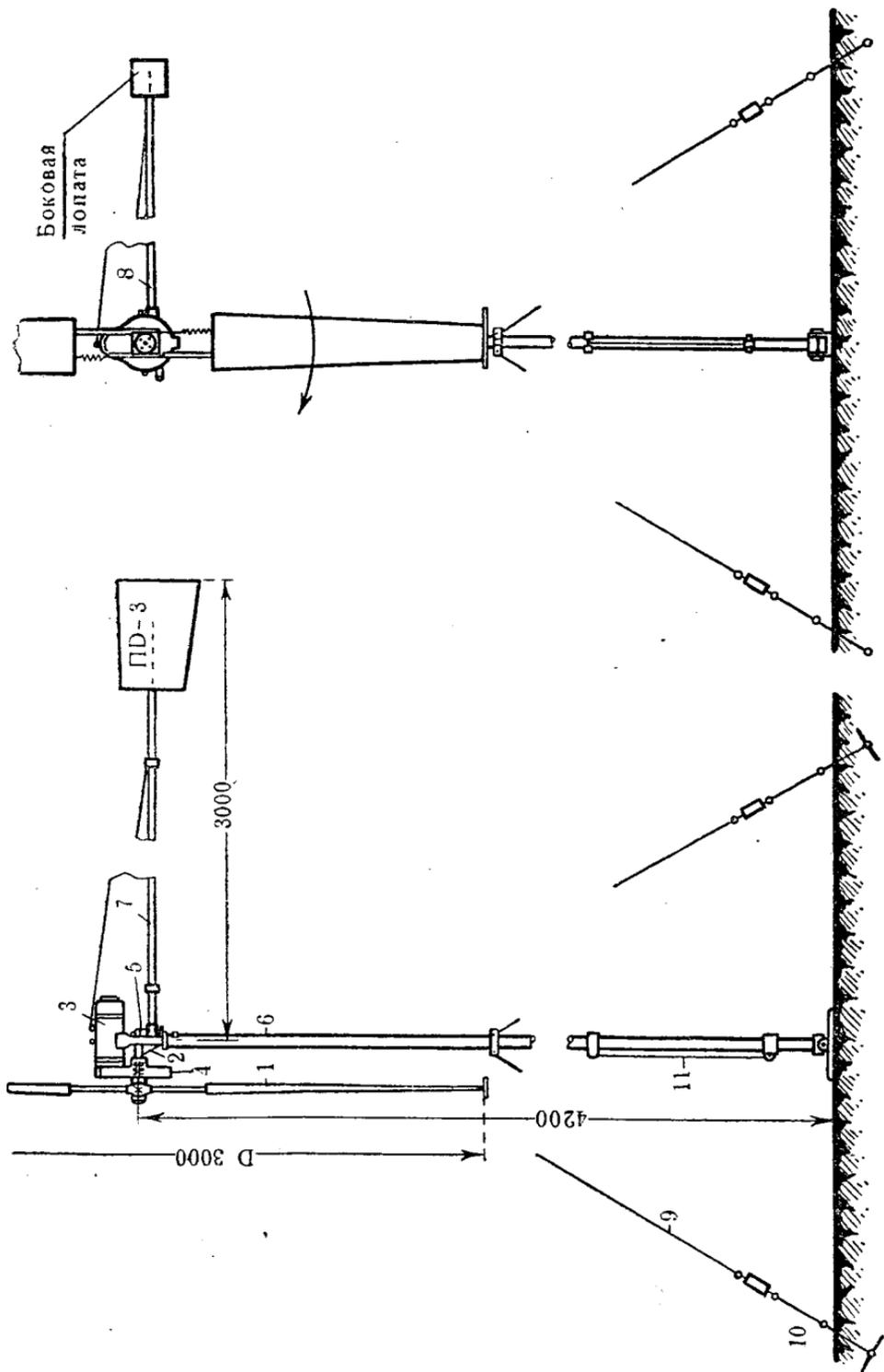
Общий вес ветродвигателя без башни . . . 1 958 кг

и) Ветроэлектроустановка ПД-3 для зимовки «Северный полюс»

Ветродвигатель с двухлопастным ветроколесом Д-3 м для этой установки был спроектирован в 1936 г. по предложению Героя Советского Союза т. Папанина — начальника зимовки «Северный полюс» на дрейфующей льдине. В силу необходимости доставки этого ветродвигателя на Северный полюс самолетом и условий работы научно-исследовательской группы зимовщиков к ветродвигателю были предъявлены следующие требования: вес около 50 кг, транспортабельность, возможность быстрого монтажа и демонтажа.

Общий вид этой ветроэлектроустановки показан на фиг. 55. На фиг. 56 и 57 приведена принципиальная электрическая схема и характеристика мощности ветродвигателя данной ветроэлектростанции.

Конструкция ветродвигателя представляет следующее устройство. Двухлопастное ветроколесо 1 вращается на оси 2 на шарикоподшипниках вместе с цилиндрическим зубчатым колесом, находящимся в зацеплении с шестерней, насаженной на валу динамомашини 3. Эта передача закрыта кожухом 4, в который заливается масло. Ось 2

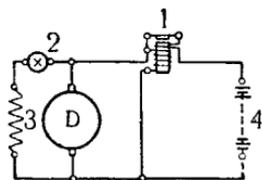


Фиг. 55. Общій вид ветроэлектростанции ПД-3.

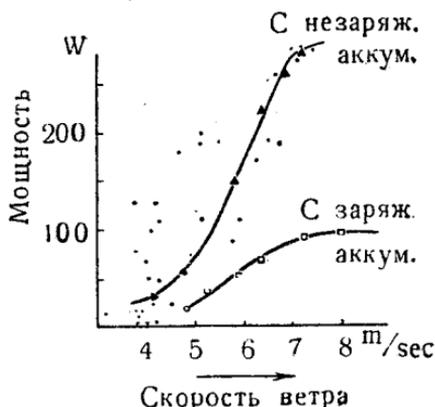
сварена в штырь 5, который свободно вращается на пяте и подшипнике, вставленных в основной трубе — мачте 6. К штырю прикреплена ось хвостовины 7, боковая лопасть 8 и кронштейн пружины. Динамомашинка 3 прибалчивается к лапкам штыря и жестко соединена хомутом с осью 2 для лучшей работы шестерен.

Мачта установлена на шарнире плоского основания и растянута тремя растяжками 9, которые прикреплены к якорям 10, вмораживаемым в лед. Чтобы основание (плита) не примерзало ко льду под него подкладывается мех.

Регулирование ветродвигателя и защита его от шторма осуществляется выводом вет-



Фиг. 56. Электрическая схема к ветроустановке ПД-3.



Фиг. 57. Характеристика мощности ветроэлектростанции ПД-3.

роколеса из-под ветра боковой лопастью по системе «Эклипс». Кроме того, с целью предохранить ветроколесо от разноса и защитить аккумуляторы от перезаряда на концах лопастей поставлены клапаны, которые поворачиваются действием центробежных грузов и дают сопротивление, затормаживающее ветроколесо.

Для снижения веса махи крыльев и штырь головки изготовлены из хромомолибденовой стали. Мачта, хвост, оперение хвоста и т. д. изготовлены из дюралюминия, что позволило получить следующий вес частей ветродвигателя:

Ветроколесо	9 кг
Головка с редуктором (без динамо)	13 »
Хвост и лопасть	4 »
Мачта высотой 4,2 м с растяжками	14 »

Итого 40 кг

Упаковка 1,4 кг

Ветродвигатель приводит в движение динамомашину СФД-500 завода им. Лепсе в Москве. Эта динамо в обычных условиях работает с регулятором напряжения и при 24 в напряжения ее потери холостого хода составляют 270 в. В цепь возбуждения введена 12 в лампа накаливания, сопротивление которой в нагретом состоянии равно около 6Ω. Лампочка установлена на самом двигателе. Это позволяет, во-первых, уменьшить потери холостого хода при режиме заряженных аккумуляторов $U \geq 18v$ и, во-вторых, начинать заряд при меньших числах оборотов, чем в случае применения постоянного сопротивления.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

РАБОТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Непостоянство энергии ветра как по величине, так и по времени, а также существование периодов затишья ограничивают возможности всестороннего и полноценного применения ветродвигателей в сельском хозяйстве и особенно в промышленности. Непрерывность процесса производства, качество и количество выпускаемой продукции строго подчинены постоянству скорости движения рабочих машин.

Ветродвигатель с механическим приводом можно выгодно использовать на тех рабочих процессах, где, во-первых, сам обрабатываемый материал допускает естественное аккумуляирование энергии ветра, во-вторых, непостоянство скоростей движения рабочей машины не влияет на качество производимой продукции и, в-третьих, там, где процесс производства не связан ни сезонностью, ни временем суток. Этим условиям отвечают весьма многие работы, производимые в сельском хозяйстве; основные из них следующие:

1. Подъем воды для снабжения колхозов и совхозов. Водохранилище при ветроустановке обеспечивает бесперебойное снабжение водой и в то же время оно является относительно дешевым аккумулятором ветровой энергии.

2. Подъем воды на орошение при наличии водохранилища, емкость которого соответствует количеству расходуемой воды и в допустимых пределах периодам ветрового затишья.

3. Осушение заболоченных пространств, это наиболее выгодный участок работ для применения ветродвигателя, так как сюда не требуются водохранилища, удорожающие ветроустановку.

4. Простой помол и переработка кормов (соломорезка, корнерезка, жмыходробилка) представляют выгодный участок работ при комплексном использовании ветродвигателя в сельском хозяйстве. Переработка этих продуктов в период ветреных дней может длиться непрерывно. Таким образом, сам продукт допускает возможность естественного аккумуляирования ветровой энергии. В то же время как непрерывность процесса производства, так и переменность скоростей движения отрицательного влияния на качество данной продукции не оказывают.

Выработка электроэнергии в районах, где тепловые источники энергии слишком дороги, а ветры дуют с большими скоростями. Здесь регулирующийся ветродвигатель может давать вполне доброкачественный ток.

Вот приблизительно тот перечень работ, которые при современном состоянии ветротехники несомненно выгодно производить за счет энергии ветра.

В нижеследующих разделах мы рассмотрим работу ветродвигателей с теми машинами, с которыми они наиболее часто работают в сельском хозяйстве.

1. РАБОТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОРШНЕВЫМИ НАСОСАМИ

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА

Основными величинами, обуславливающими потребляемую мощность поршневым насосом, являются:

1) общая высота подачи H (фиг. 58), которая измеряется от динамического уровня воды в колодеце или скважине до верхней точки выхода воды из нагнетательной трубы, плюс потери на трение в трубопроводе. О подсчете их будет сказано ниже;

2) производительность ветронасосного агрегата Q в л/сек. Эта величина определяется в зависимости от диаметра поршня d его хода h и числа качаний штабга насоса n .

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} h \cdot \eta_0 \frac{n}{60} \text{ л/сек.}, \quad (1)$$

где d — диаметр поршня и его ход в дециметрах, η_0 — объемный коэффициент полезного действия насоса. Величина его зависит от качества манжет поршня, способности клапанов не пропускать воду и высоты подачи воды. Как влияет высота подачи на объемный коэффициент полезного действия насоса, видно из графика фиг. 59, который построен на основании испытаний поршневого насоса на полигоне лаборатории ветроиспользования ВИМЭ¹. Этот график показывает, что η_0 с высотой изменяется в пределах от 0,95 до 0,8 при изменении напора H от 20 до 90 м.

Имея цифровые значения Q и H , легко подсчитать мощность ветродвигателя на валу ветроколеса, потребную для работы насоса по уравнению:

$$N = \frac{QH}{75 \cdot \eta}, \quad (2)$$

где η — общий коэффициент полезного действия ветронасосного агрегата². Величина его для установки с ВД-5 м колеблется в пределах от 0,48 до 0,55 и с ВД-8 м от 0,50 до 0,65. Подставив в уравнение (2) значение Q из уравнения (1), получим:

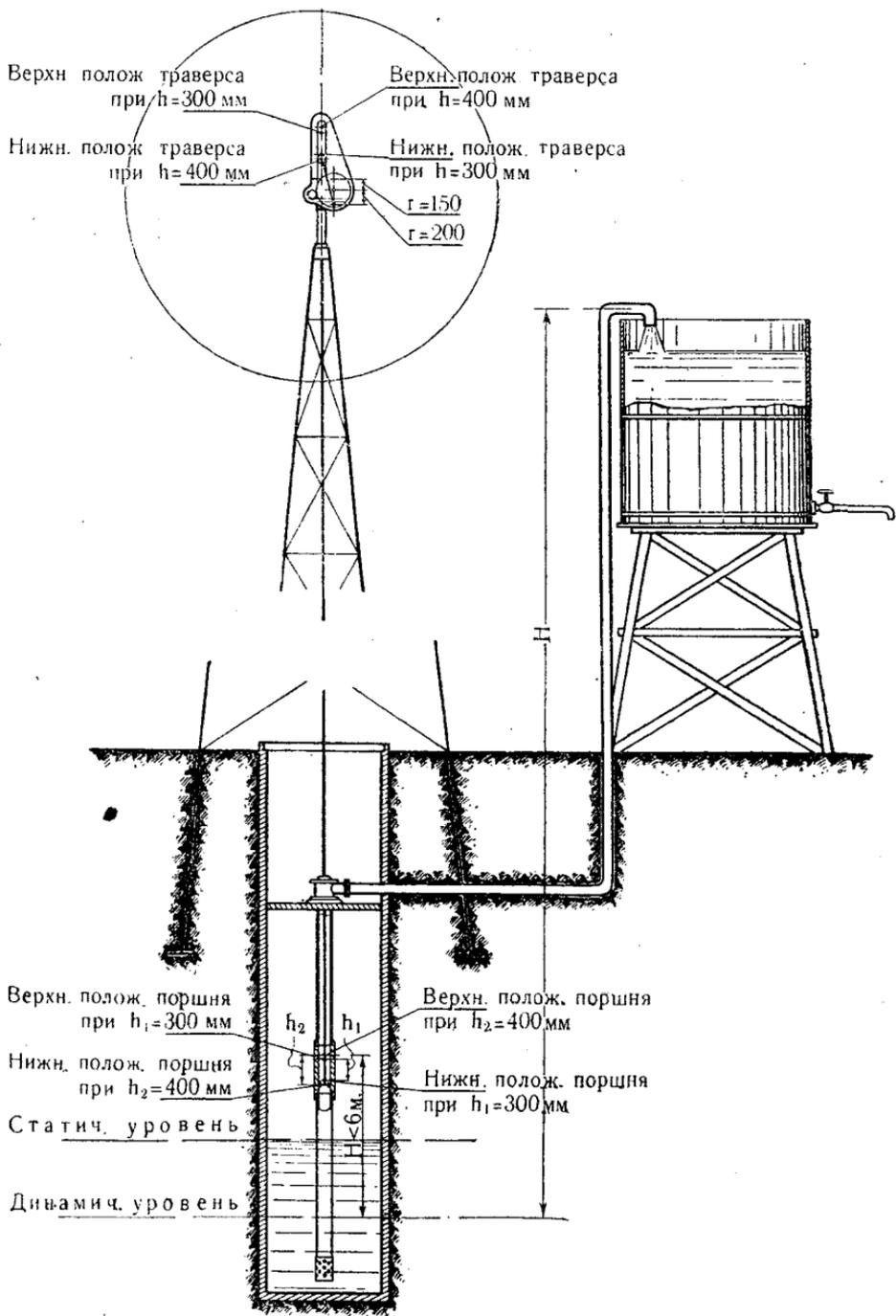
$$N = \frac{\pi d^2 \cdot h \cdot n \cdot H \eta_0}{4 \cdot 60 \cdot 75 \cdot \eta}. \quad (3)$$

Обозначив в этом уравнении постоянные величины через A , т. е. $A = \frac{\pi d^2 \cdot h \cdot H \eta_0}{4 \cdot 75 \eta}$, можем написать:

$$N = A \cdot n. \quad (3)^1.$$

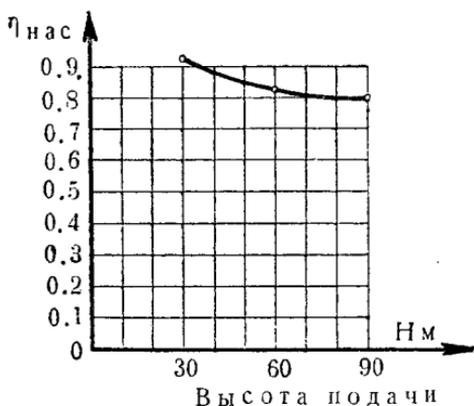
¹ Испытания проводил А. С. Добросердов.

² $\eta = \eta_m \cdot \eta_n$; η_m — механический коэффициент полезного действия ветродвигателя. Он учитывает потери на трение в передачах ветродвигателя.
 η_n — коэффициент полезного действия насоса.



Фиг. 58. Схема передачи работы ветроколеса штанге насоса.

Это уравнение показывает, что мощность, затрачиваемая на работу определенного поршневого насоса, на определенную высоту изменяется прямо пропорционально числу качаний штанги насоса.

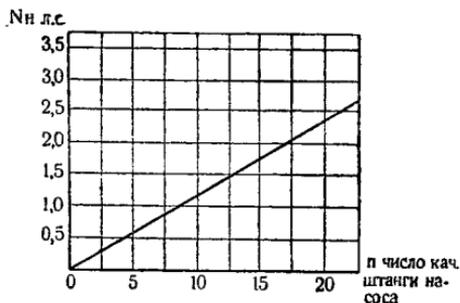


Фиг. 59. Характеристика объемного коэффициента полезного действия насоса в зависимости от напора.

На фиг. 61 дана характеристика мощности ветродвигателя ВД-5 м, где кривые показывают, как изменяется мощность ветродвигателя в зависимости от числа оборотов ветроколеса при разных скоростях ветра. На фиг. 62 дана эта же характеристика с наложенной на нее характеристикой поршневого насоса.

Способ построения этой характеристики изложен в работе автора «Метод подбора поршневых насосов к ветродвигателям» (см. книгу «Ветродвигатели» Энергоиздат 1938 г.).

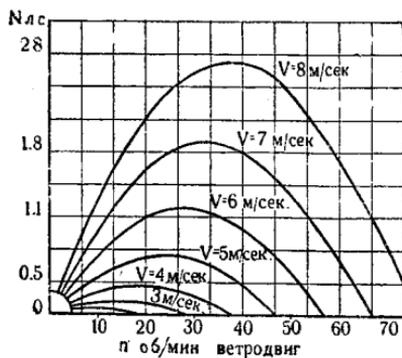
Здесь мы лишь объясним, как пользоваться этой характеристикой



Фиг. 60. Характеристика мощности поршневого насоса в зависимости от числа качаний штанги насоса.

Графически это изменение представится в виде прямой линии, выходящей из начала координат под некоторым углом к их осям (фиг. 60). Это есть характеристика мощности, потребной для работы насоса в зависимости от числа качаний штанги насоса.

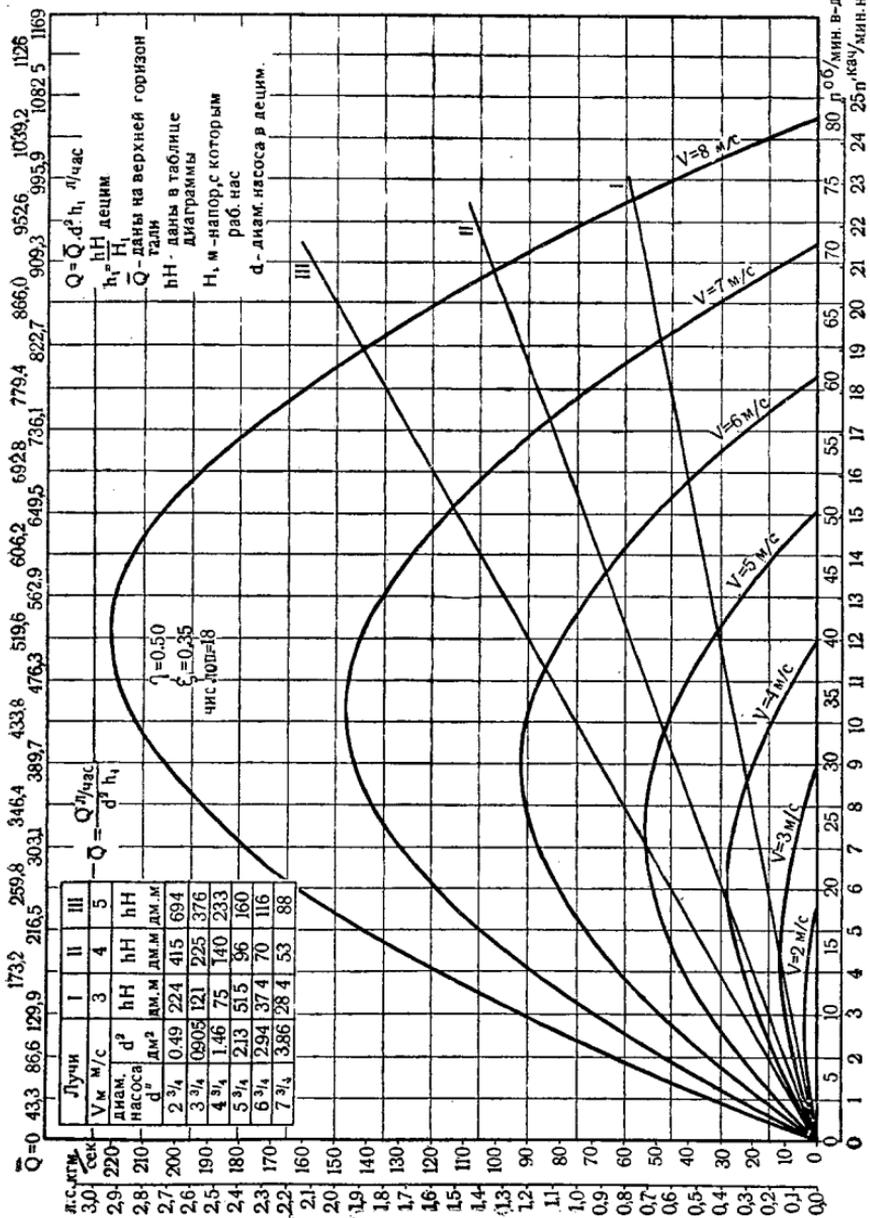
Чтобы установить, в какой мере соответствует работа ветродвигателя работе, затрачиваемой на поршневой насос, необходимо наложить характеристику насоса на характеристику мощности ветродвигателя, построенную для разных скоростей ветра в зависимости от числа оборотов.



Фиг. 61. Характеристика мощности ВД-5 м в зависимости от числа оборотов.

при подборе поршневых насосов к ветродвигателю и подсчете производительности ветронасосного агрегата в зависимости от скорости ветра.

На левой шкале графика (фиг. 62) отложены мощности ветродвигателя на валу ветроколеса; внизу по горизонтали отложены числа обо-



Ход поршня при вы-
соте подачи H_1 опре-
деляется по уравне-
нию:
$$h_1 = \frac{hH}{H_1} \quad (2)$$

где hH соответствует
определенному d по
таблице.

Фиг. 62. Универсальная характеристика для ВД-5 м и поршневых насосов разных размеров.

ротов ветроколеса и числа качаний штифта насоса. Каждый луч (I, II и III), выходящий из начала координат диаграммы, дает характеристику поршневых насосов разных диаметров соответственно ходу поршня h и напора H . Характеристика насоса пойдет по лучу I, если мы подберем насос так, чтобы ветродвигатель мог работать с максимальным коэффициентом использования энергии ветра при скорости ветра $v_m = 3$ м/сек., по лучу II — при $v_m = 4$ м/сек. и по лучу III — при $v_m = 5$ м/сек.; скорости ветра 3 м/сек., 4 м/сек. и 5 м/сек. являются в данном случае скоростями, при которых используется вся мощность, развиваемая ветродвигателем.

При других скоростях ветра эти лучи пересекают склоны кривых мощностей ветродвигателя (см. правую часть характеристики). Следовательно, ветродвигатель на этой части характеристики работает с неполной нагрузкой.

Аналогичная характеристика, построенная для многолопастного ветродвигателя ВД-8 м, показана на фиг. 63.

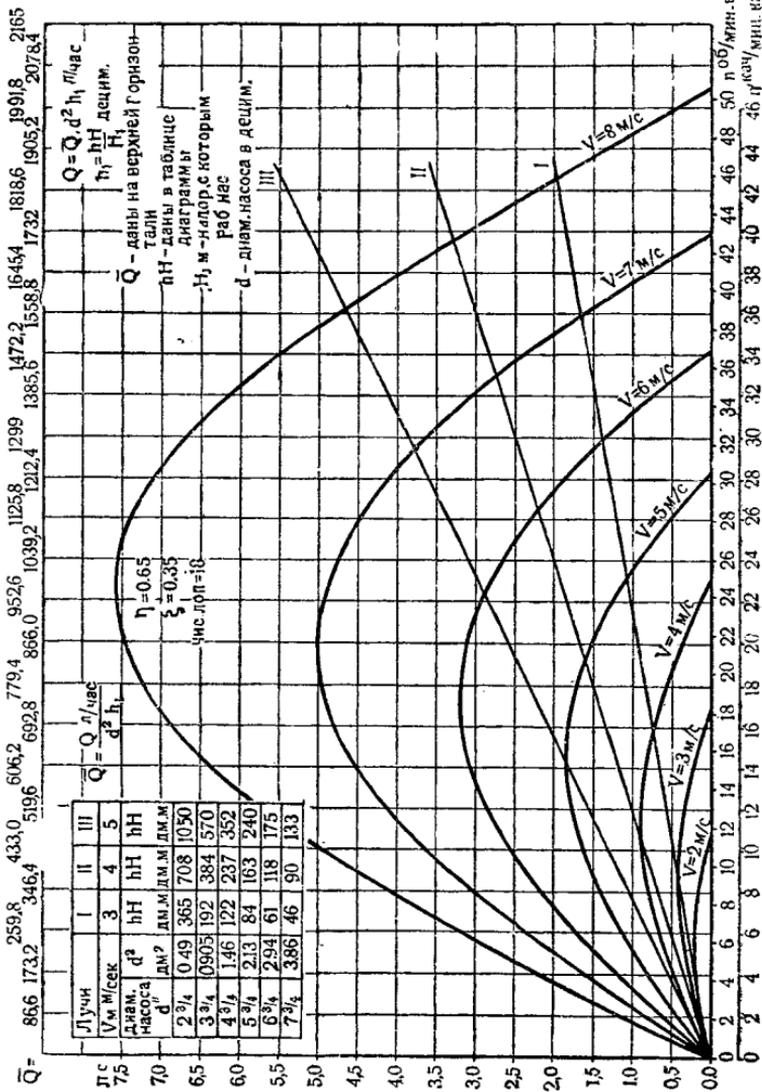
Определение основных размеров насоса — диаметра цилиндра d и хода поршня h по этим характеристикам делается с помощью нижеприведенной таблицы I, которая построена для ветродвигателей ВД-5 м и ВД-8 м. В этой таблице даны: диаметры насосов от $2 \frac{3}{4}$ " до $7 \frac{3}{4}$ "; произведения hH хода поршня на полный напор. С помощью этого произведения определяется необходимый ход поршня h_1 , при известном напоре H_1 , и наоборот. Каждое цифровое значение hH соответствует определенному диаметру насоса (см. две графы слева) и определенному лучу характеристики насоса. Номера лучей I, II и III характеристики даны над каждой графой произведений hH , а над лучами даны скорости ветра v_m , при которых ветродвигатель работает с полной нагрузкой. Скорости ветра v_m дают направление лучей I, II и III.

Таблица 1

Произведения hH дм. и хода поршня h на высоту подачи H для различных v_m и диаметров насоса к ветродвигателям ВД-5 м и ВД-8 м

Диаметры поршневых насосов		ВД-5 м			ВД-8 м		
		$v_m = 3$ м/сек.	$v_m = 4$ м/сек.	$v_m = 5$ м/сек.	$v_m = 3$ м/сек.	$v_m = 4$ м/сек.	$v_m = 5$ м/сек.
В дециметрах d дм.	в дюймах d''	Луч I	Луч II	Луч III	Луч I	Луч II	Луч III
		hH	hH	hH	hH	hH	hH
0,70	$2 \frac{3}{4}$	224	415	694	365	708	1 050
0,95	$3 \frac{3}{4}$	121	225	376	192	384	570
1,205	$4 \frac{3}{4}$	75	140	233	122	237	352
1,46	$5 \frac{3}{4}$	51,5	96	160	84	163	240
1,71	$6 \frac{3}{4}$	37,4	70	116	61	118	175
1,97	$7 \frac{3}{4}$	28,4	53	88	46	90	133

Таблица 1 позволяет быстро определять для любого насоса, указанного в таблице, необходимый ход поршня h_1 , при данном напоре H_1 .



Каждому лучу I, II, III и диаметру поршневого насоса соответствует свое произведение hH , значение которых приведено в таблице (см. таблицу в левом верхнем углу диаграммы).
 Ход поршня насоса h_1 при известной высоте подачи H_1 определяется по уравнению

$$h_1 = \frac{hH}{H_1}, \quad (4)$$

где hH соответствует определенному d по таблице.

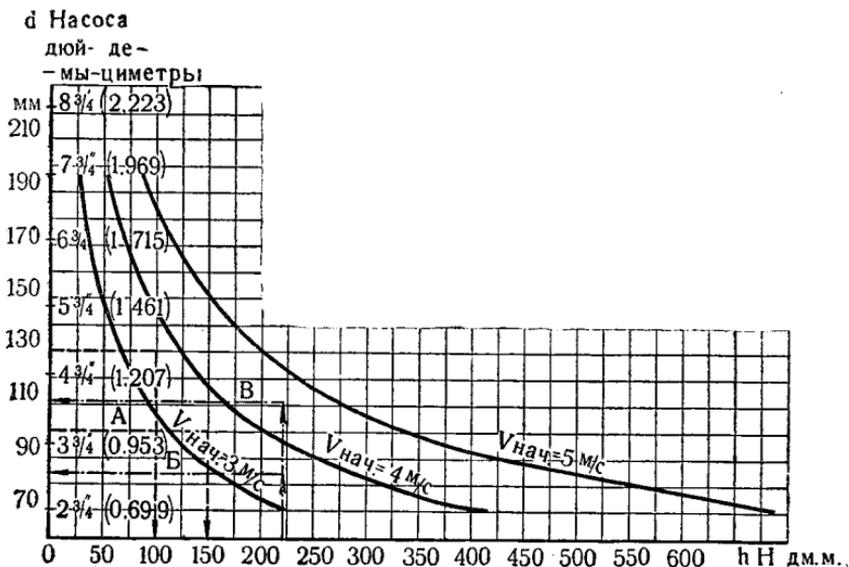
Фиг. 63. Универсальная характеристика для В, П-8 м и поршневых насосов разных размеров.

Например: требуется определить, какой должен быть ход поршня насоса диаметром $d = 3 \frac{3}{4}''$, работающего с ВД-5 м при напоре $H_1 = 30$ м, если характеристика насоса проходит через максимальное значение мощности ветродвигателя при скорости ветра $v_m = 3$ м/сек.

Решение. В таблице 1 против $v_m = 3$ м/сек. луча I и диаметра поршня $d = 3 \frac{3}{4}''$ находим $hN = 121$ дм. м. В число 121 входят любые значения h и N . Следовательно, при $H_1 = 30$ м ход поршня должен быть равным:

$$h_1 = \frac{hN}{H_1} = \frac{121}{30} = 4,03 \text{ дм} = 403 \text{ мм.}$$

Для определения промежуточных значений v_m , hN и d предлагается график (фиг. 64), где по горизонтальной оси отложены значения



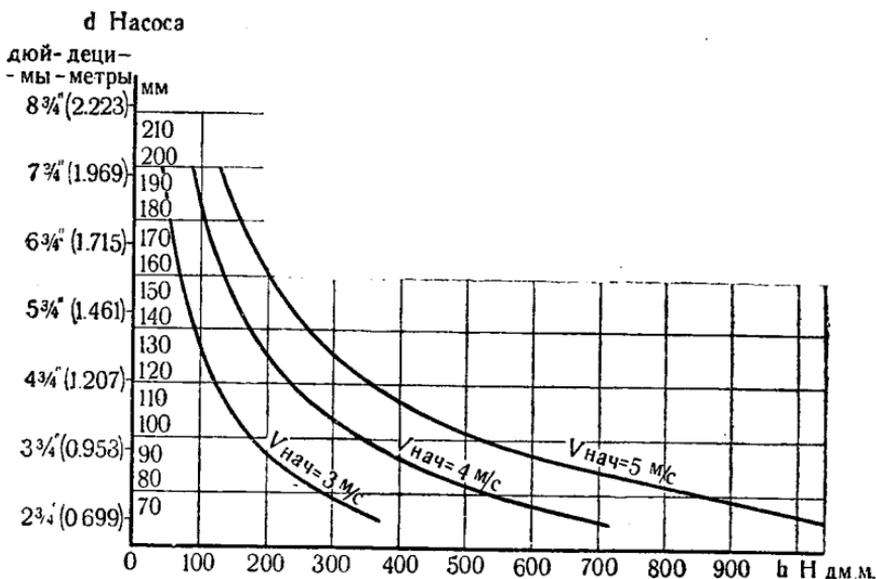
Фиг. 64. График для определения значений hN (ход поршня, умноженный на напор) к ВД-5 м.

hN , а по вертикали диаметры поршня. Каждая кривая относится к определенной скорости ветра $v_m = 3, 4$ и 5 м/сек. Кривые промежуточных значений v_m легко определять делением расстояний между кривыми соответственно промежуточному значению этой скорости ветра.

Примеры: 1) определить, какое значение должно быть hN для $d = 4'' = 1$ дм при $v_m = 3,5$ м/сек. Ход определения показан пунктирной линией А, при этом получаем $hN = 150$ дм. м.

2) Определить диаметр насоса, если даны $hN = 220$ дм. м и $v_m = 3,5$ м/сек.

Ход определения промежуточного диаметра при определенном hN и v_m показан линией пунктир с точкой, которая дает для $hN = 220$ дм. м и $v_m = 3,5$ м/сек. $d = 84$ мм, а при $v_m = 4,5$ м/сек. и $hN = 220$ дм. м, находим $d = 110$ мм (см. линии пунктир с точкой В и В'). На фиг. 65 дан график для определения промежуточных значений hN ; d и v_m ветронасосного агрегата с ВД-8м.



Фиг. 65. График для определения значений hH (ход поршня, умноженный на напор) к ВД-8 м.

Часовая производительность ветронасосного агрегата

Лучи I, II и III характеристик (фиг. 62 и 63) относятся к различным поршневым насосам, поэтому шкала производительности на диаграмме построена так, что по ней можно определять производительность для любых размеров насосов (см. верхнюю горизонталь). На этой шкале отложена часовая производительность, отнесенная к единице объема поршневого насоса и умноженная на 0,785, т. е.

$$\bar{Q} = Q_0 \cdot 0,785 \dots (a),$$

где Q_0 производительность, отнесенная к единице объема поршня насоса. Эту величину можно представить уравнением так:

$$Q_0 = \frac{Q}{0,785 d^2 h_1} \quad (4)$$

Но $Q = 0,785 d^2 h_1 n \eta_0 60 \text{ л/час.}$,

поэтому
$$Q_0 = \frac{0,785 d^2 h_1 n \eta_0 60}{0,785 d^2 h_1} = 60 n \eta_0. \quad (5)$$

Объемный коэффициент η_0 можно принять в среднем равным 0,92, тогда уравнение (5) переписывается так:

$$Q_0 = 60 \cdot 0,92 \cdot n = 55,2n, \quad (5)^1$$

подставляя значение Q_0 из уравнения (5) в уравнение (a), получим

$$\bar{Q} = 0,785 \cdot 55,2n = 43,3n. \quad (6)$$

Эта величина и отложена вверху на горизонтали против соответствующих чисел качаний штанги насоса.

Часовую производительность из уравнения (а) и (4) можно представить в следующем виде:

$$Q = \bar{Q} \cdot d^2 h_1, \quad (7)$$

где \bar{Q} — безразмерная величина берется по характеристике,

d — диаметр поршня насоса в дециметрах,

h_1 — подобранный ход поршня насоса в дециметрах.

Для пояснения, как пользоваться предлагаемой универсальной характеристикой при подборе поршневого насоса к ветродвигателю и определения производительности, решим следующий пример.

Ветронасосный агрегат с ВД-5 м должен подавать воду с напором $H_1 = 15$ м и работать с максимальным коэффициентом использования энергии ветра ξ_{max} при скорости ветра $v_m = 3$ м/сек.

Определить, какой ход поршня h должен быть у насоса, если в хозяйстве имеется насос диаметром $d = 5^3/4$ " и какова его будет производительность при скоростях ветра 3, 4, 5, 6, 7, и 8 м/сек.

Решение. Для $v_m = 3$ м/сек. соответствует луч I (см. характеристику фиг. 62).

В таблице 1 в строке диаметра поршня $d = 5^3/4$ " под лучом I находим $hH = 51,5$ дм. м.

Следовательно, ход поршня должен быть:

$$h_1 = \frac{hH}{H_1} = \frac{51,5}{15} = 3,43 \text{ дм} = 343 \text{ мм.}$$

Производительность при разных скоростях ветра находим на вертикали, проведенной через точки пересечения луча I с кривыми до пересечения с верхней горизонталью, где находим цифровые значения \bar{Q} . Подставляя их в уравнение (7), где выражение $d^2 h_1$ для данных условий является постоянным и равным:

$$d^2 h_1 = 1,46^2 \cdot 3,43 \cong 7,3,$$

получим часовую производительность Q л/час.

Для подсчета Q по уравнению:

$$Q = \bar{Q} \cdot d^2 \cdot h_1.$$

при разных скоростях ветра составляем нижеследующую таблицу 2.

Таблица 2

Подсчет производительности ВД-5 по характеристике фиг. 62 при напоре $H_1 = 15$ м

	Скорости ветра v м/сек.					
	3	4	5	6	7	8
Цифровые значения \bar{Q}	196	370	530	680	822	970
Постоянная $d^2 h_1 =$	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
Часовая производительность: $Q = \bar{Q} \cdot d^2 h_1$ л/час	1 430	2 700	3 860	4 950	6 000	7 100

Часовую производительность ветронасосного агрегата с правильно подобранным поршневым насосом можно подсчитать, кроме того, исходя из общего уравнения мощности, потребляемой насосом:

$$N = \frac{QH}{75 \cdot \eta \cdot 3600},$$

откуда

$$Q = \frac{N75 \cdot 3600}{H} \text{ л/час.} \quad (8)$$

Мощность можно брать либо из характеристики на левой шкале по горизонтали, проведенной из точки пересечения кривой мощности двигателя с лучом мощности насоса при соответствующей скорости ветра v_m , либо подсчитать по уравнению

$$N = 0,000654 D^2 v^3 \xi,$$

где D — диаметр ветроколеса в метрах, v — скорость ветра, при которой определяют производительность, ξ — коэффициент использования энергии ветра, соответствующий данной скорости ветра; значения их даны дальше.

В нижеследующей таблице 3 приведены мощности ветронасосных агрегатов ВД-5 и ВД-8 м, работающих с поршневым насосом.

Таблица 3

v_m	$v = 3$	4	5	6	7	8
	<i>N л. с. для ВД-5 м</i>					
3	0,160	0,294	0,415	0,534	0,654	0,76
4	—	0,364	0,606	0,84	1,07	1,30
5	—	—	0,726	1,13	1,52	1,90
	<i>N л. с. для ВД-8 м</i>					
3	0,402	0,75	1,145	1,45	1,66	1,92
4	—	0,904	1,64	2,16	2,7	3,36
5	—	—	1,8	2,9	3,76	4,52

Подставляя значения N из таблицы 3 в уравнение (8), легко подсчитать часовую производительность ветронасосных агрегатов ВД-5 и ВД-8 м для различных высот и скоростей ветра. Этот подсчет сделан и приведен в таблицах 4 и 5.

2. О ПОДБОРЕ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ К ВЕТРОДВИГАТЕЛЮ

Многие ветронасосные установки, смонтированные в колхозах, совхозах и МТС в 1936—1937 гг., как установлено обследованием, работают в большинстве случаев с недогрузкой, хотя дебит колодца и ветровые условия позволяют их использовать более эффективно.

Объясняется это с одной стороны неопытностью работников, эксплуатирующих ветроустановку, с другой — недостаточным количеством насосов разных размеров, позволяющих сделать их подбор в строгом соответствии с высотой подачи воды, дебитом скважины.

Производительность ветродвигателя ВД-5 в литрах в час в зависимости от скорости ветра и высоты подачи

Общая высота подачи воды H в м	Скорости ветра v м/сек.						Необходимый дебит колодца (кубометры в час)
	3	4	5	6	7	8 и выше	
$v_m = 3$ м/сек.							
10	2 120	4 000	5 600	7 200	9 000	10 250	10
20	1 060	2 000	2 800	3 600	4 500	5 125	5
30	710	1 330	1 860	2 400	3 000	3 400	3,5
40	530	1 000	1 400	1 800	2 250	2 560	2,5
50	425	800	1 120	1 440	1 800	2 040	2,0
60	355	670	930	1 200	1 500	1 710	1,8
70	303	570	800	1 030	1 285	1 460	1,5
80	266	500	700	900	1 125	1 280	1,3
90	236	445	620	800	1 000	1 140	1,2
100	212	400	560	720	900	1 025	1,1
110	193	364	510	660	820	930	1,0
120	177	333	466	600	750	850	0,9
130	164	308	430	553	690	790	0,8
140	152	286	400	513	642	730	0,75
150	142	266	374	480	600	685	0,7
$v_m = 4$ м/сек.							
10	—	4 900	8 100	11 300	14 500	17 600	17,5
20	—	4 450	4 050	5 650	7 250	8 650	8,75
30	—	1 635	2 400	3 770	4 840	5 770	6,0
40	—	1 230	2 020	2 830	3 630	4 340	4,5
50	—	980	1 620	2 260	2 900	3 460	3,6
60	—	820	1 350	1 880	2 420	2 890	3,0
70	—	700	1 160	1 620	2 070	2 470	2,5
80	—	612	1 010	1 410	1 810	2 150	2,2
90	—	545	900	1 260	1 610	1 920	2,0
100	—	490	810	1 130	1 450	1 760	1,8
110	—	455	748	1 025	1 320	1 575	1,6
120	—	408	575	945	1 210	1 440	1,5
130	—	387	623	870	1 110	1 320	1,4
140	—	350	578	810	1 030	1 235	1,3
150	—	327	540	755	965	1 150	1,2
$v_m = 5$ м/сек.							
10	—	—	9 850	15 300	20 400	25 600	25,6
20	—	—	4 925	7 650	10 200	12 800	13,0
30	—	—	3 280	5 100	6 800	8 500	8,5
40	—	—	2 460	3 850	5 100	6 400	6,4
50	—	—	1 970	3 060	4 080	5 120	5,2
60	—	—	1 640	2 560	3 400	4 280	4,3
70	—	—	1 400	2 170	2 900	3 660	3,6
80	—	—	1 230	1 900	2 560	3 200	3,2
90	—	—	1 090	1 700	2 280	2 840	2,8
100	—	—	985	1 530	2 040	2 560	2,5
110	—	—	896	1 400	1 850	2 330	2,3
120	—	—	820	1 280	1 700	2 140	2,2
130	—	—	755	1 170	1 570	1 970	2,0
140	—	—	705	1 090	1 450	1 830	2,0
150	—	—	655	1 020	1 360	1 700	1,7

Производительность ветродвигателя ВД-8 м в литрах в час в зависимости от скорости ветра и напора H

Общая высота подачи воды H в м	Скорости ветра v м/сек.						Необходимый дебит колодца (кубометры час)
	3	4	5	6	7	8 и выше	

$v_m = 3$ м/сек.

10	7 030	13 100	20 000	25 400	29 000	33 400	33,0
20	3 500	6 550	10 000	12 700	14 500	16 700	17,0
30	2 340	4 350	6 700	8 500	9 700	11 100	11,0
40	1 750	3 260	5 000	6 340	7 250	8 350	8,5
50	1 400	2 620	4 000	5 080	5 800	6 680	7,0
60	1 170	2 180	3 340	4 230	4 820	5 570	5,5
70	1 000	1 870	2 860	3 640	4 140	4 770	5,0
80	880	1 630	2 500	3 180	3 630	4 180	4,2
90	780	1 450	2 230	2 830	3 230	3 700	3,7
100	703	1 310	2 000	2 540	2 900	3 340	3,3
110	638	1 190	1 820	2 300	2 640	3 040	3,0
120	586	1 090	1 670	2 120	2 420	2 780	2,8
130	540	1 000	1 540	1 950	2 230	2 560	2,5
140	500	993	1 430	1 810	2 070	2 380	2,4
150	467	870	1 330	1 690	1 930	2 220	2,3

$v_m = 4$ м/сек.

10	—	15 800	28 800	38 000	47 500	59 000	59,0
20	—	7 900	14 400	19 000	23 750	29 500	30,0
30	—	5 280	9 600	12 600	15 800	19 600	19,0
40	—	3 950	7 200	9 500	11 800	14 700	15,0
50	—	3 160	5 770	7 600	9 500	11 800	12,0
60	—	2 640	4 800	6 300	7 900	9 850	10,0
70	—	2 260	4 100	5 400	6 800	8 400	8,5
80	—	1 980	3 600	4 750	5 950	7 380	7,5
90	—	1 760	3 200	4 200	5 300	6 550	6,5
100	—	1 580	2 880	3 800	4 750	5 900	6,0
110	—	1 440	2 620	3 440	4 320	5 350	5,4
120	—	1 320	2 400	3 160	3 950	4 900	5,0
130	—	1 210	2 220	2 920	3 650	4 540	4,5
140	—	1 130	2 060	2 700	3 400	4 200	4,2
150	—	1 050	1 920	2 530	3 160	3 940	4,0

$v_m = 5$ м/сек.

10	—	—	31 600	51 000	66 000	79 000	79,0
20	—	—	15 800	25 500	33 000	39 500	40,0
30	—	—	10 500	17 000	22 000	26 300	26,0
40	—	—	7 900	12 700	16 500	19 700	20,0
50	—	—	6 320	10 200	13 200	15 800	16,0
60	—	—	5 260	8 500	11 000	13 100	13,0
70	—	—	4 520	7 300	9 450	11 250	11,0
80	—	—	3 950	6 350	8 250	9 900	10,0
90	—	—	3 520	5 680	7 350	8 800	9,0
100	—	—	3 160	5 100	6 600	7 900	8,0
110	—	—	2 870	4 630	6 000	7 200	7,0
120	—	—	2 640	4 240	5 500	6 560	6,5
130	—	—	2 420	3 920	5 060	6 070	6,0
140	—	—	2 260	3 640	4 700	5 630	5,5
150	—	—	2 100	3 400	4 400	5 250	5,0

среднегодовой скоростью ветра данного района, а также суточным количеством воды, потребным в хозяйстве.

При подборе поршневого насоса к ветродвигателям ВД-5 и ВД-8 можно руководствоваться характеристиками, данными на графиках 62 и 63. Оптимальные значения диаметра насоса d и хода поршня h необходимо подбирать так, чтобы часовая производительность агрегата соответствовала дебиту скважины или колодца. При этом необходимо стремиться, чтобы дебит источника воды был использован возможно полнее и в то же время производительность насоса не должна превосходить дебит колодца; в противном случае могут происходить неприятные явления: засорение песком насоса, заплывание скважины и вообще ненормальная работа ветронасосного агрегата.

Для более быстрого нахождения необходимого хода поршня h к данному диаметру насоса d , который присоединяется к ветродвигателям ВД-5 и ВД-8 м соответственно напора H и скорости ветра v_m , составлены таблицы 6, 7, 8 и 9, где приведены также необходимые дебиты колодцев и среднесуточные производительности ветронасосного агрегата при разных среднегодовых скоростях ветра.

С помощью этих таблиц можно сделать правильный подбор поршневого насоса к ветродвигателю даже при наличии малого числа насосов разных размеров.

Правда, в этом случае возникает необходимость делать приспособление для получения хода поршня, соответствующего данному диаметру насоса d и высоте подачи воды H , ибо кривошипный механизм ветродвигателей допускает лишь два хода поршня, а именно у ВД-5 м $h_1 = 300$ мм и $h_2 = 400$ мм, у ВД-8 м $h_1 = 250$ мм и $h_2 = 450$ мм. О приспособлениях, позволяющих иметь любой ход поршня, соответствующий данной высоте подачи H и диаметру насоса сказано на стр. 86, фиг. 66 и 67 о ветронасосных установках.

Для ознакомления с вопросом, как правильно подобрать поршневой насос к ветродвигателю с помощью данных таблиц, решим такой пример. В хозяйстве монтируют ветродвигатель ВД-5 м над скважиной, дебит которой равен $5 \text{ м}^3/\text{час}$. Общая высота подачи воды от динамического уровня скважины до выхода в бак составляет 23 м, потери напора в трубах и клапанах ≈ 2 м, следовательно $H_1 = 25$ м. Подобрать поршневой насос и его ход так, чтобы он работал с максимальным коэффициентом использования энергии ветра при скорости ветра $v_m = 3 \text{ м/сек.}$; при этом учесть дебит воды в скважине.

Решение: 1. В графе 1 таблицы 6 находим $H=25$ м.

2. В графе 8 сверху указан диаметр поршня $d = 4 \frac{3}{4}''$ и в этой же графе в строке против $H = 25$ м находим ход поршня $h = 300$ мм. Этот ход, как раз соответствует ходу, кривошипного механизма ветродвигателя.

3. Далее в этой же строке в графе 12 находим необходимый дебит, равный $4,3 \text{ м}^3$, а скважина имеет дебит, равный 5 м^3 . Следовательно, сделанный нами подбор поршневого насоса правилен, и насос может быть поставлен на скважину.

Допустим, что в хозяйстве нет насоса $d = 4 \frac{3}{4}''$, а есть насос диаметром $d = 3 \frac{3}{4}''$.

Обращаясь к таблице 6 над диаметром $d = 3 \frac{3}{4}''$ в графе 7 в строке

Таблица для подбора поршневого насоса к ветродвигателю ВД-5 м соответственно напору H и возможные среднесуточные производимости ветронасосного агрегата в зависимости от среднегодовой скорости ветра v_0
 $v_m = 3$ м/сек.

Общая высота подъема воды H_m	Среднесуточная производительность ветронасосного агрегата при разных среднегодовых скоростях ветра $v_0 = 3$ м/сек.		Среднесуточная производительность ветронасосного агрегата при $v_0 = 4$ м/сек.		Среднесуточная производительность ветронасосного агрегата при $v_0 = 5$ м/сек.		Среднесуточная производительность ветронасосного агрегата при $v_0 = 6$ м/сек.		Диаметр поршневого насоса d и его ход h						Необходимый расход воды Q л/сек.								
	Производительность работы — часов в год t_p								$d = 2 \frac{1}{2}''$		$d = 3 \frac{1}{4}''$		$d = 4 \frac{1}{2}''$			$d = 5 \frac{1}{2}''$		$d = 6 \frac{1}{2}''$		$d = 7 \frac{1}{2}''$			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12											
5	140,0	223,6	306,0	360,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21,4	
40	70,0	111,8	153,0	180,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40,0	
45	47,0	74,6	102,0	120,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,0	
20	35,0	55,8	76,5	90,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	
25	28,0	44,7	61,1	72,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,3	
30	23,0	37,3	51,0	60,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,3	
35	20,0	32,0	43,6	51,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5	
40	17,0	28,0	38,1	45,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,1	
45	15,0	24,8	34,0	40,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,5	
50	14,0	22,4	30,6	36,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,4	
55	13,0	20,0	27,8	33,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	
60	12,0	18,6	25,5	30,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	
70	10,0	16,0	21,8	26,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,8	
80	9,0	14,0	19,1	22,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	
90	8,0	12,4	17,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3	
100	7,0	11,2	16,3	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	
110	6,4	10,1	13,9	15,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1	
120	5,8	9,3	12,7	14,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	
130	5,4	8,6	11,8	13,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9	
140	5,0	8,0	11,0	12,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	
150	4,6	7,5	10,2	11,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,75	
																							0,7

Примечание. Среднесуточная производительность определена делением общей годовой производительности на 365 дней.

Таблица для подбора поршневого насоса к ветродвигателю ВД-5 м соответственно напору H и возможные среднеуточные производимости ветронасосного агрегата в зависимости от среднегодовой скорости ветра v_0
 $v_m = 4$ м/сек.

Общая высота подъема воды H , м	Среднесуточная производительность ветронасосного агрегата при разных среднегодовых скоростях ветра м ³ /сутки				Диаметр поршневого насоса d и его ход h						Необходимая дебит конопца л ³ /час
	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.	$d = 2\frac{3}{4}$ "	$d = 3\frac{1}{4}$ "	$d = 4\frac{1}{4}$ "	$d = 5\frac{1}{4}$ "	$d = 6\frac{3}{4}$ "	$d = 7\frac{3}{4}$ "	
	Продолжительность работы — часов в год t_p				h мм	h мм	h мм	h мм	h мм	h мм	
1	3 540	5 310	6 522	7 315	6	7	8	9	10	11	12
2		3	4	5							
5	164	306	440	560	—	—	—	—	—	—	35,0
10	82	153	220	280	—	—	—	—	—	—	17,5
15	55	102	147	190	—	—	933	640	700	530	11,9
20	41	76	110	140	—	—	700	480	350	265	8,75
25	33	61	88	112	—	—	560	384	280	212	7,1
30	27	51	73	93	—	750	466	320	234	177	6,9
35	23	44	63	80	—	643	400	274	200	151	5,1
40	20	38	55	70	—	562	350	240	175	132	4,5
45	18	34	49	62	—	500	311	214	156	118	4,0
50	16	31	44	56	830	450	280	192	140	106	3,5
55	15	28	40	51	754	409	254	175	127	96	3,2
60	13,6	26	38	47	691	375	233	160	117	88	2,9
70	12,0	22	32	40	593	322	200	137	100	76	2,5
80	10,0	19	28	35	519	282	175	120	88	66	2,2
90	9,0	17	25	31	461	250	156	107	78	59	2,0
100	8,0	15	22	28	415	225	140	96	70	53	1,8
110	7,8	14	20	25	377	204	127	87	64	48	1,6
120	7,2	13	18	23	346	187	117	80	58	44	1,5
130	6,7	12	17	22	319	173	108	74	54	41	1,4
140	6,2	11,2	16	20	296	161	100	69	50	38	1,3
150	5,5	10,7	14	19	277	150	93	64	47	35	1,2

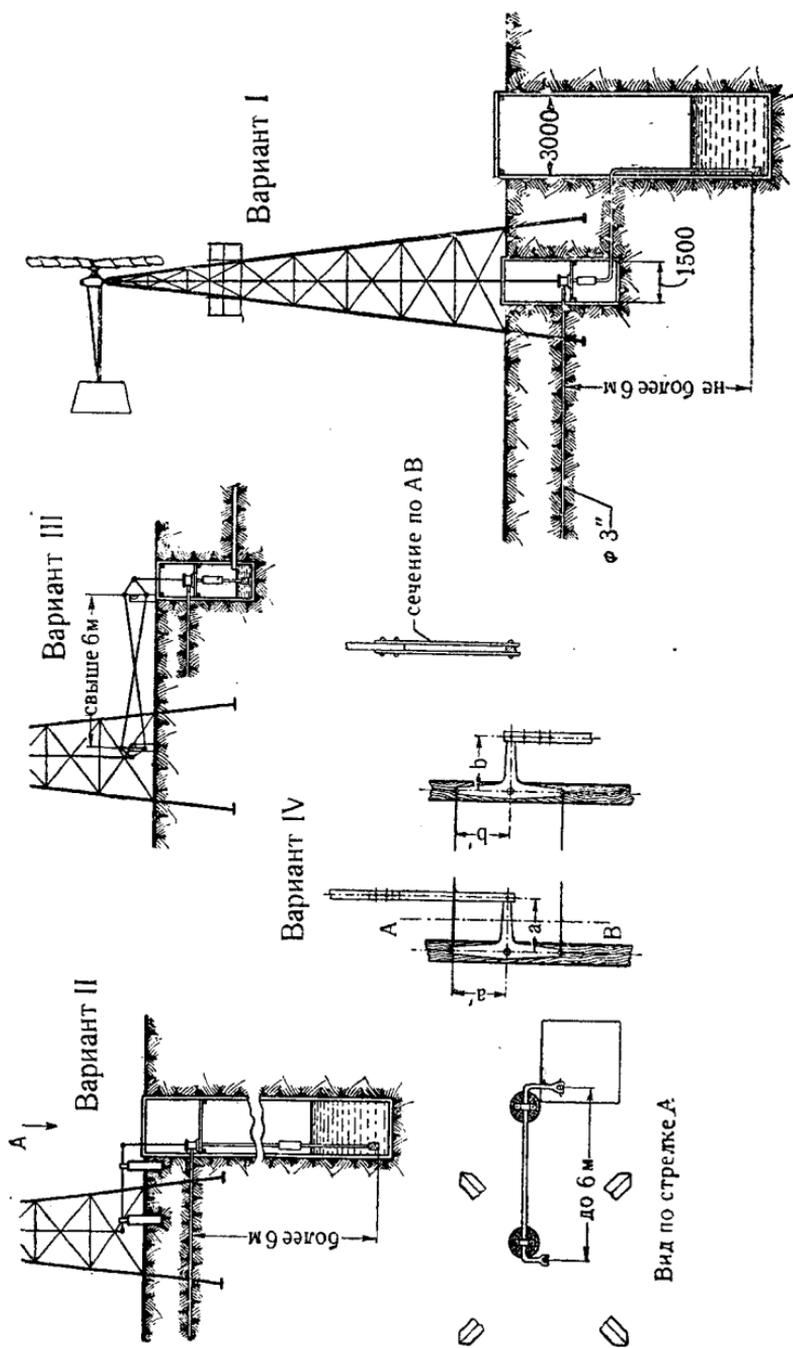
Таблица для подбора поршневого насоса к ветродвигателю ВД-8 м соответственно общей высоте подачи H и возможные среднесуточные производительности ветронасосного агрегата в зависимости от среднегодовой скорости ветра v_0
 $v_m = 3$ м/сек.

Общая высота подъема воды H_m	Среднесуточная производительность ветронасосного агрегата при разных среднегодовых скоростях ветра v_0 м³/сутки						Диаметр поршневого насоса d и его ход h						Необходимый расход воды M , литр/час																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	$v_0 = 3$ м/сек.		$v_0 = 4$ м/сек.		$v_0 = 5$ м/сек.		$d = 2\frac{3}{4}"$		$d = 3\frac{1}{4}"$		$d = 4\frac{1}{4}"$			$d = 5\frac{1}{4}"$		$d = 6\frac{1}{4}"$		$d = 7\frac{1}{4}"$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	Продолжительность работы — часов в год t_p						6 755		7 525		8 015			8 015		8 015		8 015		8 015																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14	15	16	17	18	19	20	21	22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5	420	685	910	1120	1420	1720	193	271	305	348	406	480	548	640	740	840	930	1020	1110	1220	1360	1530	1740	193	210	240	280	348	420	515	615	700	810	913	1020	1150	1320	1500	1680	1870	2100	2400	2800	3480	4200	5150	6150	7000	8100	9130	10200	11500	13200	15000	16800	18700	21000	24000	28000	34800	42000	51500	61500	70000	81000	91300	102000	115000	132000	150000	168000	187000	210000	240000	280000	348000	420000	515000	615000	700000	810000	913000	1020000	1150000	1320000	1500000	1680000	1870000	2100000	2400000	2800000	3480000	4200000	5150000	6150000	7000000	8100000	9130000	10200000	11500000	13200000	15000000	16800000	18700000	21000000	24000000	28000000	34800000	42000000	51500000	61500000	70000000	81000000	91300000	102000000	115000000	132000000	150000000	168000000	187000000	210000000	240000000	280000000	348000000	420000000	515000000	615000000	700000000	810000000	913000000	1020000000	1150000000	1320000000	1500000000	1680000000	1870000000	2100000000	2400000000	2800000000	3480000000	4200000000	5150000000	6150000000	7000000000	8100000000	9130000000	10200000000	11500000000	13200000000	15000000000	16800000000	18700000000	21000000000	24000000000	28000000000	34800000000	42000000000	51500000000	61500000000	70000000000	81000000000	91300000000	102000000000	115000000000	132000000000	150000000000	168000000000	187000000000	210000000000	240000000000	280000000000	348000000000	420000000000	515000000000	615000000000	700000000000	810000000000	913000000000	1020000000000	1150000000000	1320000000000	1500000000000	1680000000000	1870000000000	2100000000000	2400000000000	2800000000000	3480000000000	4200000000000	5150000000000	6150000000000	7000000000000	8100000000000	9130000000000	10200000000000	11500000000000	13200000000000	15000000000000	16800000000000	18700000000000	21000000000000	24000000000000	28000000000000	34800000000000	42000000000000	51500000000000	61500000000000	70000000000000	81000000000000	91300000000000	102000000000000	115000000000000	132000000000000	150000000000000	168000000000000	187000000000000	210000000000000	240000000000000	280000000000000	348000000000000	420000000000000	515000000000000	615000000000000	700000000000000	810000000000000	913000000000000	1020000000000000	1150000000000000	1320000000000000	1500000000000000	1680000000000000	1870000000000000	2100000000000000	2400000000000000	2800000000000000	3480000000000000	4200000000000000	5150000000000000	6150000000000000	7000000000000000	8100000000000000	9130000000000000	10200000000000000	11500000000000000	13200000000000000	15000000000000000	16800000000000000	18700000000000000	21000000000000000	24000000000000000	28000000000000000	34800000000000000	42000000000000000	51500000000000000	61500000000000000	70000000000000000	81000000000000000	91300000000000000	102000000000000000	115000000000000000	132000000000000000	150000000000000000	168000000000000000	187000000000000000	210000000000000000	240000000000000000	280000000000000000	348000000000000000	420000000000000000	515000000000000000	615000000000000000	700000000000000000	810000000000000000	913000000000000000	1020000000000000000	1150000000000000000	1320000000000000000	1500000000000000000	1680000000000000000	1870000000000000000	2100000000000000000	2400000000000000000	2800000000000000000	3480000000000000000	4200000000000000000	5150000000000000000	6150000000000000000	7000000000000000000	8100000000000000000	9130000000000000000	10200000000000000000	11500000000000000000	13200000000000000000	15000000000000000000	16800000000000000000	18700000000000000000	21000000000000000000	24000000000000000000	28000000000000000000	34800000000000000000	42000000000000000000	51500000000000000000	61500000000000000000	70000000000000000000	81000000000000000000	91300000000000000000	102000000000000000000	115000000000000000000	132000000000000000000	150000000000000000000	168000000000000000000	187000000000000000000	210000000000000000000	240000000000000000000	280000000000000000000	348000000000000000000	420000000000000000000	515000000000000000000	615000000000000000000	700000000000000000000	810000000000000000000	913000000000000000000	1020000000000000000000	1150000000000000000000	1320000000000000000000	1500000000000000000000	1680000000000000000000	1870000000000000000000	2100000000000000000000	2400000000000000000000	2800000000000000000000	3480000000000000000000	4200000000000000000000	5150000000000000000000	6150000000000000000000	7000000000000000000000	8100000000000000000000	9130000000000000000000	10200000000000000000000	11500000000000000000000	13200000000000000000000	15000000000000000000000	16800000000000000000000	18700000000000000000000	21000000000000000000000	24000000000000000000000	28000000000000000000000	34800000000000000000000	42000000000000000000000	51500000000000000000000	61500000000000000000000	70000000000000000000000	81000000000000000000000	91300000000000000000000	102000000000000000000000	115000000000000000000000	132000000000000000000000	150000000000000000000000	168000000000000000000000	187000000000000000000000	210000000000000000000000	240000000000000000000000	280000000000000000000000	348000000000000000000000	420000000000000000000000	515000000000000000000000	615000000000000000000000	700000000000000000000000	810000000000000000000000	913000000000000000000000	1020000000000000000000000	1150000000000000000000000	1320000000000000000000000	1500000000000000000000000	1680000000000000000000000	1870000000000000000000000	2100000000000000000000000	2400000000000000000000000	2800000000000000000000000	3480000000000000000000000	4200000000000000000000000	5150000000000000000000000	6150000000000000000000000	7000000000000000000000000	8100000000000000000000000	9130000000000000000000000	10200000000000000000000000	11500000000000000000000000	13200000000000000000000000	15000000000000000000000000	16800000000000000000000000	18700000000000000000000000	21000000000000000000000000	24000000000000000000000000	28000000000000000000000000	34800000000000000000000000	42000000000000000000000000	51500000000000000000000000	61500000000000000000000000	70000000000000000000000000	81000000000000000000000000	91300000000000000000000000	102000000000000000000000000	115000000000000000000000000	132000000000000000000000000	150000000000000000000000000	168000000000000000000000000	187000000000000000000000000	210000000000000000000000000	240000000000000000000000000	280000000000000000000000000	348000000000000000000000000	420000000000000000000000000	515000000000000000000000000	615000000000000000000000000	700000000000000000000000000	810000000000000000000000000	913000000000000000000000000	1020000000000000000000000000	1150000000000000000000000000	1320000000000000000000000000	1500000000000000000000000000	1680000000000000000000000000	1870000000000000000000000000	2100000000000000000000000000	2400000000000000000000000000	2800000000000000000000000000	3480000000000000000000000000	4200000000000000000000000000	5150000000000000000000000000	6150000000000000000000000000	7000000000000000000000000000	8100000000000000000000000000	9130000000000000000000000000	10200000000000000000000000000	11500000000000000000000000000	13200000000000000000000000000	15000000000000000000000000000	16800000000000000000000000000	18700000000000000000000000000	21000000000000000000000000000	24000000000000000000000000000	28000000000000000000000000000	34800000000000000000000000000	42000000000000000000000000000	51500000000000000000000000000	61500000000000000000000000000	70000000000000000000000000000	81000000000000000000000000000	91300000000000000000000000000	102000000000000000000000000000	115000000000000000000000000000	132000000000000000000000000000	150000000000000000000000000000	168000000000000000000000000000	187000000000000000000000000000	210000000000000000000000000000	240000000000000000000000000000	280000000000000000000000000000	348000000000000000000000000000	420000000000000000000000000000	515000000000000000000000000000	615000000000000000000000000000	700000000000000000000000000000	810000000000000000000000000000	913000000000000000000000000000	1020000000000000000000000000000	1150000000000000000000000000000	1320000000000000000000000000000	1500000000000000000000000000000	1680000000000000000000000000000	1870000000000000000000000000000	2100000000000000000000000000000	2400000000000000000000000000000	2800000000000000000000000000000	3480000000000000000000000000000	4200000000000000000000000000000	5150000000000000000000000000000	6150000000000000000000000000000	7000000000000000000000000000000	8100000000000000000000000000000	9130000000000000000000000000000	10200000000000000000000000000000	11500000000000000000000000000000	13200000000000000000000000000000	15000000000000000000000000000000	16800000000000000000000000000000	18700000000000000000000000000000	21000000000000000000000000000000	24000000000000000000000000000000	28000000000000000000000000000000	34800000000000000000000000000000	42000000000000000000000000000000	51500000000000000000000000000000	61500000000000000000000000000000	70000000000000000000000000000000	81000000000000000000000000000000	91300000000000000000000000000000	102000000000000000000000000000000	1150000000000000

Таблица для подбора поршневого насоса к ветродвигателю ВД-8 м соответственно общей высоте подачи H и возможные среднесуточные производительности ветронасосного агрегата в зависимости от среднегодовой скорости ветра v_0

в.м. ≈ 4 м/сек.

Общая высота подъема воды H , м	Среднесуточная производительность ветронасосного агрегата при разных среднегодовых скоростях ветра м ³ /сутки					Диаметр поршневого насоса d и его ход h						Производительность насоса л/час.	
	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.	Продолжительность работы часов в год t_p	$d = 2^3/4''$	$d = 3^3/8''$	$d = 4^3/4''$	$d = 5^3/8''$	$d = 6^3/4''$	$d = 7^3/4''$		h , мм
	3 540	5 310	6 522	7 315		h , мм	h , мм	h , мм	h , мм	h , мм	h , мм		
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	
5	498	930	1340	1700		—	—	—	—	—	1800	118,0	
40	250	465	670	850		—	—	—	—	—	900	59,0	
45	467	310	450	568		—	—	—	—	790	600	39,7	
20	425	230	335	425		—	—	—	815	590	450	30,7	
25	401	485	270	340		—	—	948	652	471	360	23,8	
30	84	455	225	284		—	—	790	543	393	300	19,0	
35	72	432	493	243		—	—	677	465	337	257	17,0	
40	63	416	169	213		—	958	592	407	295	225	15,0	
45	56	403	450	189		—	854	527	362	262	200	13,2	
50	50	93	435	170		—	768	474	326	236	180	12,0	
55	46	84	422	155		—	698	431	296	214	164	10,8	
60	42	77	412	142		—	640	395	272	197	150	10,0	
70	36	66	97	122		1010	548	338	233	169	129	8,5	
80	31	58	84	106		885	480	296	204	148	113	7,5	
90	28	52	75	95		787	427	264	181	131	100	6,6	
400	25	46	67	85		708	384	237	163	118	90	6,0	
410	23	42	61	77		694	349	216	148	107	82	5,4	
420	21	39	56	71		590	320	198	136	98	75	5,0	
430	19	36	52	66		545	295	182	125	91	69	4,5	
440	18	33	48	61		505	274	169	116	84	64	4,2	
450	17	31	45	57		472	256	158	109	79	60	4,0	



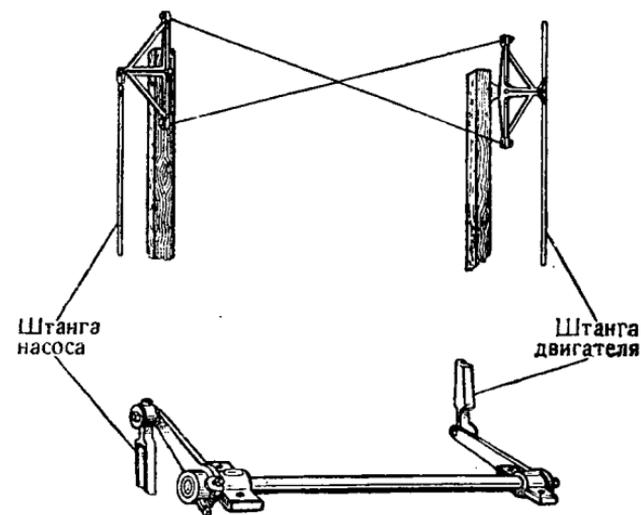
Фиг. 66. Схема возможных способов монтажа передачи движения от ветродвигателя к поршневому насосу.

$H = 25$ м, находим ход поршня $h = 484$ мм. Кривошипный механизм ветродвигателя допускает $h = 400$ мм. Поэтому в данном случае можно либо допустить работу ветродвигателя с ходом поршня $h = 400$ мм, либо внизу смонтировать рычажный механизм, позволяющий штанге насоса делать ход $h = 484$ мм. В первом случае производительность ветродвигателя будет несколько меньше, так как он будет работать с максимальными ξ при скорости ветра меньше чем 3 м/сек. Во втором — производительность будет больше, но зато необходимо дополнительное рычажный механизм. Однако необходимо заметить, что рычажный механизм вообще требуется и возможен к монтажу в тех случаях, когда ветродвигатель смонтирован не над скважиной.

В практике постройки ветроустановок на местах могут встретиться такие условия, при которых нельзя монтировать ветродвигатель непосредственно над колодцем.

Например, слишком велики габариты колодца, необходимо иметь ход поршня иной, чем дается кривошипным механизмом и т. п.

В этих случаях ветродвигатель можно располагать по отношению к колодцу, как показано на фиг. 66. Под цифрой I показана схема монтажа насосного оборудования при мелком колодце (глубиной не более 6 м). Чтобы получить любые величины хода поршня, можно



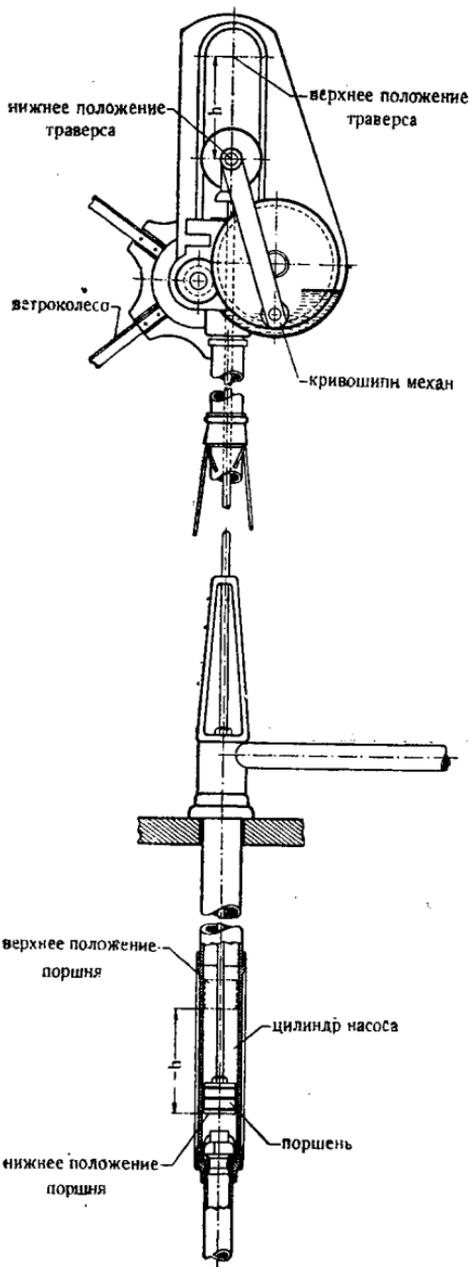
Фиг. 67. Конструкция рычагов для передачи движения от штанги ветродвигателя к штанге насоса

воспользоваться способом, показанным под цифрой II, при расстоянии штанги насоса от штанги двигателя не более 6 м. Если же это расстояние более 6 м, то можно применить передачу качаний штанги двигателя к штанге насоса по способу, показанному на этой же фиг. под цифрой III и IV. Конструкции передаточных рычагов для этих способов показаны на фиг. 67. При определении длины плеч рычагов необходимо пользоваться соотношением:

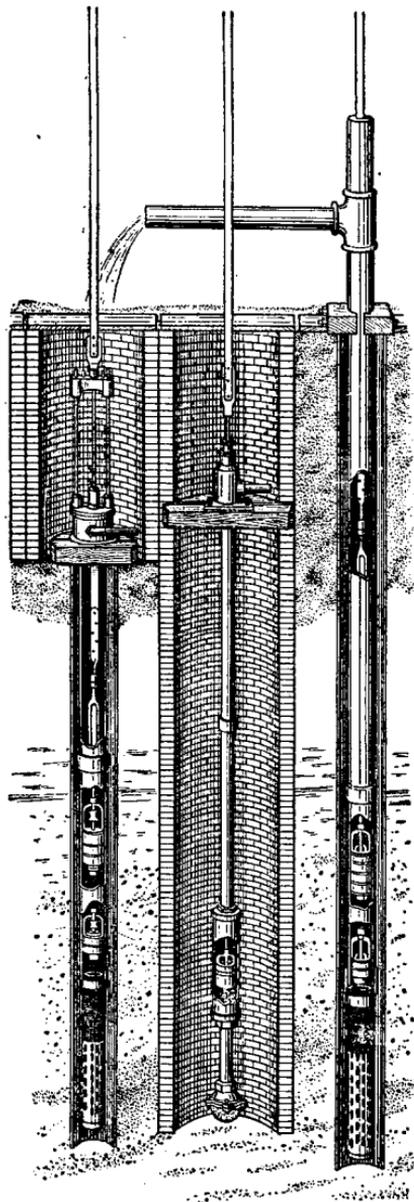
$$h_1 = h \cdot \frac{b}{a},$$

где h_1 — необходимый ход поршня, h — ход штанги двигателя, b — длина рычага штанги насоса, a — длина рычага штанги двигателя.

При этом необходимо насос в скважине или колодце закреплять так, чтобы иметь возможность получать максимальный ход поршня (фиг. 68). После того как насос закреплен, устанавливают тот ход поршня насоса, который требуется соответственно высоте подачи и



Фиг. 68. Схема положения кривошипного механизма на головке ветродвигателя и поршня насоса в его цилиндре.



Фиг. 69. Положение поршневого насоса в скважине и шахтном колодце.

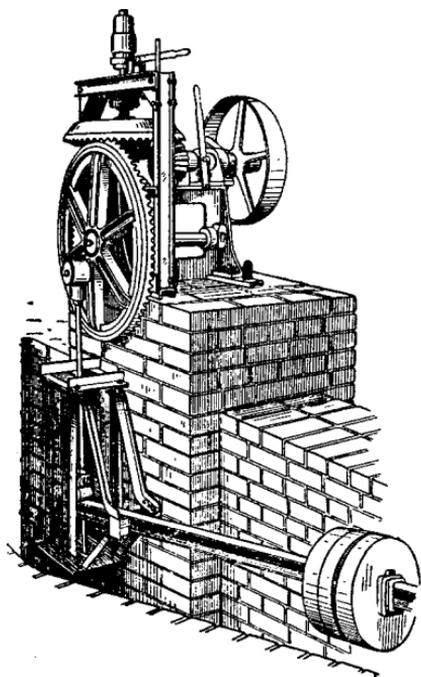
дебиту источника. Положение насоса в шахтном колодце и в скважине показано на фиг. 69.

Если насос спускается на глубину свыше 30 м, то штанга насоса у основания башни должна быть оборудована балансиром для уравнивания веса штанги, но с таким расчетом, чтобы штанга двигателя могла работать только на растяжение. На фиг. 70 показан балансир для насосного оборудования к ветродвигателю ВД-8 м. К ветродвигателю же ВД-5 м завод еще балансиров не дает. Однако его нетрудно изготовить и кустарным способом по схеме, показанной на фиг. 71. При этом вес груза необходимо определять по уравнению

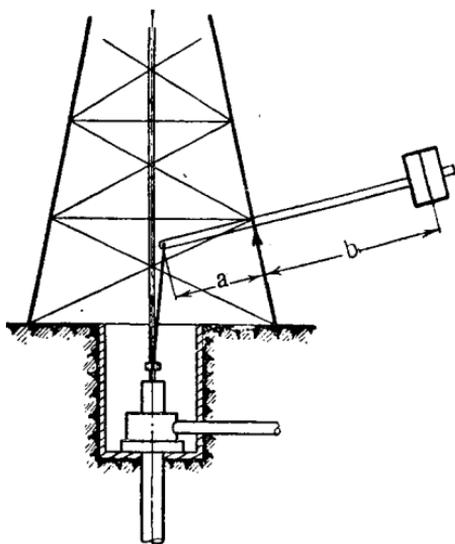
$$Q_{гр.} = \frac{0,75 \cdot Q_{шт.} \cdot a}{b},$$

где $Q_{шт.}$ — вес штанги насоса, считая ее длину от головки ветродвигателя до поршня. У ветродвигателя ВД-5 м штанга имеет диаметр 25 мм, что дает 3,85 кг на погонный метр, a — длина плеча балансира со стороны штанги насоса, b — длина плеча балансира со стороны груза.

Около 25% веса штанги необходимо оставить неуравновешенными



Фиг. 70. Балансир к ветродвигателю ВД-8 м.



Фиг. 71. Схема кустарного балансира к ветродвигателю ВД-5 м.

для преодоления трений при движении поршня вниз. Это нужно делать потому, что штанга у ВД-5 м работает только на растяжение. Балансир особенно необходим при скважинах, глубина которых 100 м и больше. Допустим, что глубина погружения насоса равна 100 м. Тогда общая длина штанги составит $100 + 15 = 115$ м, где 15 м — длина штанги по высоте башни. Вес такой штанги будет равен:

$$Q_{шт.} = 3,85 \cdot 115 \approx 440 \text{ кг.}$$

Если плечи балансира взять равными, то вес груза должен быть:

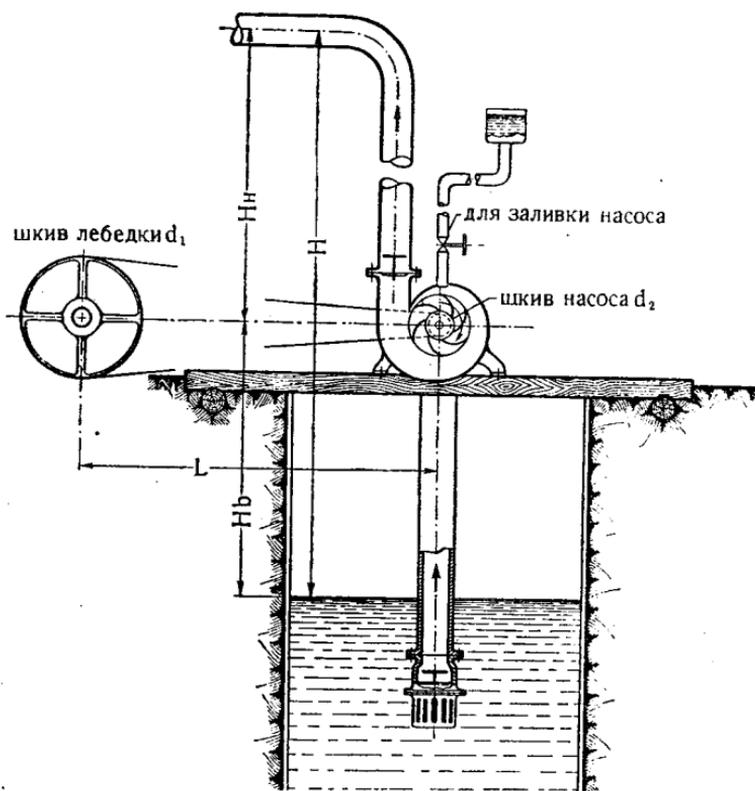
$$Q_{гр.} = \frac{0,75 \cdot 440 \cdot a}{b} = 0,75 \cdot 440 = 330 \text{ кг.}$$

Без балансира эти 330 кг, не будучи уравновешены, создавали бы ударные нагрузки на кривошипный механизм. А такие нагрузки примерно в три раза ускоряют износ рабочих частей механизма.

При балансире ветродвигатель может страгиваться при меньшей скорости ветра.

II. РАБОТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

Основным преимуществом центробежных насосов является отсутствие клапанов и быстро изнашивающихся манжет. Кроме того, эти



Фиг. 72. Схема присоединения центробежного насоса к ветродвигателю.

насосы отличаются высокой производительностью при незначительных размерах. Схема присоединения центробежного насоса к ветродвигателю показана на фиг. 72.

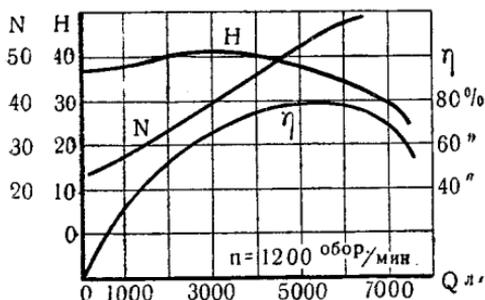
Однако наряду с этими преимуществами центробежного насоса

при работе его от ветродвигателя обнаруживаются некоторые отрицательные стороны, а именно: центробежный насос работает с высоким коэффициентом полезного действия лишь при определенных числах оборотов, ветродвигатель же работает с переменным числом оборотов. И так как диапазон изменения оборотов центробежного насоса, при которых он подает воду с высоким коэффициентом полезного действия, невелик, а неравномерность числа оборотов ветродвигателя при изменении скорости ветра от 3 до 8 м/сек. может резко изменяться, то подача насоса при неточном подборе его к ветродвигателю может осуществляться эффективно лишь на небольшом диапазоне изменения рабочих скоростей ветра.

Поэтому подбор центробежного насоса к ветродвигателю требует внимательности и знания характеристик этих машин.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Обычные характеристики центробежных насосов строятся в зависимости от производительности Q . На горизонтальной оси графика откладываются производительности, а на вертикальной мощности N , высота напора H и коэффициент полезного действия η .



Одна из таких характеристик показана на фиг. 73. Такой формой характеристики при подборе насоса к ветродвигателю непосредственно воспользоваться нельзя, так как она построена для постоянного числа оборотов n и переменного напора H . Ветродвигатель же имеет до начала его регулирования переменные числа оборотов, причем насос должен работать с постоянным напором H . Поэтому, чтобы установить соответствие режима работы центробежного насоса работе ветродвигателя, необходимо данную характеристику перестроить в зависимости от числа оборотов при постоянном напоре H .

Фиг. 73. Нормальная характеристика центробежного насоса.

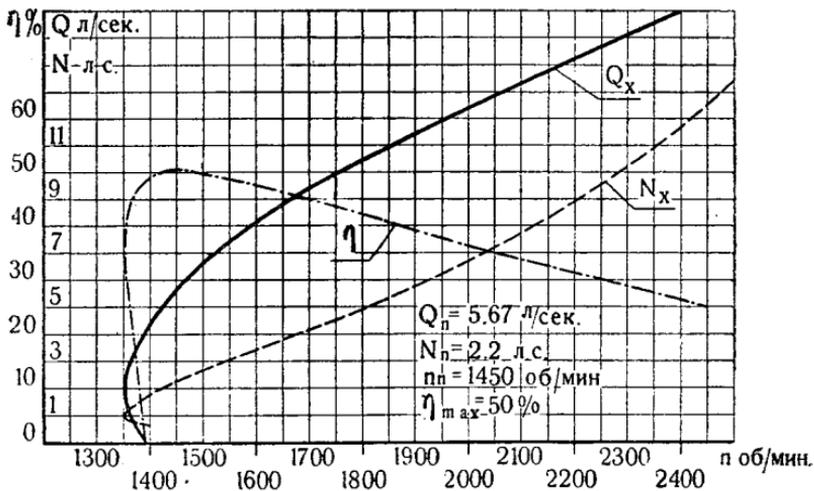
Мы не останавливаемся здесь на способе пересчета этих характеристик. По этому вопросу написана автором специальная работа, которая предполагается к выпуску отдельной брошюрой¹. Чтобы иметь некоторое представление, в какой мере соответствует характеристика центробежного насоса характеристике ветродвигателя, приводим ниже несколько характеристик центробежных насосов, пересчитанных в зависимости от числа оборотов при постоянном напоре к ВД-8 м, ВИМ Д-12 м и ВИМ Д-5.

На фиг. 74 даны кривые характеристики центробежного насоса завода им. Фрунзе, тип В-60 со следующей нормальной характеристикой:

На фиг. 74 даны кривые характеристики центробежного насоса завода им. Фрунзе, тип В-60 со следующей нормальной характеристикой:

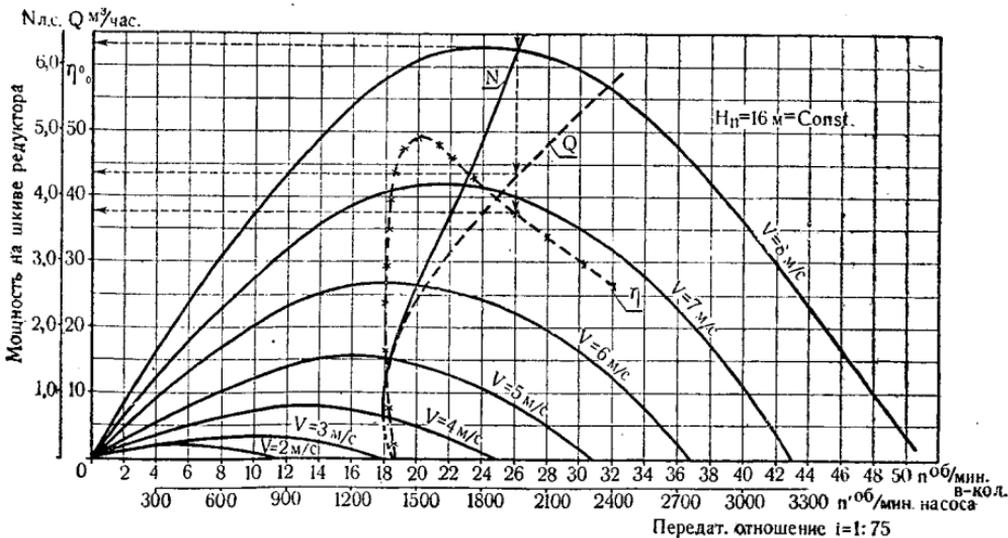
¹ См. работы лаборатории Ветроиспользования ВИМЭ за 1937 г. Фатеев Е. М. «Метод подбора центробежных насосов к ветродвигателям».

$Q_n = 20,4 \text{ м}^3/\text{час}$ — часовая производительность;
 $N_n = 2,2 \text{ л. с.}$ — нормальная мощность на валу насоса;
 $n_n = 1450 \text{ об/мин.}$ — нормальное число оборотов насоса;
 $H_n = 16 \text{ м}$ — нормальный напор, создаваемый насосом;
 $\eta = 50\%$ — к. п. д. насоса;
 $d_1 = 80 \text{ мм}$ — диаметр всасывающих труб;
 $d_2 = 60 \text{ мм}$ — диаметр нагнетательных труб.



Фиг. 74. Перестроенная характеристика центробежного насоса типа В-60, завода им. Фрунзе, в зависимости от числа оборотов при $H=16 \text{ м}=\text{Const.}$

Для установления режима работы ветродвигателя с центробежным насосом эта характеристика на фиг. 75 показана наложенной на характеристику ветродвигателя ВД-8 м так, что кривая мощности насоса



Фиг. 75. Совмещенная характеристика центробежного насоса типа В-60 и ветродвигателя ВД-8 м, при $H=16 \text{ м}=\text{Const.}$

проходит через максимальные значения точек кривых мощности ветродвигателя в пределах скоростей ветра от 4 до 8 м/сек. Рассматривая полученную совмещенную характеристику, находим, что кривая мощности насоса очень выгодно пересекает кривые мощности ветродвигателя, а именно: начиная от 4 и до 8 м/сек. работа ветронасосного агрегата протекает при максимальных коэффициентах использования энергии ветра. Кроме того, максимальный коэффициент полезного действия насоса имеет место при скоростях ветра от 4,5 до 7 м/сек., а в этих пределах скоростей ветродвигатель работает наибольшее количество часов в году. Порядок пахождения необходимых величин характеристики показан стрелками на линии пунктир с точкой.

Допуская, что ветродвигатель ВД-8 м будет работать с этим насосом, подсчитаем по характеристике фиг. 75 часовую производительность. Результаты подсчетов производительности заносим в таблицу 1. При этом имеем:

Таблица 1

Производительность ветродвигателя ВД-8 м, работающего с центробежным насосом завода им. Фрунзе тип В60 $N_n = 2,2$ л. с. $Q_n = 20,4$ м³/час; $n_n = 1450$ об/мин.; 2-ступ. $N_n = 16$ м

	Скорости ветра v м/сек.				
	4	5	6	7	8
Производительность центробежного насоса Q м ³ /час	5	13	24	34	43

На фиг. 76 дана совмещенная характеристика быстроходного ветродвигателя ВИМ Д-5 и центробежного насоса тип МВ-28 завода «Борец». Нормальная характеристика насоса:

$$n_n = 1770 \text{ об/мин.}; N_n = 0,71 \text{ л. с.}; Q_n = 4,03 \text{ л/сек.}; \eta = 46\%.$$

2. ПОДБОР ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ К ВЕТРОДВИГАТЕЛЯМ

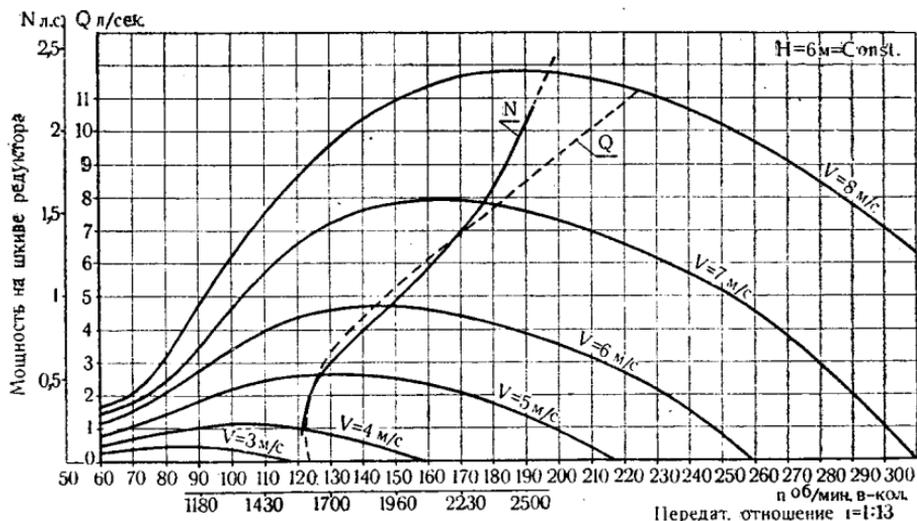
Из рассмотрения совмещенных характеристик фиг. 75 и 76 приходим к заключению, что если правильно подобрать центробежный насос к ветродвигателю, можно получить весьма выгодный режим работы ветронасосного агрегата, т. е. работу ветродвигателя при максимальных значениях ξ_{max} . С поршневым насосом такой режим можно получить только с помощью специального и довольно сложного механизма. К центробежному насосу никаких сложных механизмов не требуется.

Однако, чтобы центробежный насос работал с ветродвигателем на выгодном режиме, необходимо правильно подобрать характеристику насоса к характеристике ветродвигателя.

Основными параметрами характеристики насоса являются N_n — нормальная мощность; H_n — нормальный напор; n_n — нормальное число оборотов и Q_n — нормальная производительность. При этих значениях параметров насос работает с максимальным коэффициентом полезного действия.

Поэтому при решении вопроса о подборе центробежного насоса к ветродвигателю необходимо в первую очередь получить эти данные (хотя бы по каталогу) для возможного большего числа насосов с различными мощностями и напорами в пределах мощностей, развиваемых ветродвигателями. Приравняв за исходные величины каталожные данные насоса, легко пересчитать их на характеристики соответственно мощности ветродвигателя.

Воспользуемся каталогом «Насосы Наркомтяжпрома», издание 1935 г. и выберем из него те насосы, которые наиболее близко соответствуют мощностям ветродвигателей ВД-8 м и ВИМ Д-12 м. Нормаль-



Фиг. 76. Совмещенная характеристика центробежного насоса тип МБ-28, $d=50$ мм и быстрходного ветродвигателя ВИМ Д-5 м.

ные величины характеристики этих насосов Q_n ; N_n ; n_n ; H_n пересчитаем на тот напор H'_n , при котором мощность насоса будет соответствовать мощности ветродвигателя при скорости ветра от 4 до 5 м/сек. Этот пересчет делаем по уравнениям:

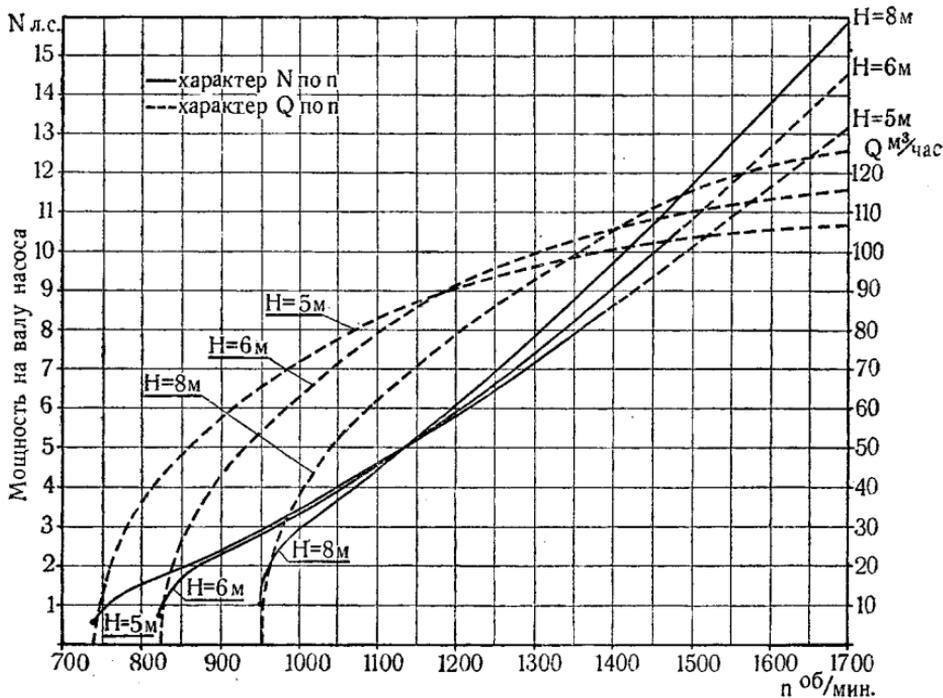
$$n'_n = n_n \sqrt{\frac{H'_n}{H_n}}; \quad (1)$$

$$N'_n = N_n \left(\frac{n'_n}{n_n}\right)^3; \quad (2)$$

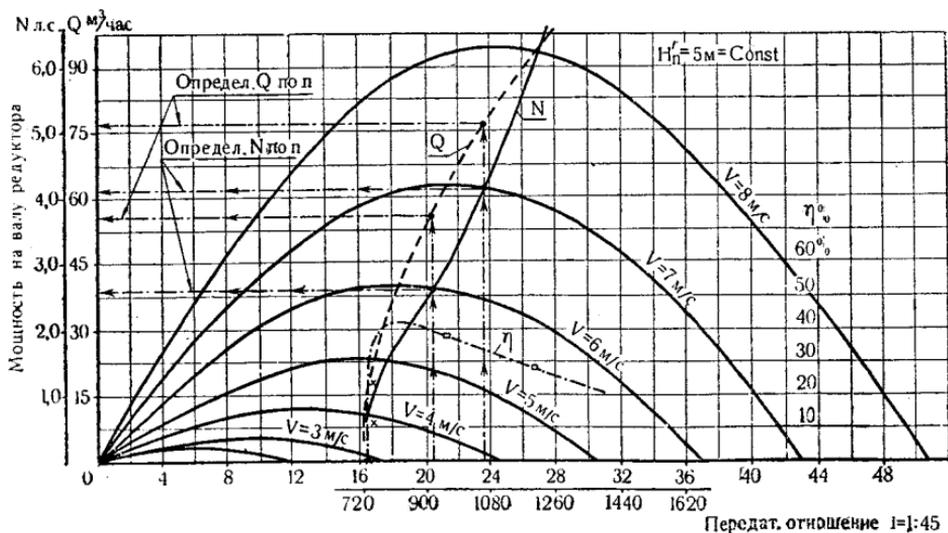
$$Q'_n = Q_n \frac{n'_n}{n_n}, \quad (3)$$

где величины n_n ; H_n ; N_n и Q_n даны в каталоге, а n'_n ; H'_n ; N'_n и Q'_n величины характеристики, которые соответствуют мощности ветродвигателей. Результат подсчета приведен в таблице 2.

Подсчитанная характеристика в зависимости от числа оборотов с напорами $H=16, 6$ и 8 м насоса гр. X, $d=100$ мм дана на фиг. 77, а на фиг. 78 характеристика для напора $H=5$ м наложена на характе-



Фиг. 77. Характеристика центробежного насоса типа гр. X, $d=100$ мм, мели-топольского завода, в зависимости от числа оборотов при $H=5, 6$ и 8 м.

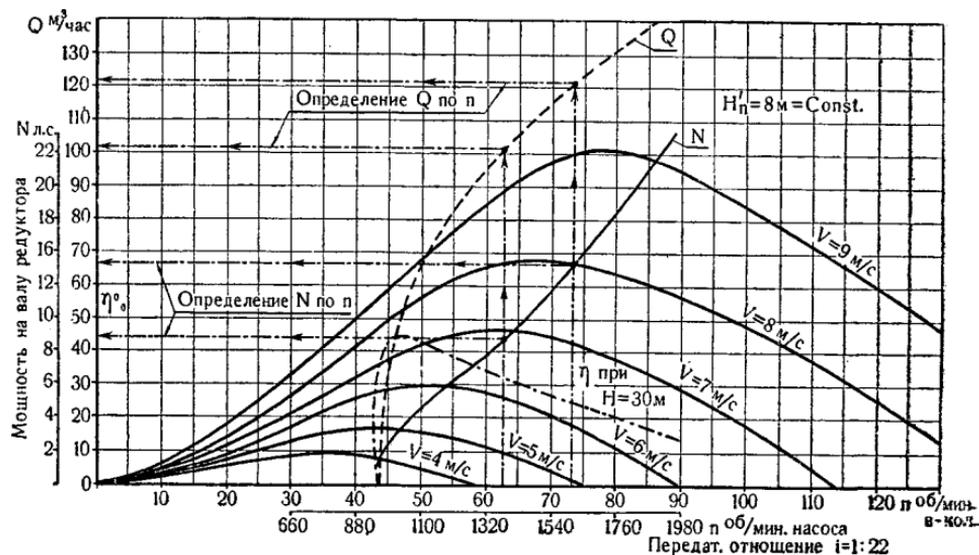


Фиг. 78. Характеристика центробежного насоса типа гр. X, $d=100$ мм и ветро-двигателя ВД-8 м при напоре $H=5$ м = Const.

ристку мощности ВД-8 м. Характеристика насоса, пересчитанная на бóльший напор, соответственно мощности ветродвигателя ВИМ $D=12$ м показана на фиг. 79.

Из полученных графиков и таблицы 2 видим, что один и тот же насос может подходить к нескольким ветродвигателям. При этом более мощный ветродвигатель будет в состоянии работать с этим насосом на более высокий напор H'_n , а менее мощный с меньшим напором, но с приблизительно тем же к. п. д. насоса и с тем же коэффициентом использования энергии ветра.

Передаточное отношение ветроколеса к насосу должно быть подобрано по характеристике насоса, построенной для его напора H'_n и так, чтобы кривая мощности насоса пересекала вершины кривых мощности



Фиг. 79. Характеристика центробежного насоса мелитопольского завода типа гр. X, $d=100$ мм и ветродвигателя ВИМ $D=12$ м при $H=8 \text{ м} = \text{Const.}$

ветродвигателя. Увеличение передаточного отношения может повлечь за собой ненормальную работу насосного агрегата. Это ясно видно на графике фиг. 80, где для примера нанесена характеристика насоса на характеристику ветродвигателя при разных передаточных отношениях

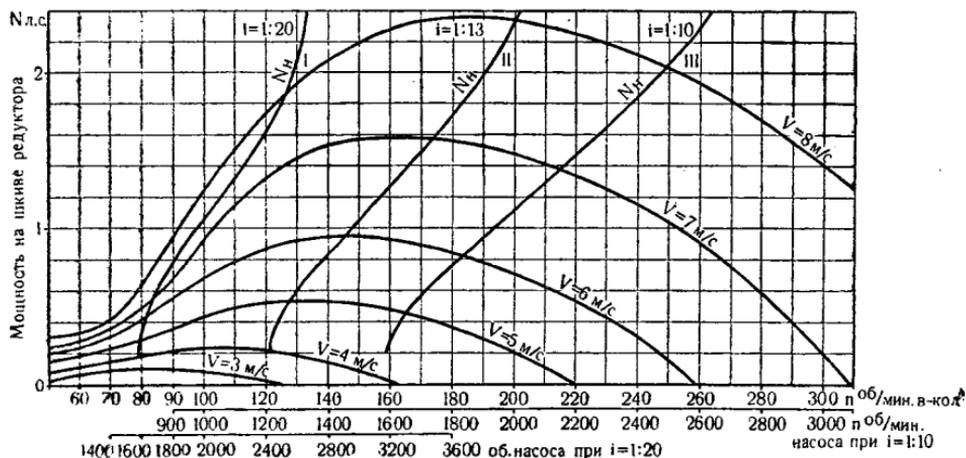
$$i_1 = 1:10; i_2 = 1:13; i_3 = 1:20.$$

Этот график показывает, что при малом передаточном отношении подача воды начинается на более высоких скоростях, чем при отношении $i=1:13$, следовательно наиболее часто повторяющиеся скорости ветра от 4 до 5 м/сек. в этом случае не используются. Кроме того, работа ветродвигателя осуществляется на меньших значениях ξ и, наоборот, при излишне большом передаточном отношении мощность насоса так быстро возрастает, что ее кривая переходит на левую сторону характеристики ветродвигателя.

Это значит мощность насоса в данном случае по оборотам возрастает быстрее, чем мощность ветродвигателя. При этом насосный

агрегат будет работать крайне неустойчиво, со слабой подачей воды, с низким коэффициентом использования энергии ветра и к. п. д. насоса. Поэтому при подборе передаточного отношения ветроколеса к определенному насосу необходимо проявлять особую осторожность.

Имея передаточное отношение ветроколеса к насосу, нетрудно определить диаметр шкива лебедки ветродвигателя по диаметру шкива насоса и по передаточному отношению ветроколеса к шкиву лебедки.



- I. При передаточном отношении $i = 1 : 20$ работа насоса невозможна.
 II. " " " $i = 1 : 13$ " " нормальная.
 III. " " " $i = 1 : 10$ " " возможна,
 но с малым ξ

Фиг. 80. Характеристики центробежного насоса МВ-28 завода «Борец» и ветродвигателя ВИМ Д-5 при разных передаточных отношениях оборотов ветроколеса к оборотам центробежного насоса.

Например: отношение оборотов шкива лебедки ВД-8 м к оборотам ветроколеса равно $\frac{n_a}{n_s} = 11$, а общее передаточное отношение, согласно характеристике вышеприведенного примера с ВД-8 м (фиг. 75), равно 75, следовательно передаточное отношение от шкива лебедки к шкиву насоса будет равно:

$$11 : 75 = 1 : 6,82.$$

При диаметре шкива насоса $D_n = 120$ мм шкив на лебедке должен иметь диаметр:

$$D_a = 120 \cdot 6,82 = 818 \text{ мм.}$$

Так как шкив на лебедке, выпускаемой заводом, имеет диаметр 600 мм, необходимо его нарастить до 818 мм. Это делается так. Изготавливаются из дерева колодки по кружалу и накладываются на шкив лебедки. Полученный обод из деревянных колодок обрабатывается так, чтобы он имел правильную окружность требуемого диаметра; уложенные по ободу шкива колодки туго затягиваются ремнем, концы которого закрепляются в накладку.

Ориентировочные данные характеристик насосов для подбора их к ветродвигателям
ВД-8 м ВИМ Д-12 м

Тип насоса и завод изготовитель	Характеристика насоса, вентая из каталога							Характеристика, пересчитанная на новый набор по уравнениям (1), (2) и (3)						
	Число оборотов в минуту	Производительность, кубом. в час	Напор в метрах	Мощность на валу насоса	Коэф. полез. действия насоса	Быстроходность	Число оборотов насоса в минуту	Производительность, кубом. в час	Напор в метрах	Мощность насоса в лощ. сил	Число ветродвигателей, работающих на данный напор	Ориентировочное значение оборотов ветродвигателя к оборотам насоса		
АН-60; $d = 60$ мм 1 ст.	1 450	24	20	4,5	0,40	45,4	1 450	24	20	4,5	ВИМ Д-12	1:29		
им. Фрунзе							1 120	18,6	12	2,1	ВД-8 м	1:65		
АС-100; $d = 100$ мм 1 ст.	1 450	84	27	16	0,52	68,2	925	54	11	4,15	ВИМ Д-12	1:18		
им. Фрунзе							683	39	6	1,67	ВД-8 м	1:40		
$d = 75$ мм 1 ст.	2 000	93	13,4	6,75	0,68	168	1 730	80,5	10	4,4	ВИМ Д-12	1:38		
«Красный фанел»							1 220	56,5	5	1,53	ВД-8 м	1:72		
гр. Х; $d = 100$ мм ¹	2 050	108	30	28	0,43	100,5	1 060	55,6	8	3,85	ВИМ Д-12 ²	4:23		
Мелитопольский завод							830	43,5	5	1,87	ВД-8 м	1:48		
гр. Х; $d = 150$ мм	1 450	270	30	40	0,65	112,5	650	120	6	3,6	ВИМ Д-12	1:15		
Мелитопольский завод							838	92,4	8	3,85	ВИМ Д-12	1:18		
Ф. 26; $d = 150$ мм	1 450	160	24	22	0,65	103	660	73	5	2,03	ВД-8 м	1:38		
«Борец»														

¹ Характеристика этого насоса пересчитана в зависимости от числа оборотов и нанесена на характеристики ВИМ Д-12 и ВД-8 м (см. фиг. 78 и 79).

² Эти напоры являются максимальными для ВД-8 м и ВИМ Д-12 м. С данными в таблице передаточными отношениями ветродвигатели ВД-8 м и ВИМ Д-12 должны работать либо на эти напоры, либо на меньше.

Чтобы деревянный обод более прочно сидел на чугунном шкиве лебедки, время от времени в промежутки между колодками загоняются клинья. Однако такое устройство является временной мерой. Лучшее будет, конечно, сделать заказ заводу отлить шкив необходимого диаметра или подобрать подходящий шкив из утиля.

Может оказаться и другое: потребуется шкив на лебедке значительно меньшего диаметра, например: для насоса ф. 26 завода «Борец» (см. таблицу 2) шкив на лебедке ВД-8 м при диаметре шкива насоса в 120 мм должен иметь диаметр:

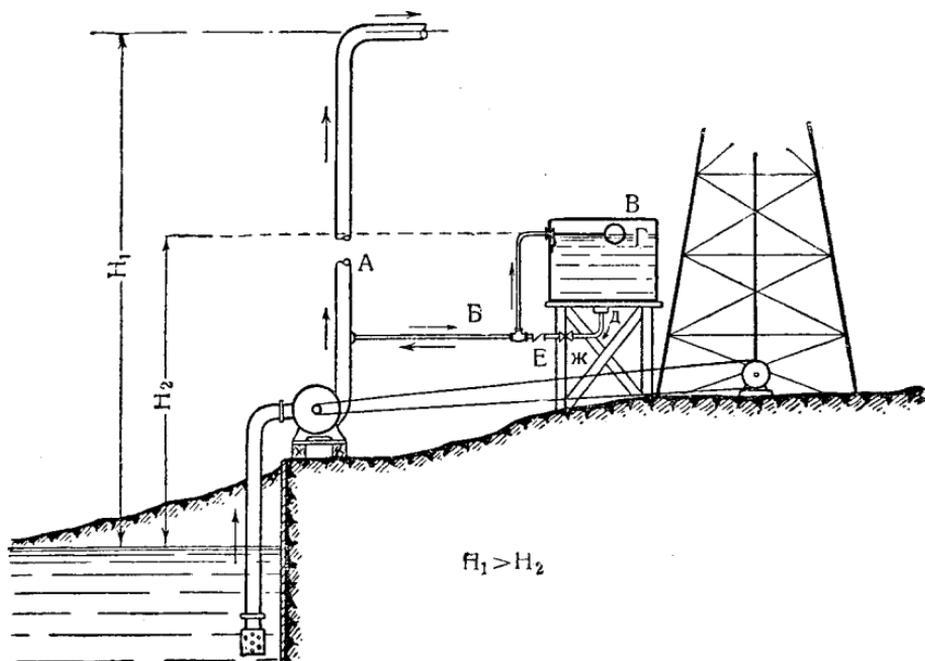
$$D = 120 \frac{38}{11} = 415 \text{ мм.}$$

Если уменьшить диаметр шкива лебедки нельзя, то можно увеличить шкив на валу насоса.

При определении напора, с которым должен работать ветронасосный агрегат, обязательно учитывать потери на трение в трубах.

О заливке центробежных насосов

В заключение о работе центробежных насосов с ветродвигателями нельзя не упомянуть об одном чрезвычайно важном моменте, — это заливка насоса при запуске его в работу.



Фиг. 81. Схема автоматического залива центробежных насосов.

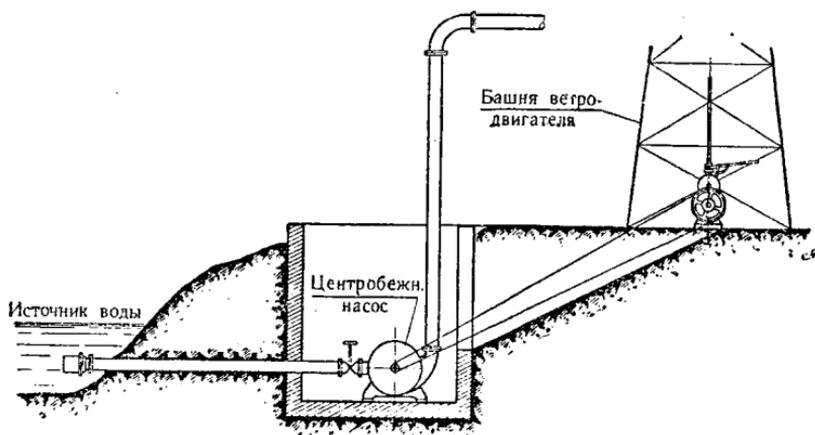
Ручная заливка вряд ли может удовлетворять характеру работы ветронасосного агрегата. Поскольку центробежный насос обладает малым крутящим моментом, ветродвигатель будет вращаться и на ма-

лых скоростях ветра, однако насос при этом не будет подавать воду, вследствие недостаточного числа оборотов. Поэтому при слабых ветрах насос может остаться без воды, хотя до этого он и работал.

Это обстоятельство требует оборудования насосной установки автоматической заливкой. Существует несколько способов автоматической заливки центробежных насосов. Мы укажем здесь один из возможных и наиболее простых способов автоматической заливки, который может быть применен для ветронасосных станций.

Схема этого способа показана на фиг. 81.

Во время работы насоса вода из напорной трубы *A* по отводу *B* частично поступает в бак *B* с поплавковым запором *Г*. Как только бак наполнится, поплавок закроет отвод. При утечке воды из насоса и всасывающей трубы вода из бака по трубке *Д* потечет во всасывающую трубу и заполнит ее и насос. На трубке *Д* поставлен обратный клапан *E*, который не допускает воду в бак при работе насоса. Вентиль *Ж*



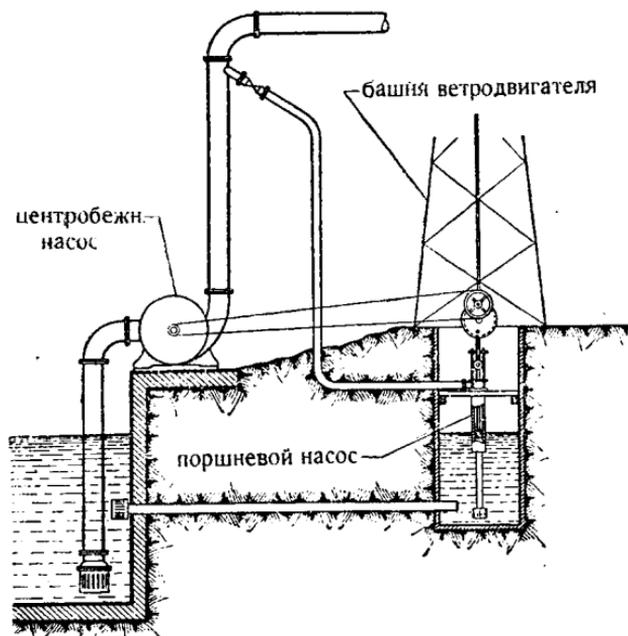
Фиг. 82. Схема расположения насоса на уровне источника воды.

все время открыт и закрывается лишь на случай длительной остановки насоса. Объем бака зависит от емкости всасывающей трубы и кожуха насоса, а также степени пригонки приемного клапана к своему гнезду. Нужно полагать, что бачок на полкубометра вполне обеспечит заливку насоса, если насос простоит не более суток.

Если насос расположить ниже уровня источника воды, то он будет все время находиться под естественной заливкой. Схема такой установки показана на фиг. 82. Кроме того, можно предложить установку центробежного насоса, работающего параллельно с поршневым насосом или с коловратным. В этом случае вспомогательный насос не только обеспечит заливку центробежного насоса, но и позволит ветродвигателю подавать воду при слабых скоростях ветра.

На фиг. 83 дапа схема установки центробежного насоса, работающего параллельно с поршневым насосом. Размер поршневого насоса, как вспомогательного, берется в зависимости от напора, с которым он должен работать.

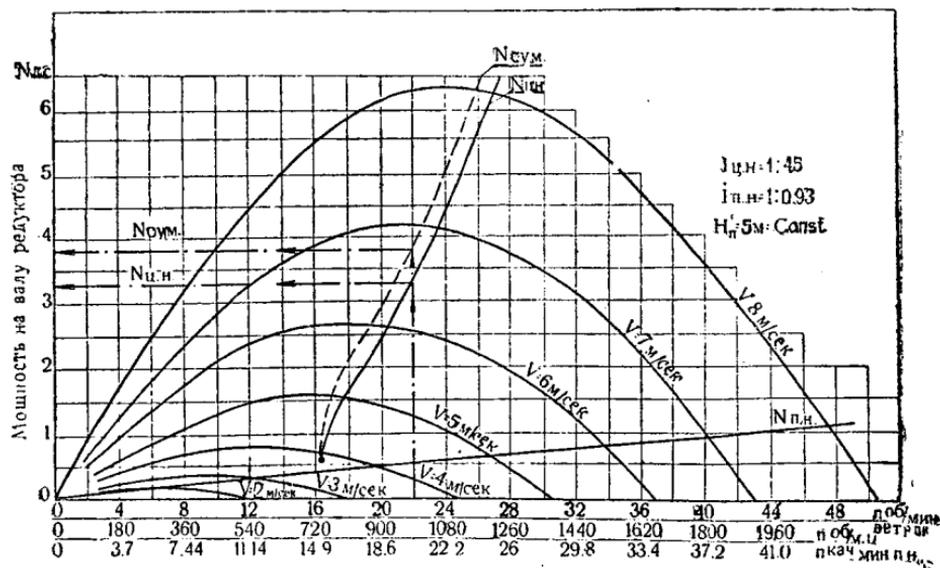
К ветродвигателю ВД-8 м в дополнение к центробежному насосу можно присоединить поршневой насос с диаметром $d = 5 \frac{3}{4}$ ". При напорах H выше 15 м подойдет поршневой насос $d = 3 \frac{3}{4}$ ".



Фиг. 83. Схема установки центробежного насоса для работы параллельно с поршневым насосом.

Такая установка, несомненно, повысит производительность ветронасосного агрегата за счет использования слабых скоростей ветра — от 3 до 4 м/сек., причем мы можем в этом случае получить работу ветродвигателя на максимальных значениях коэффициентов использования энергии ветра.

Возможная характеристика агрегата, работающего по данной схеме, показана на фиг. 84, где прямая до скорости ветра 4 м/сек. дает характеристику поршневого насоса, а кривая, проведенная сплошной линией, дает характеристику мощности центробежного насоса; пунктирная кривая дает характеристику суммарной мощности обоих насосов.



Фиг. 84. Характеристика параллельной работы центробежного и поршневого насосов.

При установившемся ветре выше 5 м/сек. поршневой насос можно выключить, не забывая при этом включить его в работу при каждом запуске ветродвигателя после простоев.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОГО НАПОРА H_n , С КОТОРЫМ РАБОТАЕТ НАСОС

При определении полного напора, с которым будет работать насос, необходимо учитывать потери напора в трубах, клапанах, коленах и т. п.

Уравнение полного напора можно представить так:

$$H_n = H + h_1 + h_2 + h_3, \quad (a)$$

где H — высота в метрах от динамического уровня до верхней точки выхода воды из нагнетательного трубопровода; h_1 — потери напора в метрах в нагнетательной и всасывающей трубах; h_2 — потери напора в метрах в клапанах и сетке; h_3 — потери напора в метрах в коленах трубопровода.

Потери напора h_1 определяются по уравнению:

$$h_1 = \lambda \frac{lv^2}{d \cdot 2g}, \quad (б)$$

где l — длина трубопровода в метрах, а коэффициент λ равен:

$$\lambda = 0,0096 + 4 \sqrt{\frac{K}{d}} + 1,7 \sqrt{\frac{z}{v \cdot d}} \quad (в)$$

(формула Базена и Р. Мизеса).

Здесь K — коэффициент шероховатости и для железных труб берется равным:

$$K = \frac{400}{10^8} \text{ до } \frac{1\,000}{10^8}, \quad (г)$$

d — диаметр труб в метрах, v — скорость движения воды в трубах и равна:

$$v = \frac{Q}{0,785 \cdot d^2} \text{ м/сек.}, \quad (д)$$

где Q — количество воды в кубометрах в секунду, $z = 10^{-6}$ м²/сек кинематическая вязкость воды.

Подставив значения величин, входящих в уравнение (в), и решая его для разных диаметров труб, получим следующую таблицу 3, значений λ , которые необходимо подставлять в уравнение (б).

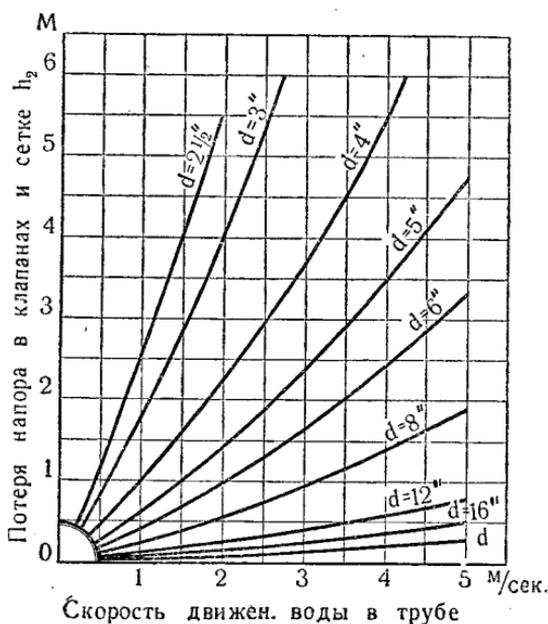
Потери h_2 в клапанах и сетке можно брать по графику фиг. 85.

Потери h_3 в коленах трубопровода при угле колена 90° определяются уравнением:

$$h_3 = \varphi \frac{v^2}{2g} = 0,3 \frac{v^2}{19,62} \text{ м.} \quad (e)$$

Таблица для определения коэффициента λ ; подсчитана для разных диаметров труб по формуле Базена и Мизеса при $K = \frac{500}{10^8}$

Диаметры труб d м	Скорость движения воды в трубах v м/сек.						
	0,25	0,5	1,0	1,5	2	3	4
	К о э ф ф и ц и е н т ы						
0,025	0,0876	0,0810	0,0765	0,0743	0,0732	0,0718	0,0710
0,05	0,0648	0,0605	0,0574	0,0558	0,0550	0,0540	0,0534
0,075	0,0560	0,0524	0,0493	0,0480	0,0474	0,0465	0,0459
0,100	0,0486	0,0454	0,0431	0,0420	0,0415	0,0411	0,0404
0,150	0,0414	0,0388	0,0370	0,0362	0,0357	0,0354	0,0348
0,200	0,0375	0,0352	0,0336	0,0334	0,0325	0,0313	0,0300



Фиг. 85. График для определения потерь напора h_2 в клапанах и сетке.

$$h = \frac{\lambda v^2}{d \cdot 2 \cdot g} = 0,047 \frac{30 \cdot 2,3^2}{0,075 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,047 \cdot 108 = 5,1 \text{ м.}$$

3. Потери в клапанах с сеткой, по диаграмме фиг. 85, равны:

$$h_2 = 4,5 \text{ м.}$$

4. Потери в двух коленах равны:

$$h_3 = 0,3 \frac{2,3^2}{19,62} \cdot 2 = 0,162 \text{ м.}$$

5. Полный напор будет равен:

$$H_n = H + h_1 + h_2 + h_3 = 8 + 5,1 + 4,5 + 0,162 = 17,76 \text{ м.}$$

Пример: Определить полный напор, с которым будет работать центробежный насос, производительность которого равна $0,01 \text{ м}^3/\text{сек.}$, диаметр труб $d = 3''$. На линии движения воды имеется один всасывающий клапан, сетка и два колена. Длина трубопровода 30 м. Высота от динамического уровня до верхней точки выхода воды $H = 8 \text{ м.}$

Решение:

1. Скорость движения воды:

$$v = \frac{0,01}{0,785 \cdot 0,075^2} = 2,3 \text{ м/сек.}$$

2. Потери в трубопроводе:

Из этого примера совершенно очевидна необходимость учитывать потери при определении полного напора, с которым будет работать насос. Особенно это необходимо иметь в виду при определении напора, на который будет работать центробежный насос.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА

Годовую выработку мощности ветродвигателя, работающего с поршневым насосом, можно подсчитать по следующему уравнению.

$$N_e = A \sum v^3 \xi t_p, \quad (1)$$

где $A = 0,000654 D^2$; здесь D — диаметр ветроколеса; v — скорости ветра, при которых ветродвигатель работал в течение года; ξ — коэффициент использования энергии ветра ветродвигателем, работающим с поршневым насосом (значения его приведены в таблице 1); t_p — число часов работы ветродвигателя при данной скорости ветра, берется из таблицы повторяемости ветров М. М. Поморцева для v_0 до 6 м/сек. или по Гуллиену для v_0 выше 6 м/сек. (см. часть 1, табл. 3 и 4).

Таблица 1

Коэффициенты использования энергии ветра многолопастных ветродвигателей, работающих с поршневым насосом
(Для ВД-5 м и ВД-8 м приблизительно одинаковы)

v раб. м/сек. v_m м/сек.	3	4	5	6	7	8
3	0,35	0,287	0,212	0,159	0,12	0,094
4	—	0,35	0,306	0,241	0,190	0,152
5	—	—	0,35	0,315	0,264	0,221

Число часов работы ветродвигателя в течение года, в зависимости от среднегодовой v_0 скорости ветра, приведено в нижеследующей таблице 2.

Таблица 2

Число часов работы ветродвигателя при разных среднегодовых скоростях ветра по М. М. Поморцеву

Скорости ветра, при которых начинается полезная отдача мощности ветродвигателя v_m м/сек.	Среднегодовые скорости ветра v_0 м/сек.					
	3	4	5	6	7	8
.	5 530	6 755	7 525	8 015	8 245	8 442
.	3 540	5 310	6 522	7 315	7 783	8 108
.	1 830	3 700	5 212	6 352	7 136	7 616
.	780	2 255	3 767	5 142	6 153	6 931

Пользуясь таблицами для ξ и повторяемости ветров, легко подсчитать годовую выработку по уравнению (1).

Так как значение $A = 0,000654 D^2$ для данного двигателя является величиной постоянной, то делается подсчет лишь выражения, заключенного под знаком Σ для разных $v_{\text{раб.}}$ и v_0 и после суммирования умножается на постоянную величину $0,000654 D^2$.

В результате суммирования получается годовая выработка полезной мощности ветродвигателя в лошадино-силочасах при разных среднегодовых скоростях ветра. В нижеследующей таблице 3 дана годовая выработка мощности ветродвигателей ВД-5 и ВД-8 м для разных среднегодовых скоростей ветра.

Таблица 3

Годовая выработка мощности в л. с. ч. ветродвигателей ВД-5 и ВД-8, работающих с поршневыми насосами, подсчитанная по уравнению

$$N_g = A \sum v^3 \xi t_p \text{ л. с. ч.}$$

v_m м/сек.	Тип ветродвигателя	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.
3	{ ВД-5	1 730	2 780	3 710	4 520
	{ ВД-8	4 400	7 140	9 500	11 600
4	{ ВД-5	2 020	3 770	5 420	6 850
	{ ВД-8	5 150	9 640	13 830	17 500
5	{ ВД-5	1 735	4 180	6 650	8 970
	{ ВД-8	4 480	10 650	17 000	22 900

Нужно заметить, что при подсчете таблицы были приняты следующие условия:

1. Ветродвигатели после скорости ветра $v = 8$ м/сек. работают с постоянной мощностью.

2. Коэффициент использования энергии ветра $\xi = 0,35$ имеет место лишь при той скорости ветра, при которой ветродвигатель полностью использует энергию ветра. На характеристике эта точка находится на пересечении луча с вершиной кривой мощности ветродвигателя. Однако сдвигаться с места он может при более высокой скорости ветра, а останавливаться — при меньшей.

При точном подсчете необходимо учитывать то обстоятельство, что ветродвигатель, регулирующийся по системе «Эклипс», после начала регулирования не сохраняет мощность постоянной: она убывает. Также необходимо учитывать и ту часть работы ветродвигателя, которая на характеристике находится слева от точки пересечения луча с вершиной кривой мощности ветродвигателя (см. фиг. 62 и 63). Поэтому цифровые значения годовой выработки мощности в таблице 3 являются ориентировочными.

Подсчет годовой выработки мощности ветродвигателя, работающего с центробежным насосом, будет отличаться от вышеизложенного лишь тем, что коэффициент использования энергии ветра до начала регулирования необходимо принимать постоянным, что обусловливается характеристикой мощности центробежного насоса.

Поэтому уравнение для подсчета годовой выработки мощности ветродвигателя, работающего с правильно подобранным центробежным насосом, напишется так:

$$N_2 = A_2 \sum v^3 t_p, \quad (2)$$

где $A_2 = 0,000654 D^2 \xi = \text{Const}$.

Подсчет годовой выработки мощности сделан для ВД-8 м при $\xi = 0,35 = \text{Const}$ и приведен в таблице 4.

Таблица 4

Годовая выработка мощности ВД-8 м, работающего с центробежным насосом
 $N_2 = 0,000654 D^2 \xi \sum v^3 t_p$ л. с. ч.

Скорость ветра, при которой начинается подача воды v_H	Среднегодовые скорости ветра v_0 м/сек.			
	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.
4	6 640	14 700	24 800	32 900
5	5 100	13 300	23 600	32 000
6	3 820	10 700	19 900	29 800

Имея годовую выработку мощности в л. с. ч., легко подсчитать годовую производительность ветронасосного агрегата, исходя из уравнения:

$$N_2 = \frac{Q_2 \cdot H 1000}{75 \cdot 3600 \cdot \eta}, \quad (2)$$

где Q_2 — годовая производительность в кубометрах; H — высота подачи воды в метрах; η — общий механический коэффициент полезного действия; для установки с ВД-5 $\eta = 0,48$ —до 0,55, а для ВД-8 — $\eta = 0,55$ до 0,65.

Из уравнения (2) имеем годовую производительность ветронасосной установки равной:

$$Q_2 = \frac{N_2 75 \cdot \eta \cdot 3600}{H \cdot 1000} = \frac{270 N_2 \eta}{H}. \quad (3)$$

По уравнению 3 составлены две таблицы 5 и 6 годовой производительности ВД-5 и ВД-8, работающих с поршневыми насосами для разных напоров.

IV. РАБОТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ С КОЛОВРАТНЫМ НАСОСОМ

Коловратный насос представляет наиболее простой тип из группы ротационных насосов. Он состоит из двух зубчатых колес, находящихся в зацеплении и помещенных в кожух. Одно колесо является ведущим и соединяется с валом двигателя, либо непосредственно, либо через какую-либо передачу, в зависимости от условий монтажа и типа двигателя.

Теоретическая подача коловратного насоса может быть определена как сумма объемов впадин между зубьями, проходящих за секунду из

Возможная годовая выработка ВД-5 м в зависимости от $H_{нз}$, v_0 и $v_{ж}$

Платер $H_{ж}$	$v_{ж} = 3$ м/сек.						$v_{ж} = 4$ м/сек.						$v_{ж} = 5$ м/сек.						
	$v_0 = 3$ м/сек.		$v_0 = 4$ м/сек.		$v_0 = 5$ м/сек.		$v_0 = 3$ м/сек.		$v_0 = 4$ м/сек.		$v_0 = 5$ м/сек.		$v_0 = 3$ м/сек.		$v_0 = 4$ м/сек.		$v_0 = 5$ м/сек.		
	$N_2 = 1730$	$N_2 = 2780$	$N_2 = 3710$	$N_2 = 4520$	$N_2 = 2020$	$N_2 = 3770$	$N_2 = 5420$	$N_2 = 6860$	$N_2 = 1735$	$N_2 = 4180$	$N_2 = 6650$	$N_2 = 8970$	$N_2 = 1735$	$N_2 = 4180$	$N_2 = 6650$	$N_2 = 8970$	$N_2 = 1735$	$N_2 = 4180$	$N_2 = 6650$
5	51 300	82 300	110 000	133 800	59 900	141 600	160 000	203 000	51 500	123 500	170 000	266 000	51 500	123 500	170 000	266 000	51 500	123 500	170 000
10	25 600	41 500	55 000	67 000	29 900	55 800	80 400	101 400	25 700	61 950	98 500	133 000	25 700	61 950	98 500	133 000	25 700	61 950	98 500
15	17 100	27 700	36 600	44 600	19 930	37 200	53 500	67 600	17 100	41 250	65 700	88 500	17 100	41 250	65 700	88 500	17 100	41 250	65 700
20	12 800	20 500	27 500	33 450	14 950	27 900	40 150	50 700	12 830	30 900	49 200	66 300	12 830	30 900	49 200	66 300	12 830	30 900	49 200
25	10 300	16 500	22 000	26 800	11 950	22 300	32 100	40 600	10 260	14 800	39 400	53 100	10 260	14 800	39 400	53 100	10 260	14 800	39 400
30	8 560	13 700	18 300	22 300	9 975	18 600	26 750	33 800	8 570	12 600	32 800	44 250	8 570	12 600	32 800	44 250	8 570	12 600	32 800
35	7 350	11 750	15 700	19 100	8 550	15 950	22 950	28 950	7 340	17 700	28 100	37 900	7 340	17 700	28 100	37 900	7 340	17 700	28 100
40	6 430	10 300	13 730	16 700	7 480	13 950	20 050	25 350	6 430	15 450	24 600	33 200	6 430	15 450	24 600	33 200	6 430	15 450	24 600
45	5 700	9 150	12 200	14 860	6 650	12 400	17 850	22 500	5 710	13 750	21 850	29 500	5 710	13 750	21 850	29 500	5 710	13 750	21 850
50	5 130	8 230	11 000	13 400	5 990	11 170	16 050	20 300	5 140	12 380	19 700	26 600	5 140	12 380	19 700	26 600	5 140	12 380	19 700
55	4 670	7 500	10 000	12 160	5 440	10 150	14 600	18 450	4 675	11 250	17 900	24 100	4 675	11 250	17 900	24 100	4 675	11 250	17 900
60	4 300	6 870	9 170	11 150	4 990	9 300	13 370	16 900	4 280	10 300	16 400	22 100	4 280	10 300	16 400	22 100	4 280	10 300	16 400
70	3 680	5 890	7 850	9 570	4 270	7 985	11 480	14 500	3 670	8 840	14 050	19 000	3 670	8 840	14 050	19 000	3 670	8 840	14 050
80	3 210	5 150	6 875	8 375	3 740	6 985	10 040	12 680	3 210	7 740	12 300	16 600	3 210	7 740	12 300	16 600	3 210	7 740	12 300
90	2 850	4 575	6 120	7 440	3 325	6 205	8 925	11 250	2 860	6 880	10 950	14 750	2 860	6 880	10 950	14 750	2 860	6 880	10 950
100	2 560	4 115	5 500	6 700	2 990	5 580	8 040	10 120	2 570	6 195	9 850	13 300	2 570	6 195	9 850	13 300	2 570	6 195	9 850
120	2 140	3 430	4 580	5 375	2 490	4 650	6 700	8 450	2 140	5 160	8 200	11 050	2 140	5 160	8 200	11 050	2 140	5 160	8 200
130	1 980	3 160	4 225	5 150	2 300	4 295	6 175	7 800	1 975	4 760	7 570	10 200	1 975	4 760	7 570	10 200	1 975	4 760	7 570
140	1 830	2 940	3 920	4 780	2 135	3 905	5 730	7 240	1 835	4 420	7 030	9 500	1 835	4 420	7 030	9 500	1 835	4 420	7 030
150	1 710	2 740	3 660	4 460	1 990	3 720	5 320	6 760	1 710	4 125	6 570	8 850	1 710	4 125	6 570	8 850	1 710	4 125	6 570

Пр о и в в о д и т е л ь н о с т ь Q м³/год

Примечание. $Q_2 = \frac{N_2 \cdot 75 \cdot \eta \cdot 3600}{H \cdot 1000} = \frac{270 N_2 \eta}{H}$ при $\eta = 0,55$; $Q_2 = 148 \frac{N_2}{H}$ м³/год.

Возможная годовая выработка ВД-8 и в зависимости от v_0 , v_M и H и

Напор H , м	$v_M = 3$ м/сек.				$v_M = 4$ м/сек.				$v_M = 5$ м/сек.							
	$v_0 = 3$ м/сек.		$v_0 = 4$ м/сек.		$v_0 = 3$ м/сек.		$v_0 = 4$ м/сек.		$v_0 = 3$ м/сек.		$v_0 = 4$ м/сек.		$v_0 = 5$ м/сек.			
	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.	$v_0 = 3$ м/сек.	$v_0 = 4$ м/сек.	$v_0 = 5$ м/сек.	$v_0 = 6$ м/сек.
	4 400 л. с. ч.	7 140 л. с. ч.	9 500 л. с. ч.	11 600 л. с. ч.	5 150 л. с. ч.	9 640 л. с. ч.	13 890 л. с. ч.	17 500 л. с. ч.	4 480 л. с. ч.	10 650 л. с. ч.	17 000 л. с. ч.	22 900 л. с. ч.				
	154 000	250 000	332 000	407 000	181 000	338 000	488 000	624 000	158 000	380 000	600 000	805 000				
40	77 600	125 000	166 000	204 000	90 400	169 000	244 000	307 000	79 000	190 000	300 000	402 000				
45	51 300	83 500	111 000	136 000	60 200	119 500	162 000	207 000	52 600	127 000	200 000	268 000				
20	38 500	63 500	83 000	102 000	45 200	84 500	123 000	155 000	39 500	95 000	150 000	201 000				
25	30 800	50 000	69 500	81 500	36 200	67 700	97 600	124 000	31 600	76 000	120 000	161 000				
30	25 600	41 600	55 500	68 000	30 200	56 400	82 400	103 500	26 300	63 300	100 000	134 000				
35	22 000	35 600	47 500	58 200	25 000	48 300	70 300	88 700	22 600	54 200	85 500	115 000				
40	19 200	31 200	41 500	51 000	22 600	42 300	61 000	77 600	19 750	47 500	75 000	100 000				
45	17 100	28 000	37 000	45 300	20 000	37 800	54 200	69 000	17 580	42 200	66 500	89 500				
50	15 400	25 000	33 200	40 700	18 100	33 800	49 000	62 100	15 800	38 000	60 000	80 600				
55	14 000	22 700	30 200	37 000	16 400	30 800	44 300	56 500	14 400	34 500	54 500	73 000				
60	12 800	20 800	27 700	34 000	15 000	28 200	40 700	51 700	13 200	31 600	50 000	67 000				
70	11 000	17 800	23 700	29 200	12 900	24 200	34 800	44 400	11 300	27 200	42 800	57 500				
80	9 620	15 600	20 800	25 400	11 300	21 200	30 500	38 800	9 870	23 800	37 400	50 200				
90	8 550	13 900	18 500	22 700	10 050	18 800	27 000	34 500	8 780	21 100	33 400	44 600				
100	7 700	12 500	16 600	20 400	9 040	16 900	24 400	31 050	7 900	19 000	30 000	40 200				
110	7 000	11 340	15 100	18 500	8 220	15 400	22 100	28 200	7 200	17 300	27 200	36 400				
120	6 420	10 400	13 800	17 000	7 500	14 100	20 300	25 800	6 600	15 800	25 000	33 600				
130	5 910	9 600	12 700	15 700	6 950	13 000	18 700	23 900	6 075	14 600	23 000	30 800				
140	5 500	8 940	11 900	14 500	6 450	12 100	17 400	22 200	5 650	13 600	21 400	28 600				
150	5 130	8 350	11 100	13 600	6 000	11 950	16 200	20 700	5 260	12 700	20 000	26 800				

Пр о н в о д и т е л ь н о с т ь Q м³/год¹

$$1 Q = \frac{N_2 \cdot 75 \cdot \eta \cdot 8600}{H \cdot 1000} = \frac{270 \cdot N_2 \cdot 0,65}{H} = 175,4 \frac{N_2}{H} \text{ м}^3/\text{год.}$$

всасывающей стороны в нагнетательную минус то количество жидкости, которое остается во впадинах и переносится обратно.

Уравнение для подачи колес с эвольвентным зацеплением пишется так:

$$Q_r = \frac{\pi n}{30} \left(2rh + h^2 - \frac{l}{12} \right) b,$$

где r — радиус делительной окружности, h — высота головки зуба, l — шаг по линии зацепления, n — число оборотов вала в минуту, b — ширина колеса.

Действительная подача определяется за вычетом утечки между зубьями, которая учитывается объемным коэффициентом насоса:

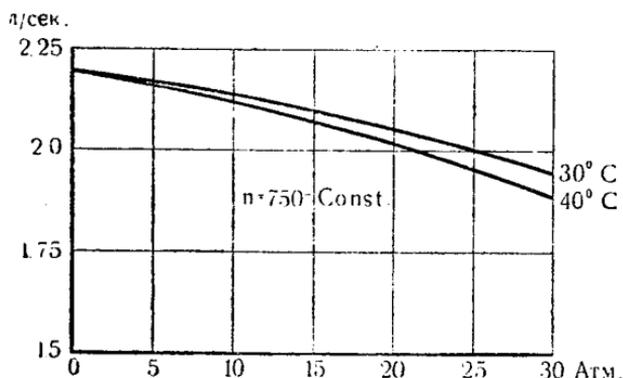
$$\eta = \frac{Q}{Q_T},$$

где Q — действительная подача.

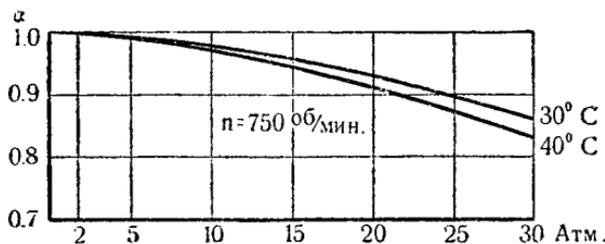
Испытания зубчатых насосов дают сравнительно высокие значения коэффициентов заполнения при перекачке масел.

На фиг. 86 дана характеристика зубчатого насоса, который имел размеры: ширина колес $b = 50$ мм, число оборотов в минуту $n = 750$, ведущее колесо — 36 зубьев, ведомое — 24, внешний радиус $r_1 = 48$ мм, $r_2 = 32$ мм, теоретический расход насоса $Q_r = 2,34$ л/сек.

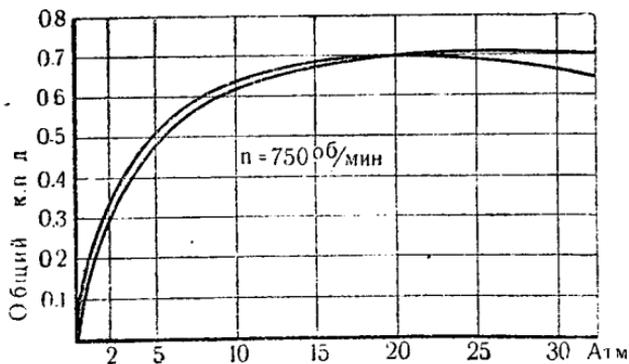
На фиг. 87 дана кривая изменения объемного коэффициента, а на фиг. 88 — общего к. п. д. в зависимости от напора для этого же насоса. Эти характеристики получены при перекачке масла к сервомотору регулятора гидротурбины.



Фиг. 86. Характеристика зубчатого насоса Неймер.



Фиг. 87. Характеристика объемного коэффициента α зубчатого насоса в зависимости от напора.



Фиг. 88. Характеристика общего к. п. д. в зависимости от напора.

У нас впервые было произведено испытание колесчатого насоса в работе с роторным ветродвигателем, изготовленным в б. ЦВЭИ (фиг. 89).

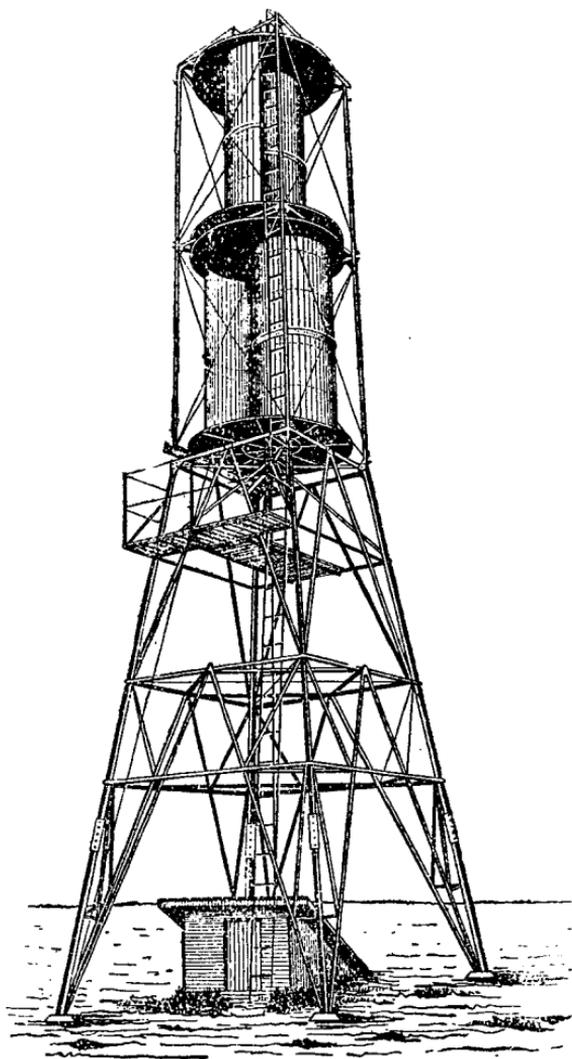
Подробный отчет об испытании этого насоса дан в статье ниже.

В. П. Папкратова (журнал ВИМ №3 за 1937 г.).

Здесь мы помещаем совмещенные характеристики ротора и насоса, построенные на основании данных испытания (фиг. 90), а общий к. п. д. насоса дан на фиг. 91. Колесчатый насос построен мастером Соловьевым. Общий вид насоса со снятой крышкой показан на фиг. 92. Корпус отлит из чугуна; толщина стенок $\delta = 8$ мм. диаметр зубчатых колес по внешней линии $d = 105$ мм, ширина колес — $b = 95$ мм, число зубьев $Z = 6$, материал — бронза. Испытание проведено лабораторией ветроиспользования на полигоне ВИМ.

Из характеристики видим, что мощность колесчатого насоса изменяется по некоторой кривой с выпуклостью вниз, что является более благоприятным фактором в сравнении с характеристикой поршневого насоса.

Эти насосы, будучи просты по конструкции (нет клапанов и манжет), все-таки в эксплуатации для перекачки воды являются неудобными: они требуют весьма чистой воды, ибо присутствие песка сильно изнашивает зубчатые колеса и стенки кожуха.



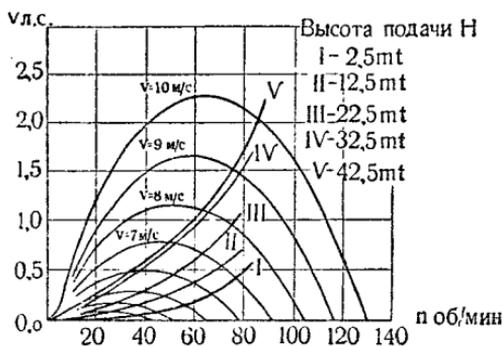
Фиг. 89. Роторный ветродвигатель системы Савоинуса конструкции ЦВЭИ F-13, испытанный с колесчатым насосом.

В. РАБОТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ С СЕЛЬХОЗМАШИНАМИ

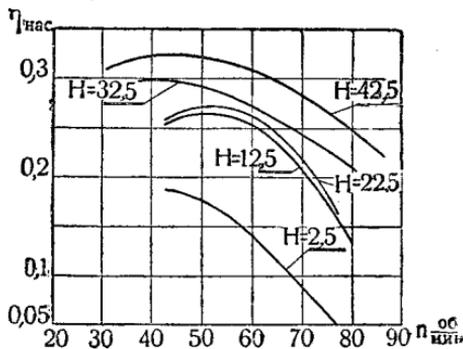
Изучение работы ветродвигателя с сельхозмашинами у нас впервые начали проводить в лаборатории ветроиспользования ВИМЭ в конце 1936 г. До этого же данному вопросу уделялось очень мало

внимания. Объясняется это тем, что заводское производство ветродвигателей и применение их в сельском хозяйстве является делом еще очень новым.

Между тем работа ветродвигателя с рядом с.-х. машин при комплексном использовании ветровой энергии в сельском хозяйстве может быть



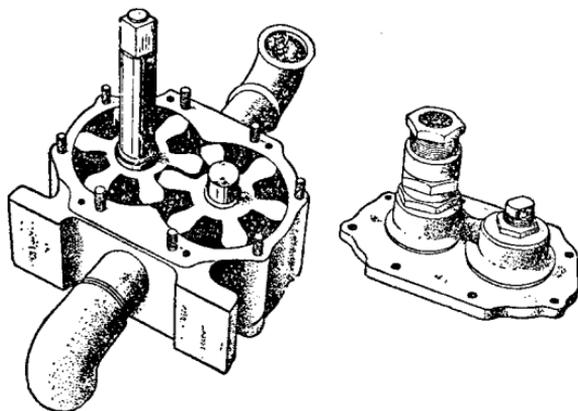
Фиг. 90. Совмещенная характеристика роторного ветродвигателя ЦВЭИ F-13 и коловратного насоса.



Фиг. 91. Общий к. п. д. коловратного насоса, полученный при испытании его с роторным ветродвигателем ЦВЭИ F-13.

весьма выгодной. Переработка кормов, размол зерна и т. п. дают удобный график нагрузки для ветродвигателя. Он позволяет легко комбинировать работу ветродвигателя на сельхозмашины и на поршневой насос по подъему питьевой воды в хозяйстве.

Кроме того, как вода, так и перерабатываемый материал позволяют аккумулировать ветровую энергию без специальных аккумуляторов.



Фиг. 92. Общий вид коловратного насоса, изготовленного мастером Соловьевым.

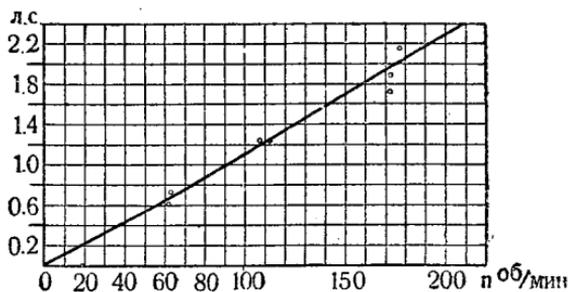
провел одну работу по получению характеристик соломорезки системы «Галиаф» в зависимости от числа оборотов (фиг. 93).

Посмотрим, как будет совпадать характеристика потребляемой мощности соломорезкой с характеристикой мощности ветродвигателя ВД-8 м.

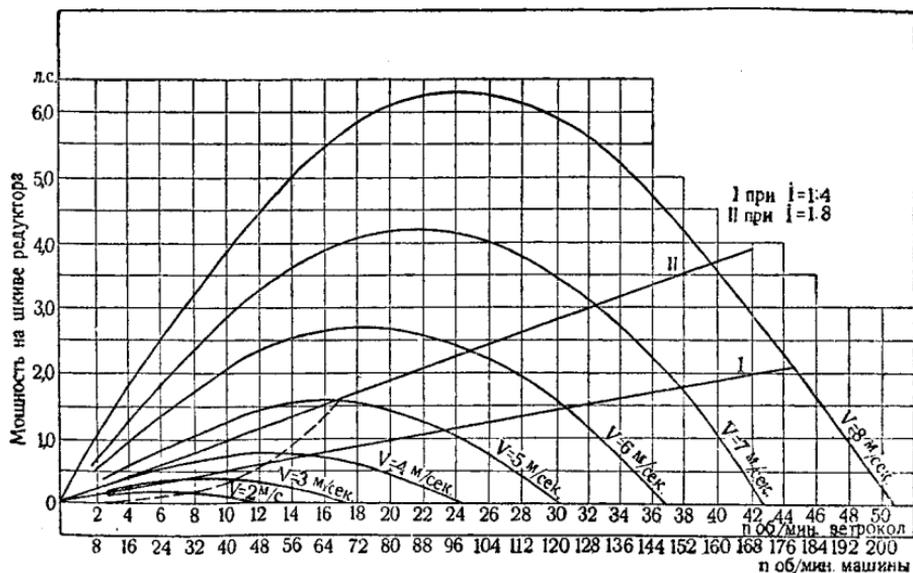
Что же касается характеристик работы сельхозмашины с ветродвигателем, то говорить о них сейчас приходится очень мало, так как эксперимент, проводившийся до сих пор с этими машинами, не ставил себе задачей получение характеристик в зависимости от числа оборотов. Только в 1936 г. по заданию лаборатории ветроиспользования ВИМЭ и под ее руководством МИМЭССХ

Приимая передаточное отношение оборотов ветроколеса к оборотам вала машины равным $1 : 4$ и наложив характеристику потребляемой мощности соломорезкой на характеристику мощности ВД-8 м, получим график, показанный на фиг. 93а (см. луч I). Здесь мы имеем такую же невыгодную характеристику ветросилового агрегата, как и при работе ветродвигателя с поршневым насосом, а именно: ветродвигатель может с $\xi_{\text{макс.}}$ работать лишь при скорости ветра $v = 4$ м/сек., а на скоростях ветра выше 5 м/сек. он работает на малых значениях коэффициентов использования энергии ветра. Однако, если для повышения эффективности ветронасосного агрегата, работающего с поршневым насосом, требуется сложной конструкции механизм, то в данном случае никакого механизма не требуется, чтобы изменить характеристику в лучшую сторону.

Так как загрузка перерабатываемого материала у соломорезки производится вручную, то при малых скоростях ветра можно подавать



Фиг. 93. Характеристика мощности соломорезки «Голиаф» в зависимости от числа оборотов.

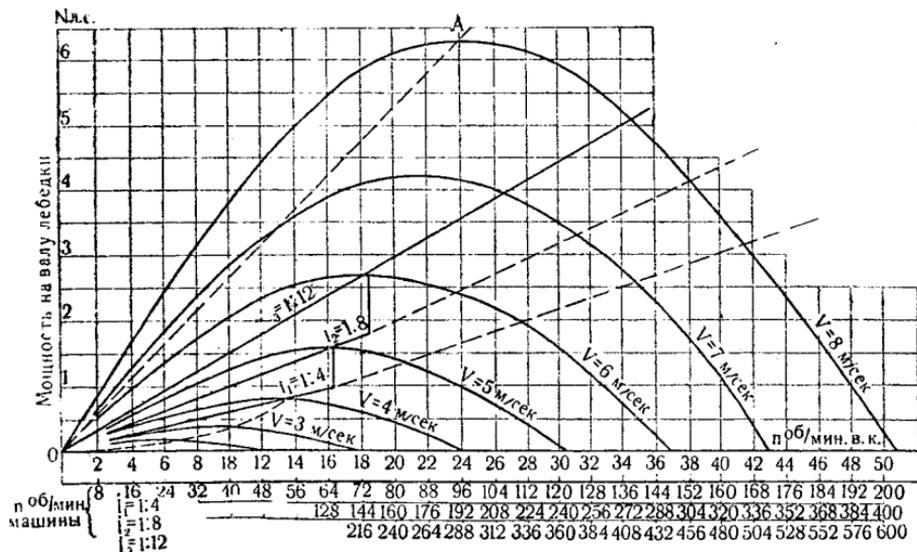


Фиг. 93а. Совмещенная характеристика соломорезки «Голиаф» и ветродвигателя ВД-8 м.

меньшее количество соломы, при этом уменьшится загрузка соломорезки и, следовательно, ветродвигатель будет в состоянии работать. По мере увеличения скорости ветра, нагрузку можно увеличить. Та-

ким образом, на диапазоне скорости ветра от 3 до 5 м/сек. мы получим характеристику машины, проходящую через точки максимальных мощностей ветродвигателя. Этот участок характеристики на фиг. 93а отмечен пунктирной кривой, а далее соломорезка будет работать по лучу II, который проведен условно при передаточном отношении $i = 1 : 8$.

Отсюда следует, чтобы направить характеристику по наиболее выгодному направлению и на больших скоростях ветра, необходимо изменить передаточное отношение агрегата с целью соответственного повышения числа оборотов машины, а имея несколько передаточных отношений, например: 1 : 4, 1 : 6 и 1 : 12, можно получить характеристику мощности машины, проходящую через максимумы мощностей ветродвигателя. При этом характеристика получит вид ступенчатой кривой, как показано на фиг. 94.



Фиг. 94. Совмещенная характеристика соломорезки и ветродвигателя ВД-8 м с разными передаточными отношениями оборотов ветроколеса к оборотам машины.

За неимением характеристик других с.-х. машин мы не сможем провести анализ их работы с ветродвигателем. Однако заметим, что рабочие характеристики корнерезки, пилы, жмыходробилки мельничного цостава и т. п., очевидно, должны иметь приблизительно такой же вид, какой они имеют у соломорезки.

Вообще же характеристики этих машин не могут подчиняться какому-то определенному закону, как это мы наблюдаем при анализе работы ветродвигателя с насосами. Объясняется это тем, что основные параметры — число оборотов n и производительность Q , характеризующие работу подобных машин не так строго связаны друг с другом, как например обороты насоса n и его производительность Q .

У большинства этих машин подача перерабатываемого материала осуществляется вручную. Поэтому естественно соответствие производительности с двигателем данной мощности будет нарушаться.

Другим фактором, нарушающим определенную закономерность характеристики с.-х. машины являются сами рабочие органы, производящие переработку материала: у соломорезки — ножи, у постава — камень с желобами и т. д. рабочие органы срабатываются, а вместе с этим изменяется и качество работы, а главное, возрастает потребная мощность.

Например, мощность, затрачиваемая на работу соломорезкой «Голиаф» за 8 часов работы, возрастает вдвое. С острыми ножами потребляемая мощность составляла 0,8 л. с., а в конце восьмого часа возросла до 1,6 л. с. при одной и той же производительности.

Это — чрезвычайно важный фактор в рабочей характеристике подобных с.-х. машин.

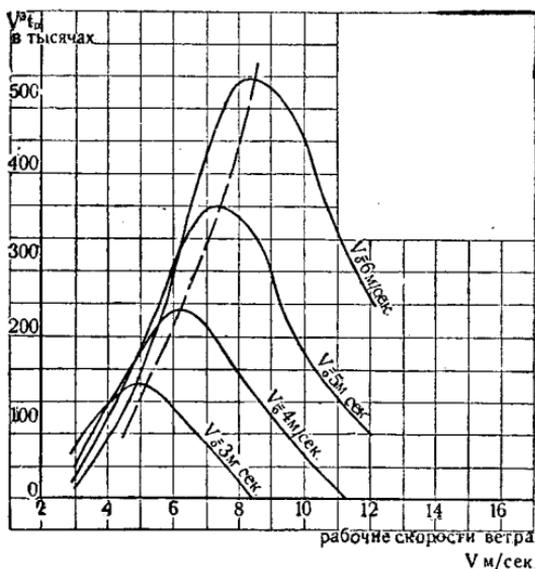
Подбор с.-х. машин к ветродвигателю

Исходными данными при подборе с.-х. машины к ветродвигателю являются мощность машины N_n и ее число оборотов n_n .

Основным моментом при решении этой задачи является правильный выбор передаточного отношения оборотов шкива машины к оборотам ветроколеса.

Рассчитывать на практическое осуществление разных передаточных отношений с целью получения характеристики, проходящей через вершины кривых мощности ветродвигателя (см. фиг. 94) не приходится, так как не только производственно, но и конструктивно вопрос автоматического действующих разных передач машины еще не решен. Поэтому необходимо подбирать передаточное отношение то, при котором машина может дать наибольшую выработку при разных оборотах, но при постоянном передаточном отношении.

По каталожным данным нам известны нормальная мощность машины и ее число оборотов. Допустим, что мы присоединили бы к ветродвигателю машину, каталожная мощность которой равна максимальной мощности ветродвигателя, исчисляемой при скорости ветра 8 м/сек. В этом случае характеристика машины пошла бы так, как показано на фиг. 94 пунктирной линией А, которая пересекает кривые мощности ветродвигателя лишь при скоростях ветра 7 и 8 м/сек. Следовательно при меньших скоростях ветра, которые наиболее часто повторяются,



Фиг. 95. График для определения скорости ветра, при которой может быть максимальная годовая выработка ветродвигателя.

ветродвигатель работать не сможет и в результате даст за год малую выработку.

Нормальная мощность машины должна соответствовать той мощности ветродвигателя, при которой он даст наибольшее количество работы в течение года. Так как основной величиной, определяющей количество работы ветродвигателя, является скорость ветра, то необходимо установить, при какой скорости ветра получается максимальная годовая выработка двигателя. На фиг. 95 дан график изменения основного выражения $v^3 t_p$, входящего в уравнение годовой выработки двигателя в зависимости от v для разных среднегодовых скоростей ветра. Пунктирная кривая проведена через точки максимума выработки. Из этого графика находим максимум выработки при следующих скоростях ветра.

При среднегодовой $v_0 = 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6$ м/сек.
Получается максимум выработки
при $v = 5,0 \quad 6,0 \quad 7,5 \quad 8,5$ »

Рассмотрение этих цифр раскрывает следующее обстоятельство: максимум выработки получается при скорости ветра, которая приблизительно на 50% выше среднегодовой, т. е. $v = 1,5 v_0$.

Следовательно, нормальная мощность машины не должна превосходить мощности ветродвигателя, которую он развивает при скорости ветра $v = 1,5 v_0$.

В таблице 1 приведены мощности ветродвигателей ВИМ Д-5; ВД-8 м и ВИМ Д-12 на валу ветроколеса для скоростей ветра, при которых получается максимальная выработка в зависимости от среднегодовой скорости ветра. В этой же таблице даны те нормальные мощности рабочих машин, при которых они могут дать наибольшую годовую выработку при данной скорости ветра. Для определения передаточного отношения оборотов машины к оборотам ветроколеса даны числа оборотов каждого ветродвигателя соответственно его мощности.

Таблица 1

Мощности ветродвигателей и с.-х. машин в зависимости от среднегодовых и рабочих скоростей ветра, при которых получается максимальная выработка

Название параметров	Среднегодовые скорости ветра v_0 м/сек.			
	3	4	5	6
	Рабочие скорости ветра v м/сек.			
	4,5	6	7,5	8
ВИМ Д-5 м, быстроходный				
Мощность на валу ветроколеса N_v л. с.	0,5	1,2	2,2	2,7
Мощность машины, которая соответствует данной мощности ветродвигателя N_m л. с.	0,32	0,78	1,5	1,75
Число оборотов ветроколеса n_v об/мин.	130	150	190	200
ВД-8 м, тихоходный				
Мощность ветродвигателя N_v л. с. . .	1,2	3,0	5,8	7,0
Мощность с.-х. машин N_m л. с.	0,78	2,0	3,8	4,5
Число оборотов ветроколеса n_v об/мин.	16	18	22	25

Название параметров	Среднегодовые скорости ветра v_0 м/сек.			
	3	4	5	6
	Рабочие скорости ветра v м/сек.			
	4,5	6	7,5	8

ВИМ Д-12 м, быстроходный

Мощность ветродвигателя $N_в$ л. с. . . .	2,5	6,1	12,0	14,5
Мощность с.-х. машины $N_м$ л. с. . . .	1,6	4,0	7,8	9,5
Число оборотов ветроколеса $n_в$ об/мин.	40	50	60	60

Примечание. Мощность с.-х. машин определена по уравнению:

$$N_м = N_в \cdot \eta,$$

где $N_в$ — мощность на валу ветроколеса, $\eta = 0,65$ — механический к. п. д.

Приведенная таблица позволяет установить, с каким ветродвигателем будет выгодна работа той или иной с.-х. машины, если известна ее нормальная мощность, и определить передаточное отношение оборотов ветроколеса к оборотам машины, если последние также известны.

Например, определить, с каким ветродвигателем наиболее выгодно будет работать приводная корнерезка завода «Красный металлист», мощность которой равна $N_n = 0,75$ л. с. при $n_n = 80$ об/мин., и определить передаточное отношение оборотов ветроколеса к оборотам машины.

Обращаясь к таблице 1, находим, что эта машина может работать в районе со среднегодовой скоростью ветра $v_0 = 4$ м/сек. с ветродвигателем ВИМ Д-5 м, причем передаточное отношение оборотов ветроколеса к оборотам машины равно

$$i = \frac{n_в}{n_n} = \frac{150}{80} = 1,9.$$

В районе со среднегодовой скоростью ветра $v_0 = 3$ м/сек. эту машину к ВИМ Д-5 м присоединять нецелесообразно: она будет работать малое количество часов в году. Более выгодно будет при $v_0 = 3$ м/сек. эту машину присоединить к ВД-8 м. Передаточное отношение в этом случае должно быть.

$$i = \frac{n_в}{n_n} = \frac{16}{80} = 0,2.$$

Второй пример. Определить, какой ветродвигатель будет полностью загружен жмыходробилкой, нормальная мощность которой равна 5 л. с. (завода «Красный металлист» в Витебске). Обращаясь к таблице 1, находим, что эта мощность соответствует мощности ветродвигателя ВД-8 м, если он устанавливается в районе со среднегодовой скоростью ветра v_0 , равной от 5 до 6 м/сек. Эта же машина может давать полную загрузку и ветродвигателю ВИМ Д-12, установленному в районе со среднегодовой скоростью ветра $v_0 = 4$ м/сек. При работе ветродвигателя одновременно на несколько с.-х. машин необходимо, чтобы их суммарная мощность не превосходила максимальную мощность ветродвигателя при скорости ветра 8 м/сек.

Сельскохозяйственные машины, которые могут работать с ветродвигателями ВД-8 и ВИМ Д-12

Название с.-х. машин	Завод-изготовитель	Средняя мощность в л. с. N	Число оборотов в мин. вала маш.	Средне-часовая пропиз. к/час	Двигатель шестня на валу машины в мм D	Расход энергии на 1 т перераб. материала в л. с.	С каими ветродвигателями может работать машина	При какой среднегодовой скорости ветра % м/сек.	Какие можно отпращивать ветродвигателям
Соломорезка «Голлаф»	«Гомсельмаш» Шевченко, ст. Софиевка	4,5	150—200	1000	500	—	ВД-8 ВД-12	5 и выше 4 и выше	0,11 0,25
Соломорезка «С»	—	2,0	190	500	400	—	ВД-8 ВД-12	4 и выше 3 и выше	0,105 0,22
Приводная корнерезка	«Красный металлист»	0,75—1,0	80	2500—5000	400	—	ВД-8 ВД-12	3 и выше 3 и выше	0,20 0,50
Жмыхоробилка	То же	5,0	200	480	400	—	ВД-8 ВД-12	5 и выше 4 и выше	0,11 0,25
Зернодробилка	Шевченко	4,0	400	200—750	—	—	ВД-8 ВД-12	5 и выше 4 и выше	0,055 0,125
Картофелемойка	«Гомсельмаш»	1,0	30	1000	—	—	ВД-8 ВД-12	3 и выше 3 и выше	0,5 1,5
Мотопилка для конопли системы Титона	Легровский, ст. Средняя, Зап. ж. д.	4—5	450—500	1000	—	—	ВД-8 ВД-12	5 и выше 4 и выше	0,05 0,11
Триер (кл. XV, № 3)	«Красная звезда», Кировский завод	0,1	—	400	—	—	Любой	3 и выше	—
Связывочная горка (сортировка)	«Красный пахарь», Киев	0,1	80	300	—	—	То же	То же	—
Горизонтальная смесительная машина для кормов системы ВИМЭ	—	1,0	80	4500	700	—	ВД-8 ВД-12	3 и выше То же	0,20 0,50
Мельничные поставы:									
Диаметр жернова D = 710 мм	—	2—3	260	200	—	—	ВД-8	4 и выше	0,082
» D = 885 мм	—	5—7	210	300	—	—	ВИМ Д-12	4 и выше	0,288
» D = 1 065 мм	—	7,5—9	170	400	—	—	ВИМ Д-12	5 и выше	0,35
» D = 1 240 мм	—	9—12	150	600	—	—	ВИМ Д-12	6 и выше	0,40

Примечание. Таблица составлена по каталогу «Азербайджанский ветроуловитель», издание 1936 г., за исключением мельничных поставов. Этот список машин можно продлить теми машинами, которые не ухудшают качества перерабатываемой продукции при переменных числах оборотов. При этом необходимо при подборе мощности машины и передаточного отношения руководствоваться таблицей 1 мощностей ветродвигателей при разных среднегодовых скоростях ветра.

Из вышеизложенного вытекает один чрезвычайно важный момент. При подборе мощности машины к ветродвигателю необходимо обращать внимание не только на тип ветродвигателя, но и на ту среднегодовую скорость ветра, при которой ему придется работать. Одна и та же машина при разных среднегодовых скоростях ветра требует разных размеров ветродвигателей.

В заключение этого раздела приводим таблицу 2 нескольких с.-х. машин, с которыми могут работать ветродвигатели ВД-8 и ВИМ Д-12 м.

VI. ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ

1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКЕ

Водохранилище при ветронасосной установке является самым дешевым аккумулятором ветровой энергии. При правильном учете ветровых ресурсов данного района, суточного расхода воды в хозяйстве или графика нагрузки и соответствующей ему мощности ветродвигателя можно добиться полной загрузки работой ветродвигателя в течение всего года и почти полностью обеспечить хозяйство водой за счет энергии ветра. При этом число часов его работы будет достигать величин, приведенных в таблице 2 (см. главу III), где число часов подсчитано для разных среднегодовых скоростей ветра v_0 , показанных в верхней горизонтальной строке.

Кроме того, необходимость в баке для запасаания воды при ветронасосной установке вызывается и другими обстоятельствами, имеющими отношение непосредственно к ветродвигателю.

При отсутствии бака для воды ветродвигатель необходимо запускать и останавливать каждый раз, когда кто-либо берет воду. Однако в сельских условиях не всякий потребитель с этим делом может справиться. Поэтому часто оставляют ветряк работающим независимо от того, берут воду или нет.

При этом поднимаемая вода выливается тут же вблизи башни. Вследствие этого кругом образуются лужи и грязь. Такая работа ветродвигателя вредна, ибо кроме луж и грязи, создающих антисанитарные условия, изнашивается совершенно напрасно рабочий механизм двигателя. Если же каждый раз останавливать и запускать ветродвигатель при получении воды потребителями, то, во-первых, необходимо держать постоянного человека на этом деле безотлучно, и, во-вторых, частый пуск и остановка ветродвигателя ускоряет износ механизма останова и расстраивает четкость его работы.

2. ПРИМЕРЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ ВОДОХРАНИЛИЩ ПРИ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ

Водохранилища на местах обычно строятся силами колхозов и совхозов. Однако встречаются водохранилища и усовершенствованного типа, построенные местными мелиоративными организациями. Емкость этих водохранилищ весьма незначительна, в лучшем случае равна суточному расходу воды и то лишь тех, которые построены мелиора-

тивными организациями. Основным недостатком большинства баков кустарного изготовления является непригодность их к правильной эксплуатации ветронасосной установки: не утеплены, текут и малоемки. На фиг. 96 дан общий вид ветронасосной установки в колхозе им. Ворошилова, село Лески Черкасского района, Киевской области. Бак из 2-дюймовых досок построен силами колхоза.

Емкость	19,5 м ³	Толщина досок	50 мм
Высота	2,9 м	Ширина досок	174 мм
Диаметр вверху	2,76 м	Толщина днища	60 мм
Диаметр внизу	3,04 м		

Размеры полосового железа для обручей:

Ширина полос	42 мм
Толщина полос	6 мм

На фиг. 97 показана ветронасосная установка в колхозе «Новый мир» Ружинского района, Киевской области, с ветродвигателем

Д-3 м. «Аэромотор» с водохранилищем на 20 м³. Металлический бак цилиндрической формы около 2,5 м в диаметре и около 2,8 м высоты с целью утепления замурован в кирпичную кладку на высоте 2 метров.

В Одесской области встречаются весьма хорошие железобетонные водохранилища с утеплением из каменной кладки, построенные местными мелиоративными организациями.

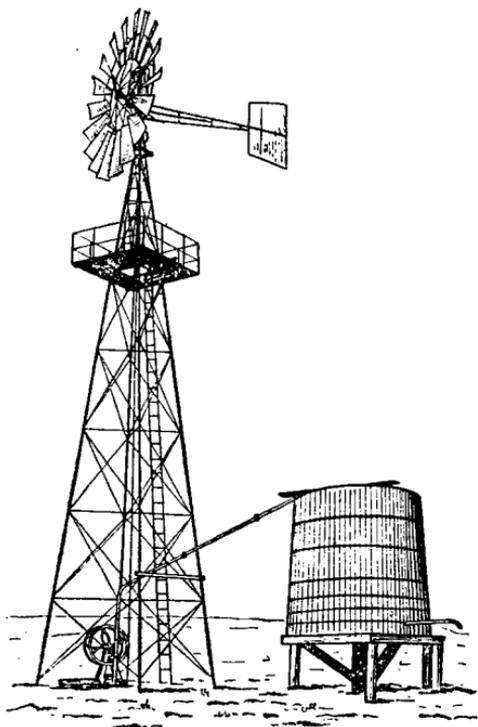
На фиг. 98 дан общий вид ветронасосной установки с одним из таких баков на 20 м³, построенный в 1927 г. в совхозе Варваринского района, Одесской области.

На фиг. 99 дан чертеж железобетонного бака емкостью на 30 м³, спроектированный Одесской областной гидромелиоративной копторой.

Нужно заметить, что железобетонные баки отличаются значительной долговечностью, однако не всякое хозяйство может их построить, так как такие баки требуют для постройки специа-

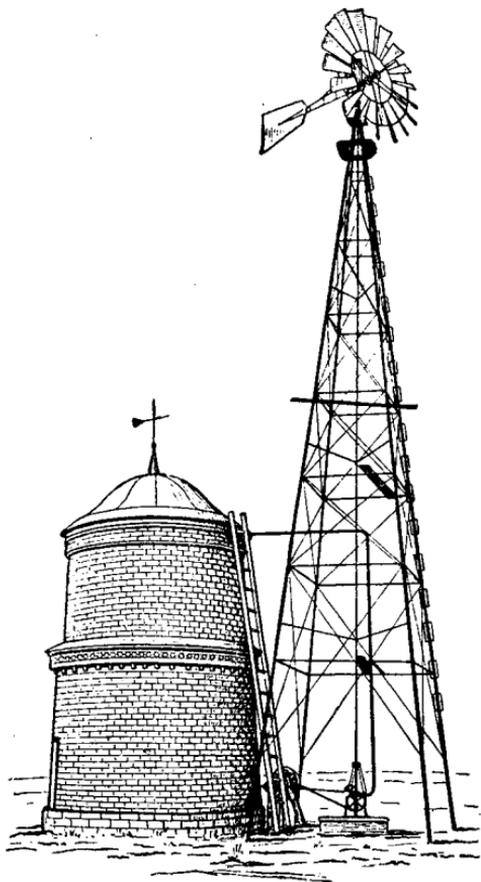
листов по железобетону, а также дефицитных материалов — цемента и круглого железа в большом количестве. Например, на бак в 30 кубометров требуется цемента около 8 т и железа около 600 кг.

В тех случаях, когда желают воду подвести к точкам потребления, расположенным на некоторой высоте, бак для запасаания воды устанавли-

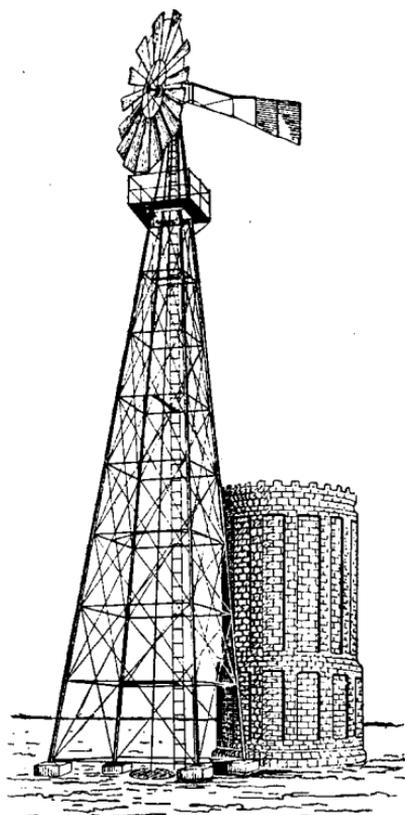


Фиг. 96. Ветронасосная установка с водохранилищем деревянной конструкции на 19,5 м³ в колхозе им. Ворошилова Черкасского района.

ливают на вышке, называемой водонапорной башней. Отсюда вода по распределительной сети трубопроводов подается под напором к точкам потребления. В сельских условиях наиболее доступны к изготовлению водонапорные башни из дерева. Высота этих башен берется



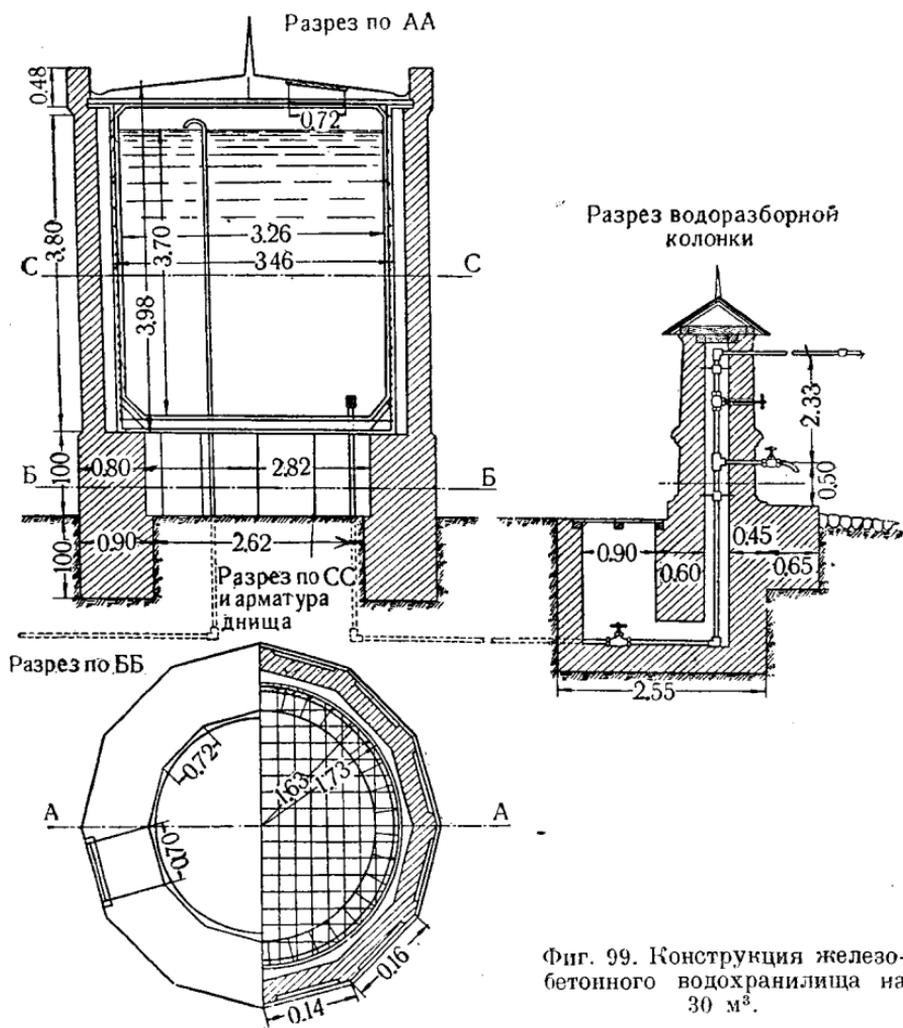
Фиг. 97. Ветронасосная установка с водохранилищем на 20 м³.



Фиг. 98. Ветронасосная установка с водохранилищем на 20 м³ (железобетонная конструкция) с отоплением из каменной кладки.

в зависимости от потерь напора в трубопроводах распределительной сети и высоты расположения точек потребления. В сельских условиях дома имеют 1 этаж и в редких случаях 2 этажа, следовательно наиболее высокая точка, где может происходить разбор воды, не будет превышать 8 м. Поэтому водонапорные башни для колхозов и совхозов обычно строят высотой не более 8—10 м, если общая длина распределительной сети не велика. На фиг. 100 и 101 дан чертеж водонапорной башни деревянной конструкции с баком емкостью 50 кубометров. Проект изготовлен Саратовской краевой конторой «Мелниогидростроя». Диаметр бака 4,8 м, общая высота — 3,08 м.

Бак помещен в будку, которая предохраняет в нем воду от замерзания. Конструкция будки представляет правильный шестигранный каркас из бревенчатых стоек, обшитых с двух сторон тесом. Между



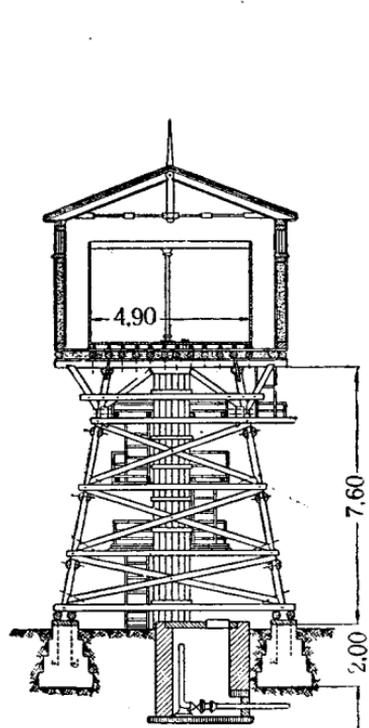
Фиг. 99. Конструкция железобетонного водохранилища на 30 м³.

стенками обшивы засыпан утепляющий слой из опилок или другого дешевого утепляющего материала.

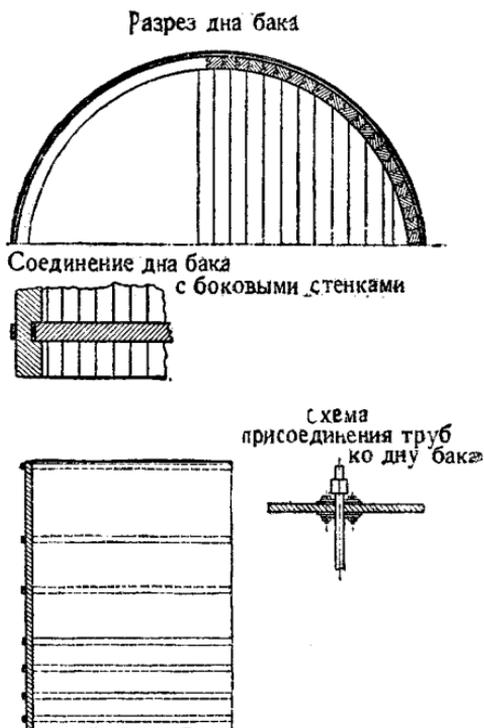
Водонапорная башня подобной конструкции (фиг. 102) построена в колхозе «Большевик» Н.-Титоровского района, Ростовской области, при ветродвигателе ВД-5 м. Емкость бака 25 м³, при суточном расходе воды 15 м³. Это одно из наиболее удачных водохранилищ деревянной конструкции, встретившихся при обследовании ветроустановок в 1936 г.

3. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ПО ПРОЕКТАМ ЛАБОРАТОРИИ ВЕТРОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИМЭ

Лаборатория ветроиспользования ВИМЭ для ветродвигателей ВД-5 м и ВД-8 м запроектировала две конструкции водохранилищ с таким расчетом, чтобы их могли строить колхозы и совхозы из местных



Фиг. 100. Водонапорная башня. деревянной конструкции на 50 м³.



Фиг. 101. Детали водонапорной башни из фиг. 100.

материалов и своими силами. Конструкции этих водохранилищ разработаны по техническим заданиям лаборатории ветроиспользования инженером В. М. Машковым. Ниже приводится описание этих водохранилищ с приложением рабочих чертежей.

а) Водонапорная башня емкостью на 20 м³

Конструкция этой водонапорной башни (фиг. 103) построена целиком из дерева, металл применен лишь в виде болтов, скоб, гвоздей и круглого железа для крепления узлов сооружения:

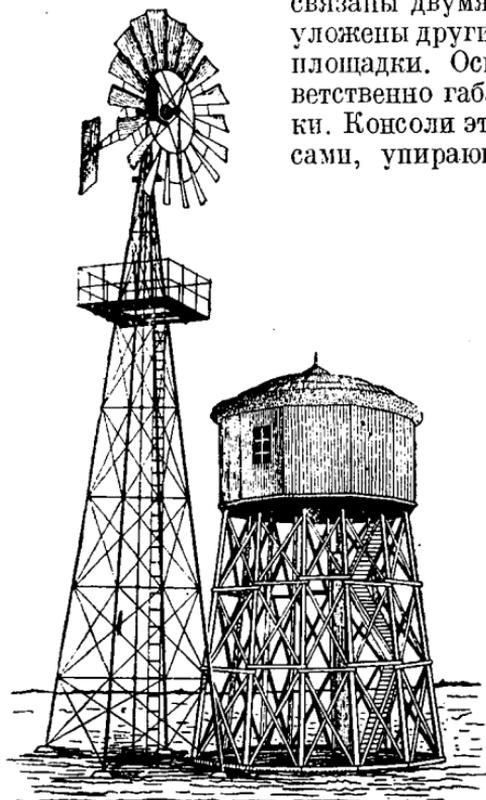
Деревянный цилиндрический бак с внутренним диаметром сверху и внизу 3,7 м, общей высотой 2,2 м и высотой наполнения 1,85 м составлен из 2-дюймовых досок и стянут железными обручами из круглого железа $d = 16$ мм. Общий вид конструкции цилиндрического бака показан на фиг. 104, а на фиг. 105 показан вариант такой же емкости бака конической формы с набивными обручами.

С целью предохранения воды от замерзания бак помещен в будку каркасной конструкции с двойной обшивкой, между которой засыпан утеплитель из опилок или из других дешевых материалов, обладающих слабой теплопроводностью.

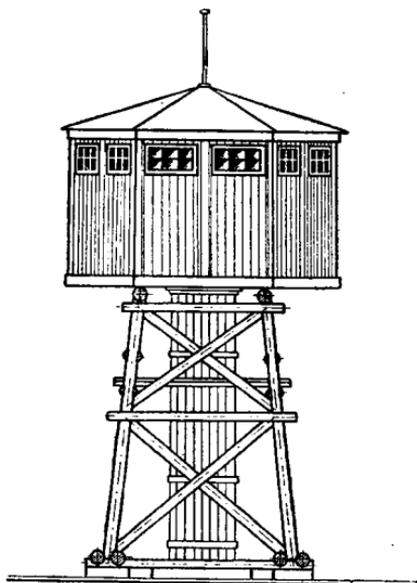
В плане будка имеет правильный шестиугольник (фиг. 106), что обуславливает малую ее кубатуру и простоту конструкции. В каждой

стенке будки имеются окна, а в полу в одном из ее углов устроен люк, ведущий в будку с лестницы, закрепленной на башне.

Башня высотой 8 м служит опорой для бака и будки. Башня представляет обычную ферменную конструкцию из круглого леса. Четыре ее ноги расположены в плане по углам квадрата. Вверху ноги башни связаны двумя основными балками, по которым уложены другие балки, поддерживающие настил площадки. Основные балки имеют длину соответственно габаритным размерам основания будки. Консоли этих балок поддерживаются подкосами, упирающимися в ноги башни (фиг. 107).



Фиг. 102. Ветронасосная установка с водонапорной башней на 25 м³.



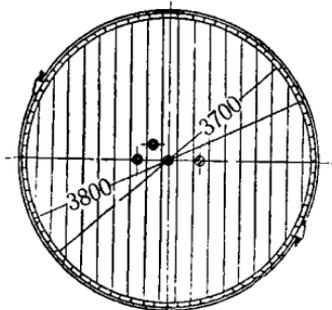
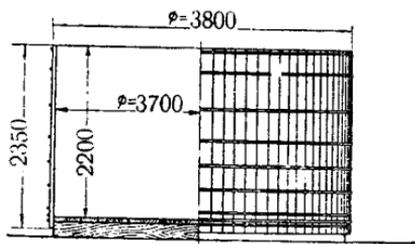
Фиг. 103. Водонапорная башня на 20 м³ деревянной конструкции по проекту лаборатории ветроиспользования ВИМЭ.

Все деревянные элементы основной несущей конструкции соединяются между собой болтами. Внизу ноги башни опираются на фундаменты из бутовых или бетонных массивов и прикреплены к ним анкерными болтами, проходящими сквозь связи, состоящие из двух бревен для каждой пары ног (фиг. 108).

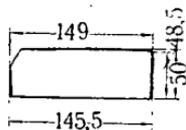
Лестницы и промежуточные площадки настланы на консолях связей.

Верхняя площадка башни имеет досчатый настил и подшивку, между которыми засыпан утепляющий слой, защищающий бак от холода снизу.

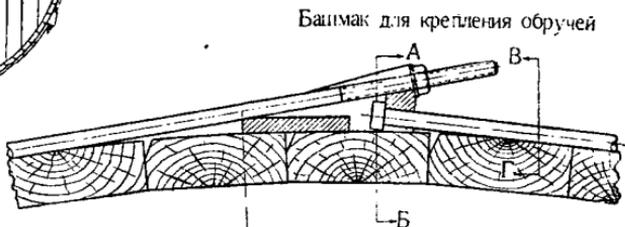
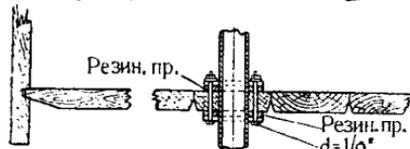
Внутри башни от пола будки до колодца проходит короб, состоящий из каркаса с двойной обшивкой, между которыми помещена утепляющая засыпка. Короб служит для утепления подводящего и отводящего трубопроводов.



Сечение клепок цилиндр. бака



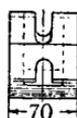
Сопряжение днища со стен. и проп. труб через днища бака



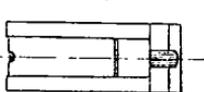
Сеч. по А-В



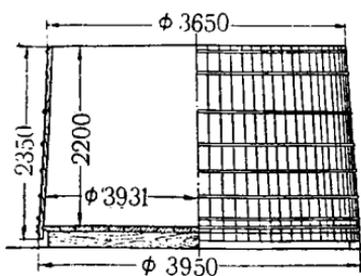
Сеч. по В-Г



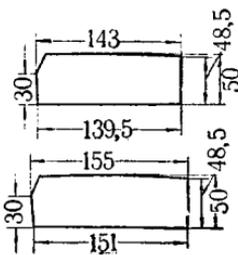
Вид сверху



Фиг. 104. Цилиндрический деревянный бак водонапорной башни, показанной на фиг. 103 и его детали.



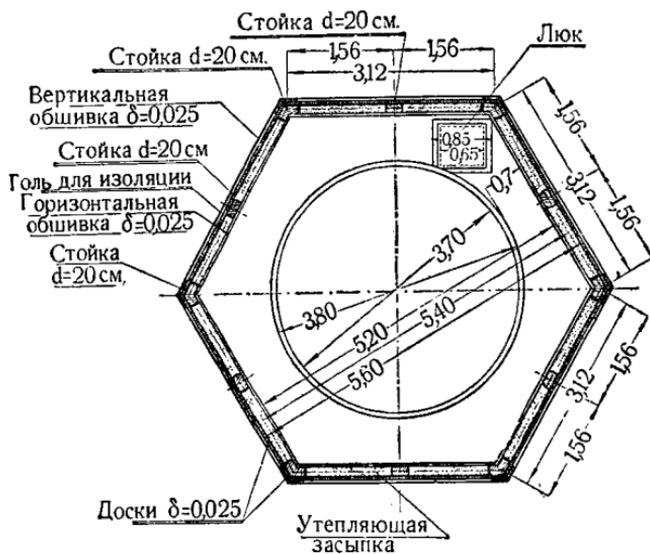
Сечение клепок кон. бака



Фиг. 105. Конический деревянный бак с набивными обручами на 20 м³.

У основания башни по ее центру устроен бревенчатый колодец, в котором производится монтаж трубопровода и вентиля (фиг. 109).

Размеры и ориентировочное количество материалов для баков данной конструкции разных объемов приведены в таблице 1. К этой таблице дается фиг. 110.



Фиг. 106. План будки водонапорной башни, показанной на фиг. 103.

б) Водохранилище емкостью 50 м³ из каменной кладки

Водохранилище из каменной кладки спроектировано с таким расчетом, чтобы его могли строить сельские хозяйства своими силами из местных материалов с минимальной затратой железа и бетона.

Конструкция бака (фиг. 111) представляет цилиндр с внутренним диаметром, равным 3,75 м, и толщиной каменных стен в 600 мм. Такая толщина стен предусматривает не только прочность бака, но и предохраняет в нем воду от замерзания при морозах до -40°C при температуре поступающей воды $+2^{\circ}\text{C}$, в течение 20 часов ее спокойного стояния. При установке этого водохранилища в северных и северо-восточных районах Союза, где могут быть морозы в -40°C продолжительное время, стенки бака должны быть на зиму утеплены. Для этого на внешних сторонах цилиндра предусмотрены выступы, на которых можно закрепить обшивку, а в промежутки между стенкой бака и обшивкой засыпать или заложить утепляющий материал.

В этом случае вода в баке при морозе в -40° может понизиться до $+1$ лишь за двое суток.

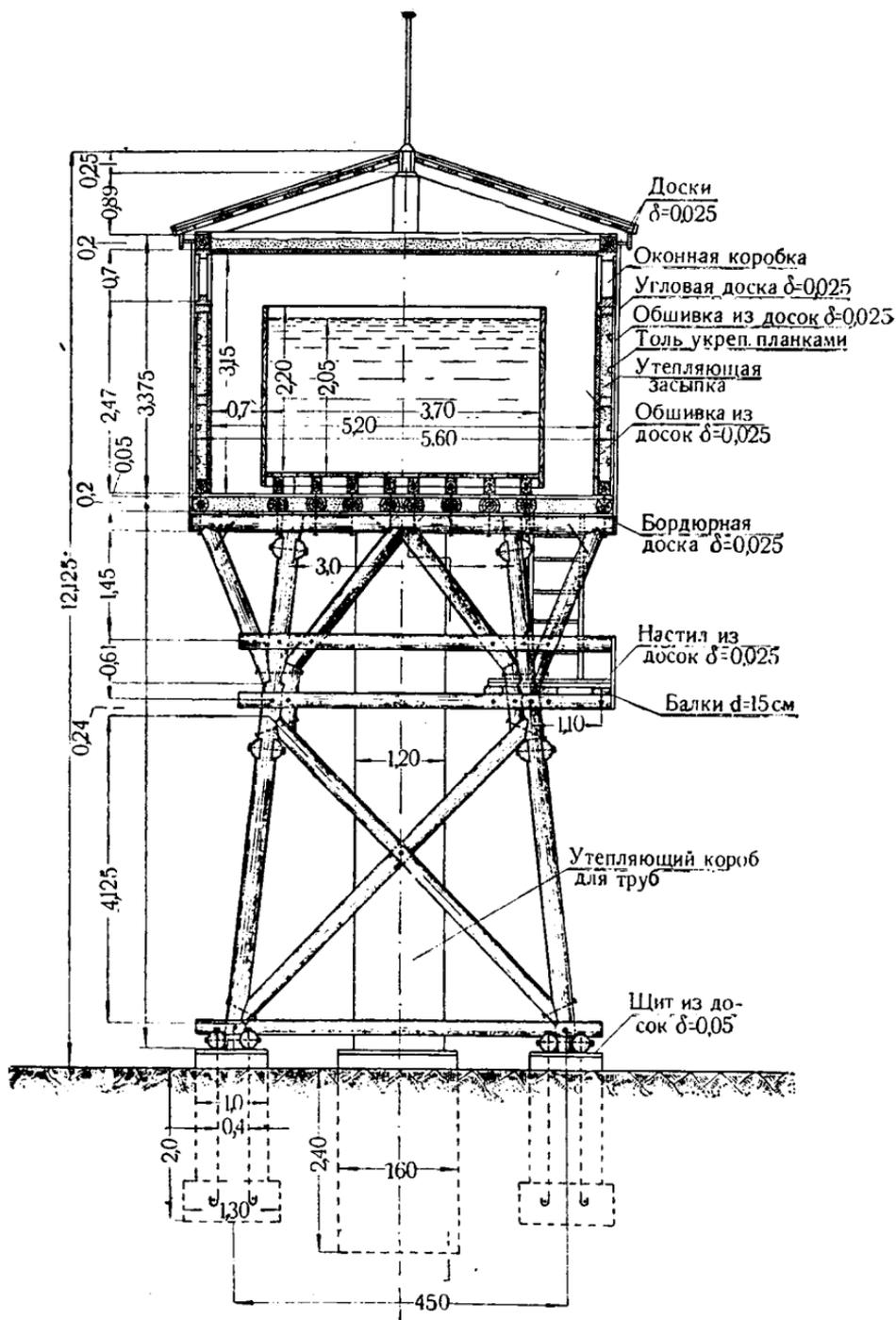
Днище бака является наиболее ответственной частью данного сооружения. Так как под баком предусматривается помещение для монтажа вентиля трубопроводов, то днище бака опирается на фундамент лишь по окружности и несет весь вес налитой в него воды. Каменная кладка

Таблица 1

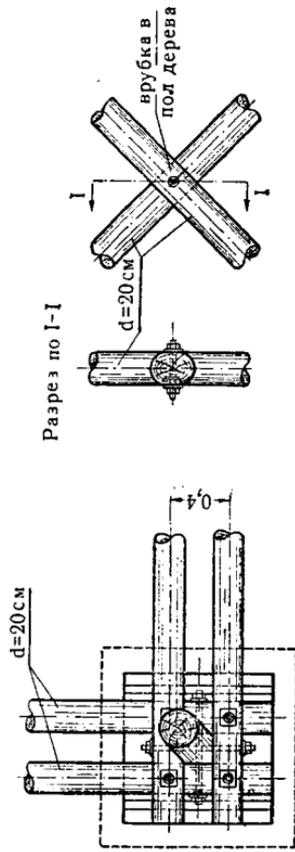
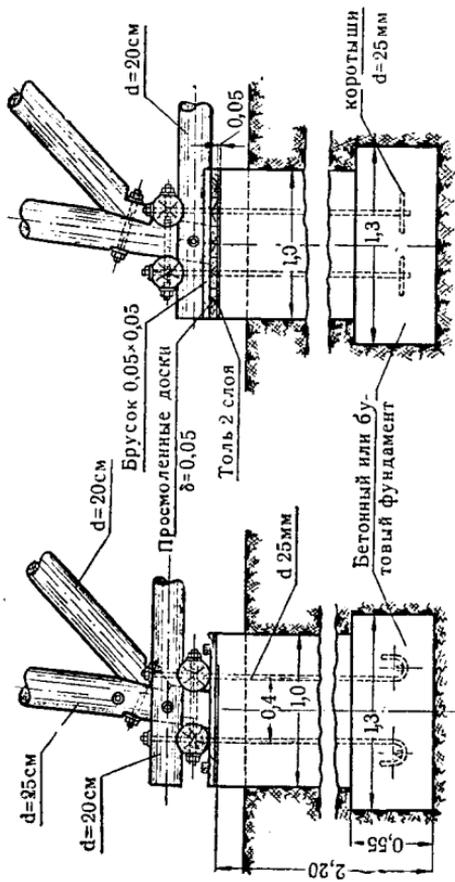
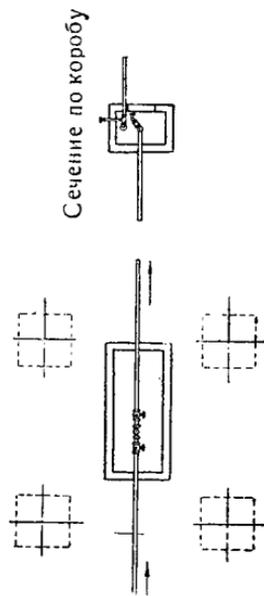
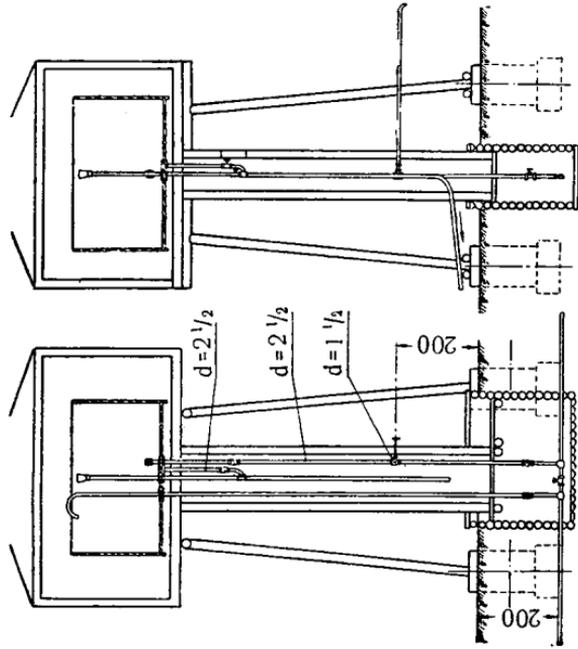
Таблица для определения ориентировочной потребности в материалах для деревянных баков в зависимости от их емкости. Составлена по конструкции водонапорной башни, спроектированной лабораторией ветроиспользования ВИМЭ

Полезный объем м ³	Диаметр в свету D м	Высота подвеса ного объема м	Полная высота бака м	Толщина стенок см	Толщина дна см	Количество обрешечивающих стенок на стенке	Диаметр обрешечивающих мм	Количество доп. вшитых обрешечивающих у дна	Длина полу-обрешечивающих м	Вес обрешечивающих кг	Количество багма-ков	Вес багма-ков кг	Общий вес металла кг	Наружный диаметр бака D _н	Объем дерева в доле м ³	Потреб. объем шло-матер. м ³
10	2,94	1,47	1,82	4,0	4,0	8	42	3	4,94	96,6	22	35,2	131,8	3,02	0,99	1,49
15	3,38	1,69	2,04	4,5	4,5	6	46	2	5,65	142,9	16	44,8	187,7	3,47	1,43	2,15
20	3,70	1,85	2,20	5,0	5,0	7	46	2	6,17	175,5	18	50,4	225,9	3,80	1,83	2,74
25	3,86	2,12	2,47	5,5	5,5	9	46	3	6,43	223,2	22	61,6	284,8	3,97	2,43	3,65
30	4,10	2,26	2,61	6,0	6,0	8	49	2	6,83	305,5	20	70,8	376,3	4,22	2,93	4,40
35	4,34	2,39	2,74	6,0	6,0	9	49	2	7,20	352,5	22	85,8	438,3	4,46	3,27	4,91
40	4,52	2,48	2,83	6,5	6,5	9	49	3	7,50	401,0	24	93,6	494,6	4,65	3,95	5,93
50	4,88	2,68	3,03	7,0	7,0	9	22	2	8,08	530,0	22	116,6	646,6	5,02	4,77	7,16
60	5,18	2,85	3,20	8,0	8,0	10	22	3	8,6	667,0	26	137,8	804,8	5,34	6,09	9,11

Размеры баков к таблице даны на фигуре 410



Фиг. 107. Конструкция деревянной башни к фиг. 103.



Фиг. 108. Фундамент водонапорной башни, показанной на фиг. 103.

Фиг. 109. Оборудование и колодезю основания водонапорной башни для монтажа трубопровода и вентиляций.

сооружения требует куполообразную форму днища, как наиболее стойкую для вертикальных, равномерно распределенных нагрузок.

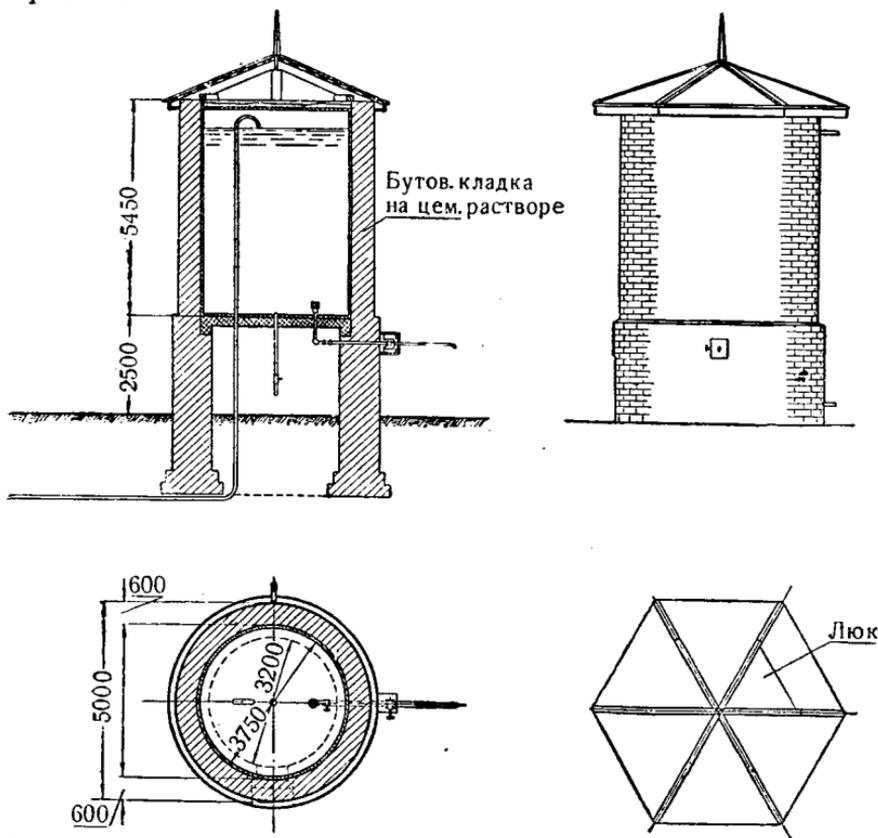
Однако исполнение куполообразного днища требует сферической опалубки и высококвалифицированных каменщиков.

Поэтому в проекте предусмотрено два варианта днищ: одно куполообразной формы, другое плоское из железобетона, что при постройке водохранилища позволит делать выбор конструкции днища в зависимости от наличия на местах специалистов этого дела и имеющихся материалов.

На фиг. 112 показан вариант бака с куполообразным днищем из каменной кладки.

Фиг. 110. Схема бака деревянной конструкции с основными размерами и таблице 1.

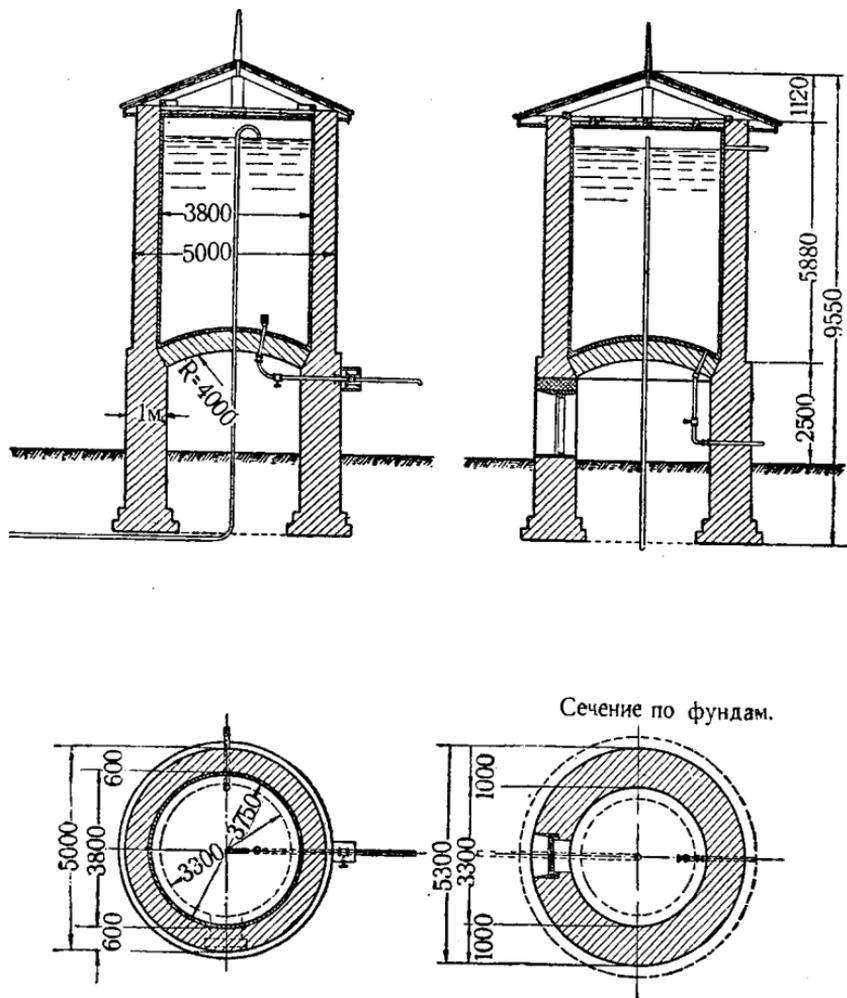
Для водонепроницаемости стенки и днище внутри општукатурены цементным раствором (состав 1 : 2) толщиной слоя 25 мм с железнением поверхности.



Фиг. 111. Водохранилище на 50 м³ из каменной кладки по проекту Лаборатории ветроиспользования ВИМЭ.

Верхнее перекрытие бака с целью предохранения воды от замерзания запроектировано с утеплением.

Серьезным недостатком водохранилищ из каменной кладки без утепления является возможность образования трещин вследствие замерзания просачивающейся воды в толщину стен, после чего бак в короткий



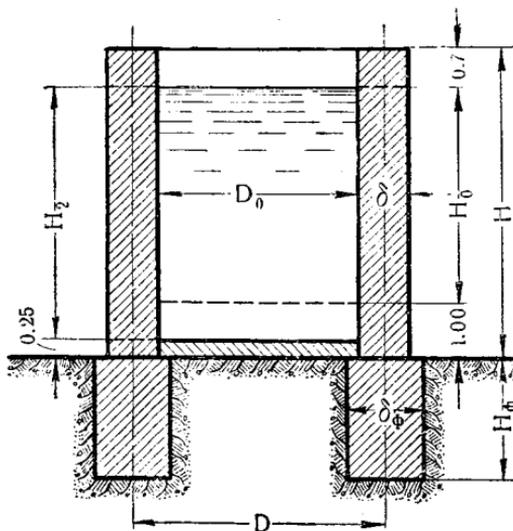
Фиг. 112. Вариант водохранилища из каменной кладки с куполообразным дном.

срок службы может дать течь. Поэтому у этих водохранилищ внутренняя отделка стен цементной штукатуркой должна быть выполнена с особой тщательностью. Как ведут себя такого рода водохранилища в районах, где бывают большие морозы, из практики неизвестно, что не позволяет сейчас дать те или иные сведения об их эксплуатационных качествах.

Размеры водохранилищ такой конструкции на другие емкости приведены в таблице 2.

Размеры водохранилищ из каменной кладки в зависимости от их емкости
(обозначения размеров даны на фиг. 113)

Объем бака м ³ W	Внутр. диаметр м D ₀	Полезная высота H ₀ =1,2D ₀ м	Высота стенок бака H = H ₀ + 1,7 м м	Толщина стенок бака δ м	Средн. диаметр стенок D = D ₀ + δ м	Толщина фундам. δφ = δ + 0,2 м м	Объем кладки м ²
20	2,77	3,32	5,02	0,39	3,16	0,59	32,4
30	3,17	3,80	5,50	0,40	3,57	0,60	38,0
40	3,49	4,18	5,88	0,48	3,97	0,68	52,0
50	3,75	4,5	6,20	0,55	4,30	0,75	66,0
60	4,0	4,8	6,50	0,62	4,82	0,82	82,0
70	4,2	5,03	6,73	0,67	4,87	0,87	96,4



Фиг. 113. Схема водохранилища из каменной кладки с основными размерами к таблице 2.

4. О ВОДОХРАНИЛИЩАХ ПРИ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

В засушливых районах орошение небольших участков зерновых или огородных культур можно производить водою из колодцев или скважин, если они обладают достаточным дебитом воды.

В Киевской области в Черкасском районе имеются скважины, дающие в час до 30 м³.

Каждый из таких колодцев может давать воду в течение оросительного сезона для орошения до 25 га различных культур.

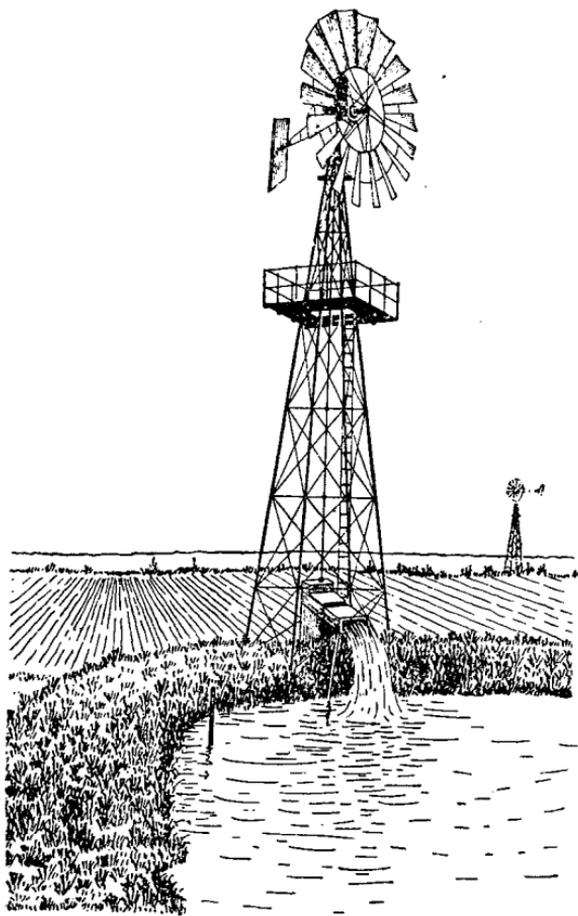
По учету мощности оросительных установок в Соединенных Штатах Америки в 1910 и 1920 гг. выявлено на 10 863 л. с. ветронасосных уста-

новок из общей мощности 672 699 л. с. установок с различными двигателями, работающими на орошение. При этом рост в процентах количества ветрооросительных установок с 1910 по 1920 г. в несколько раз превосходил рост оросительных установок, работающих от других типов двигателей.

Водохранилища при оросительных установках по своему устройству весьма просты. Однако при желании полностью использовать возможную выработку установки, они должны быть весьма больших размеров, а это связано со значительными затратами средств. Поэтому водохранилища при ветрооросительных установках должны иметь такие конструкции и способ постройки, которые давали бы минимальную стоимость одного кубометра их емкости. На фиг. 114 показана ветрооросительная установка с водохранилищем в грунте для орошения небольших участков огородных культур.

В зависимости от рельефа местности эти водохранилища строятся двух типов. Если имеется на орошаемом участке достаточной высоты небольшая поверхность, то в данной точке вырывают необходимой емкости котлован, куда ветродвигатель и качает воду во время ветра. Чтобы вода из водохранилища могла вытекать самотеком, дно котлована делается выше уровня орошаемой поверхности. Стены и дно, глубина которого берется от 2 до 2,5 м, обкладываются кирпичом или бутом с облицовкой цементным раствором толщиной слоя 15—20 мм.

Наиболее дешевым материалом для подобных водохранилищ является глина. Стенки водохранилищ должны иметь наклон к горизонту около 25° , что делает их более устойчивыми от размыва водой. Глина, смешанная со щебнем, накладывается на стены и дно первым слоем



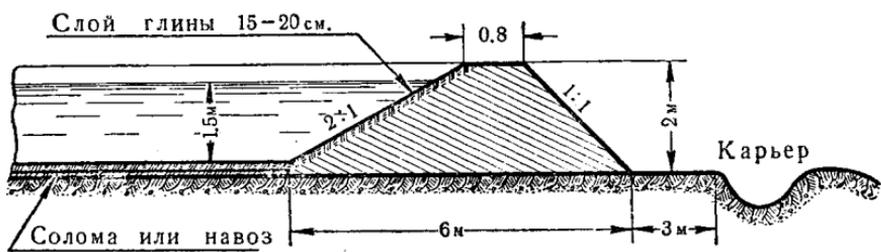
Фиг. 114. Ветрооросительная установка с водохранилищем, вырытым в земле, для орошения небольших участков огородных культур.

и утрамбовывается. Толщина слоя должна быть не менее 10 см. Поверх его накладывается второй слой толщиной не менее 15 см из одной глины и после утрамбовки заглаживается.

Эти водохранилища, с целью получения минимальной боковой поверхности при максимальном объеме, строятся круглой формы. Если естественный рельеф не позволяет углублять водохранилища в грунт, то необходимо стенки водохранилища изготовлять из насыпи в виде дамб.

На фиг. 115 дан эскиз построения насыпных стенок водохранилища.

Стоимость водохранилища при ветрооросительных установках определяется в основном расходами на работу, если производить облицовку стен и дна глиной.

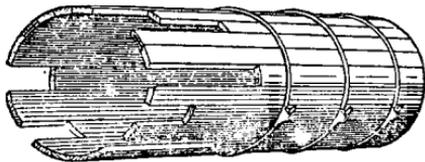


Фиг. 115. Схема насыпных стенок водохранилища при оросительной установке.

Основным недостатком открытых водохранилищ является, помимо просачивания воды в грунт, большая испаряемость, которая в среднем составляет от 500 до 1 000 мм толщины зеркала воды за сезон в зависимости от климата.

Эти потери могут быть уменьшены, если защитить водоем от ветра какими-либо насаждениями. При этом на самой дамбе, образующей стенки водохранилища, деревья насаждать не рекомендуется, так как

при необработанных стенках водонепроницаемым слоем коры деревьев сильно ослабляют их водонепроницаемость, и водохранилище в этом случае будет иметь большие потери за счет просачивания воды в грунт.



Фиг. 116. Конструкция деревянных труб больших диаметров.

Для выпуска воды из оросительных резервуаров ставятся в большинстве случаев деревянные трубы, а также оцинкованные железные.

Деревянные трубы от 1" до 6" могут быть сверленными, а больших диаметров — клепочные на обручах (фиг. 116).

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ ПРИ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ

Установив суточный расход воды в хозяйстве, можно решить вопрос, с каким запасом воды необходимо строить водохранилище. Чем длиннее промежутки ветрового затишья, тем должна быть большей

емкость водохранилища, запасяющего воду на эти дни. Однако экономика палагает предел емкости водохранилища. Может оказаться, что будет выгоднее иметь резервный двигатель (тепловой, электрический или животные), чем больших размеров водохранилище.

Как велики периоды затишья, сказать можно лишь после наблюдений в течение ряда лет за режимом ветров в определенном районе. Такие наблюдения хотя и делаются большим числом метстанций, однако в опубликованных материалах даются лишь значения скоростей ветра их направлений, редко дается повторяемость ветров, что же касается периодов затишья, т. е. количества дней подряд, когда скорость ветра бывает ниже 2 м/сек., то этих данных получить из литературы о ветрах не представляется возможным. Для первого ознакомления с характером периодов затишья в таблице 3 приведено число дней по месяцам с ветрами ниже 2 м/сек. трех метстанций Днепропетровской области. Эти данные получены автором от Областного земуправления г. Днепропетровска при обследовании ветроустановок в 1936 г. (см. табл. на стр. 134).

Из таблицы видим, что в среднем более часто имеют место периоды затишья продолжительностью 2 дня. Но бывают месяцы в течение года с периодами затишья от 6 и до 8 дней, которые создадут крайне тяжелые условия для удовлетворения бесперебойного снабжения хозяйства водой с помощью ветродвигателя. В длительные периоды затишья очевидно будет выгоднее воспользоваться резервным двигателем, избежав тем самым необходимость строить водохранилище с запасом воды на несколько суток. Неизбежность резервного двигателя при ветронасосной установке вытекает из следующего рассуждения.

Если принять в расчет 2-дневный период затишья, то возможно, что следующий период затишья может наступить через один ветренный день. Следовательно, если предположим, что в баке имелся запас воды на двое суток, то на третьи сутки, когда предполагается ветер, ветродвигатель должен качать воду для покрытия потребностей в воде данного дня и на запас воды в баке для следующего дневного периода затишья. Отсюда следует:

1. Емкость водохранилища при ветронасосной установке, работающей без резервного двигателя, должна рассчитываться на запас воды, равный суточному ее расходу, плюс расход воды на период затишья, который может быть равным от одного дня и больше да плюс примерно суточный запас воды на следующий день после периода затишья, чтобы бак не остался порожним к началу этих суток.

2. Поэтому и мощность ветродвигателя должна рассчитываться не на суточный расход воды, а на то ее количество, которое необходимо подать в бак, чтобы обеспечить дни безветрия. Чем меньше число ветровых дней между двумя рядом стоящими периодами затишья, тем больше должна быть мощность ветронасосной установки, работающей без резерва.

Для ясности этого вопроса решим следующий пример.

Допустим хозяйство, желающее построить у себя ветронасосную установку, имеет суточный график расхода воды, например, показанный на фиг. 117. По этому графику устанавливаем среднесуточный расход и принимаем его за единицу или 100%.

Таблица средних скоростей ветра и периодов затишья, построенная по данным наблюдений за 9 лет с 1924 по 1933 г. на метеостанциях: Кирилловка, Н.-Алексеевка Генического района и Никопольская Днепропетровской области

Название показателя	Месяцы												Средняя за год %
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
К и р и л л о в к а													
Среднемесячная скорость ветра . . .	7,4	8,8	7,0	6,1	5,4	4,3	3,6	3,7	4,4	6,1	6,8	7,1	5,9
Средние периоды затишья <i>t</i> дней . . .	3	—	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	—
Максимальные периоды затишья <i>t</i> дней	5	—	2	2	2	4	4	5	4	3	2	3	—
Н.-А л е к с е в к а													
Среднемесячная скорость ветра . . .	4,8	5,5	5,0	4,9	4,0	3,7	3,3	3,8	4,0	4,0	3,7	3,7	4,2
Средние периоды затишья <i>t</i> дней . . .	2	2	2	2	2	2	3	2	2	4	2	3	—
Максимальные периоды затишья . . .	4	2	2	4	4	3	8	4	4	7	3	5	—
Н и к о п о л ь													
Среднемесячная скорость ветра . . .	5,5	6,0	5,7	5,4	4,2	4,1	3,8	3,6	4,0	4,6	4,9	5,4	4,7
Средние периоды затишья <i>t</i> дней . . .	3	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	2	—
Максимальные периоды затишья <i>t</i> дней	6	2	3	5	4	4	6	5	7	6	5	4	—

Примечание. За период затишья принимаются дни со средней скоростью ветра 2 м/сек. и меньше с продолжительностью от двух дней и больше.

Если бы ветродвигатель работал круглые сутки в течение всего года и развивал бы мощность, соответствующую среднесуточному расходу воды, то емкость водохранилища определялась бы из данного графика. Эта емкость должна была бы соответствовать тому расходу, который показан на графике выше средней линии. Этот расход запасается в резервный бак в те часы, когда потребление воды ниже среднего расхода. На графике под средней линией расхода заштрихованные площадки справа и слева указывают, что в эти часы двигатель качал воду в запасное водохранилище.

Совершенно очевидно, что в этом случае объем водохранилища должен был бы соответствовать расходу воды, показанному на графике выше линии среднесуточного расхода (заштрихованные площадки).

Практически, однако, не бывает, чтобы ветродвигатель работал круглые сутки во все ветреные дни. Поэтому, чтобы запасный бак или водохранилище не остались вовсе без воды в часы максимального расхода, объем водохранилища, как минимум, должен быть равен суточному объему воды, потребному в хозяйстве. Такой запас допустим лишь для тех районов, в которых периодов затишья, выраженных в днях, вовсе не бывает или же при наличии резервного двигателя.

При этом мощность установки должна соответствовать суточному расходу воды, плюс количество воды на покрытие пик графика расхода.

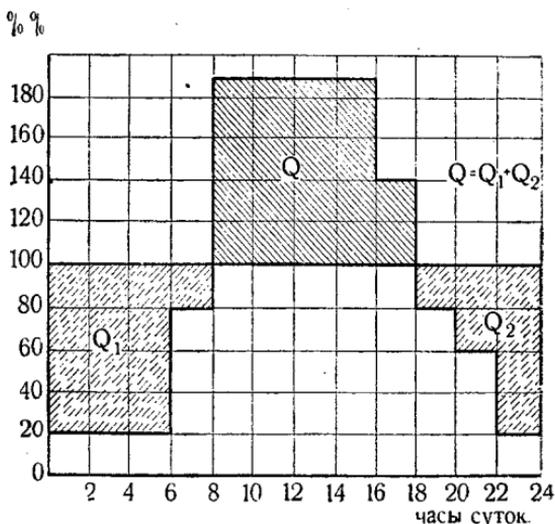
Если же имеют место периоды затишья, то емкость бака должна быть равна суточному расходу воды, плюс суточный расход, умноженный на число дней затишья. Это можно представить формулой так:

$$W = Q_{\text{сут.}} + Q_{\text{сут.}} \cdot t = Q_{\text{сут.}} \cdot (1 + t), \quad (4)$$

где W — объем водохранилища, $Q_{\text{сут.}}$ — суточный расход воды, t — число дней периода затишья.

Мощность ветронасосной установки должна рассчитываться в зависимости от длительности периода затишья и числа ветреных дней между ними.

Допустим, между двумя периодами затишья длительностью каждый по 2 дня имелся один день с ветром, когда ветродвигатель работал. Следовательно, ветродвигатель в течение этого дня должен подавать воду, во-первых, на суточное потребление и, во-вторых, накачать в водохранилище трехсуточный запас воды.



Фиг. 117. График суточного расхода воды.

Мощность ветродвигателя при этом должна соответствовать объему воды, который слагается из суточного расхода воды, фактически потребляемой хозяйством, во время работы двигателя, плюс двухсуточный запас на период затишья, плюс суточный запас на покрытие пик 3-го дня, т. е. 4-суточному запасу воды.

Если между периодами затишья имеется не 1 ветренный день, а 2, то мощность ветродвигателя должна соответствовать фактическому расходу воды, плюс запас воды на период затишья и плюс суточный запас воды на следующий день после периода затишья, деленные на 2, так как ветродвигатель будет качать эту воду в запас в течение двух ветренных дней. Поэтому мощность должна соответствовать 2,5-суточному запасу воды.

На основании сказанного количество воды, по которому должны определяться мощность ветронасосной установки, учитывающей периоды затишья, можно представить следующей формулой:

$$Q = Q_{сут.} + \frac{Q_{сут.} \cdot t + Q_{сут.}}{2} = \frac{Q_{сут.}}{2} (1 + \tau + t), \quad (5)$$

где t — число дней периода затишья, τ — число дней с рабочими ветрами между двумя следующими друг за другом периодами затишья.

При известных t и τ по этому расходу Q можно было бы определить мощность ветроустановки, когда при ней нет резервного двигателя, т. е. когда желают полностью обеспечить потребителя водой за счет энергии ветра.

В нижеследующей таблице 4 приведены отвлеченные значения q , подсчитанные по уравнению (5) для единицы расхода. Помножая табличные значения на действительный суточный расход воды $Q_{сут.}$, будем получать тот расход воды Q , на который нужно рассчитывать мощность ветронасосной установки для различных t и τ .

Таблица 4

Таблица значений q , которые показывают во сколько раз необходимо увеличить суточный расход воды, чтобы определить мощность ветродвигателя, обеспечивающую периоды затишья

Число ветрен. дней между периодами затишья τ	Число дней периода затишья t									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Отвлеченные значения q										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4	4,5	5	5,5	
3	1,33	1,66	2,0	2,33	2,66	3,0	3,33	3,66	4,0	
4	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,2	
5	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	
6	1,16	1,33	1,5	1,65	1,83	2,0	2,16	2,33	2,5	
7	1,14	1,28	1,43	1,57	1,71	1,86	2,00	2,14	2,28	
8	1,12	1,25	1,38	1,5	1,63	1,75	1,88	2,0	2,13	

Если бы мы подсчитали мощность ветродвигателя, исходя из суточного расхода воды $Q_{сут.}$ по уравнению:

$$N = \frac{Q_{сут.} \cdot H \cdot 1000}{75 \cdot 3600 \cdot t_p \eta}, \quad (a)$$

где $Q_{сут.}$ — кубометры суточного расхода воды, t_p — число часов работы ветродвигателя за сутки, то для полного обеспечения хозяйства водой и в периоды затишья необходимая мощность может быть определена по уравнению, аналогичному уравнению (5), а именно:

$$N_{п} = \frac{N}{\tau} (1 + \tau + t). \quad (6)$$

Из уравнения (5) и (6) нетрудно усмотреть, что отвлеченные значения таблицы 4 справедливы и для мощности N , подсчитанной по суточному расходу воды. Следовательно, если мы будем умножать мощность, подсчитанную по уравнению (a) на табличные значения, то будем получать мощности, которые предусматривают периоды затишья, т. е.

$$N_{п} = Nq.$$

Например, мощность N , соответствующая суточному расходу воды $Q_{сут.}$ и напору H , равна 2 л. с. Какой мощности должен быть ветродвигатель, чтобы он мог обеспечить хозяйство водой при $t=2$ дням, $\tau=3$ дням?

Решение. В графе под $t=2$ дням — в строке $\tau=3$ дням находим цифру $q_{табл.} = 2,0$. Следовательно, $N_{п} = Nq = 2,2,0 = 4$ л. с.

Приведенные в таблице 4 значения t и τ естественно могут быть в любых благоприятных ветровых условиях, и если строго придерживаться этих величин, то можно прийти к заключению, что в некоторых случаях ветроустановка без резервного неветряного двигателя не может полностью обеспечить хозяйство водой. В самом деле, число дней с ветрами, равное одному дню, между двумя периодами затишья в 3—4 дня вполне возможно, следовательно, чтобы обеспечить в этих случаях хозяйство водой, необходимо водохранилище с 4—5-суточным запасом воды, а мощность ветронасосной установки в 5—6 раз больше нормальной, потребной для суточного расхода¹.

Кроме того, рассчитывать на полное обеспечение хозяйства водой за счет одной лишь энергии ветра невыгодно и по другим соображениям. Допустим, мы рассчитали установку на 5 дней ветрового затишья при $\tau=2$. Это значит, что вместо ветродвигателя, мощность которого при работе с резервным двигателем должна быть равной, скажем, 2,5 л. с., мы поставили ветродвигатель мощностью

$$N_{п} = N \cdot q = 2,5 \cdot 4 = 10,00 \text{ л. с.}$$

При этом объем водохранилища равен не суточному расходу воды, а

$$W = Q_{сут.} (1 + t) = Q_{сут.} (1 + 5) = 6 Q_{сут.}$$

¹ Если же учесть, что при ветряных днях τ могут быть слабые ветры — не более 4 м/сек., то мощность ветродвигателя должна быть увеличена еще больше.

Как же будет работать такая ветроустановка, когда $\tau = 5$ или больше дней с непрерывными ветрами. В течение первых двух дней согласно расчету ветроустановка обеспечит хозяйство водой и накачивает в водохранилище 5-суточный запас, а в 3-й, 4-й и 5-й ветрепные дни ветродвигателю нечего будет делать, если он работает только на подъем воды.

В наших расчетах мы не принимали во внимание воду, предусматривающую пожарную опасность, а если и это принять во внимание, то станет совершенно ясным, что ветроустановка без резервного двигателя, вообще говоря, не может полностью обеспечить хозяйство водою только за счет энергии ветра.

Очевидно, эта возможность осуществима лишь в тех районах, где периоды затишья не превышают 2 или 3 дней, но с ветрами между ними больше 1—2 дней.

Ветроустановка с резервным двигателем требует водохранилище емкостью не более суточного расхода воды, т. е.

$$W = Q_{\text{сут.}} \cdot \text{м}^3.$$

VII. РАБОТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ В КОНКРЕТНЫХ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Выше были разобраны вопросы, связанные с теоретическими возможностями производительности ветродвигателей. Посмотрим теперь, какой эффект дают ветродвигатели в действительности, в конкретных хозяйственных условиях.

Излагаемый ниже материал получен при обследовании ветроустановок в сельском хозяйстве, проведенном бригадой лаборатории ветроиспользования ВИМЭ под руководством автора в 1936/37 г.

Здесь мы приведем лишь материал, характеризующий действительную работу установок со стороны их эксплуатационных качеств в соответствии с объемом и видом работы в хозяйстве.

В колхозах, совхозах и МТС нашего Союза применяются сейчас два типа ветродвигателей ВД-5 м для подъема воды и ВД-8 м для подъема воды и работы с с.-х. машинами, поэтому изложение материала будет касаться лишь ветроустановок с этими типами ветродвигателей.

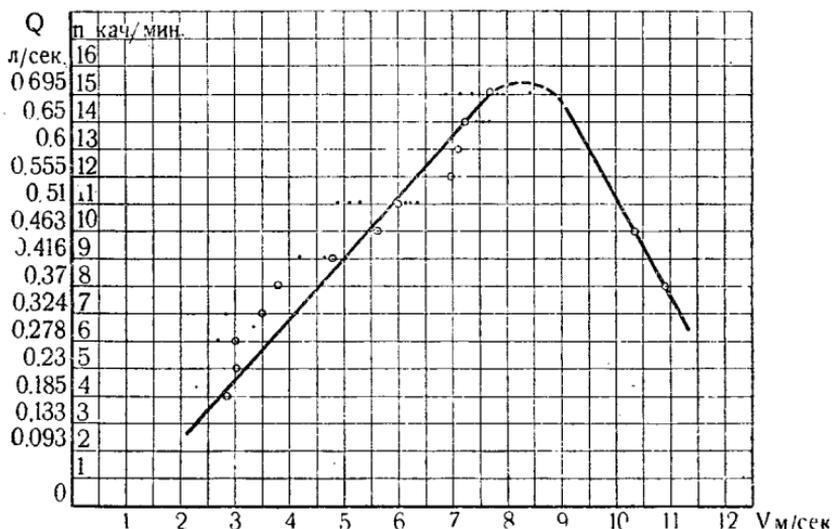
1. ВЕТРОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА С ВД-5 м В КОЛХОЗЕ им. ВОРОШИЛОВА, В СЕЛЕ ЛЕСКАХ ЧЕРКАССКОГО РАЙОНА, КИЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ветронасосная установка смонтирована в колхозе в мае 1936 г. своими силами под руководством колхозника механика Ведмеденко. Она расположена в 3 километрах от села в поле, где имеется стоянка полевой бригады. Ветродвигатель с диаметром ветроколеса $D=5$ м и насосом $d=3\frac{3}{4}$ " при ходе поршня $h=400$ мм поднимает воду из колодца в бак деревянной конструкции емкостью $19,5 \text{ м}^3$. Колодец имеет глубину 51 м. Причем 24 м составляет бетонная шахта и 27 м скважина. Высота столба воды равна 25,5 м. Дебит значительно выше производительности установки.

Общая высота подачи воды $H=30$ м. Эта установка показана на фиг. 96.

В целях обеспечения хозяйства водой в длительные периоды ветрового затишья при ветроустановке смонтирован конный привод на нару лошадей. Вал конного привода непосредственно соединен с валом ручной лебедки помощью шарнира Гука. Ход поршня насоса при его работе от конного привода равен $h=200$ мм.

Вода расходуется на питьевые нужды колхозников, работающих в полевых бригадах общим количеством около 700 человек и для скота в количестве 260 голов. Кроме того, один месяц в весенний период производится расход воды на поливку огорода («подкормка»).



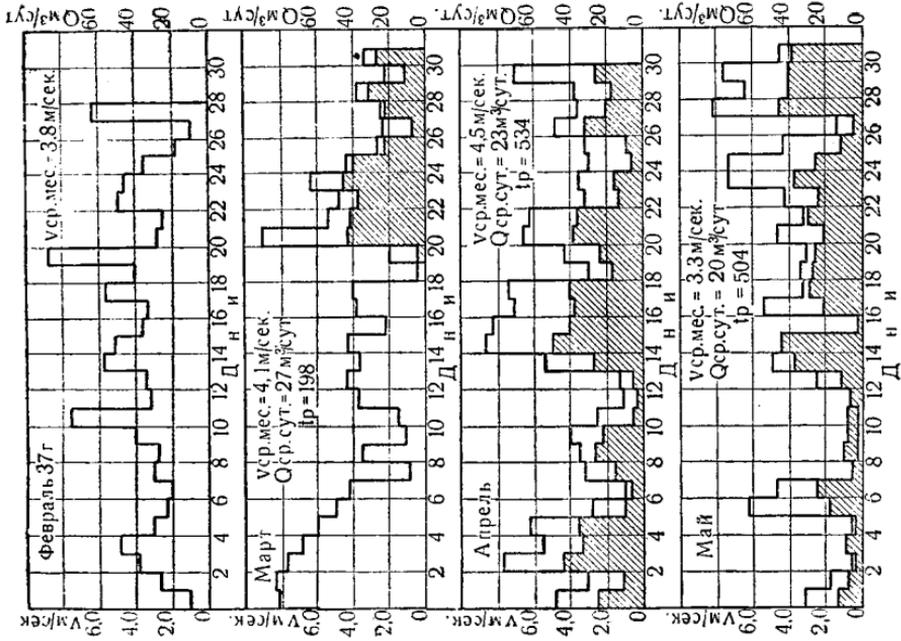
Фиг. 118. Характеристика ветродвигателя ВД-5 м, работающего с поршневым насосом $d=3\frac{3}{4}$ " при напоре $H=30$ м, полученная при испытании в колхозе им. Ворошилова Черкасского района.

Полная стоимость установки с оборудованием обошлась хозяйству в 6 200 руб.

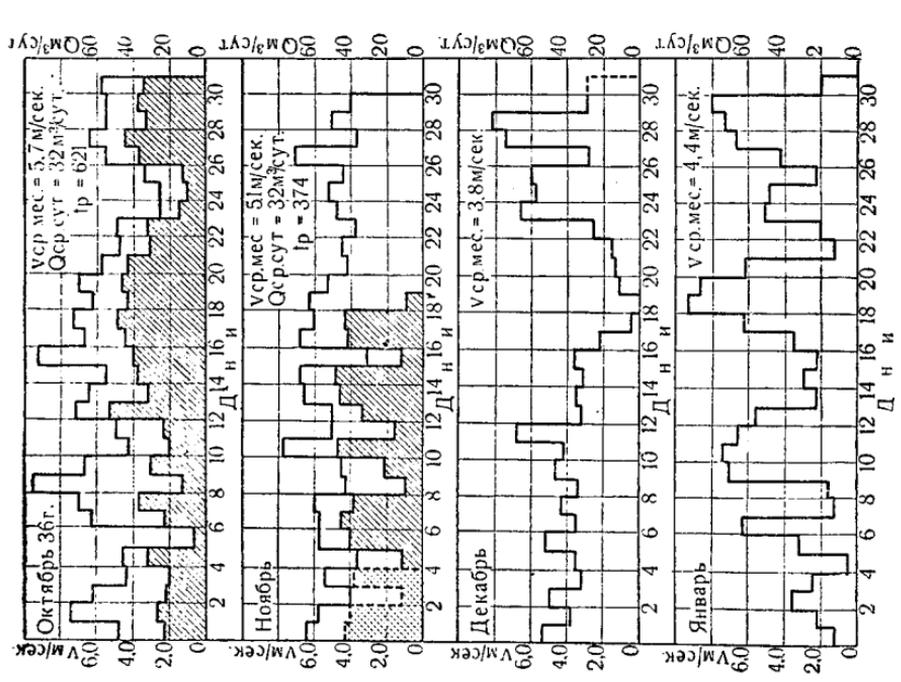
До постройки ветронасосной установки хозяйство доставляло воду на эти же нужды лошадьми в бачках из другого источника. При этом ежедневно было занято на подвозе воды к потребителям 22 лошади. После постройки ветронасосной установки на подвозке воды работало только 7 лошадей.

Эта ветроустановка бригадой лаборатории ветроиспользования ВИМЭ была испытана на производительность при различных скоростях ветра. Результат испытаний приведен в таблице 1 и на графике фиг. 118 (см. табл. 1 на стр. 141).

Из таблицы и графика видим, что ветродвигатель давал максимальную производительность при скорости ветра $v=8$ м/сек. Производительность при скоростях ветра выше 8 м/сек. падает и при скорости ветра 12 м/сек. имеем такую же производительность, какая была при скорости ветра 3 м/сек. Такой вид характеристики обуславливается



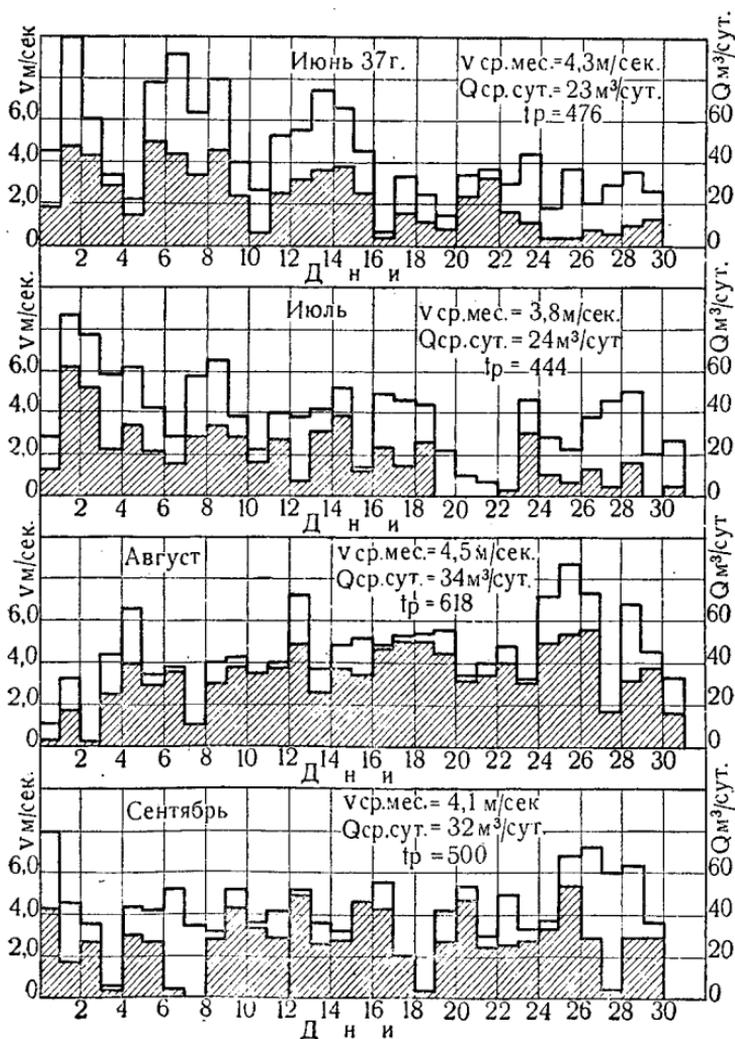
Фиг. 119. Эксплоатационные месячные характеристики ветронасосной установки ВД-5 м в колхозе им. Ворошилова, Черкасского района, за октябрь — ноябрь — декабрь 1986 г. и январь 1987 г.



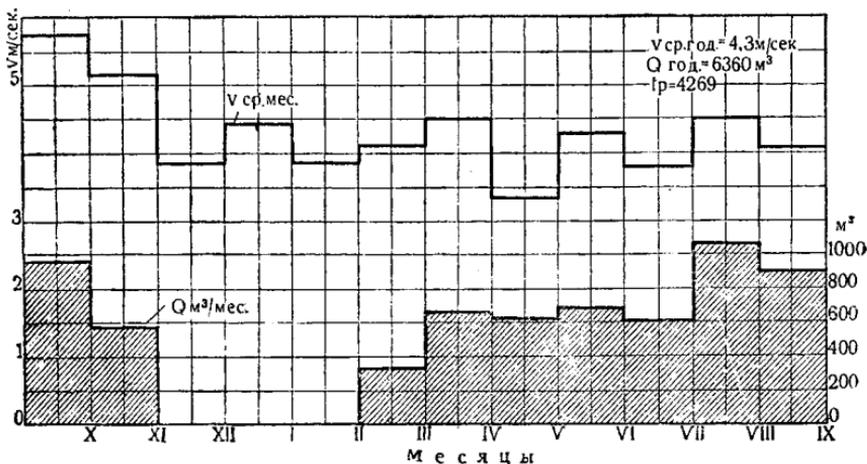
Фиг. 120. Эксплоатационные месячные характеристики ветронасосной установки ВД-5 м в колхозе им. Ворошилова, Черкасского района, за февраль — март — апрель и май 1987 г.

Производительность ветронасосной установки ВД-5 м при разных скоростях ветра в колхозе им. Ворошилова Киевской области. Насос $d = 3\frac{3}{4}$ " ход поршня $h = 400$ мм. Общая высота подачи $H = 30$ м

	Скорости ветра $v =$ м/сек.									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число качаний штанги насоса в минуту	4	6,5	9	11	12	15,5	13,5	11	8	4
Производительность кубометр. в час . . .	0,66	1,08	1,50	1,83	2,0	2,58	2,24	1,83	1,33	0,65



Фиг. 121. Эксплуатационные месячные характеристики ветронасосной установки ВД-5 м в колхозе им. Ворошилова, Черкасского района, за июнь — июль — август и сентябрь 1937 г.



Фиг. 122. Эксплуатационная годовая характеристика ветронасосной установки ВД-5 м в колхозе им. Ворошилова Черкасского района.

системой регулирования «Эклипс», примененной у ВД-5 м и рассмотренной нами в первой части.

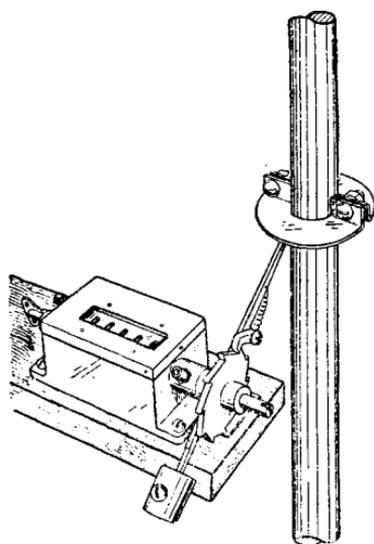
Эксплуатационная характеристика этой ветроустановки показана на фиг. 119, 120, 121 и 122.

Первые графики представляют суточную характеристику за каждый месяц, где ломаные линии показывают ход среднесуточных скоростей ветра, а заштрихованные площадки—суточную производительность ветроустановки. График 122 показывает ход среднемесячных скоростей ветра и среднемесячную производительность.

Эти графики построены на основании наблюдений за работой ветроустановки с 1 октября 1936 г. по 1 октября 1937 г.

При этом скорость ветра записывалась по ручному анемометру Фуса, который запускался на 10 минут при каждом замере; число качаний штанги насоса записывалось по специальному счетчику, который показан на фиг. 123. Наблюдения производились 4 раза в сутки: в 6 час., 12, 18 и в 24 часа (наблюдающий колхозник механик Ведмеденко).

Эти характеристики показывают, что ветронасосная установка давала среднесуточную производительность около 30 м^3 при средней скорости ветра около 5 м/сек. , что для ВД-5 м при данных условиях: $H = 30 \text{ м}$; $d = 3\frac{3}{4}''$, $h = 400 \text{ мм}$ и $v_0 = 5 \text{ м/сек.}$ является нормальным.



Фиг. 123. Счетчик числа ходов штанги насоса.

По таблице 6 подбора поршневых насосов (см. главу II) находим, что насосу $d=3\frac{3}{4}$ " и высоте $H=30$ м соответствует ход поршня $h=403$ мм, что почти точно совпадает с действительным ходом поршня $h=400$ мм рассматриваемой ветроустановки.

При испытании конного привода получена производительность привода на пару лошадей, равной $Q=1,7$ м³/час в среднем.

В таблице 2 приведены эксплуатационные показатели годовой работы ветроустановки.

2. ВЕТРООРОСИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ВД-8 м В КОЛХОЗЕ «РЕВТРУД» ЛАГАНСКОГО РАЙОНА, КАЛМЫЦКОЙ АССР

Смонтированный в данном колхозе ветродвигатель ВД-8 м Херсонского завода посредством ременной передачи приводит в движение старый центробежный насос $d=4$ ".

Установка расположена на берегу реки. Вода поднимается в деревянный жолоб, по которому направляется к орошаемому участку. Высота подъема воды $H=4,9$ м. Общий вид ветроустановки показан на фиг. 124, а на фиг. 125 дана схема передачи от ветродвигателя к насосу.

Передаточное отношение оборотов вертикального вала к оборотам ветроколеса равно:

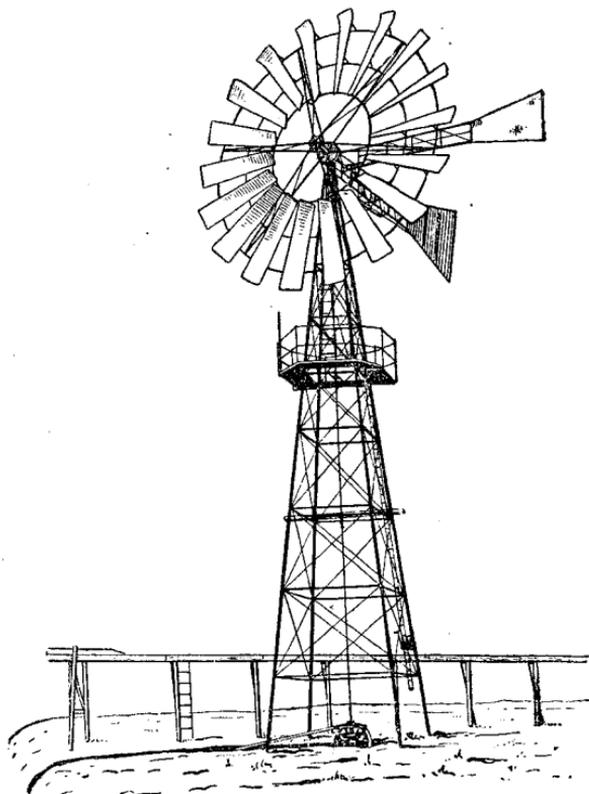
$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{63}{17} = 3,7,$$

где $z_1=63$ — число зубьев конического колеса, закрепленного на ветроколесе; $z_2=17$ — число зубьев конической шестерни, закрепленной на верхнем конце вертикального вала.

Передаточное отношение оборотов шкива лебедки к оборотам вертикального вала равно:

$$i_2 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{54}{18} = 3,0,$$

где $z_1=54$ — число зубьев конического колеса, насаженного на нижний конец вертикального вала; $z_2=18$ — число зубьев конической шестерни, насаженной на вал шкива лебедки.



Фиг. 124. Ветроорошительная установка ВД-8 м с центробежным насосом $d=4$ " в колхозе «Ревтруд» Калмыцкой АССР.

Сводная эксплуатационных данных ветроустановки в колхозе им. Ворошилова

Показатели	Месяцы			
	X	XI	XII	I
Среднемесячные скорости ветра v	5,7	5,1	3,8	4,4
Число часов работы ветродвигателя t_p	621	374	0	0
Число часов простоя ветродвигателя вследствие слабого ветра	94	54	0	0
Число часов простоя ветродвигателя вследствие ненадобности его работы	15	289	744	744
Число часов простоя ветродвигателя по случаю ремонта	14	3	0	0
Среднесуточная производительность м ³ /сут.	31,8	32,2	0	0
Производительность за месяц м ³ /мес.	946,2	574,0	0	0
Коэффициент эксплуатации установки:				
$\eta_{эк.} = \frac{t_p}{t_{мес.}}$	0,84 ¹	0,52	0	0
$\eta'_{эк.} = \frac{t_p}{t}$	0,85 ²	0,87	—	—
Сколько часов работал конный привод (резервн. двигатель)	15	0	0	0
Сколько поднято воды от конного привода за месяц, считая часовую производительность конного привода 1,7 м ³ /час	25,5	0	0	0
Общий расход воды в хозяйстве за месяц Q м ³	971,7	574	0	0

Черкасского района, Киевской обл., по данным наблюдений за 1936—1937 гг.

1936—1937 гг.

	1936—1937 гг.								Год
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
	3,8	4,1	4,5	3,3	4,3	3,8	4,5	4,1	4,3
	0	198	534	504	476	444	618	500	4 269
	0	90	180	240	244	150	126	162	1 340
	672	456	6	0	0	0	0	10	2 936
	0	0	0	0	0	150	0	48	215
	0	26,9	22,6	20,1	22,9	24,2	34,0	31,9	—
	0	323,2	673,0	623,2	688,3	598,21	053,7	880,7	6 360,5
	0	0,27	0,74	0,68	0,66	0,60	0,83	0,69	0,486 ¹
	0	0,69	0,75	0,68	0,66	0,60	0,83	0,70	0,73 ²
	0	25	53	51	0	139	21	14	318
	0	42,5	90,0	87,0	0	236,0	36,0	24,0	541,0
	0	365,7	763,0	710,2	688,3	834,2	1 089,7	904,7	6 901,5

ремонта и простоя двигателя вследствие ненадобности его работы.

ствие ненадобности его работы.

¹ Коэффициент эксплуатации $\eta_{экспл.} = \frac{t_p}{t_m}$, где в t_m входят часы слабого ветра,² $\eta'_{экспл.} = \frac{t_p}{t}$, где в t не входят часы простоя ветродвигателя, вслед-

Передаточное отношение оборотов шкива насоса к шкиву лебедки равно:

$$i_3 = \frac{d_1}{d_2} = \frac{825}{120} = 6,86,$$

где $d_1 = 825$ мм — диаметр шкива лебедки (шкив нарашен деревянным ободом), $d_2 = 120$ мм — диаметр шкива насоса.

Общее передаточное отношение оборотов центробежного насоса к оборотам ветроколеса равно:

$$i = 3,7 \times 3 \times 6,86 = 76.$$

Лебедка к ВД-8 м, выпускаемому Херсонским заводом, имеет диаметр шкива $d=600$ мм. С целью повышения общего передаточного отношения i , этот диаметр увеличен до $d_1=825$ мм при монтаже установки.

Нарращение диаметра сделано так. На шкив лебедки были насажены деревянные колодки и обработаны по



Фиг. 125. Схема передачи вращения от ветродвигателя насосу ветроустановки, показанной на фиг. 124.

окружности диаметром $d=815$ мм. Эти колодки затем были стянуты на шкиве лебедки ремнем толщиной в 5 мм и заклинены. Недостатком этого устройства является необходимость время от времени заклинивать колодки, так как при их высыхании деревянный обод может соскочить во время работы, а заклинивание нарушает правильность очертания окружности обода.

Испытание ветронасосной установки проведено в сентябре 1937 г. Цель испытания ветроустановки в том ее виде, как она смонтирована и работала в хозяйстве, заключалась в получении параметров, характеризующих ее:

а) со стороны производительности в зависимости от скорости ветра и числа оборотов;

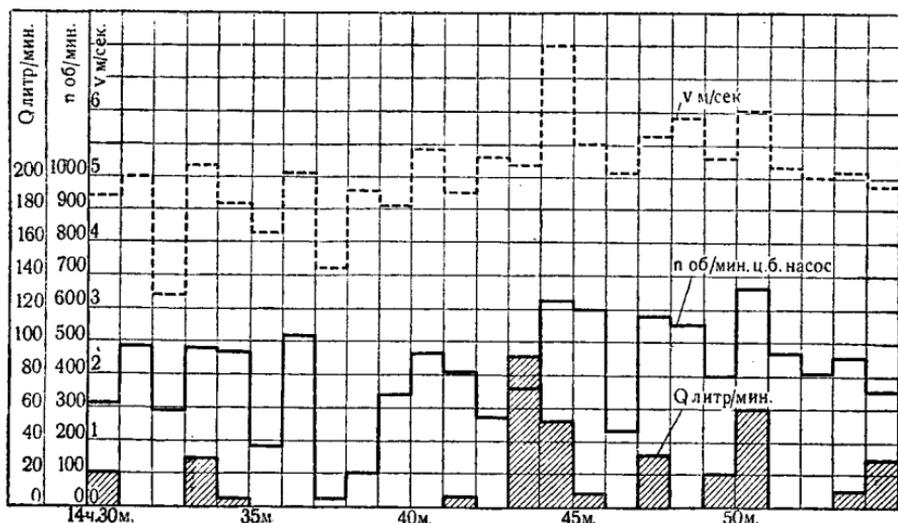
б) правильности подбора центробежного насоса соответственно мощности ветродвигателя и высоте подачи воды.

Испытание проводилось со следующими приборами:

- 1) ручной анемометр Фуса,
- 2) счетчик числа оборотов с секундомером «Пробатор»,
- 3) водомер $d=2''$ тип «Физик-химик».

Результат испытания приведен на графиках.

На графике фиг. 126 даны кривые изменения скорости ветра v , числа оборотов n и производительности Q (см. заштрихованные площадки) в зависимости от времени t . Запись показаний производилась непрерывно. Этот график дает наглядное представление о действительном характере процесса работы центробежного насоса с ветродвигателем.



Фиг. 126. График изменения скорости ветра v , числа оборотов n и производительности Q центробежного насоса в зависимости от времени работы ветродвигателя ВД-8 м при скоростях ветра от 4 до 6 м/сек.

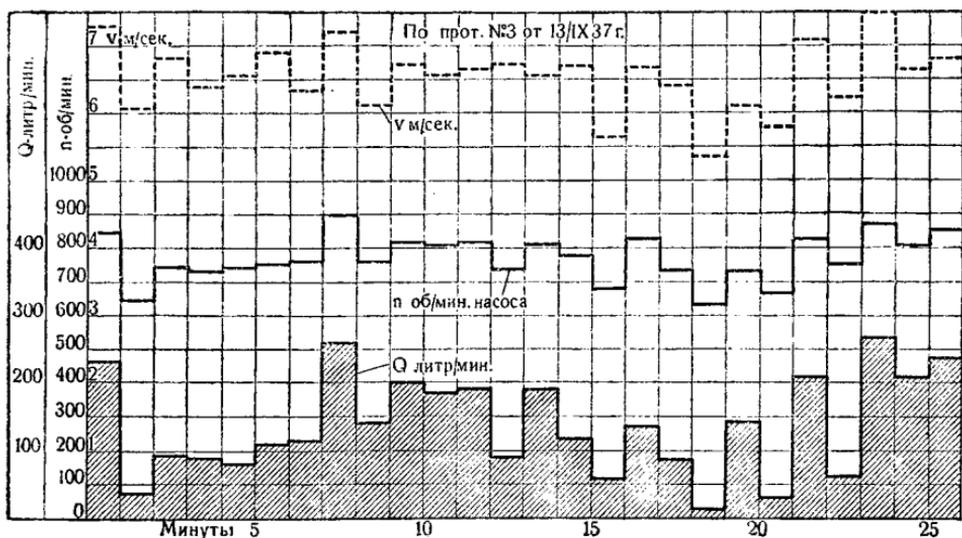
теlem. Подача воды происходила крайне прерывисто, несмотря на непрерывность работы ветродвигателя. Причина ненормального характера работы агрегата объясняется ниже.

На графике фиг. 127 приведены кривые показаний приборов, записанные в те моменты, когда происходила подача воды при установившемся режиме работы ветронасосного агрегата.

Этот график показывает, что более или менее нормальная работа ветроустановки наступает лишь при скоростях ветра выше 6 м/сек. Изменение числа оборотов по скорости ветра дано на графике фиг. 128.

Характеристика производительности по числу оборотов показана на фиг. 129, а на фиг. 130 дана производительность по скорости ветра.

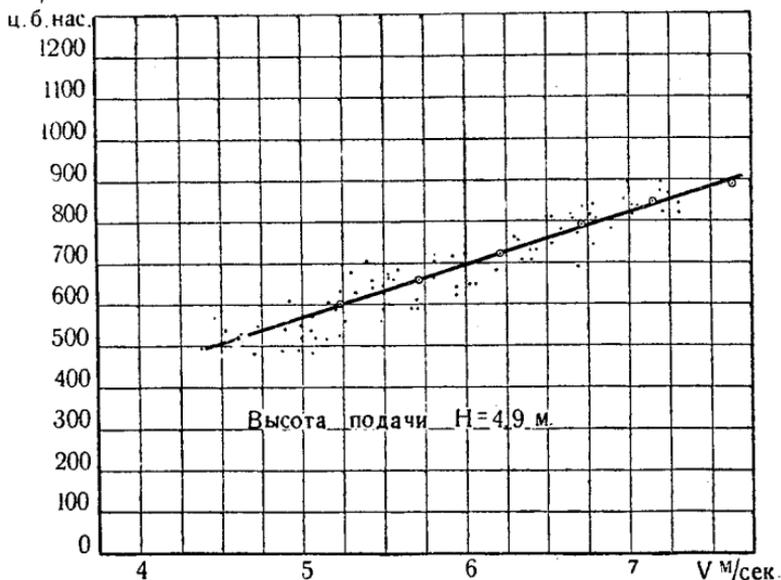
Не имея нормальной характеристики испытуемого насоса, мы не можем сопоставить ее с характеристикой, полученной опытом. Это трудно сделать тем более, что колесо насоса имеет лопатки, загнутые вперед (фиг. 125), а такие насосы из производства давно исключены, как отличающиеся вообще низким к. п. д. Построим опытную харак-



Фиг. 127. График установившегося режима работы ветродвигателя с центробежным насосом при скорости ветра от 5,5 м/сек. и выше.

теристика мощности насоса, наложенную на характеристику ветродвигателя. Это можно сделать, исходя из кривой числа оборотов на

п об/мин.



Фиг. 128. Изменение числа оборотов центробежного насоса в зависимости от скорости ветра.

соса по скорости ветра (фиг. 128) и теоретической характеристики мощности ветродвигателя.

Зная общее передаточное отношение оборотов ветроколеса к оборотам насоса, мы можем нанести точки на кривые характеристики

мощности ветродвигателя соответственно скорости ветра и числу оборотов ветроколеса. Например, при скорости ветра $v=6$ м/сек. насос делал 690 об/мин. (см. кривую фиг. 128), следовательно, ветроколесо при этой скорости ветра делало $690 : 76 = 9,1$ об/мин.

Наносим точку на кривую мощности ветродвигателя при скорости ветра $v=6$ м/сек. против числа оборотов ветроколеса $n=9,1$ об/мин. Поступая так и для других чисел оборотов, развиваемых насосом при других скоростях ветра, мы получим ряд точек на кривых мощности ветродвигателя. Соединив эти точки, получим кривую характеристики мощности насоса, наложенную на характеристику мощности ветродвигателя (фиг. 131). Это следует из того, что какую мощность ветродвигатель при данном числе оборотов развивал, такую же мощность поглощал и насос, т. е.

$$N_e = N_n = \frac{QH}{75 \cdot \eta_n}, \quad (a)$$

где η_n — общий коэф. полезного действия насоса.

Рассматривая график фиг. 131 (см. кривую, проведенную сплошной линией слева), мы находим сразу объяснение ненормальной работы ветронасосного агрегата, как уже и выше показано на графике фиг. 126.

Характеристика мощности насоса проходит через левые склоны кривых мощности ветродвигателя. Это значит мощность насоса по оборотам растет быстрее мощности ветродвигателя. Таким образом, подбор насоса был сделан неправильно.

Эту характеристику можно было бы сместить вправо, уменьшив передаточное отношение так, чтобы насос начинал подавать воду, например при $n=17,5$ об/мин. ветроколеса.

При этом передаточное отношение должно быть

$$i = \frac{n_{\text{нас.}}}{n_{\text{ветрика}}} = \frac{665}{17,5} = 38,$$

где $n_{\text{нас.}}$ — число оборотов насоса, при которых он начинает подавать воду.

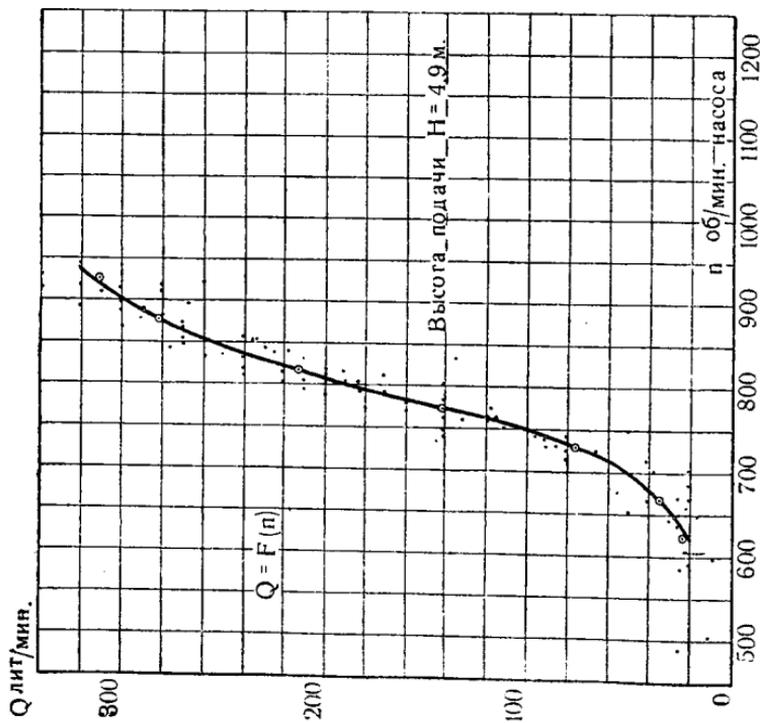
В этом случае полученная опытом характеристика пошла бы так, как показано на фиг. 131 пунктиром. Для осуществления этого передаточного отношения диаметр шкива лебедки необходимо уменьшить, сделав его равным.

$$d = \frac{i \cdot d_2}{i_1 \cdot i_2} = \frac{38 \cdot 120}{3,73} = 412 \text{ мм.}$$

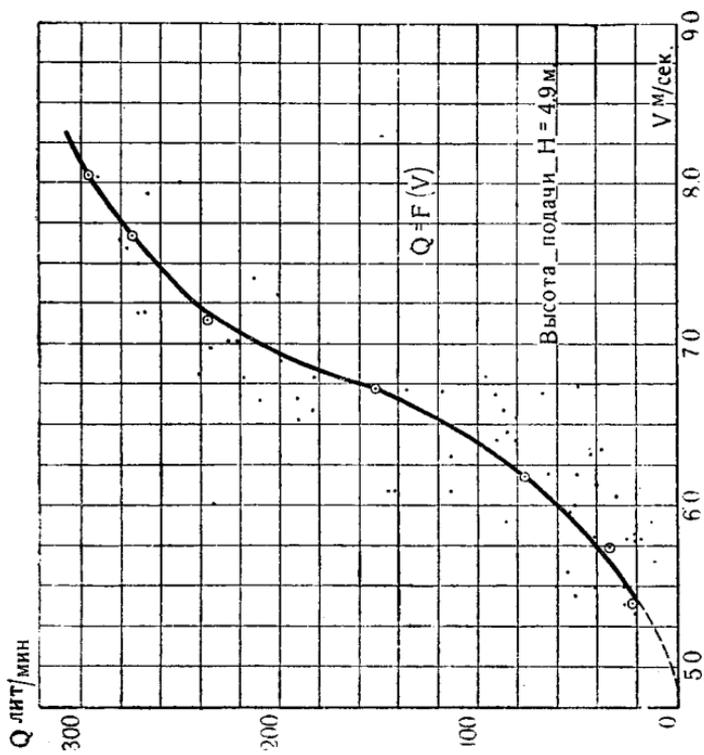
Поэтому увеличение шкива лебедки при монтаже ветроустановки, сделанное хозяйством, является ошибочным.

Выводы по данной ветроустановке сводятся к следующему:

1. Передаточное отношение оборотов ветроколеса к оборотам ветродвигателя, как неправильно подобранное, необходимо изменить. Чтобы получить более или менее нормальную работу этого насоса, необходимо передаточное отношение уменьшить, приблизительно, вдвое, т. е. оно должно быть $i = 76 : 2 = 38$.



Фиг. 129. Производительность ветроустановки, показанной на фиг. 124, в зависимости от числа оборотов.

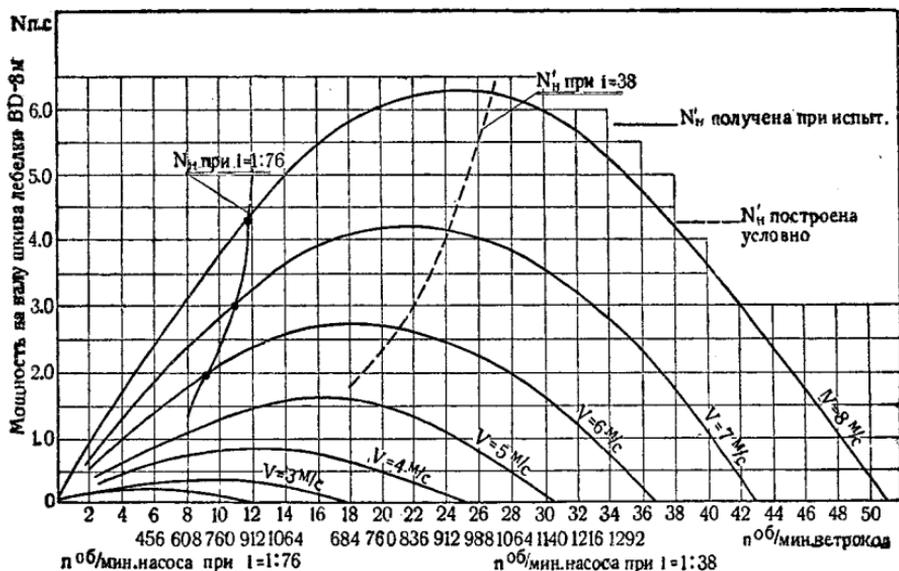


Фиг. 130. Производительность по скорости ветра ветроустановки, показанной на фиг. 124.

2. Насос с лопатками, загнутыми вперед, мало подходит по своей характеристике к характеристике ветродвигателя, так как мощность этого насоса по оборотам растет быстрее, чем у насосов с лопатками, загнутыми назад.

3. Правильно подобрать насос к ветродвигателю можно лишь в том случае, если известна его нормальная характеристика, хотя бы по каталогу.

4. Без водохранилища ветрооросительная установка не может обеспечить нормальное орошение, поэтому необходимо вырыть в грунте



Фиг. 131. Совмещенная характеристика ветродвигателя ВД-8 м и центробежного насоса с неправильно подобранным передаточным отношением, выявленная при испытании ветроустановки, показанной на фиг. 124.

или обваловать водоем до 500 м³ в верхней точке орошаемого участка, который позволит запастись водой хотя бы на суточный период ветрового затишья.

3. ВЕТРОУСТАНОВКА В КОЛХОЗЕ «БОЛЬШЕВИК» ГОМЕЛЬСКОГО РАЙОНА

Ветродвигатель ВД-8 м Херсонского завода смонтирован в колхозе «Большевик», Гомельского района, Минской конторой сельхозснабжения в 1936 г. Ветродвигатель используется для комплексной работы в хозяйстве: водоснабжение, резка кормов и пила древесины.

К ветродвигателю присоединен поршневой насос диаметром $d = 3 \frac{3}{4}$ " и ходом поршня $h = 250$ мм.

Высота подачи воды $H = 14$ м. При установке имеется бак для воды общей емкостью 10 м³. Поршневой насос с диаметром $d = 3 \frac{3}{4}$ " и ходом поршня $h = 250$ мм при высоте подачи воды $H = 14$ м далеко не может загрузить ветродвигатель на полную мощность. Малая нагрузка насосом сделана, исходя из следующих соображений:

1) невысокий расход воды в хозяйстве и 2) возможность работы ветродвигателя одновременно и на насос и на какую-либо маломощную с.-х. машину.

Ветроустановка обслуживает молочно-товарную ферму, которая имеет:

300 голов рогатого скота, 200 голов овец, 130 голов свиней.

На содержание этого скота на ферме хозяйство предполагает переработать за счет ветровой энергии:

Корнеплодов с 15/XI по 15/III	350 т
Соломы с 1/II по 1/III	150 »
Жмых круглый год	60 »
из них 50% с 1/XII по 15/IV	
Зерно плющенное с 15/X по 15/IV	30 »
Поднять воды в стойловый период	22 м ³ /сутки
и в полевой период	12 »

Подъем воды и обработка вышесприведенного количества кормов требует энергии:

На подъем воды	650 л. с. ч.
На резку корнеплодов по 0,4 л. с. на т/час	140 »
На резку соломы по 4,5 л. с.	675 »
На жмыходробление по 5 л. с.	300 »
На плющение зерна 5 л. с.	150 »

Итого на год 1 915 л. с. ч.

Для наглядности комплексной работы ветроустановки в колхозе на фиг. 132 построен график годовой нагрузки по месяцам года и график возможной годовой выработки ветродвигателя.

По графику видим, что хозяйством используется всего лишь 27% энергии. 73% остаются свободными.

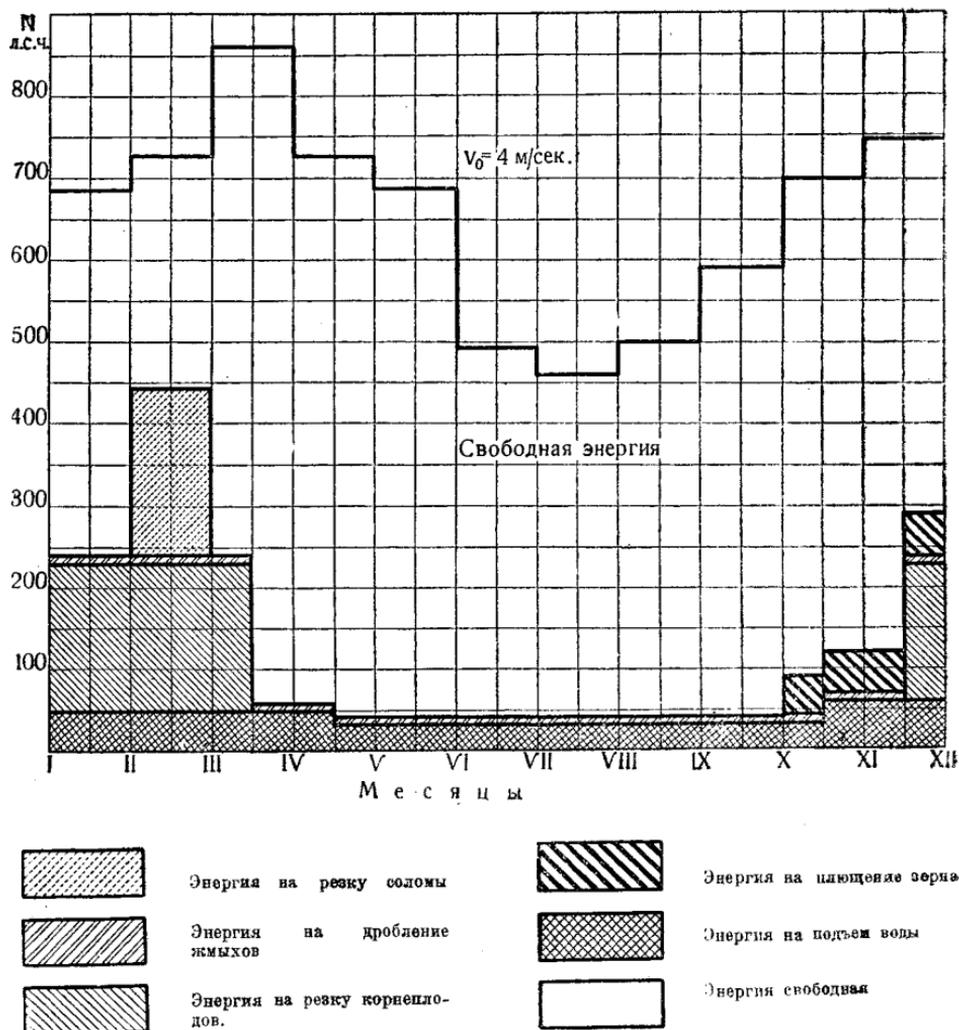
Нагрузка работы пилы на этот график не нанесена, так как работа пилы является случайной по мере надобности в лесоматериалах для ремонта помещений молочно-товарной фермы.

Свободная энергия может быть использована частично на пилу и частично на другие нужды, например резка силоса, если производить его загрузку не в башню, а в яму (для загрузки силоса в башню требуется мощность больше, чем может дать ВД-8), помол зерна и т. п.

Таким образом, при укомплектовании графика фиг. 132 дополнительными работами: помол зерна, резка силоса и пила лесоматериалов, мы можем получить полную загрузку ветроустановки. Правда, для этого необходимо производить дополнительные работы в те периоды, когда имеется ветер, а ветродвигатель не загружен. Такими работами могут быть помол зерна и пила лесоматериалов, так как эта продукция не является строго сезонной.

Эта ветроустановка была испытана бригадой лаборатории ветроиспользования в начале октября 1937 г. Испытание проводилось с целью выявления работы ветродвигателя ВД-8 м, одновременно на приводную корнерезку Витебского завода «Красный металлист» и поршневой насос.

Схема передачи движения от ветродвигателя рабочим машинам показана на фиг. 133.



Фиг. 132. График возможной годовой нагрузки и выработки ВД-8 м при комплексной его работе в колхозе «Большевик» Гомельского района.

Передаточные отношения оборотов машин к оборотам ветроколеса были такие:

1. От насоса к ветроколесу

$$i_n = i_1 \times i_2 = 3,7 \times 0,25 = 0,925,$$

где $i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{63}{17} = 3,7$ передаточные отношения оборотов вертикального вала к оборотам ветроколеса.

$i_2 = \frac{z_1'}{z_2'} = \frac{20}{80} = 0,25$ — передаточное отношение оборотов кривошипного механизма к оборотам вертикального вала.

1. От корнерезки к ветроколесу

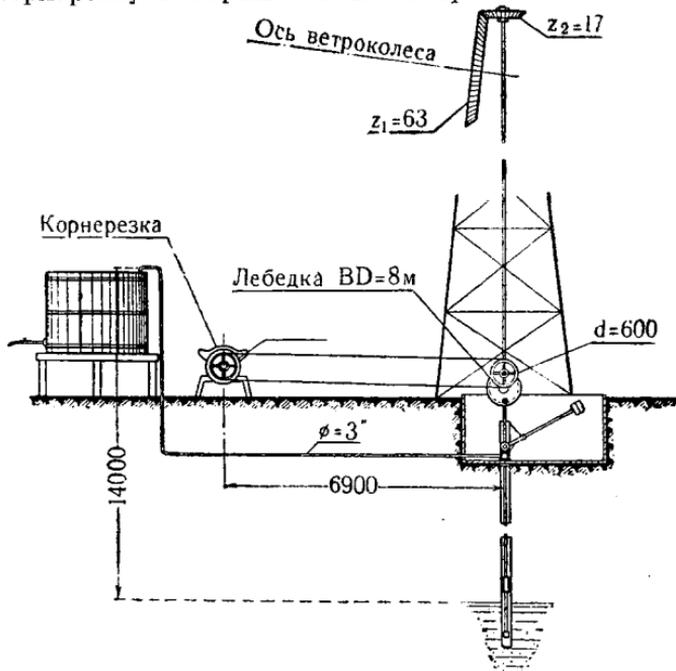
$$i_k = i_1 \times i_2 \times i_3 = 3,7 \times 3 \times 0,93 = 10,3,$$

где $i_2 = \frac{z'_1}{z'_2} = \frac{54}{18} = 3$ — передаточное число оборотов шкива к оборотам верт. вала;

$i_3 = \frac{D_1}{D_2} = \frac{600}{645} = 0,93$ — передаточное число оборотов корнерезки к оборотам шкива лебедки.

Измерение основных параметров работы установки: скорости ветра и числа оборотов рабочих машин делалось ручным анемометром Фуса и счетчиком числа оборотов «Пробатор».

Результаты испытания ветродвигателя при одновременной его работе на корнерезку и поршневой насос приведены в таблице 3.



Фиг. 133. Схема передачи движения от ветродвигателя рабочим машинам ветроустановки, в колхозе «Большевию» Гомельского района.

Характеристика одновременно работающих насоса и корнерезки приведена на фиг. 134. Производительность одной корнерезки в зависимости от числа оборотов приведена на фиг. 135.

В заключение нельзя не отметить, что правильная эксплуатация данной ветроустановки требует приведения ее в тот вид, при котором вообще возможна нормальная работа ветродвигателя не только с насосом, но и с с.-х. машинами. Прежде всего необходим хотя бы навес для с.-х. машин, с которыми предполагается работа ветродвигателя. Бак для запаса воды должен иметь емкость не менее суточного расхода воды, и, поскольку скотный двор находится вблизи установки, было бы наиболее правильным его поместить в помещении для скота.

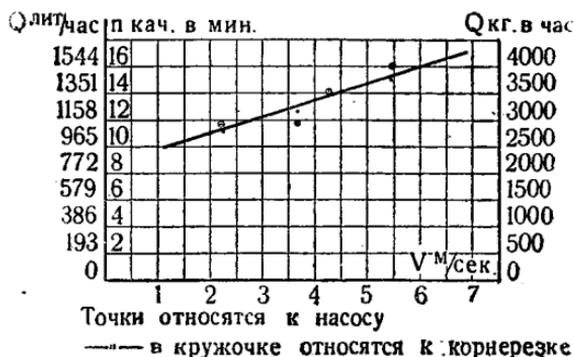
Производительность ВД-8 м при работе на корнерезку и поршневой насос
 $d = 3 \frac{3}{4}$ " ; $h = 250$ мм при $H = 14$ м

	Скорости ветра						
	2,5	3	4	5	6	7	8
Поршневой насос							
Число качаний штанги насоса n кач/мин.	10,9	12	13,14	14,8	16	17,2	—
Производительность							
Q л/час	1 065	1 170	1 285	1 450	1 560	1 680	—
Корнерезка — число оборотов n об/мин.	103	115	125	141	152	163	—
Производительность корнерезки Q т/час (брюква) . . .	2,8	3,0	3,35	3,65	4,0	4,3	—

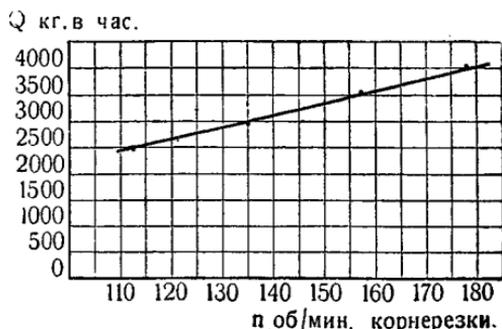
4. ВЕТРОУСТАНОВКА НА ЭЛЕВАТОРЕ ГОССОРТФОНДА В г. КИРСАНОВЕ

Работа ветродвигателя по транспортировке зерна на элеваторе, вообще говоря, возможна. Однако, чтобы ветродвигатель действительно мог быть полезным на данном процессе работ, необходимо правильно подобрать нагрузку ветродвигателя с учетом прерывности его работы в зависимости от скорости ветра. Это становится совершенно очевидным при рассмотрении характеристик, полученных при испытании ветроустановки на элеваторе Госсортфонда в г. Кирсанове.

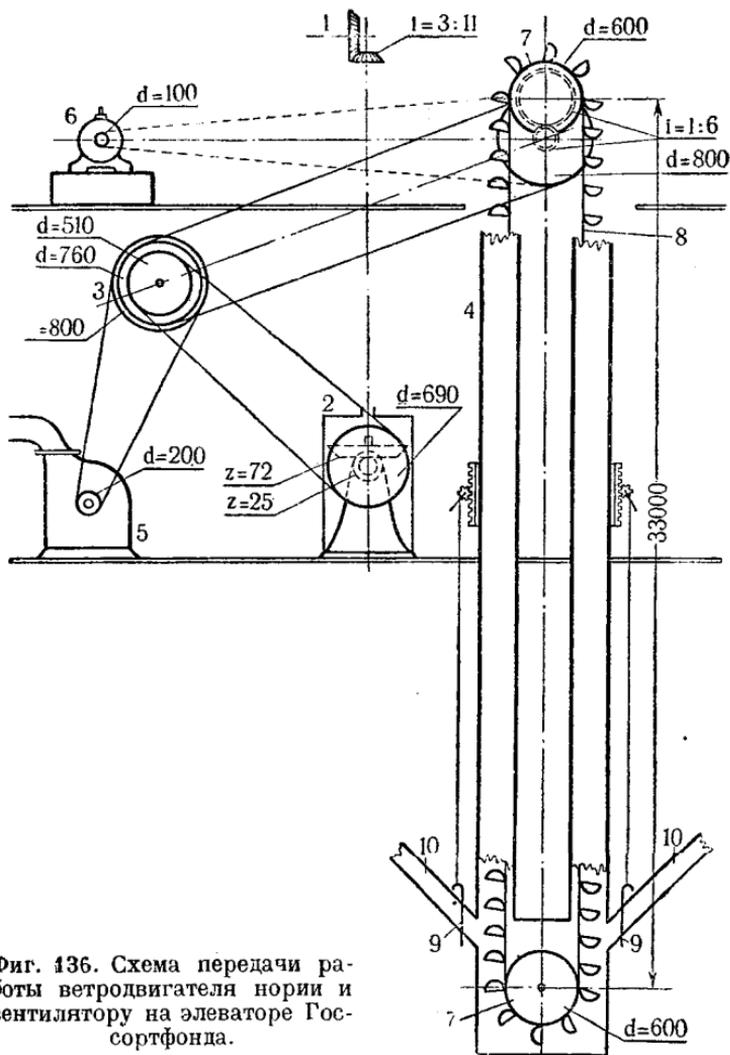
Ветродвигатель работает либо на вентилятор, либо на самотаску (по номенклатуре элеватора значится под № 2). Когда ветродвигатель стоит, а работа норы № 2 или вентилятора требуется, они при-



Фиг. 134. Характеристика одновременно работающих поршневого насоса $d = 3 \frac{3}{4}$ " и корнерезки с ветродвигателем ВД = 8 м.



Фиг. 135. Производительность одной корнерезки в зависимости от числа оборотов при ее работе с ветродвигателем ВД-8 м.



Фиг. 136. Схема передачи работы ветродвигателя нории и вентилятору на элеваторе Гос-сортфонда.

водятся в движение от электромотора. Общая мощность, потребная для всех рабочих процессов на элеваторе, составляет около 31 квт. Мощность ветродвигателя ВД-8 м при скорости ветра $v = 8$ м/сек. на валу шкива лебедки — около 5,8 л. с., или 4,3 квт, что составляет около 7% от общей мощности электростанций элеватора. Схема передачи работы ветродвигателя к нории № 2 и вентилятору показана на фиг. 136.

Передаточные отношения:

$$i_1 = \frac{n_1}{n_2} = 0,273; \quad n_1 \text{ — обороты ветроколеса, } n_2 \text{ — обороты вертикального вала ветродвигателя;}$$

$$i_2 = \frac{n_2}{n_3} = 0,348; \quad n_3 \text{ — обороты шкива лебедки;}$$

$$i_3 = \frac{n_3}{n_4} = 0,74; \quad n_4 \text{ — обороты трансмиссии при работе ветродвигателя на норию № 2;}$$

$i_4 = \frac{n_4}{n_5} = 1,05$; n_5 — обороты промежуточного вала между валом трансмиссии и валом шкива нории;

$i_5 = \frac{n_5}{n_6} = 6,0$; n_6 — обороты шкива нории;

$i_6 = \frac{n_6}{n_7} = 0,25$; n_7 — обороты вентилятора.

Номера на схеме обозначают:

1. Коническая передача головки ветродвигателя.
2. Лебедка ветродвигателя.
3. Трансмиссия.
4. Нория № 2 для подъема зерна.
5. Вентилятор «Сирокко» № 3.
6. Электромотор 4,5 квт, 1460 об/мин.
7. Шкивы нории.
8. Лента с ковшами.
9. Заслонки регулирования подачи зерна.
10. Трубы, подводящие зерно к нории самотеком.

Высота подъема зерна $H \leq 33$ м. Цель испытания заключалась в определении характера работы ветродвигателя на подъем зерна норией.

При испытании производились одновременные замеры:

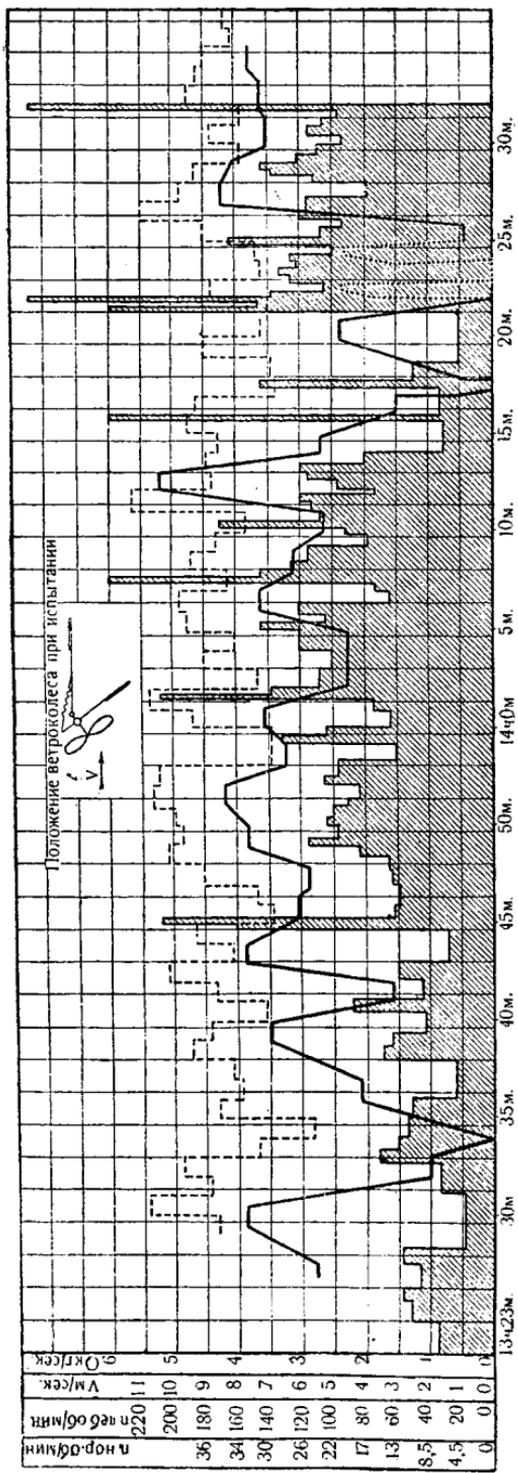
- 1) скорости ветра анемометром Фуса;
- 2) числа оборотов шкива лебедки ветродвигателя счетчиком «Пробатор».

Ветродвигатель при работе был в полусложенном состоянии: ветроколесо и хвост не раскладывались, вследствие неисправности механизма.

Результат записей показаний приборов дан графически на фиг. 137, где пунктирные кривые показывают, как изменялась скорость ветра v по времени, заштрихованные площадки показывают, как изменялось в это же время количество поднимаемого зерна в кг/сек. и, наконец, сплошные толстые показывают изменение числа оборотов шкива нории за то же время.

Во время испытаний наблюдались неоднократные остановки ветродвигателя, хотя скорость ветра в этот момент была еще достаточной для работы ветродвигателя с нормальной нагрузкой. Эти остановки на фиг. 137 зафиксированы при 34 мин., 13 мин. и при 18 и 20 мин. (см. толстую сплошную линию). Это явление объясняется следующим обстоятельством.

Зерно к ковшам нории поступает самотеком наклонной трубой 10 (см. фиг. 136). Эта подача регулируется вручную заслонкой 9. Поэтому совершенно неизбежно переполнение зерном ящика, из которого оно забирается ковшами в те моменты, когда снижается число оборотов ветроколеса, иначе говоря, скорость перемещения ковшей нории, а как только ящик заполнится зерном, ковши встречают значительное сопротивление при своем перемещении и ветродвигатель, будучи перегружен, останавливается. Этот серьезный недостаток работы установки, несомненно, легко устранить путем введения в систему автоматической подачи зерна к нории, хотя бы способом, применяющимся в практике зернового хозяйства, или другим каким-либо автоматическим приспособлением, работающим в зависимости от числа оборотов ветродвигателя или от скорости ветра.



Скорость ветра V м.сек.

Запирочивание площади указывает подъем зерна в кг/сек.

Обороты в мин. шкива лебедки ветродвигателя и норки.

Предполагаемые.

Фиг. 137. График работы ветродвигателя ВД-8 м с норией № 2 на элеваторе Госсоргфонда.

Средняя производительность ветроустановки при скорости ветра от 6 до 9 м/сек., составляла 7,2 т в час. Рассматривая кривую изменения количества поднятого зерна по времени в некоторых местах, после падения числа оборотов нории, замечаем резкие подъемы кривой производительности. Эти пики также являются результатом несовершенства подачи зерна к нории. Измерение зерна производилось мешками одного размера, которые беспрерывно подставлялись под насыпной рукав, при этом записывалось время наполнения каждого мешка. При установившейся скорости движения ковшей они заполнились зерном примерно наполовину. Как только происходит падение числа оборотов, ковши заполняются сверх краев (ибо подача не связана с числом оборотов), и вся эта порция после подъема сразу поступает в рукав, насыпающий мешки. Между тем, чтобы ветродвигатель совсем не остановился, вручную прикрывается заслонка на рукаве, подводящем зерно к нории. И как только установится нормальное число оборотов, заслонку снова приоткрывают настолько, чтобы ковши были заполнены примерно наполовину, так как при такой загрузке их наблюдалась нормальная работа установки, если скорость ветра не падала ниже 5 м/сек.

Неравномерность загрузки нории, а подчас и перегрузка, останавливающие ветродвигатель, не дали возможности получить точки, позволяющие построить характеристику производительности ветроустановки по скорости ветра и по числу оборотов вала нории.

Тем не менее из рассмотрения графика фиг. 137, мы можем все же констатировать, что работа ветродвигателя на элеваторе по транспортировке зерна вполне возможна. Однако подачу зерна к нории безусловно необходимо производить автоматически, в зависимости от числа оборотов шкива ленты нории. Без этого простого устройства работа ветродвигателя на элеваторе вообще невысказима.

5. ВЕТРОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩИЕ СЕЙЧАС В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

С 1935 г. по 1938 г. смонтировано в различных областях нашего Союза около 3 000 ветронасосных установок с ветродвигателями ВД-5 и ВД-8 м. Многие из них, вследствие различных производственных дефектов, а также неумелого монтажа и ухода за ними уже сейчас не работают и требуют капитального ремонта. Но большинство ветроустановок, правильно смонтированных и получающих надлежащий уход, работают неплохо и приносят хозяйству большую пользу. Ниже дается описание нескольких таких ветроустановок из материалов обследования лаборатории ветроиспользования ВИМЭ за 1936/37 г.

а) Ветронасосная установка ВД-5 м в г. Кургане Челябинской области

Курганский горкомхоз смонтировал ветронасосную установку в феврале 1937 г. для снабжения водой жителей окраины города.

Ветродвигатель ВД-5 м качает воду из шахтного колодца $1,4 \times 1,4 \times 9$ м в водонапорный железный бак, емкостью 8 м³, который помещен в будке, на высоте 3 м.

**б) Ветронасосная установка ВД-5 м в колхозе „Серп и молот“
Курганского района, Челябинской области**

В этом колхозе смонтирована ветронасосная установка в ноябре 1936 г. Ветродвигатель Д-5 м с поршневым насосом $d = 3 \frac{3}{4}$ " качает воду из шахтного колодца размером $2 \times 2 \times 8$ м в водонапорный бак деревянной конструкции на 6 кубометров. Бак помещен в будке на высоте 4 м, откуда вода по трубам подводится в скотные дворы. Двор для крупного рогатого скота оборудован автопоилками в количестве 70 шт. Ветронасосная установка подает воду для молочно-товарной фермы, хлебопекарни и тракторного парка. МТФ имеет:

крупного рогатого скота	86	голов
молодняка	154	»
свиней	121	»
лошадей	9	»

Серьезным недостатком установки является малый дебит колодца, а также и то, что водохранилище далеко не соответствует количеству потребителей воды.

**в) Ветронасосная установка ВД-8 м в колхозе им. Цвиллинга
Чесменского района, Челябинской области**

В колхозе им. Цвиллинга до 1937 г. колхозники доставали воду из колодцев вручную. На этом деле было занято 10 человек, работающих по 8 часов в день. В августе 1937 г. этот колхоз построил у себя ветронасосную установку. Ветродвигатель ВД-8 м Херсонского завода с поршневым насосом $d = 5 \frac{3}{4}$ " и ходом поршня $h = 450$ мм качает воду из колодца в 2 бака деревянной конструкции, емкость которых по 28 м^3 . Колодец размером $2,6 \times 2,6 \times 10,5$ обладает дебитом до 11 м^3 в час. Баки для запаса воды установлены на 6 железобетонных столбах высотой в 4 м. Водопроводная сеть состоит из железных труб разных диаметров:

4" труб	125	м
2 $\frac{1}{2}$ " »	213	»
2" »	446	»
1 $\frac{1}{2}$ " »	5	»
Всего		789 м

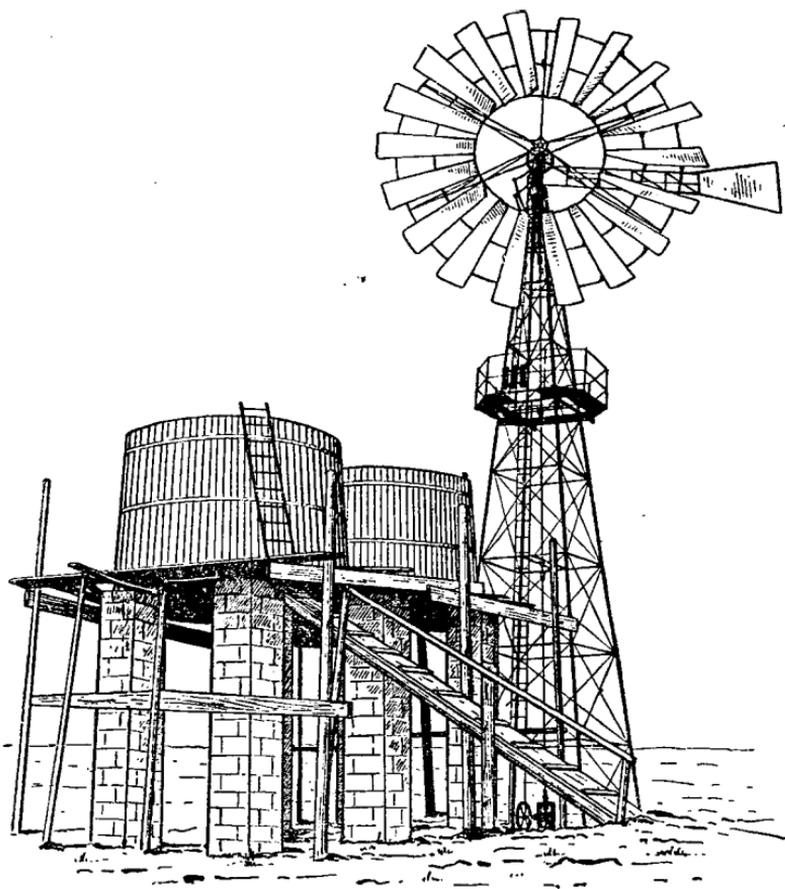
Общий вид ветроустановки показан на фиг. 138.
Колхоз в 63 двора имеет:

крупного рогатого скота	353	головы
молодняка	98	»
свиней	163	»
овец	809	»
лошадей	77	»

Общее количество потребной хозяйству воды составляет в сутки около 55 кубометров.

Производительность ветродвигателя ВД-8 на высоту $H = 16,5$ м с поршневым насосом $d = 5 \frac{3}{4}$ " и ходом поршня $h = 450$ мм может дать в час при скоростях ветра

v м/сек =	3	4	5	6	7	8
куб. м в час	4	6,5	9,18	12,5	15,0	17,5



Фиг. 138. Ветронасосная установка с ВД-8 м в колхозе им. Цвиллинга Чесменского района, Челябинской области.

г) Ветронасосная установка в МТС Н.-Анненского района, Сталинградской области

Ветродвигатель ВД-5 м находит применение в сельском хозяйстве не только для подъема воды, но и для перекачки горючего в запасные цистерны МТС.

Впервые для этой цели был смонтирован ВД-5 м в МТС Н.-Анненского района, Сталинградской области. Общий вид установки показан на фиг. 139.

Привозимое с железнодорожной станции горючее сливается в приемную цистерну, помещенную в грунте вблизи установки. Отсюда

ветродвигатель с поршневым насосом $d = 5 \frac{3}{4}$ " и ходом поршня $h = 400$ мм перекачивает горючее в запасные цистерны по общему трубопроводу, от которого к каждой цистерне сделан отвод с краном. При перекачке того или иного рода горючего открывается кран соответствующей цистерны, в то время как краны остальных цистерн закрыты. Суточная подача горючего составляет до 10 т. Ветродвигатель с насосом $d = 5 \frac{3}{4}$ " и $h = 400$ мм это количество горючего может перекачать даже при слабом ветре, например, при $v = 3$ м/сек., в течение трех часов. Нагрузка ветродвигателя за 1 год составляет около 1 000 т. Таким образом, ветроустановка работает с весьма слабым коэффициентом эксплуатации.

Несмотря на столь слабую загрузку ветродвигателя, хозяйству все же выгоднее содержать эту установку, чем пользоваться ручным трудом по перекачке горючего.



Фиг. 139. Ветронасосная установка ВД-5 м для перекачки горючего.

Несомненно, было бы правильнее производить перекачку горючего ветродвигателем побочно, в то время как основной работой ветродвигателя была бы более трудоемкая работа, например подъем воды для нужд МТС. Для этого нужно лишь иметь источник воды вблизи установки с горючим. В этом случае передачу движения от штанги ветродвигателя к штанге насоса для перекачки горючего можно было бы осуществить с помощью рычажных механизмов.

Такого же типа ветроустановки построены и в некоторых других МТС Сталинградской области.

Например, в Самошенской МТС, Алексеевского района, и в Яминской МТС, Алексеевского района, где установка перекачивает за год около 1 500 т горючего.

Использование ветродвигателя на перекачке горючего в МТС рационально не только потому, что его работа обходится хозяйству дешевле ручного труда, но и потому, что ветродвигатель в пожарном отношении не опасен:

д) Ветронасосная установка ВД-5 м на кирпичном заводе

Промартель «Перебудова» в селе Белиловка Ружинского района, Киевской области, в 1936 г. смонтировала на своем кирпичном заводе ветронасосную установку для подачи воды на замеску глины.

Общее количество потребной воды составляет около 14 кубометров в сутки.

При наличии запасного бака для воды, емкостью хотя бы на 30 кубометров, это производство может быть обеспечено водой за счет энергии ветра почти полностью.

Эта ветроустановка интересна, как один из примеров использования энергии ветра для промышленных целей.

VIII. ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОУСТАНОВОК В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В предыдущей главе был изложен материал, характеризующий работу ветроустановок в том их виде, как они смонтированы и эксплуатируются в конкретных хозяйственных условиях на местах. Этот материал с достаточной ясностью показывает, что ветроустановки в наших хозяйствах еще далеки от того состояния, при котором они могут работать эффективно.

1. Неправильно делается подбор насосов к ветродвигателю.
2. Установки недооборудованы помещениями для рабочих машин.
3. Недооборудованы необходимыми приспособлениями, обеспечивающими нормальную работу ветродвигателя.
4. Работают не с полной нагрузкой и т. д.

Основные условия хорошей работы ветроустановки:

1. Ветродвигатель прежде всего должен быть хорошо изготовлен из доброкачественных материалов и без каких бы то ни было производственных дефектов, нарушающих четкость действия рабочих механизмов ветродвигателя.

2. Ветродвигатель должен быть правильно смонтирован соответственно инструкции по монтажу.

3. Ветроустановка должна быть построена в строгом соответствии с теми работами, которые на нее будут возлагаться, а также на выгодном месте для потока ветра и условий работы.

Необходимо обращать особое внимание на четкость работы механизмов передачи и регулирования. Нельзя допускать ветродвигатель к эксплуатации, если будут замечены следующие основные дефекты монтажа:

а) отклонение оси башни от вертикали, что проверяется отвесом или специальным прибором. Этот дефект служит причиной поломки муфт вертикального вала у ВД-8 м, увеличивает трение, а также ускоряет износ в подшипниках;

б) грохот и стуки в зубчатых передачах, которые являются следствием неточной посадки зубчаток на вал и перекоса их осей относительно друг друга. Этот дефект ускоряет износ зубьев шестеренок;

в) ветроколесо не устанавливается в рабочее положение (плоскость вращения ветроколеса не перпендикулярна хвосту) при освобождении троса на лебедке пуска и останова ветродвигателя. Это происходит либо вследствие слабой затяжки пружины, либо из-за большого трения в опорных подшипниках головки ветродвигателя;

г) приводная лебедка дает вибрации во время работы, что происходит вследствие слабого крепления ее на фундаменте.

Об этих дефектах, как основных, мы упоминаем здесь потому, что ветроустановки с этими дефектами не могут хорошо работать, а также и потому, что многие ветроустановки, смонтированные на местах в 1936—1937 гг., были пущены в эксплуатацию именно с этими дефектами, вследствие чего они быстро вышли из строя.

Ветроустановка перед сдачей в эксплуатацию должна поработать под нагрузкой не менее 24 часов, в течение которых и обнаруживаются те или иные неполадки, с тем, чтобы их своевременно устранить.

Третье условие — нагрузка и выбор места установки выполняется самим хозяйством. Ветроустановка может быть и хорошо смонтирована, но если нагрузка будет недостаточна, стоимость ее работы будет высокой. Следовательно, такая установка будет невыгодна в эксплуатации.

Поэтому, прежде чем монтировать ветродвигатель, необходимо продумать общий комплекс условий, в которых он будет работать: 1) скорость ветра и повторяемость ветров хотя бы по сезонам года, 2) объем и характер нагрузки, а также ее сезонность и 3) место расположения ветроустановки (рельеф, расстояние ветроустановки от потребителей и т. п.).

Основным моментом при выборе рельефа местности является высота различных препятствий, нарушающих прямолинейность потока ветра. Необходимо располагать ветродвигатель так, чтобы ось ветроколеса была выше всех близко расположенных препятствий по крайней мере на $2 \text{ м} + R$, где R — радиус ветроколеса. При этом должно быть соблюдено условие.

$$H \geq h + R + 2 \text{ м},$$

где H — высота башни, h — высота препятствий.

В соответствии со всеми этими условиями необходимо произвести расчет и спроектировать ветроустановку с полным ее оборудованием.

Не вдаваясь в детальную разработку того или иного типа ветроустановки¹, приведем несколько схем, отличающихся друг от друга видом нагрузки установки и мощностью ветродвигателя, чтобы дать некоторое представление о количестве возможной работы, которое может дать правильно построенная ветроустановка.

1. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ВЕТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК С ВД-5 м

Ветронасосная установка с ветродвигателем Д-5 м наиболее удобна для подъема питьевой воды из скважин и колодцев. На фиг. 140 показана схема ветронасосной установки для снабжения питьевой водой скотного двора в хозяйстве.

Источник воды позволяет расположить ветродвигатель вблизи ее потребителей. Это наиболее благоприятный случай, с точки зрения затраты средств на оборудование установки сетью трубопроводов, подводящих воду к потребителям.

¹ Детальная разработка типовой ветроустановки требует специального проектирования и расчета.

При решении вопроса о постройке такого типа ветроустановки необходимо принимать в соображение следующие моменты:

1. Достаточен ли дебит колодца или скважины, чтобы полностью обеспечить потребителей водой.

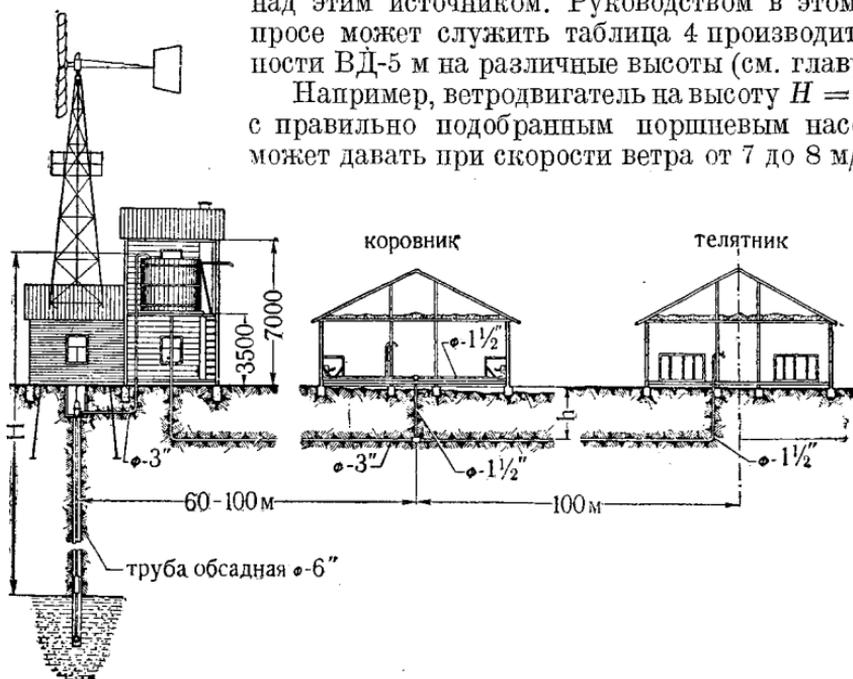
2. На какую высоту необходимо поднимать воду, считая эту высоту от динамического уровня воды в скважине до верхней точки выхода ее из нагнетательного трубопровода.

3. Количество потребителей воды в хозяйстве.

4. Среднегодовая скорость ветра в данном районе.

Если дебит колодца мал и вода залегает неглубоко, то естественно, над таким источником монтировать установку не следует. Если же дебит мал, но вода залегает глубоко, так что производительность ветродвигателя на данную высоту не превышает дебит колодца, то в этом случае мы имеем условие, допускающее постройку ветроустановки над этим источником. Руководством в этом вопросе может служить таблица 4 производительности ВД-5 м на различные высоты (см. главу I).

Например, ветродвигатель на высоту $H = 10$ м с правильно подобранным поршневым насосом может давать при скорости ветра от 7 до 8 м/сек.



Фиг. 140. Конструктивная схема ветронасосной установки с ВД-5 м.

до 9 кубометров воды в час, а на высоту $H = 90$ м только 1 м³ в час. В первом случае дебит источника должен быть равным не менее 9 кубометров в час, во втором — не менее 1 м³.

Количество потребителей обуславливает суточный расход воды в хозяйстве, который является исходной величиной для определения необходимой мощности ветродвигателя. И, наконец, зная среднегодовую скорость ветра, мы можем построить график возможной производительности ветроустановки и расхода воды по месяцам года, который наглядно покажет, в какой мере проектируемая ветроустановка может обеспечить хозяйство водой.

Для пояснения вышесказанного решим такой пример.

Хозяйство желает с помощью ветродвигателя обеспечить водой скотный двор, в котором:

Крупного скота	200	голов
Телят	100	»
Овец	300	»
Свиней	100	»

Допустим, что источником воды является скважина с дебитом 3,5 кубометров в час. Глубина скважины до динамического уровня 25 м. Вода должна поступать к потребителям по трубопроводу самотеком из водонапорного бака. Источник воды расположен вблизи скотного двора. Среднегодовая скорость ветра данного района равна $v_0 = 4$ м/сек. Ветродвигатель должен работать с ξ_{\max} при скорости ветра $v_m = 3$ м/сек.

Определить:

1. Необходимую мощность ветродвигателя, считая, что в периоды затишья, продолжающиеся более суток, вода будет подниматься конным приводом.

2. Подобрать поршневой насос к ветродвигателю.

Решение:

1. Суточный расход воды согласно нормам расхода на одного потребителя.

В стойловый период

Крупный скот потребляет	$75 \times 200 = 15\ 000$	л/сутки
Телята потребляют	$25 \times 100 = 2\ 500$	»
Овцы »	$12 \times 300 = 3\ 600$	»
Свиньи »	$50 \times 100 = 5\ 000$	»

Итого 26 100 л/сутки

В полевой период

Крупный скот потребляет	$25 \times 200 = 5\ 000$	л/сутки
Телята потребляют	$12 \times 100 = 1\ 200$	»
Овцы »	$5 \times 300 = 1\ 500$	»
Свиньи »	$16 \times 100 = 1\ 600$	»

Итого 9 300 л/сутки

Принимаем (округленно) для стойлового периода 26 м³ и для полевого — 9 м³ в сутки.

2. Ввиду того что в периоды ветрового затишья предполагается подъем воды производить конным приводом, емкость водохранилища можно принять равной 20 м³.

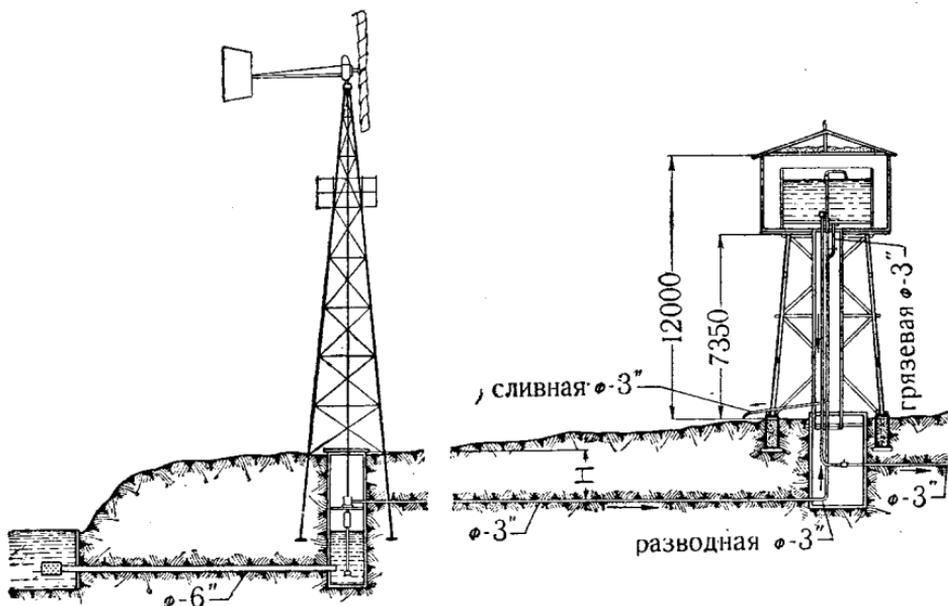
3. Чтобы обеспечить подвод воды в скотный двор самотеком, необходимо бак для запаса воды поставить либо на чердаке скотного двора, либо на вышке, как показано на схеме фиг. 140. Предположим, что высота в 3,5 м будет достаточной, чтобы обеспечить самотек воды в скотный двор.

Тогда общая высота подачи воды от динамического уровня скважины до выхода воды в бак составит около 30 м ($25 + 3,5 + 1,5 = 30$ м; 1,5 м — потери напора).

4. Данному расходу воды и напору $H = 30$ м соответствует ветродвигатель Д-5 м, что видно из таблицы 6 главы I (см. графу среднесуточной производительности против $v_0 = 4$ м/сек. и $H = 30$ м).

5. В этой же таблице 6 в строке $H = 30$ м находим необходимый ход поршня $h = 403$ для насоса $d = 3 \frac{3}{4}$ " и необходимый дебит, равный $3,2$ м³/час, что соответствует действительному дебиту в $3,5$ м³/час. Ход поршня принимаем равным 400 мм, который дается кривошипным механизмом ВД-5 м.

На фиг. 141 дана конструктивная схема ветроустановки с водонапорной башней. Такой тип установки придется строить в тех случаях,



Фиг. 141. Конструктивная схема ветронасосной установки ВД-5 м с водонапорной башней.

когда источником питьевой воды для скота является река, либо пруд, расположенные вне колхоза. Водонапорная башня необходима для того, чтобы осуществить самотек воды к скотным дворам.

2. ВЕТРОУСТАНОВКИ С ВЕТРОДВИГАТЕЛЕМ ВД-8 м

Ветродвигатель ВД-8 м имеет вращающийся вертикальный вал с приводной лебедкой у основания башни, от которой можно передавать работу либо насосам, либо с.-х. машинам. Поэтому ветродвигатель ВД-8 м удобен для комплексной работы в сельском хозяйстве, т. е. для приведения в движение либо одной машины, либо нескольких в зависимости от их мощности и силы ветра, а также потребности исполнения того или иного вида работы.

Рассмотрим несколько конструктивных схем ветроустановок с этим типом ветродвигателя.

а) Ветрооросительная установка с ВД-8 м

Первый вопрос, который должен интересовать хозяйство — это вопрос о количестве гектаров подлежащих орошению данной ветроустановкой. На этот вопрос можно ответить более или менее точно, если известны напор H , с которым будет работать насос, вид культур, подлежащих орошению, среднегодовая скорость ветра v , данного района, а также дебит источника воды.

Сделаем подсчет, задавшись потребным количеством воды на 1 га в среднем 4 000 м³ за сезон и потерями воды на испарение и просачивание из водохранилища и каналов — 60%; получим общее количество воды на 1 га, которое должна поднять ветроустановка, равным 4 000 + 0,6 · 4 000 = 6 400 м³/га.

Конечно, при проектировании ветроустановки необходимо определять потребное количество воды с учетом вида культуры по существующим нормам НКЗ СССР для каждой области. Например: укрупненный график гидромодуля Приволжской полосы дает величину расхода воды на 1 га 0,33 л/сек. Прибавив сюда 60% на потери воды, получим общий секундный расход, равный = 0,33 + 0,6 · 0,33 = 0,53 л/сек. на 1 га. При данном гидромодуле на 1 га ветроустановка должна подать за сезон с 28 апреля по 19 августа (113 дней) воды:

$$Q = 0,53 \cdot 86\,400 \cdot 113 = 5170 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Принимая исходную данную в 6 400 м³/га за 6-месячный сезон орошения, мы можем ориентировочно подсчитать количество гектаров огорода, который может быть орошен ветроустановкой ВД-8 м.

Подсчет сделан в таблице, построенной для разных среднегодовых скоростей ветра по М. М. Поморцеву и на разные высоты подачи воды, которые учитывают и потери в трубопроводах.

Для напоров 6 м и ниже выгоднее присоединить центробежный насос большего диаметра; например завода им. Фрунзе тип АС-100 или Мелитопольского завода тип гр. X; $d = 100$ мм. Эти насосы на низкие напоры могут работать с ветродвигателем Д-8 м и дают большую производительность.

Местные условия профиля орошаемого участка по отношению к источнику воды дают возможность с приблизительной точностью определить напор H , с которым будет работать ветронасосный агрегат. Следовательно, пользуясь таблицей 1, мы сразу можем сказать, какое количество гектаров может оросить ветроустановка с ВД-8 м, предполагаемая к постройке в данном хозяйстве. Эти величины являются весьма приближенными, однако для ориентировки при решении практических вопросов вполне пригодными.

Что же будет делать ветродвигатель по окончании оросительного сезона? Этот вопрос также необходимо разрешить хозяйству перед постройкой ветроустановки, ибо держать ее бездействующей в течение полгода будет нерационально. На этот вопрос мы можем ответить лишь тем, что укажем, на каких работах и с какими машинами в неоросительный период мог бы работать ветродвигатель Д-8 м.

Во-первых, обработка кормов и, во-вторых, помол, а также пилка древесины. Эти виды работ относятся, как говорят, к мягкому графику

Таблица 1

Количество гектаров, которые можно оросить ветроустановкой ВД-8 м при разных среднегодовых скоростях ветра и высотах подачи воды, считая общий расход воды 6 400 м³ на гектар за оросительный сезон с 15/IV по 15/IX. Ветро-двигатель работает с центробежным насосом тип. В-60 завода им. Фрунзе

Название определяемых величин	Напоры H_m						
	4	6	8	12	16	20	24
	$v_0 = 4$ м/сек.						
Количество воды, которое может подать ветроустановка за сезон м ³	95 000	86 000	78 000	61 000	45 000	37 000	25 000
Количество гектаров, которое может оросить ветроустановка за оросительный сезон	15	13	12	9	7	6	4
	$v_0 = 5$ м/сек.						
Количество воды, которое может подать ветроустановка за сезон в м ³	122 000	110 000	107 000	91 000	74 000	63 000	46 000
Количество гектаров, которое может оросить ветроустановка за сезон	19	17	16	14	12	10	7
	$v_0 = 6$ м/сек.						
Количество воды, которое может подать ветродвигатель за сезон в м ³	146 000	139 000	133 000	118 000	100 000	87 000	68 000
Количество гектаров, которое может оросить ветроустановка за сезон	23	22	21	18	15	13	10

Примечание. Указанное в таблице количество воды будет поднято в том случае, если ветродвигатель будет работать непрерывно, когда есть ветер достаточной силы. Это осуществимо в том случае, если имеется достаточной емкости водохранилище.

нагрузки. Следовательно, если позволяют территориальные условия, эта ветроустановка, помимо орошения, может производить весьма большую работу в хозяйстве с 15/IX по 15/IV. В этом случае мы получим полную загрузку ветродвигателя.

Посмотрим далее, как будет выглядеть годовой график нагрузки ветроустановки при использовании ее, помимо орошения и на другие

работы. Для этого воспользуемся записями ветров одной из метстанций Украины (Алексеевская) и подсчитаем годовую выработку мощности ветродвигателя, исходя из повторяемости и среднемесячных скоростей ветра по этой станции.

Данные для подсчета взяты из материалов обработки ветров за 1891—1899 гг. Н. В. Красовского.

Подсчет выработки в л. с. ч. ВД-8 м по месяцам приведен в таблице 2.

Таблица 2

Выработка 18-лопастного ветродвигателя Д-8 м по месяцам для среднегодовой скорости ветра $v_0 = 5,87$ м/сек. Повторяемость скоростей ветров по наблюдениям метстанции Алексеевская-Николаевское за период 1891—1899 гг.

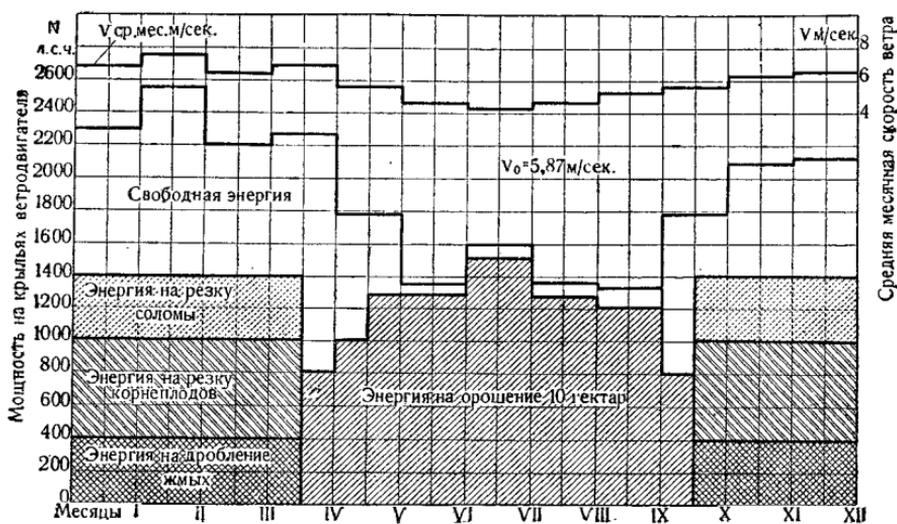
v м/сек. скорость ветра	Средняя мощн. л. с.	Январь v = 6,84 м/сек.		Февраль v = 7,52 м/сек.		Март v = 6,36 м/сек.		Апрель v = 6,92 м/сек.		Май v = 5,61 м/сек.		Июнь v = 4,61 м/сек.	
		часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.
2—3	0,2	112	22	105	21	108	22	102	20	162	32	171	34
4—5	1,2	199	239	160	192	194	233	179	215	190	228	212	254
6—7	3,5	136	476	106	371	141	493	124	434	109	381	96	336
8 и выше	6,4	240	1 536	306	1 960	227	1 452	249	1 591	178	1 140	112	717
Итого		2 273		2 544		2 200		2 260		1 781		1 341	

v м/сек. скорость ветра	Средняя мощн. л. с.	Июль v = 4,31 м/сек.		Август v = 4,59 м/сек.		Сентябрь v = 5,5 м/сек.		Октябрь v = 5,72 м/сек.		Ноябрь v = 6,31 м/сек.		Декабрь v = 4,46 м/сек.	
		часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.
2—3	0,2	193	39	196	39	144	29	158	32	134	27	152	30
4—5	1,2	234	281	218	262	224	269	217	260	205	246	192	230
6—7	3,5	89	312	95	332	101	353	97	339	119	416	124	434
8 и выше	6,4	151	968	114	730	106	678	179	1 145	215	1 376	220	1 408
Итого		1 600		1 363		1 329		1 776		2 065		2 102	

Годовая выработка 22634 л. с. ч.

Примечание. Подсчет мощности $N = 0,000654 D^2 v^3 \xi$ произведен с $\xi = 0,3 = \text{Const.}$ на крыльях (на валу ветроколеса).

На фиг. 142 дан график нагрузки, где энергия распределена следующим образом.



Фиг. 142. График нагрузки при использовании ветрооросительной установки в зимний период на комплексную работу в хозяйстве.

На орошение за сезон апрель — сентябрь 7 900 л. с. ч., что дает на высоту 10 м $Q = 64\ 000 \text{ м}^3$ При расходе воды на 1 га $6\ 400 \text{ м}^3$, получим общую площадь орошения, равную 10 га.

На переработку кормов	8 400 л. с. ч.
из них на дробление	2 400 »
на резку корнеплодов	3 600 »
на резку соломы	2 400 »

При расходе энергии на тонну переработанного материала: 4,5 л. с. на тонну соломы, 5 л. с. на тонну жмыха, 0,75 л. с. на тонну корнеплодов, с учетом их мойки, получим следующее количество переработанных кормов:

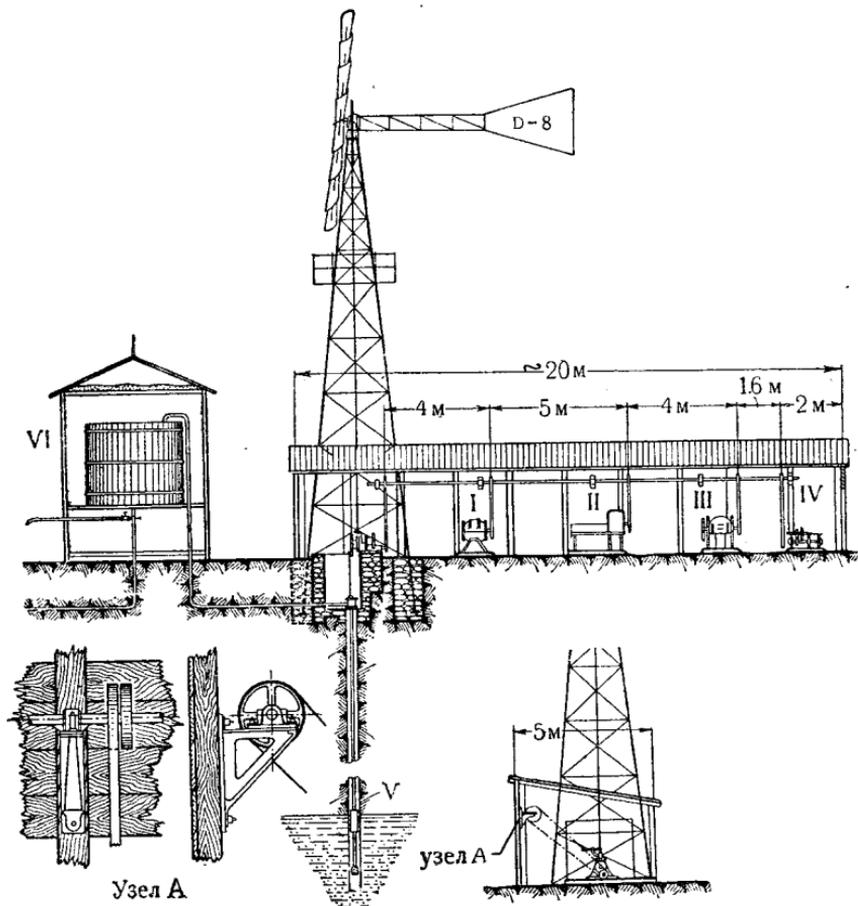
соломы	$2\ 400 : 4,5 = 535 \text{ т}$
корнеплодов	$3\ 600 : 0,75 = 4\ 800 \text{ т}$
жмыхов и зерна	$2\ 400 : 5 = 480 \text{ т}$

Зная нормы расхода продукции на 1 голову, нетрудно установить количество скота, которое может быть обеспечено кормами, переработанными за счет данной установки.

б) Ветроустановка с ВД-8 м для комплексного использования в животноводческом хозяйстве

Наиболее удачно может быть использована энергия ветра в животноводческом хозяйстве при комплексном использовании ВД-8 м (фиг. 143). Выше в таблице 2 (гл. V) дается список машин и их мощностей, которые могут быть присоединены к трансмиссии ветроустановки с ВД-8 м.

В этой же таблице даны необходимые передаточные отношения оборотов ветроколеса к оборотам машины, которые позволяют определить диаметры шкивов трансмиссии при данных диаметрах шкивов машин.



Фиг. 143. Ветроустановка ВД-8 м для комплексного использования в животноводческом хозяйстве.

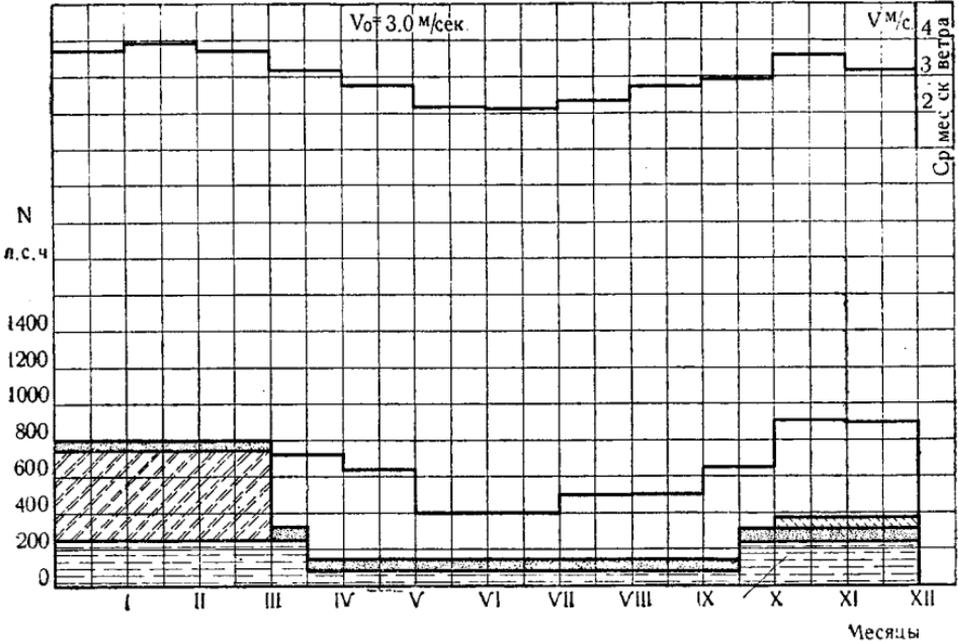
Эксплуатация такой ветроустановки может протекать приблизительно так, как дается графиком фиг. 144, где заштрихованные площадки дают количество лошадино-силочасов, которое может быть затрачено на различные виды работ в хозяйстве. Нагрузка графика подсчитана в предположении, что хозяйство имеет:

- 300 голов крупного рогатого скота
- 200 голов молодняка
- 100 голов свиней крупных
- 400 овец.

На содержание этого скота ветроустановка должна: подать воды за сутки в стойловый период:

75 × 300	22 500
25 × 200	5 000
50 × 100	5 000
12 × 400	4 800

37 300 л/сутки.



- Энергия на дробление жмыха и зерна.
- Энергия на резку корнеплодов.
- Энергия на резку соломы.
- Энергия на подъем воды.
- Свободная энергия.

Фиг. 144. График возможной нагрузки при комплексном использовании ветродвигателя в животноводческом хозяйстве.

В полевой период:

25 × 300	7 500	}
12 × 200	2 400	
16 × 100	1 600	
5 × 400	2 000	
13 500 л/сутки.		

Население питается водой из другого источника.
Обработка кормов:

Соломы 1 000 × 300		3 00,0 т
478 × 200		96,0 т
Итого		396,0 т
Корнеплодов:		
500 × 300		150,0 т
10 × 200		2,0 »
800 × 100		80,0 »
		232,0 т

Жмыхов и концентратов: 200 × 300	60,0 т
80 × 200	16,0 »
400 × 100	40,0 »
	116,0 т

(Кормовые единицы взяты из справочника статистических данных по животноводству.)

График выработки построен для среднегодовой скорости ветра $v_0 = 3$ м/сек., для чего в расчет были приняты записи о ветрах Рославльской метстанции Смоленской области из материалов по энергоресурсам Н. В. Красовского. По этим данным подсчитана таблица 3 выработки в л. с. ч. ветроустановки ВД-8 м по месяцам.

Если считать, что на тонну переработки материала требуется мощность:

для резки соломы	4,5 л. с. ч. на 1 т
» корнеплодов	0,75 » » 1 »
» дробления жмыха	5 » » 1 »
» подъема воды на высоту $H = 1$ м .	0,0075 » » 1 »

то получим следующие цифры потребной мощности от ветродвигателя: на подъем воды при высоте $H = 30$ м:

в стойловый период $0,0075 \times 37 \times 30 \times 6 \times 30 =$	1498 л. с. ч.
» полевой » $0,0075 \times 13,5 \times 30 \times 6 \times 30 =$	546 »

на резку соломы	$4,5 \times 396,0 =$	1782 л. с. ч.
» мойку и резку корнеплодов $0,75 \times 232,0 =$		174 л. с. ч.
» дробление жмыхов	$5 \times 136 =$	680 л. с. ч.

Итого 4680 л. с. ч.

Таблица 3

Выработка 18-лопастного ветродвигателя Д-8 м по месяцам для среднегодовой скорости ветра $v_0 = 3,01$ м/сек. Повторяемость скоростей ветров по наблюдениям метстанции Рославль за период 1892—1903 гг.

Скорости ветров v м/сек.	Средняя мощн. л. с.	Январь $v = 3,72$ м/сек.		Февраль $v = 3,93$ м/сек.		Март $v = 3,7$ м/сек.		Апрель $v = 3,16$ м/сек.		Май $v = 3,75$ м/сек.		Июнь $v = 2,15$ м/сек.	
		часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.
2—3	0,2	222	44,4	167	33,4	216	43,2	205	41,0	213	42,6	178	35,6
4—5	1,2	158	189,6	150	180	172	206,3	166	199	119	142,8	97	116,4
6—7	3,5	66	231	76	266	86	301	63	220	57	199,4	35	122,4
8 и выше	6,4	9,5	608	93	595	74	473	47	300	44	281,2	25	160
Итого . . .			1073		1074,4		1023,5		760		666		434,4

Таблица 3 (продолжение)

Скорости ветров v м/сек.	Средняя мощн. л. с.	Июль $v = 2,12$ м/сек.		Август $v = 2,3$ м/сек.		Сентябрь $v = 2,72$ м/сек.		Октябрь $v = 2,93$ м/сек.		Ноябрь $v = 3,55$ м/сек.		Декабрь $v = 3,13$ м/сек.	
		часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.
2—3	0,2	218	43,6	196	39,2	218	43,6	253	50,6	212	42,4	230	46,0
4—5	1,2	85	104	106	127,2	136	163,2	141	169,4	153	183,6	138	166
6—7	3,5	29	101,4	36	126	49	171,2	56	196	68	238	80	280
8 и выше	6,4	30	192	37	236,6	26	166	42	269	76	486	71	454
Итого		441		529		544		685		950		946	

Годовая выработка: 9 126 л. с. ч.

Примечание. Подсчет мощности $N = 0,000654 D^2 v^3 \xi$ произведен с $\xi = 0,3 = \text{Const}$ на крыльях.

Возможная выработка ветроустановки составляет 9 126 л. с. ч. за год; требуется 4 680 л. с. ч. Остаток энергии в 9 126 — 4 680 = 4 446 л. с. ч. частично может быть израсходован на другие нужды в хозяйстве.

Так как энергия ветра протекает непрерывно, то естественно значительное количество энергии не будет использовано, в то время как в общий график выработки она вошла, ибо выработка подсчитана при условии работы ветродвигателя все время, когда дует ветер.

3. ВЕТРОУСТАНОВКИ С ВЕТРОДВИГАТЕЛЕМ ВИМ Д-12 м

С 1939 года предполагается в нашем Союзе начать массовое производство ветродвигателей ВИМ Д-12 м, подробное описание которого дано в 1-й части.

Этот ветродвигатель предназначается в основном для ветроэлектрических станций. Однако, с равным успехом он может быть использован для целей орошения и для работы на машинах с механическим приводом.

Использование этого ветродвигателя для ветроэлектростанций в сельском хозяйстве будет описано в специальной работе «Ветроэлектростанции», которая ведется в лаборатории ветроиспользования ВИМЭ. Здесь мы остановимся кратко на том, как должна быть оборудована ветроустановка с этим двигателем, чтобы получить возможно больше работы за счет энергии ветра.

а) Ветрооросительная установка с ветродвигателем ВИМ Д-12 м

В оросительный сезон апрель — сентябрь ветродвигатель работает на центробежный насос для подъема воды из реки в водохранилище, откуда она самотеком каналами распределяется по оросительному участку. Когда сезон орошения заканчивается, ветродвигатель может работать на генератор постоянного тока в 3 квт.

Если к ветродвигателю будет присоединен центробежный насос тип В-80, подобранный нами выше (см. глава II), то количество гектаров, которое можно будет оросить за счет энергии ветра в различных ветровых условиях представится в следующем виде (см. табл. 4).

Таблица 4

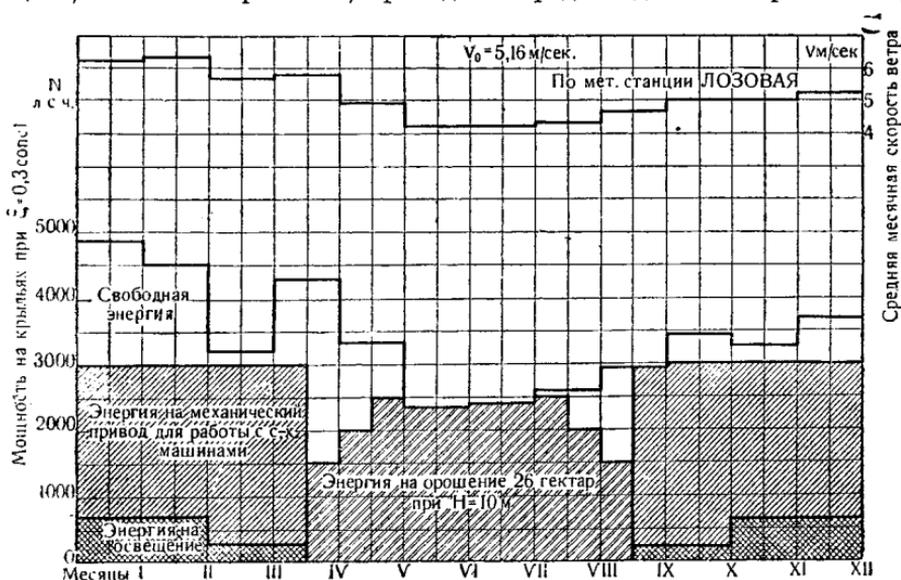
Ориентировочное количество гектаров, которое можно оросить ветроустановкой ВИМ Д-12 м при общей подаче воды на 1 гектар 6 400 м³ за сезон

	Н а п о р ы Н					
	6	8	10	12	16	20
	$v_0 = 4$ м/сек.					
Количество поднятой воды за сезон	143 000	134 000	125 000	116 000	100 000	85 000
Количество гектаров, которое может оросить ветроустановка ВИМ Д-12 м	22	21	20	18	16	13
	$v_0 = 5$ м/сек.					
Количество поднятой воды за сезон	185 000	175 000	170 000	160 000	145 000	130 000
Количество гектаров, которое может быть орошено ветроустановкой ВИМ Д-12 м	29	27	26	25	22	20
	$v_0 = 6$ м/сек.					
Количество поднятой воды за сезон	221 000	214 000	206 000	200 000	185 000	170 000
Количество гектаров, которое может быть орошено ветроустановкой ВИМ Д-12 м	34	33	32	31	29	27

Для напоров $H = 10$ м и ниже лучше присоединить центробежный насос типа АС-100 или гр. X $d = 100$ мм или завода «Ворез» $\Phi 26$, $d = 150$ мм. Характеристики их даны в главе II. Эти насосы на низкие напоры с ветродвигателем ВИМ Д-12 м могут давать производительность больше, чем насос типа В-80, производительность которого приведена в таблице.

Эта таблица, кроме того, указывает на то, что одним типом насоса охватить большой диапазон напоров нельзя, если тип двигателя по мощности остается неизменным.

Количество энергии, которое может дать ветроустановка с ВИМ Д-12 м, подсчитано в таблице 5 и приведено на графике фиг. 145. В таблице 5, помимо выработки, приведены среднегодовые скорости ветра



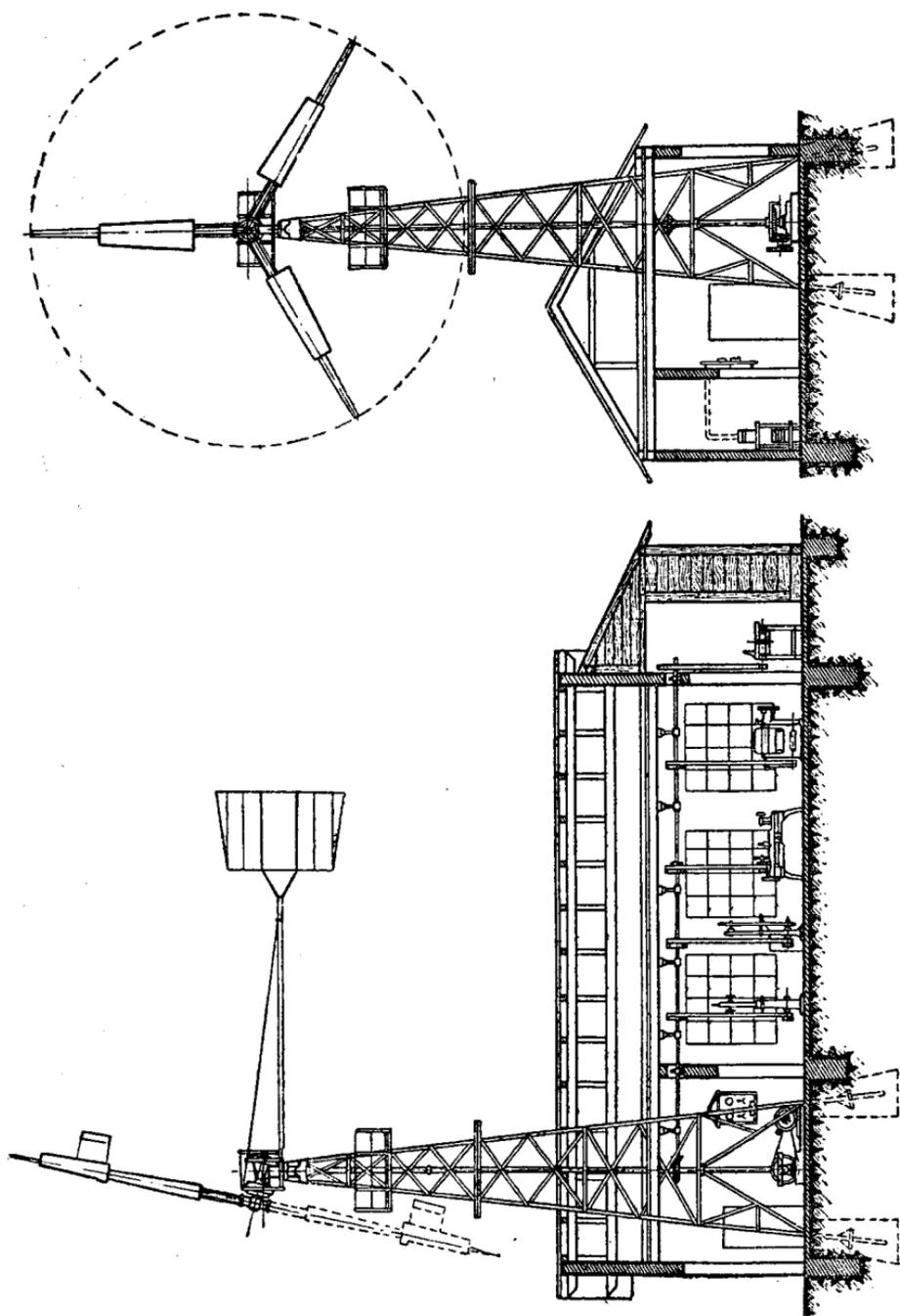
Фиг. 145. График количества энергии, которое может дать ветроустановка ВИМ Д-12 м.

и число часов повторяемости каждой скорости ветра. При подборе с.-х. машин, с которыми будет работать данная ветроустановка, можно руководствоваться таблицей 2 (см. главу V).

б) Конструктивная схема ветроустановки ВИМ Д-12 для работы на мастерскую в МТС

В районах, где среднегодовая скорость ветра выше 5 м/сек. ветродвигатель ВИМ Д-12 м можно также использовать и для работы на мастерскую в МТС, совхозе или колхозе. При этом основную часть нагрузки в зимний период будет составлять освещение мастерской и жилых домов, в летний период подъем воды на орошение огородов хозяйства, если есть вблизи источник воды. Имея ряд станков, мощность которых не выше 2—3 л. с. в каждом, можно регулировать нагрузку соответственно изменениям скорости ветра в течение дня. Общая схема ветроустановки с ВИМ Д-12 м для работы на мастерские показана на фиг. 146, где для примера показана мастерская со следующими станками:

1. Сверлильный станок типа 212 (СВ—25); $N_n = 1,5$ л. с.
Число оборотов шпинделя в минуту $n = 142, 222, 332$ и 510.
2. Ленточная пила.



Фиг. 146. Конструктивная схема ветроустановки ВМ Д-12 м для работы на мастерскую МТС.

3. Токарно-винторезный станок ТН-15; $N = 3$ л. с., число оборотов шпинделя 18 до 450.

4. Строгальный станок $N_n = 1,5$ л. с.

5. Круглая пила $d = 600$ мм.

6. Генератор на 3 квт (постоянный ток).

Таблица 5

Выработка ветродвигателя ВИМ $D=12$ м по месяцам для среднегодовой скорости ветра $v_0 = 5,16$ м/сек. Повторяемость скоростей ветра по наблюдениям метстанции Лозовая за период 1892—1900 гг.

v м/сек.	Средняя мощн. л. с.	Январь $v = 6,28$		Февраль $v = 6,34$		Март $v = 5,71$		Апрель $v = 5,77$		Май $v = 4,88$		Июнь $v = 4,26$	
		часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.
4—5	2,7	212	573	166	448	228	616	210	567	219	591	243	656
6—7	7,9	136	1 074	127	1 003	113	893	108	853	112	885	98	774
8 и выше	14,4	221	3 180	212	3 055	118	1 700	196	2 820	127	1 830	65	936
Итого		3 827		4 506		3 209		4 240		3 306		2 366	

v м/сек.	Средняя мощн. л. с.	Июль $v = 4,23$		Август $v = 4,32$		Сентябрь $v = 4,7$		Октябрь $v = 5,03$		Ноябрь $v = 5,03$		Декабрь $v = 5,25$ м/сек.	
		часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.	часы	л. с. ч.
4—5	2,7	229	618	220	594	226	610	219	591	222	600	225	608
6—7	7,9	95	750	100	790	109	861	116	917	105	830	117	925
8 и выше	14,4	72	1 038	84	1 210	101	1 455	135	1 942	129	1 860	148	2 130
Итого		2 406		2 594		2 926		3 450		3 290		3 663	

Годовая выработка: 39 783 л. с. ч.

Примечание. Мощность $N = 0,000654 D^{2v^3}$ на крыльях с $\xi = 0,3 = \text{Const}$.

Одним из серьезных моментов правильной эксплуатации ветродвигателя при комплексном его использовании в хозяйстве является регулирование нагрузки.

Приключение той или иной рабочей машины к ветродвигателю должно производиться в соответствии со скоростью ветра. При слабых ветрах к ветродвигателю может быть приключен лишь поршневой насос, работа которого не требует постоянного присутствия человека. Машины, работающие в присутствии людей, должны приключаться при установившемся ветре. Порывистый ветер в пределах 1—4 м/сек. не позво-

лит вести непрерывную работу в течение определенного промежутка времени. Это будет вызывать простои с вытекающими отсюда неприятными последствиями. Непрерывность работы сельскохозяйственных машин будет обеспечена в том случае, если колебания скорости ветра не ниже 4—5 м/сек.

в) Ветроустановка с ветродвигателем ВИМ Д-12 для мельницы

Мельницы малых мощностей на 1 или 2 постава с успехом могут работать от ветродвигателя ВИМ Д-12 м.

На фиг. 147 дана конструктивная схема ветромельницы с этим ветродвигателем. Цифры на рисунке обозначают: 1, 2, 3, 4, — передача движения от вертикального вала на трансмиссию мельницы; 5 — постав, куда производится загрузка зерна; 6 — винт и 7 — самотаска (тип норри) транспортируют продукт размола во второй этаж мельницы. Из самотаски по рукаву 8 продукт поступает в бурат 9 для просеивания, откуда по рукаву 10 выходит мука, а по рукаву 11 — отруби.

Если такая мельница предполагается для работы с одним поставом, то размер камня согласно таблице 2—по подбору с.-х. машин (см. главу V) должен быть не более 885 мм в диаметре для района со среднегодовой скоростью ветра $v_0 = 5$ м/сек. и 1 065 мм для района с $v_0 = 6$ м/сек. Эти размеры принимаются с учетом затраты энергии на транспортировку продуктов помола. На эту работу требуется энергии в среднем 25% от мощности, потребляемой поставом.

4. ВЕТРОУСТАНОВКА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОСУШЕНИЯ ЗАБОЛОЧЕННЫХ УЧАСТКОВ

Ветродвигатель, работающий на осушение заболоченных участков, имеет огромные преимущества перед другими типами двигателей.

Хорошо изготовленный и правильно смонтированный ветродвигатель может работать без постоянного наблюдения почти в течение месяца, если предусмотрена автоматическая смазка рабочих механизмов. Поэтому расходы на эксплуатацию ветроосушительной установки крайне малы.

Ветроосушительные установки в большом количестве распространены в Голландии и Германии. Мощность ветродвигателя на осушение того или иного участка должна определяться, исходя из притока воды, который устанавливается мелиоративными организациями и ходом ветров в данном районе.

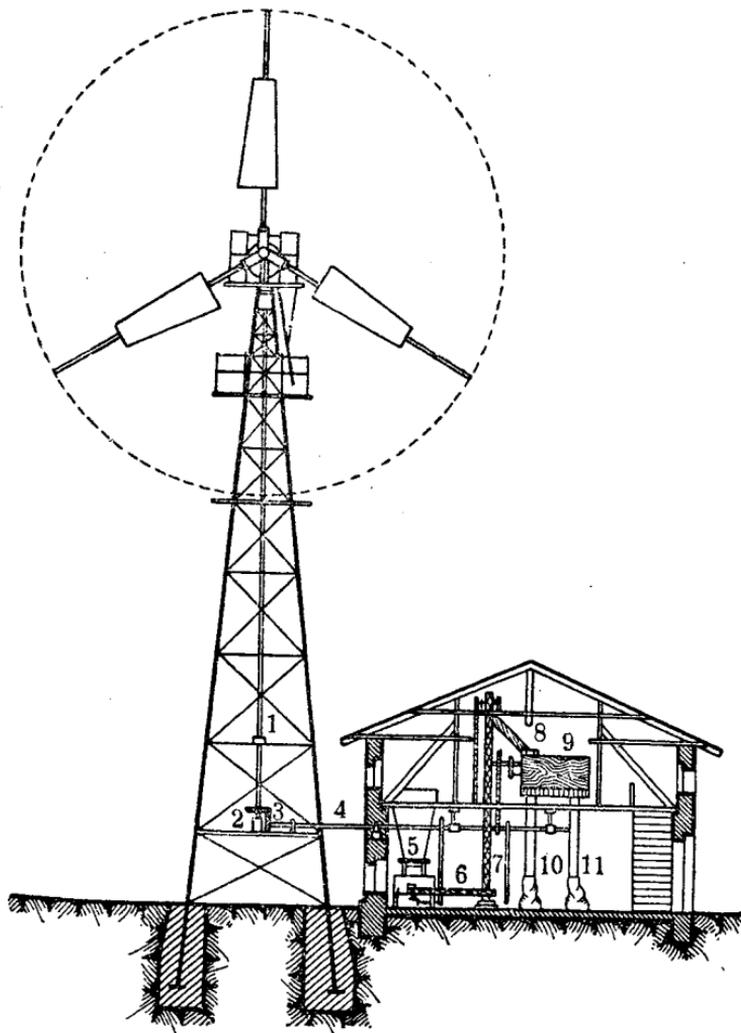
Наиболее подходящим насосом для целей осушения является Архимедов винт, который применяется для небольших высот подъема воды. В заграничной практике существуют два типа винтов: 1) закрытые в кожухе и 2) открытые.

Закрытые винты могут поднимать воду на высоту до 4 м, открытые — не более 3 м.

Закрытый винт вращается вместе с кожухом; у открытого винта вращается только ось с лопастями, помещенная в деревянном или каменном лотке. Угол наклона винтов делается для закрытых не более 45°, для открытых не более 30°.

Производительность винтов определяется по уравнению:

$$Q = \alpha \frac{q \cdot i \cdot n}{60} \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (1),$$



Фиг. 147. Конструктивная схема ветроустановки ВМ Д-12 м для работы на мельнице.

Для открытых винтов $\alpha = 0,6—0,7$.

Для закрытых винтов $\alpha = 0,7—0,8$.

i — число лопастей на данном винте; q — количество воды в одной винтовой лопасти в кубометрах; n — число оборотов винта в минуту. Для открытых винтов равно не более 70—80, а для закрытых — не более 50 об/мин. Для малых диаметров n может доходить до 200 об/мин.

Глубина погружения винта должна быть равна или немного больше $\frac{D}{2}$, где D — диаметр винта.

Длина винта

$$L = 2(H - 1,2R),$$

(2)

где H — высота подъема воды, R — радиус винта.

Число ходов винта делается в зависимости от его диаметра:

при диаметре меньше 170 мм — три,

при диаметре от 170 до 2 000 мм — четыре,

при диаметре больше 2 000 мм — пять.

В нижеследующей таблице 6 приведена производительность винтов разных размеров при подъеме воды на 1 м высоты.

Таблица 6

Производительность водоподъемных винтов разных размеров

Диаметр водоподъемного винта D мм	Обороты винта в минуту n об/мин.	Производительность Q на 1 м высоты		Необходимая мощность на 1 м высоты подъема воды
		л/сек.	м ³ /час.	
350	110	21	75	0,49
450	83	36	130	0,81
550	72	53	191	1,22
650	62	74	266	1,68
750	55	98	353	2,21
850	50	126	455	2,84
1 000	42	175	630	3,90
1 100	38	212	763	4,73
1 200	35	252	906	5,63
1 300	32	296	1 070	6,62
1 400	30	344	1 240	7,65
1 500	28	394	1 420	8,75

На фиг. 148 дана конструктивная схема ветроосушительной установки с ветродвигателем ВД-8 м.

Вышеприведенные схемы различных типов ветроустановок, само собою разумеется, не могут дать исчерпывающий ответ на все вопросы правильной эксплуатации их в том или ином хозяйстве.

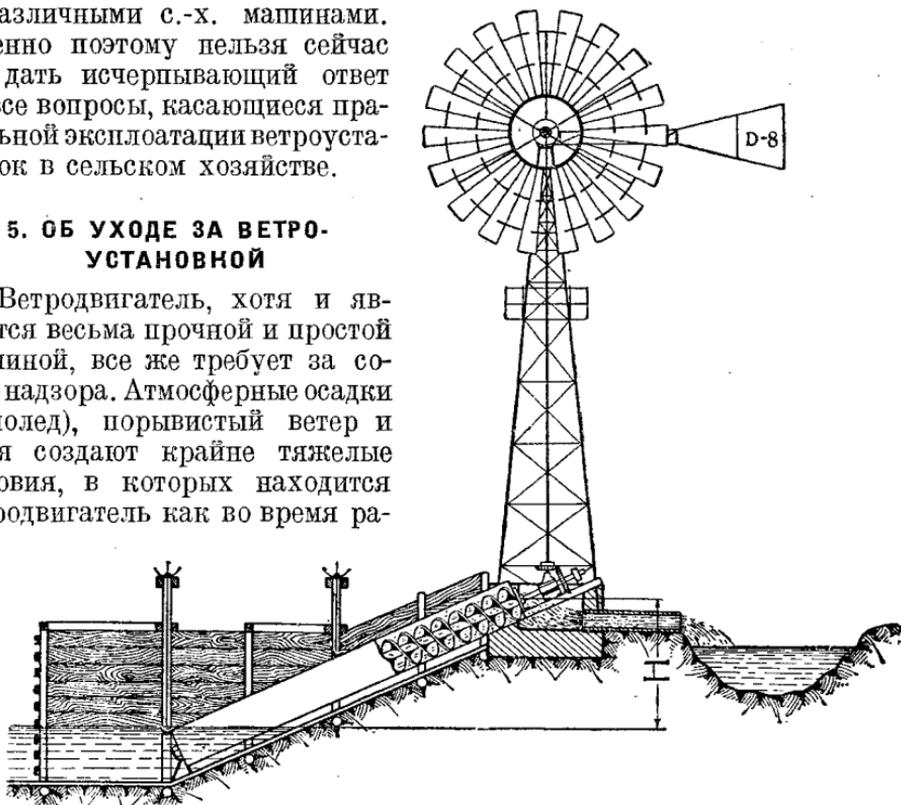
Многообразие видов работ и по количеству и по характеру процесса требует проведения ряда исследований эффективности различных с.-х. машин при переменных числах оборотов, техникоэкономических расчетов по выявлению наивыгоднейших условий ветровых и хозяйственных, в которых должен работать ветродвигатель и т. п.

Эти исследования у нас еще только начинаются, как и сами ветродвигатели только начинают находить свое применение для работы

с различными с.-х. машинами. Именно поэтому нельзя сейчас же дать исчерпывающий ответ на все вопросы, касающиеся правильной эксплуатации ветроустановок в сельском хозяйстве.

5. ОБ УХОДЕ ЗА ВЕТРОУСТАНОВКОЙ

Ветродвигатель, хотя и является весьма прочной и простой машиной, все же требует за собою надзора. Атмосферные осадки (гололед), порывистый ветер и буря создают крайне тяжелые условия, в которых находится ветродвигатель как во время ра-



Фиг. 148. Конструктивная схема ветронасосной установки ВД-8 м для осушения заболоченных земель.

боты, так и при стоянке. Это указывает на то, что уход и наблюдение за действующей ветроустановкой должны производиться ежедневно.

Материалы обследования ветроустановок на местах показывают, что наиболее часто подвергались авариям именно те ветродвигатели, при которых не было постоянных наблюдающих за их работой.

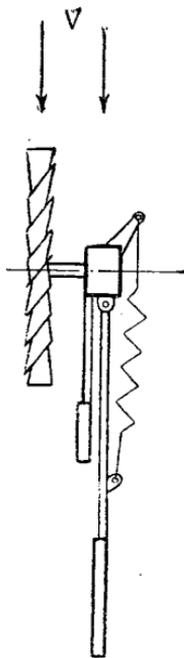
Чтобы предупредить поломки ветродвигателя недостаточно одного лишь формального надзора за ветроустановкой любым работником из колхоза, как это делается многими хозяйствами на местах. Необходимо, чтобы этот наблюдающий хотя бы немного был знаком с механизмами, понимал бы машину, за которой он смотрит, мог бы подметить неполадки во время работы и своевременно их устранить.

1. Многие наблюдающие за ветроустановкой на местах, будучи мало знакомы с системой регулирования ВД-5 м и ВД-8 м, позволяют иногда производить с ветродвигателем ВД-5 м недопустимые мероприятия.

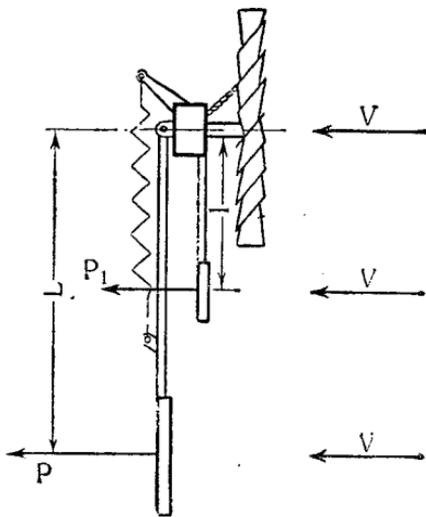
При скоростях ветра 8 м/сек. и выше начинает складываться ветроколено с хвостом (происходит регулирование ветродвигателя), как закон, эти скорости наблюдаются в середине дня и обычно в этот период происходит пойка стада скота. Однако, поскольку ветродвигатель вышел из-под ветра, он слабо качает воду или вовсе останавли-

вается, если скорость ветра выше 12 м/сек. Чтобы заставить ветродвигатель работать и при этих скоростях, неопытный наблюдающий либо затягивает сильно пружину, либо вместо пружины ставит канат, так что ветряк работает как с жестко закрепленным хвостом. Понятно, при такой «рационализации» ветряк при скоростях ветра выше 12 м/сек. сломается, ибо ветроколесо не может сложиться с хвостом и стать ребром к ветру, когда его скорость становится опасной для работы двигателя. Эта ошибка обычно допускается при тех ветроустановках, которые не имеют водохранилищ.

2. Вторую недопустимую ошибку делают наблюдающие за ветроустановкой, привязывая ветроколесо к башне, с целью предотвратить его



Фиг. 149. Положение ветроколеса по отношению к ветру, когда ветродвигатель остановлен.



Фиг. 150. Возможное положение ветроколеса и хвоста по отношению к ветру, если ветроколесо будет привязано к башне.

поворачивание во время останова. В этом случае неизбежны поломки и ветроколеса и хвоста.

Когда ветроколесо привязано к башне, головка ветродвигателя не может поворачиваться около вертикальной оси при поворачивании ее хвостом по ветру. Между тем хвост, сложенный с ветроколесом, все время устанавливается параллельно направлению ветра. Поэтому при порывах ветра как по скорости, так и по направлению, на поверхностях хвоста и лопасти регулирования возникают силы от давления ветра, которые и создают огромный ломающий момент, ибо они приложены на большом расстоянии от точки закрепления ветроколеса к башне.

На фиг. 149 в плане показана схема, как располагается ветроколесо и хвост по отношению к ветру, когда ветряк остановлен и свободно может поворачиваться около вертикальной оси, а на фиг. 150 показано,

как может направиться ветер на ветроколесо, лопату и хвост во время останова, когда оно привязано к башне. В этом случае при направлении ветра, указанном на фиг. 150, при порывистом ветре и направленном ветроколесе к башне, на поверхностях хвоста и лопаты возникают ветровые нагрузки, которые действуют на плечах, равных L и l . Кроме того, на ветроколесе возникает крутящий момент. Эти силы могут быть настолько велики, что при первом же порыве ветра произойдет поломка ветродвигателя.

Чтобы выяснить, как велики могут быть силы, ломающие хвост и ветроколесо $D=8$ м, когда оно привязано к башне, подсчитаем ломающие моменты для порыва ветра в 40 м/сек. При направлении ветра, как показано на фиг. 150, на хвосте возникает ломающий момент, равный.

$$M_{xв} = C_x \rho F_{xв} v^2 L, \quad (a)$$

где $C_x = 0,64$ — коэффициент сопротивления поверхности, перпендикулярной потоку ветра, $\rho = 0,125$ — массовая плотность воздуха, $F_{xв} = 5,0 \text{ м}^2$ — поверхность хвоста, $L = 6,8 \text{ м}$ — длина хвоста до центра парусности поверхности.

Ломающий момент лопаты:

$$M_l = C_x \rho F_l v^2 l, \quad (б)$$

где $F_l \cong 2 \text{ м}^2$ — поверхность лопаты; l — длина лопаты до центра парусности поверхности.

Ломающий момент на ветроколесе:

$$M_{кол.} = \bar{M} \pi R^3 \rho \frac{v^2}{2}, \quad (в)$$

где $\bar{m} = 0,5$ относительный начальный момент берем из продувок в аэродинамической трубе для многолопастных ветряков. $R = 4$ м радиус ветроколеса.

Подставляя выписанные нами цифровые значения в уравнения (а), (б), (в), получим:

$$M_{xв} = 0,64 \cdot 0,125 \cdot 5,0 \cdot 40^2 \cdot 6,8 = 4\ 350 \text{ кгм} \quad (a)$$

$$M_l = 0,64 \cdot 0,125 \cdot 2 \cdot 40^2 \cdot 5,1 = 1\ 300 \text{ кгм} \quad (б)$$

$$M_{кол.} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 4^3 \cdot 0,125 \frac{40^2}{2} = 10\ 000 \text{ кгм} \quad (в)$$

Эти нагрузки для ветряка являются совершенно случайными, ибо при расчете на прочность они не учитываются, так как данная система ветродвигателя благодаря возможности поворачиваться около вертикальной оси, как при работе, так и при стоянке, эти нагрузки исключает. Они могут возникнуть лишь в том случае, когда ветроколесо привязано к башне.

Ветроколесо можно привязывать только к хвосту, если это требуется при ремонте частей ветродвигателя. При этом у ВД-8 м вертикальный вал должен иметь возможность свободно проворачиваться в подшипниках. Это требуется потому, что привязанное ветроколесо к хвосту делает всю систему передачи жестко связанной, которая мо-

жет поворачиваться только в горизонтальной плоскости относительно вертикальной оси вала.

3. Следующей губительной для рабочего механизма ошибкой обслуживающего персонала является затормаживание ветряка нагрузкой на рабочий механизм.

Для остановки ветряка во всех системах ветродвигателей предусмотрены механизмы, позволяющие устранять действие внешних сил, вращающих ветроколесо: у одних способом вывода ветроколеса из-под ветра, как у ВД-5 м и ВД-8 м, у других поворотом лопастей или части их ребром к ветру и др. Но нигде не дается способа остановки ветродвигателя торможением через передаточный механизм и нельзя этот способ давать, равно как и применять, так как он обычно ведет к поломке зубьев в передаточных механизмах вала или его соединительных муфт. Дело в том, что когда ветродвигатель работает, то эти части испытывают нагрузку лишь от крутящего момента, который развивает ветродвигатель соответственно его числу оборотов и мощности ветроколеса. Эта мощность обычно рассчитывается при скорости ветра $v = 8$ м/сек.

Следовательно, рабочие части нагружены при этой скорости ветра лишь моментом, соответствующим мощности ветряка, которая при данной скорости у ВД-8 м не превосходит 7 л. с. на ветроколесе. При этом его крутящий момент составляет:

$$M_{кр.} = 716,20 \frac{N}{n} = 716,2 \frac{7}{25} = 200 \text{ кгм.} \quad (г)$$

Поскольку колесо у ветродвигателя после скорости ветра 8 м/сек. выходит из-под ветра, его мощность, а следовательно, и крутящий момент убывают, поэтому механизм ветродвигателя не перегружается.

При всех случаях торможения передачи внизу или вверху ветряка происходят поломки зубьев, вала и соединительных муфт.

За ветродвигателем должен производиться ежедневный уход, который требует от наблюдающего не более 30 минут. Если мы сравним это время с тем, что затрачивается на уход за тепловыми двигателями, то увидим, как мало времени требует ветродвигатель на уход за ним.

Ветроустановка не должна быть обезличена. Некоторые хозяйства делают большую ошибку, поручая наблюдение за ней разным лицам, не считаясь с их квалификацией. При такой постановке ухода за ветродвигателем, как показала практика, происходят поломки его частей и аварии.

Наблюдающий за ветроустановкой должен быть грамотным в технике и должен быть ответственным за аварии и поломки из-за недосмотра, за плохое состояние ветродвигателя и его оборудования.

Обязанности наблюдающего за ветроустановкой

1. Наблюдающий должен каждый день производить смазку трущихся мест рабочих частей механизма. При этом он должен иметь в виду, что хорошая смазка заключается в том, чтобы при минималь-

ном расходе масла не допускать сухое трение рабочих частей механизма. Излишняя смазка является источником загрязнения механизма и его опор.

Масло, налитое в картер головки, должно обновляться 1 раз в течение 6 месяцев. Для смазки ветродвигателя должны употребляться сорта масла, имеющие низкую температуру застывания, например моторное масло «Л», которое имеет следующую характеристику.

Удельный вес при 15°C $0,9 \text{ г/см}^3$.

Вязкость по Энглеру при 50°C 3,5.

Температура застывания не выше минус 10°C .

Отработанное и загрязненное масло для смазки употреблять нельзя.

2. Осмотр и смазку ветродвигателя необходимо производить по возможности в безветренное время, при этом ветродвигатель должен быть остановлен. На фиг. 151 дана схема ВД-8 м, на которой показано стрелками, где нужно делать смазку.

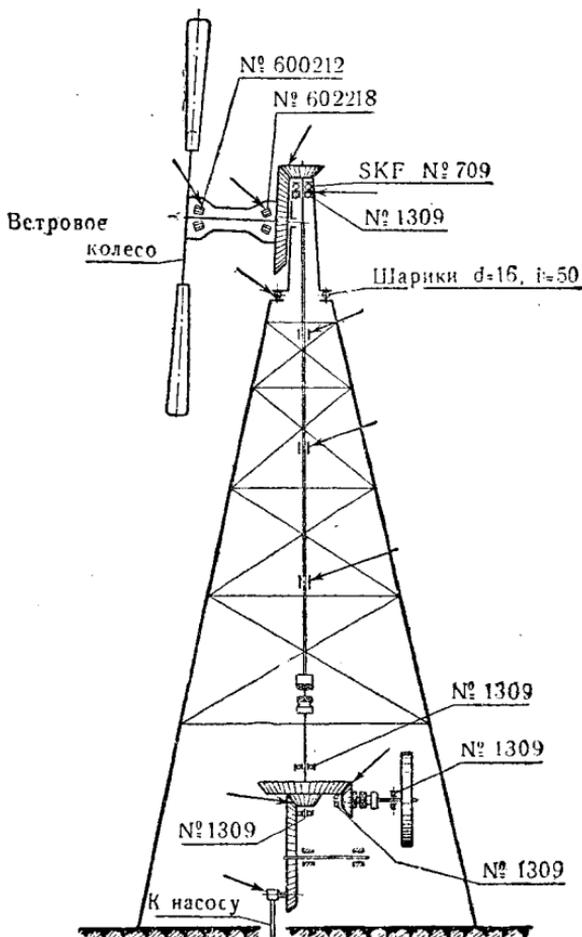
3. Наблюдающий должен иметь кладовку, где хранятся инструменты, запас смазки в чистых закрытых бидонах. Загрязненная и недоброкачественная смазка способствует быстрому износу трущихся частей.

4. Содержать в чистоте все масленки штауфера и смазочные отверстия.

5. Иметь запас жидкой смазки не менее 20 кг, тавота 10 кг, обтирочных концов или ветоши — 10 кг.

6. Производить проверку болтов и гаек на спицах ветроколеса, на ободе, механизме останова, на башне и других местах.

7. Производить текущий ремонт двигателя не реже одного раза в год, а мелкие дефекты устранять сейчас же, как только они будут замечены. Смену манжет поршня насоса необходимо делать обязательно не менее одного раза в год, а если будет замечена слабая подача насоса, то нужно тотчас же сменять манжеты. Для производства мел-



Фиг. 151. Схема ветродвигателя ВД-8 м, на которой стрелками указаны места смазки.

кого ремонта у наблюдающего должен быть в исправном состоянии комплект соответствующего слесарного инструмента и гаечных ключей, а также запасные манжеты.

8. Проверять соединения трубопроводов и менять сальниковую набивку в переходной коробке, как только будет замечено протекание воды. Не допускать скопления ее в шахте.

9. Окраску ветродвигателя производить через каждые 3 года. Перед началом окраски необходимо стальной щеткой удалить с пораженных мест ржавчину.

Наиболее подходящая краска шаровая, это разведенные олифой свинцовые белила с добавлением голландской сажи.

10. Обязательно утеплять на зиму шахту, водоразборную колонку, открытые запасные баки, краны водопровода.

11. Во избежание несчастных случаев не допускать посторонних людей на башню.

12. Если ветродвигатель складывается при скорости ветра меньшей, чем 8 м/сек., и слабо раскладывается, необходимо подтянуть пружину тендером. При недостаточности этой затяжки можно связать проволокой несколько витков пружины, чтобы они не расходились при ее растяжении. Если и это не помогает, необходимо потребовать от завода новую пружину.

13. Если ветроустановка стала давать мало воды, необходимо разобрать штангу насоса и вытащить поршень для смены манжет. При этом надо следить, чтобы в трубопровод не попал какой-либо твердый предмет, который может помешать работе поршневого насоса.

14. Если после смены манжет и исправления насоса он все же не подает воду, то это может происходить еще и потому, что в колодце мало воды. В этом случае могут оказать помощь местные мелиоративные организации.

15. Чтобы посторонние лица не могли производить запуск ветродвигателя, необходимо нижний рычаг останова и пуска двигателя ВД-5 м и рукоятку лебедки останова ВД-8 м привязать цепью к ноге башни и замкнуть.

16. Ни в коем случае не затормаживать передаточного механизма приводной лебедки ВД-8 м.

17. Нельзя привязывать ветроколесо к башне, если же потребуются не давать ему проворачиваться во время ремонта, то его можно привязать только к хвосту, освободив от нагрузки вертикальный вал ВД-8 м. При этом ветроколесо и хвост будут свободно устанавливаться по ветру. Если же ветроколесо привязать к башне, то поломки неизбежны, ибо ветроколесо и хвост в таком положении не могут устанавливаться на ветер.

18. При порче механизма останова и пуска и необходимости срочно остановить ветряк, нужно взять длинный канат, перебросить с балкона башни один конец через ферму хвоста и сделать петлю, затем снизу отвести хвост по часовой стрелке в сторону (пружина при этом положении растягивается), пока ветроколесо станет ребром к ветру и остановится. После этого временно, на момент данной работы, привязать ветроколесо к башне и продолжать отвод хвоста в этом же направлении, пока он сложится с ветроколесом. Как только это достигнуто,

сейчас же необходимо привязать ветроколесо к хвосту, отвязав его от башни.

19. При разворачивании штанги насоса у ВД-5 м, что делается в моменты переключения ее к приводной лебедке, необходимо проворачиванием ветроколеса поставить поршень насоса ближе к верхнему положению и затем разворачивать уже штангу. Если же этого не сделать, то при ее поворачивании поршень насоса может навернуться на резьбу, сделанную в верхней части коробки нижнего клапана, вследствие чего работа насоса будет нарушена.¹

20. Нужно помнить, что ВД-5 м может работать только с поршневым насосом, ибо его штанга приспособлена для работы только на растяжение.

Никаких других сельхозмашин к этому ветродвигателю приключать нельзя.

21. Необходимо останавливать ветродвигатель, когда не требуется вода и вообще его работа.

22. Наблюдающий должен требовать от рабочих при с.-х. машинах, работающих от ВД-8 м и ВИМ Д-12 м, чтобы они загрузку перерабатываемого материала делали не сразу, а постепенно.

23. Наблюдающий должен знать, что при слабых ветрах ветродвигатель может работать только на какую-либо одну маломощную машину. Приключение других машин необходимо делать в соответствии с установившейся скоростью ветра.

24. Центробежный насос, работающий с ВД-8 м или с ВИМ Д-12 м, начинает подавать воду только при определенном числе оборотов ветродвигателя. Поэтому наблюдающий, изучив при какой скорости ветра насос начинает подавать воду, должен запускать ветродвигатель в работу приблизительно при этой скорости ветра. На меньших ветрах ветродвигатель будет вращаться и изнашивать механизм совершенно напрасно.

25. Центробежный насос не будет подавать воду, если он не заполнен водой, поэтому при отсутствии автоматической заливки насоса наблюдающий должен после каждых длительных и коротких (1—2 часа) простоев проверять наличие воды в насосе, и если таковой нет, то производить заливку вручную.

Выполнение этих требований обеспечит хорошую работу ветродвигателя и увеличит его долговечность.

¹ Это замечание относится к поршневым насосам прежних выпусков.

IX. ДОПОЛНЕНИЯ

1. ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ВИМЭ-Д-3

Конструкция. Ветродвижитель ВИМЭ-Д-3 спроектирован и построен ВИМЭ в 1938 г. Этот быстроходный ($\frac{\omega R}{V} = 6$) ветродвижитель имеет 3-лопастное ветроколесо диаметром 3 м. Максимальное число оборотов ветроколеса в минуту (при расчетной мощности в 300 ватт) — 340. Генератор прикреплен к картеру головки ветродвижителя позади ветроколеса (фиг. 152).

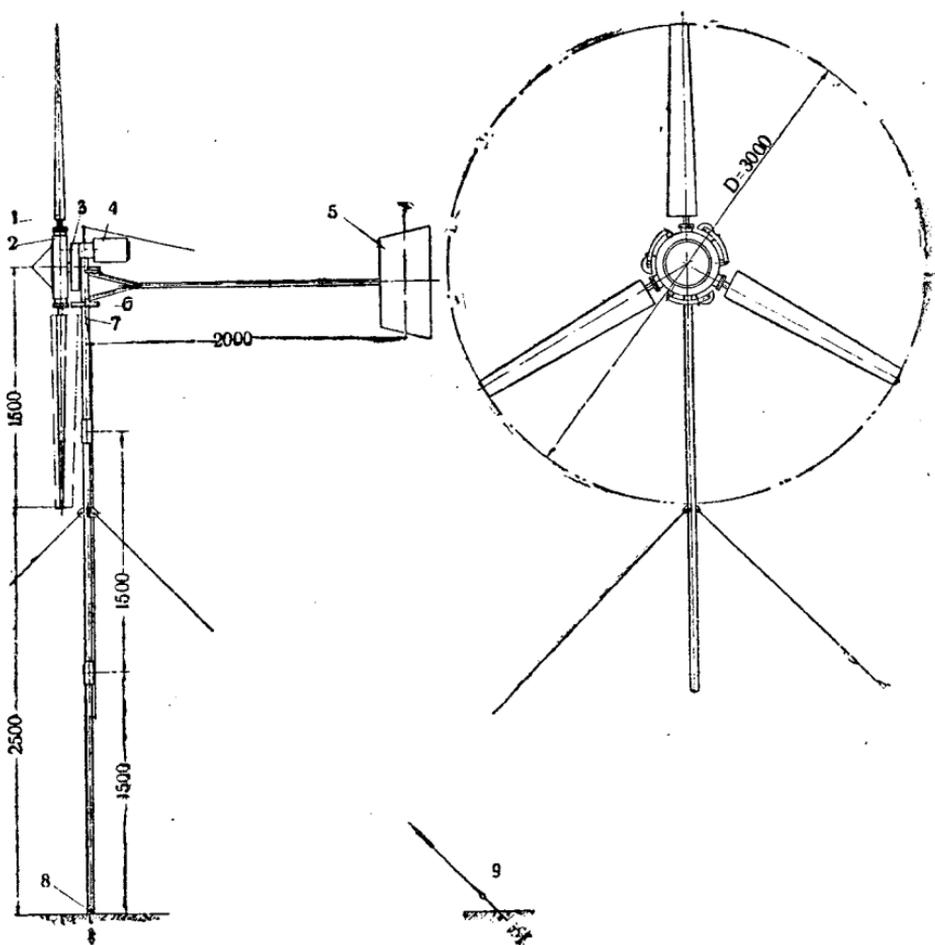
Конструкция головки ветродвижителя показана на фиг. 153.

Передача вращения от ветроколеса 1 к электрогенератору 2 заключена в сварной кожух 3, а механизм регулирования — в сварной кожух 4. Регулирование ветродвижителя осуществляется поворотом крыльев около осей махов. Если обороты ветроколеса не превышают расчетных (для данной скорости ветра), то крылья стоят под тем углом заклинения, который им задан для нормальной работы ветродвижителя. Когда же число оборотов с увеличением скорости ветра начнет возрастать, то центробежные грузы 5 под действием центробежных сил начнут перемещаться, проворачивая рычагами 6 коническое зубчатое колесо 7. Это колесо находится в зацеплении с коническими шестеренками 8, надетыми на внутренние концы махов, свободно вращающихся в шарикоподшипниках 9. Колесо 7, проворачиваясь, ставит крылья с помощью шестеренок 8 под другой угол атаки воздушного потока, и обороты ветроколеса снижаются.

При снижении числа оборотов (за счет уменьшения скорости ветра) грузы 5 под действием пружин 11 перемещаются к центру и возвращают колесо 7 в прежнее положение. Крылья, в связи с этим, поворачиваются на такой угол атаки, который обеспечивает необходимые обороты при данной скорости ветра.

Пуск и останов двигателя осуществляется так:

На переднем носке оси 12 ветроколеса смонтирована фрикционная муфта 13. Она может перемещаться на оси только продольно, входя в зацепление с колесом 7. Перемещение этой муфты осуществляется с одного конца стержнем 14, а с другого — пружиной 15. При движении стержня 14 вперед муфта 13 отходит от колеса 7; такое положение соответствует рабочему состоянию ветроколеса. Движение стержня вперед осуществляется рычагом 16, который поворачивается тягой 17, имеющей на нижнем конце вертлюг 18. В этот вертлюг ввернуты два болта 19, выходящих своими головками наружу сквозь прорези трубы 20, являющейся мачтой ветродвижителя. К этим болтам присоединяется трос, который натягивают снизу при запуске ветродвижителя.



Фиг. 152. Общий вид ветродвигателя ВМЭ-Д-3:

1 — крыло; 2 — ножух, в котором смонтирована передача регулирования; 3 — ножух редуктора; 4 — генератор; 5 — хвост; 6 — токоприемник; 7 — мачта; 8 — шарнир мачты; 9 — якорь.

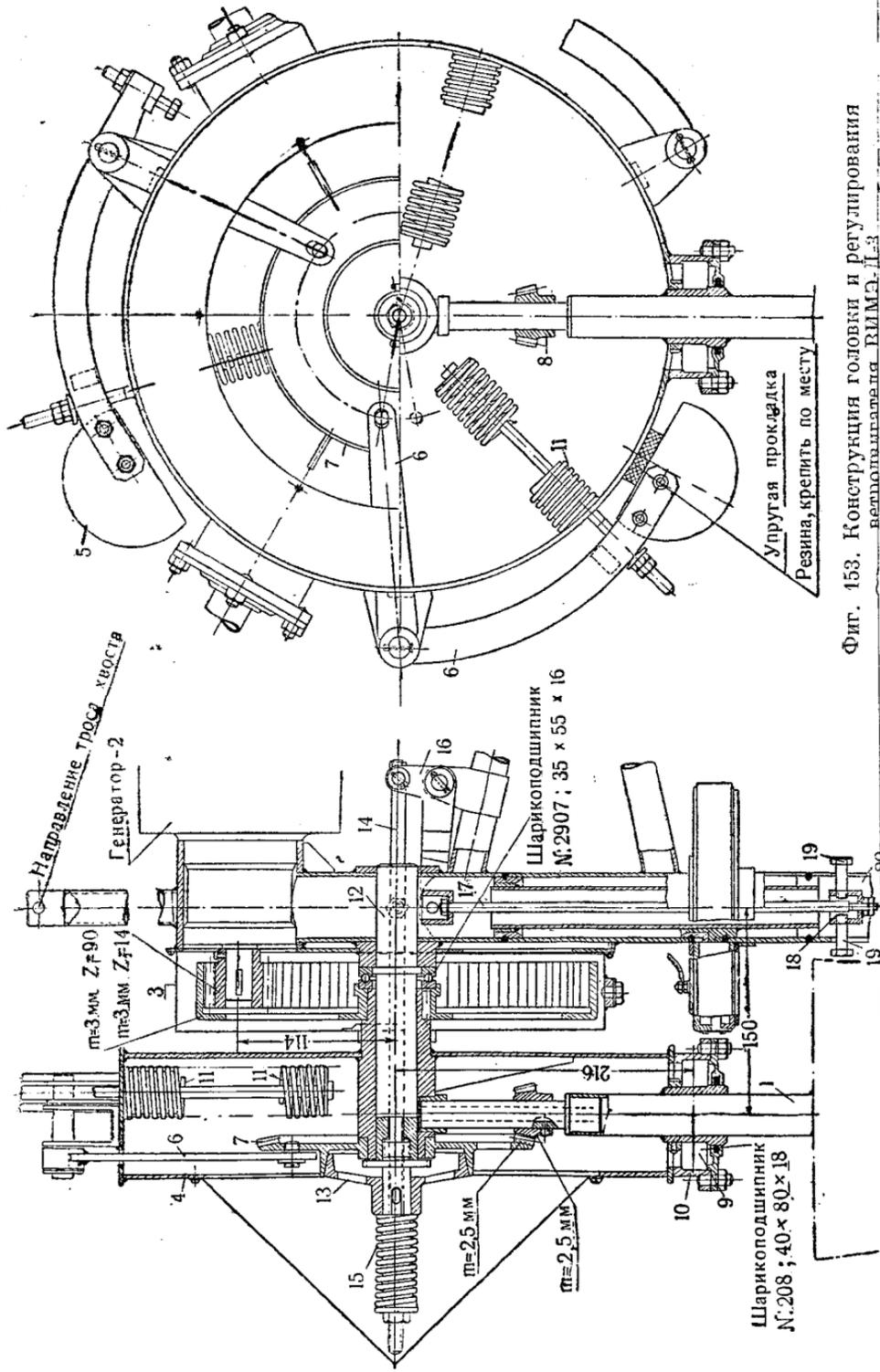
Для остановки ветряка трос освобождают. Стержень 14 при этом отходит назад, и пружина 15 прижимает муфту 13 к колесу 7. Так как муфта 13 неподвижна, а колесо 7 вращается вместе с ветроколесом, то колесо 7 сейчас же повернется на некоторый угол, а вместе с ним и крылья повернутся ребром к ветру, и ветряк остановится.

У ветряков, предназначенных для экспедиций, головка ветродвигателя поворачивается на трубчатой разъемной мачте, а при стационарной эксплуатации — на столбе.

Общий вес двигателя на разъемной мачте для эксплуатационных целей без генератора равен 60 кг. Ветроколесо двигателя с головкой весит 35 кг.

Область применения. Ветродвигатель ВМЭ-Д-3 может быть использован для следующих работ:

1. Питания аппаратуры и зарядки аккумуляторных батарей, освеще-



Фиг. 153. Конструкция головки и регулирования
 вальцователя ВМЭ. I-3

нения палаток и мест работы (для изыскательских и научно-исследовательских экспедиций).

2. Питания аппаратуры и зарядки аккумуляторных батарей физических кабинетов сельских школ.

3. Питания маломощных радиопередающих станций.

4. Зарядки аккумуляторных батарей радиоприемников (в с.х. клубах) и батарей автотранспорта.

5. Освещения постов, будок, полевых станов и т. п.

Электрическая часть ВМЭ-Д-3. Ветродвигатель работает с генератором постоянного тока ГА-27 (мощность — 300 ватт, напряжение — 12 вольт). Напряжение регулируется автоматически. Для зарядки аккумуляторной батареи или работы с ней в цепь генератора включено реле обратного тока.

Агрегат снабжен контрольно-измерительной и защитной аппаратурой, позволяющей переключать его на различные режимы работы, как-то: а) заряд батареи, б) параллельную работу агрегата с аккумуляторной батареей при несении осветительной нагрузки, в) несение осветительной нагрузки непосредственно с клемм генератора без аккумуляторной батареи и др.

Вся аппаратура при стационарной эксплуатации агрегата размещена на панели щита, а для экспедиционной эксплуатации — в переносном футляре. Электрическая схема агрегата показана на фиг. 154.

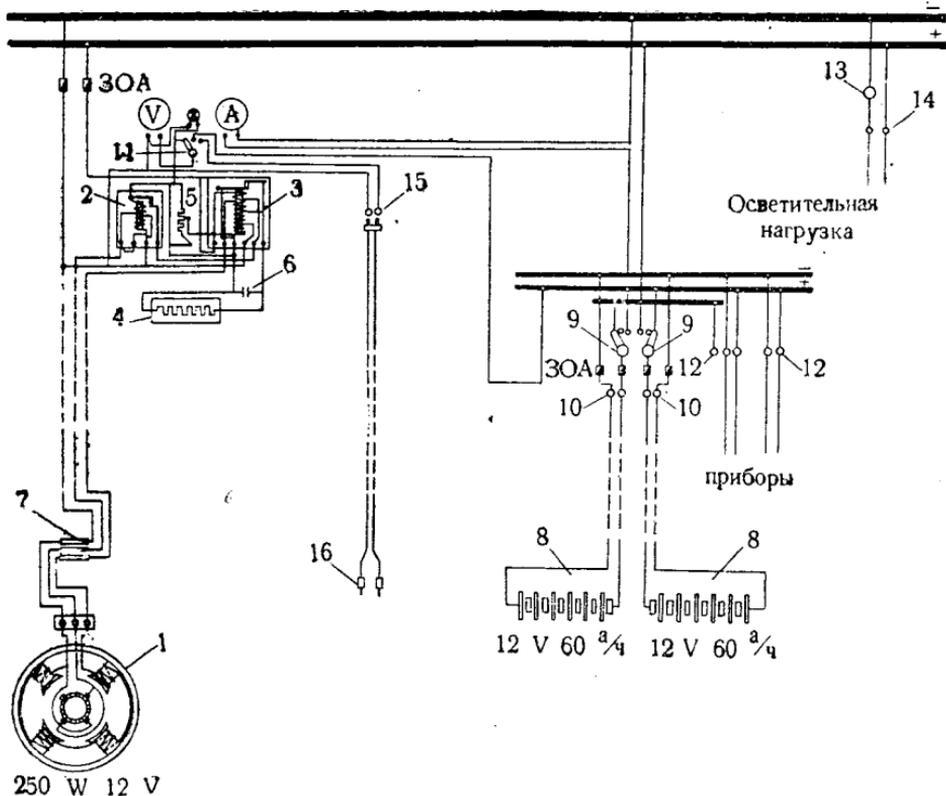
Таблица 1

Технические показатели ветроэлектрического агрегата ВМЭ-Д-3

№ по пор.	Показатели	Рабочие скорости ветра v м/сек.					
		3	4	5	6	7 и выше	за год
1	Мощность на клеммах генератора (в ваттах)	25	60	130	220	300	—
2	Возможное число часов работы в году, при каждой скорости ветра, в районе со среднегодовой скоростью ветра $v_0=4$ м/сек.	1 445	1 610	1 445	1 070	1 185	6 755
3	То же при $v_0=5$ м/сек.	1 003	1 310	1 445	1 310	2 457	7 525
4	То же при $v_0=6$ м/сек.	700	963	1 210	1 320	3 832	8 025
5	Выработка полезной мощности агрегата в квтч при каждой скорости ветра и за год в районе со среднегодовой скоростью ветра $v_0=4$ м/сек. . .	36	96	188	236	356	912
6	То же при $v_0=5$ м/сек.	26	78	188	288	740	1 322
7	То же при $v_0=6$ м/сек.	17	58	157	290	1 450	1 672

Примечание. 1. Выработка и число часов работы агрегата подсчитаны, исходя из повторяемости ветров, по М. М. Поморцеву, при условии использования всего хода рабочих скоростей ветра в течение года и начала регулирования ветродвигателя при $v=7$ м/сек.

Примечание. 2. Проект разработан группой инженеров Лаборатории ветроиспользования ВМЭ С. П. Тюкиным, В. П. Панкратовым и И. Б. Вершининым.



Фиг. 154. Электрическая схема коммутации ветродвигателя ВМЭ-Д-3:

1 — генератор типа ГА $\frac{250}{12}$ 250 ватт 12 вольт; 2 — реле обратного тока типа РРА; 3 — регулятор напряжения РРА; 4 — сопротивление регулятора; 5 — реостат установка регулятора пределов напряжения генератора; 6 — конденсатор 0,16—0,25 μ F; 7 — кольцевой тс копрямляки; 8 — аккумуляторная батарея 12 вольт; 9 — переключатель заряд-разряд; 10 — клеммы включения аккумуляторных батарей; 11 — вольтметровый переключатель; 12 — клеммы включения приборов; 13 — выключатель; 14 — клеммы включения осветительной нагрузки; 15 — вольтметровые гнезда; 16 — контактные вилки для замера напряжений отдельных банок батарей; V — вольтметр 0—20 вольт; A — амперметр 25—0—25 ампер

2. ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ ВМЭ-Д-5

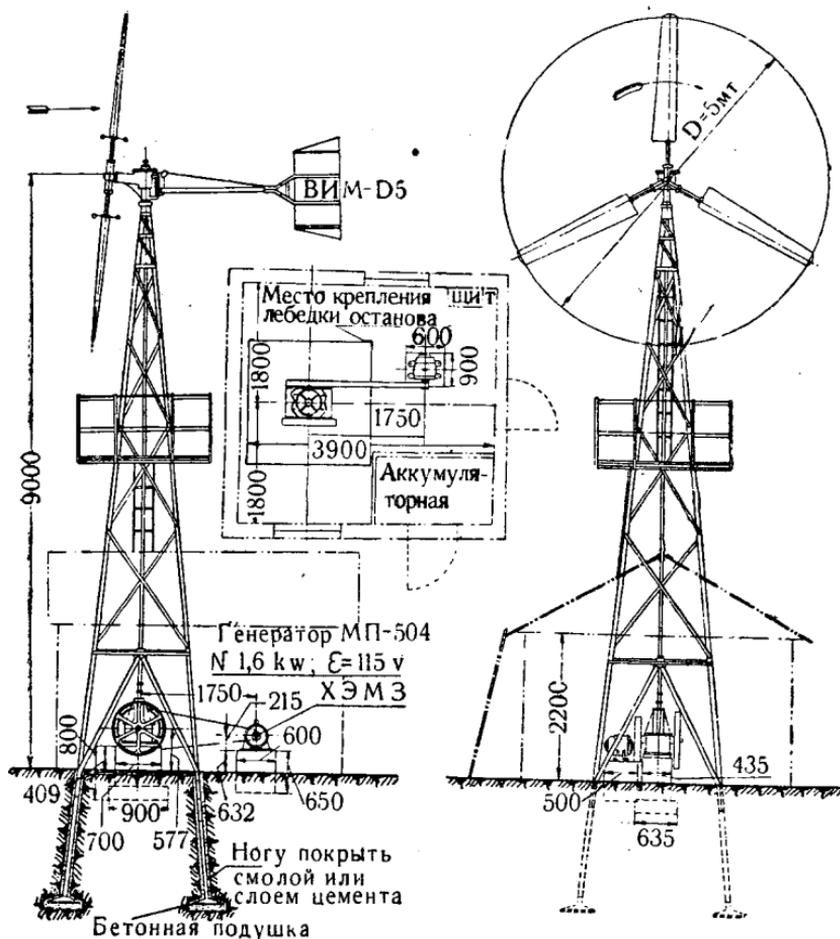
Описание конструкции первого выпуска этого ветродвигателя дано на стр. 50—52 (фиг. 43, 44 и 45).

После испытаний этого двигателя, проведенных в 1937—1938 гг на опытном полигоне, выявилась необходимость внести некоторые конструктивные изменения в его систему регулирования. Кроме того, была уменьшена высота башни (до 11 и 9 м), а также укорочен хвост. Общий вид ветродвигателя с конструктивными изменениями показан на фиг. 155.

Конструкция крыла в последнем варианте, который сейчас принят заводом ВМЭ к изготовлению, показана на фиг. 156.

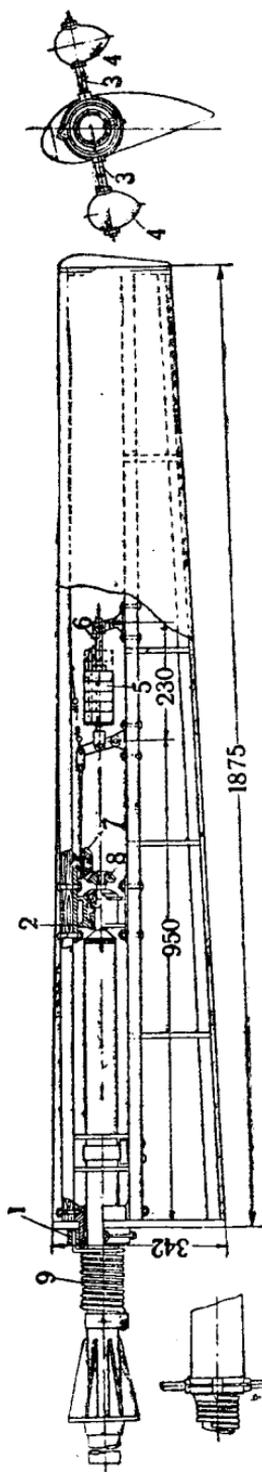
Лопасть крыла представляет двухлонжеронную конструкцию с профилем эсперо. Обшивка крыла — листовое железо. Лопасть крыла поворачивается в двух опорах на махе из трубы диаметром 68 мм. Ближайшая к оси опора 1 имеет подшипник скользящего трения, опора 2

на конце маха имеет шариковый подшипник. На махе у внутреннего конца лопасти закреплены на штанге 3 грузы 4 (для компенсации центробежных сил массы лопасти во время работы). Поворот лопасти около оси маха во время регулирования осуществляется действием центробежных сил грузов 5, закрепленных на тяге 6. При увеличении числа оборотов выше расчетных, центробежный груз начнет перемещаться вдоль оси



Фиг. 155. Общий вид быстроходного ветродвигателя ВИМ-Д-5 выпуска 1938 г.

маха и потянет трос, соединенный с конической шестерней 7. Эта шестерня находится в зацеплении с шестерней 8, насаженной на внешнем конце маха. Так как мах неподвижен, то при действии центробежного груза на коническую шестерню крыло начнет поворачиваться около оси маха, изменяя угол атаки, в связи с чем будут соответственно изменяться подъемная сила на крыле, а вместе с тем и обороты ветроколеса. В обратное положение лопасть устанавливается пружиной 9, навитой на мах.



Фиг. 156. Крыло ветродвигателя ВИМ-Д-5.

Основные данные. Ветродвигатель — быстросходный (модуль — 4,5). Диаметр ветроколеса — 5 м; число лопастей — 3; обороты ветроколеса в минуту при полной нагрузке (скорость ветра — 8 м/сек.) — от 120 до 180. Диапазон рабочих скоростей ветра для двигателя — от 3,5 до 40 м/сек. Вес ветродвигателя с башней в 11 м — 1 500 кг. Вес башни при высоте 15 м — 1 300 кг; при высоте в 9 м — 872 кг.

Ветроэлектрический агрегат предназначается для электрификации сельских клубов, школ, амбулаторий, хат-лабораторий, полевых станков; зарядки аккумуляторных батарей для автомобилей и радиоузлов, питания аппаратуры сельских телефонных станций и т. п.

Электрическая часть агрегата. Электрическая схема рассчитана для работы агрегата параллельно с аккумуляторной батареей (фиг. 157).

Установленная мощность генератора — 1 киловатт при напряжении в 24 вольт (напряжение регулируется автоматически).

Емкость аккумуляторной батареи подбирается, исходя из графика предполагаемой нагрузки и ветровых условий района.

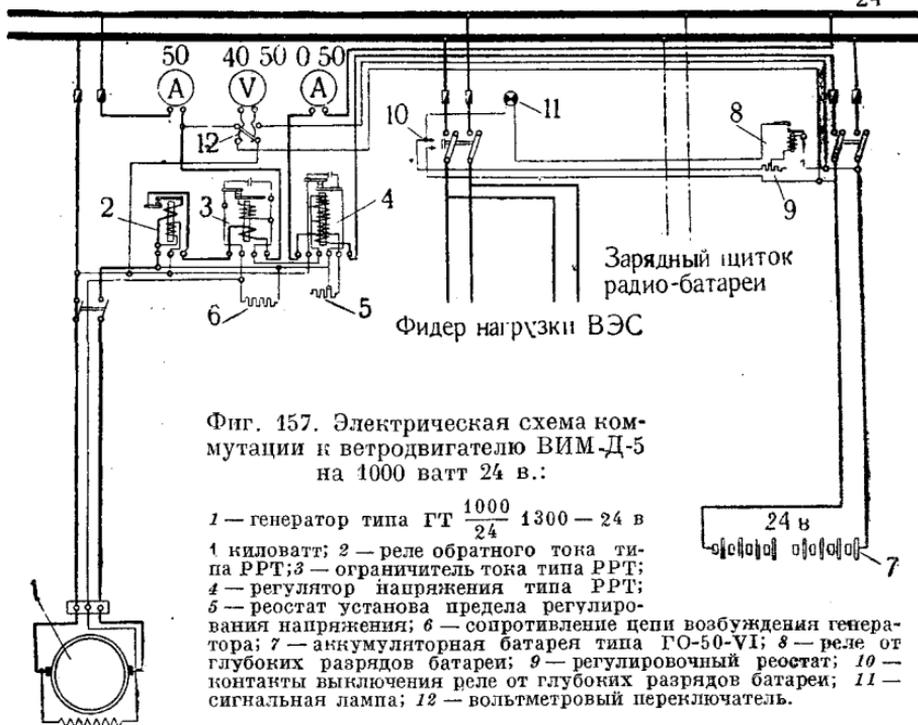
Развиваемая мощность ветродвигателя при разных скоростях ветра и годовая выработка приведены в таблице 2 (см. стр. 200).

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ ВИМ-Д-12

Лабораторией ветроиспользования ВИМЭ разработаны проекты электрической части ВИМ-Д-12 для нескольких вариантов использования этого ветродвигателя в сельском хозяйстве (см. альбом проектов электрической части ВИМ-Д-12, разработанный под руководством инж. И. Б. Вершинина). Здесь мы приводим электрические схемы коммутации ВЭС по двум вариантам.

На фиг. 158 дана принципиальная схема коммутации ВЭС с емкостной аккумуляторной батареей.

Эта схема разработана для эксплуатации ВЭС с буферной аккумуляторной батареей. Емкость батареи от 180 до 280 амперчасов



подбирается для каждого отдельного случая, исходя из графика нагрузки и местных ветровых условий).

Ветроэлектростанция ВМ-Д-12 предназначена для с.-х. электрификации (осветительная и силовая нагрузка в колхозах, совхозах, МТС), для обслуживания полярных станций ГУСМП и т. п.

На фиг 159 дана принципиальная схема коммутации ВЭС без аккумулялирования энергии, с резервным двигателем и отбором части мощности ветродвигателя на механический привод различных машин.

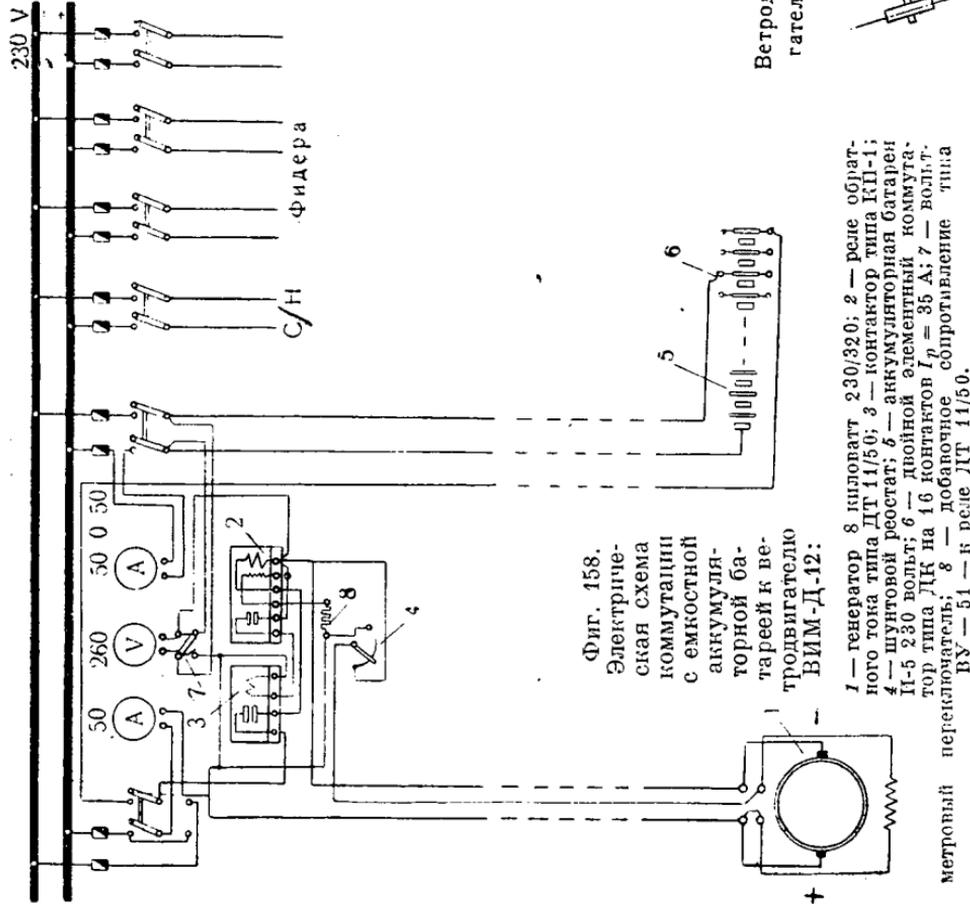
Эта схема ВЭС применима при комплексном использовании ветродвигателя в сельском хозяйстве. Так как в данном случае аккумуляторной батареи нет, то для гарантии бесперебойности снабжения хозяйства энергией ветроустановка должна быть оборудована резервным двигателем.

Развиваемая ветродвигателем мощность (при генераторе в 8 киловатт) и годовая выработка подсчитаны в следующей таблице (см. табл. 3 на стр. 200).

4. ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ ТВ-8

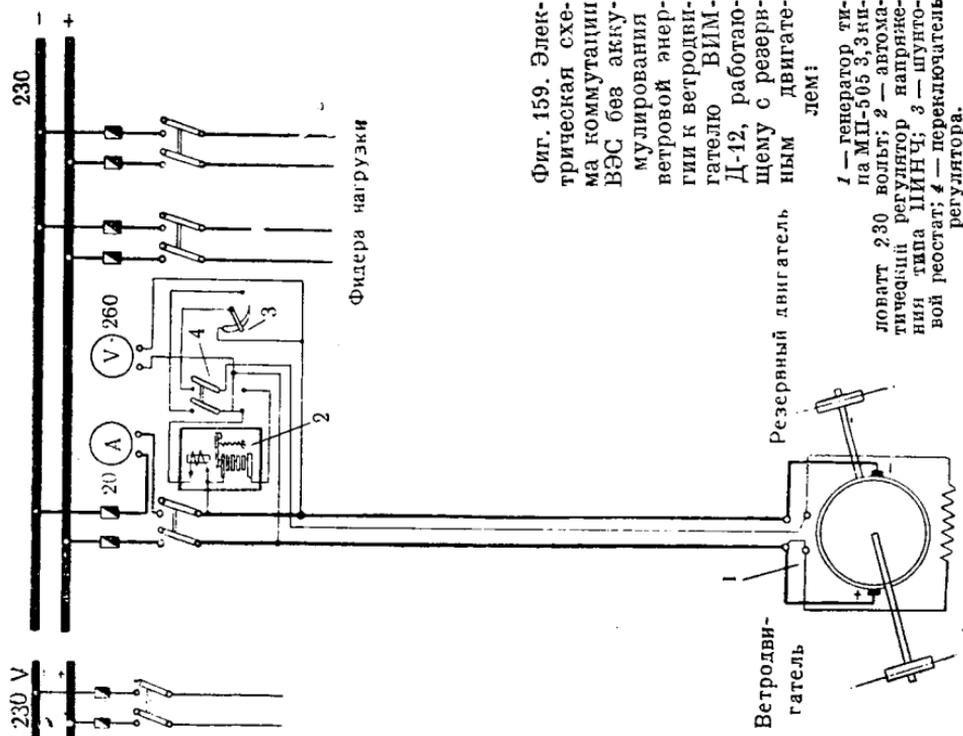
Херсонский завод выпускал этот ветродвигатель под маркой ВД-8. После изменения некоторых деталей завод с 1938 г. выпускает его под маркой ТВ-8.

Этот ветродвигатель представляет большой интерес для комплекс-



Фиг. 158. Электрическая схема коммутации с емкостной аккумуляторной батареей к ветродвигателю ВМ-Д-12:

1 — генератор 8 киловатт 230/320; 2 — реле обратного тока типа ДТ 11/50; 3 — контактор типа КП-1; 4 — шунтовый реостат; 5 — аккумуляторная батарея П-5 230 вольт; 6 — двойной элементный коммутатор типа ДК на 16 контактов $I_p = 35$ А; 7 — вольтметр типа ДК с добавочное сопротивление типа ВУ — 51 — к реле ДТ 11/50.

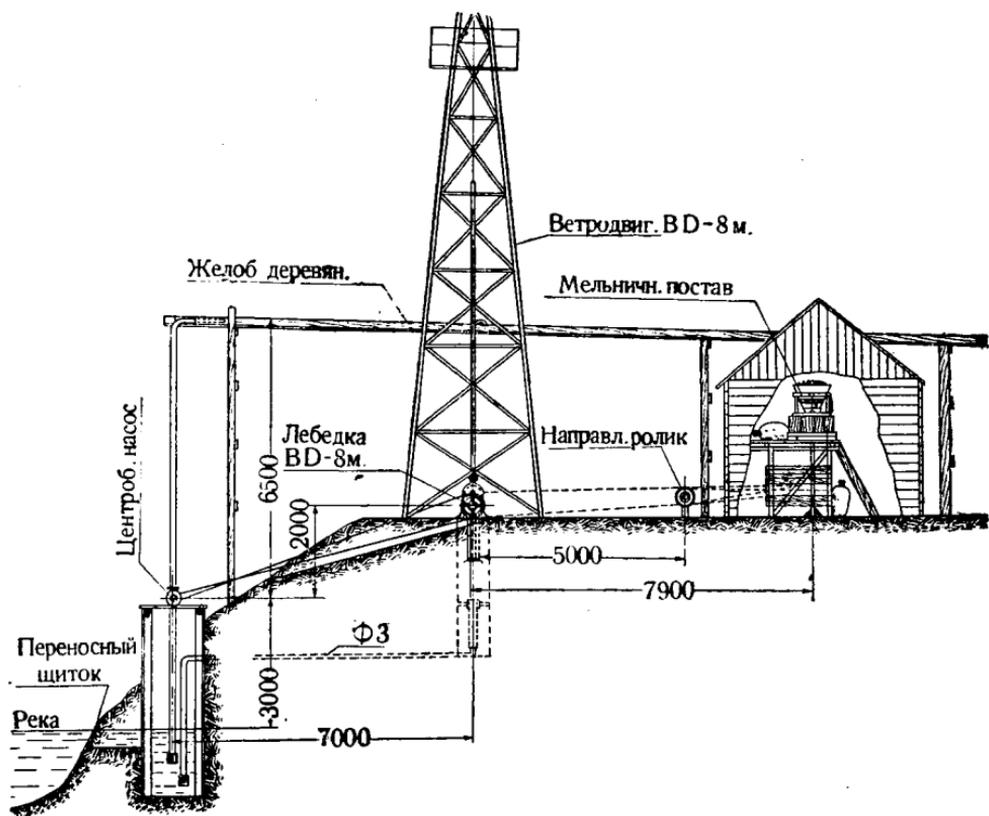


Фиг. 159. Электрическая схема коммутации ВЭС без аккумуляирования ветровой энергии к ветродвигателю ВМ-Д-12, работающему с резервным двигателем:

1 — генератор типа МШ-505 3,3 киловатт 230 вольт; 2 — автоматический регулятор напряжения типа ШИЧ; 3 — шунтовый реостат; 4 — переключатель регулятора.

ного использования в сельском хозяйстве. Наиболее же удобным видом работ для него является простой помол и водоснабжение. Объясняется это тем, что как водоснабжение, так и помол позволяют в течение года использовать весь ход рабочих скоростей ветра.

Приведем один из примеров использования двигателя на помол и водоснабжение в колхозе «Пролетарская Воля» (Республика Немцев Поволжья).



Фиг. 160. Схема ветроустановки ТВ-8 в колхозе «Пролетарская Воля» (Республика Немцев Поволжья).

Ветроустановка смонтирована на берегу реки для подъема воды на орошение сада (в 10 га) и для помола зерна.

Общая схема ветроустановки показана на фиг. 160. Ветродвигатель ТВ-8 приводит в движение мельничный постав, центробежный насос и поршневой насос $d=5\frac{3}{4}$. Хозяйство пыталось использовать имеющийся у них 4-дюймовый центробежный насос. Однако из-за высокого подъема воды (12 м) этот насос мог подавать воду лишь при скорости ветра 8 м/сек. Поэтому хозяйству было предложено сменить этот насос на меньший, чтобы насосный агрегат мог подавать воду и при скоростях ветра в 4—5 м/сек. Поршневой насос работает, когда вода требуется в небольших количествах и для подачи ее с более

Таблица 2

№ по пор.	Показатели	Рабочие скорости ветра v м/сек.					
		4	5	6	7	8 и выше	за год
1	Мощность на клеммах генератора (в ваттах)	104	344	640	920	1 200	—
2	Возможное число часов работы в году агрегата при среднегодовой скорости ветра $v_0=4$ м/сек.	1 610	1 445	1 070	640	545	5 310
3	То же при $v_0=5$ м/сек.	1 310	1 445	1 310	1 050	1 407	6 522
4	То же при $v_0=6$ м/сек.	963	1 210	1 320	1 223	2 609	7 325
5	Выработка полезной мощности агрегата в квтч при каждой скорости ветра и за год в районе со среднегодовой скоростью ветра $v_0=4$ м/сек.	168	502	685	590	655	2 600
6	То же при $v_0=5$ м/сек.	136	502	840	970	1 690	4 133
7	То же при $v_0=6$ м/сек.	100	415	845	1 120	3 120	5 600

Примечание. 1. Выработка и число часов работы агрегата подсчитаны, исходя из повторяемости ветров, по М. М. Поморцеву, при условии использования всего хода рабочих скоростей ветра.

Примечание. 2. Конструкция ветродвигателя разработана инж. В. П. Панкратовым, электрическая часть инж. П. Б. Вершининым.

Таблица 3

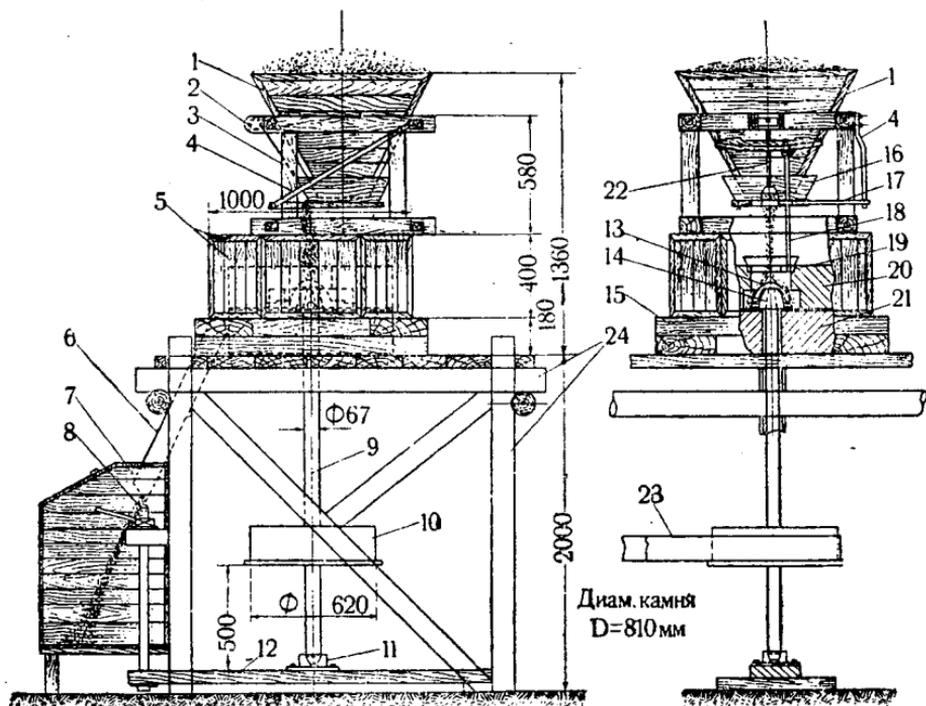
№ по пор.	Показатели	Рабочие скорости ветра v м/сек.					
		4	5	6	7	8 и выше	за год
1	Мощность на клеммах генератора в квт	0,4	1,72	3,56	5,63	7,5	—
2	Возможное число часов работы агрегата при среднегодовой скорости ветра $v_0=4$ м/сек.	1 610	1 445	1 070	640	545	5 310
3	То же при $v_0=5$ м/сек.	1 310	1 445	1 310	1 050	1 407	6 522
4	То же при $v_0=6$ м/сек.	963	1 210	1 320	1 223	2 609	7 325
5	Выработка полезной мощности агрегата в квтч при каждой скорости ветра и за год в районе со среднегодовой скоростью ветра $v_0=4$ м/сек.	645	2 490	3 810	3 600	4 080	14 625
6	То же при $v_0=5$ м/сек.	525	2 490	4 670	5 920	10 500	24 105
7	То же при $v_0=6$ м/сек.	386	2 080	4 700	6 900	19 500	33 566

Примечание. Выработка и число часов работы агрегата подсчитаны, исходя из повторяемости ветров, по М. М. Поморцеву, при условии использования всего хода рабочих скоростей ветра в течение года.

высоким напором. Центробежный же насос работает в оросительный сезон.

Мельничный постав с диаметром камня 810 мм имеет на вертикальном валу шкив диаметром 620 мм (фиг. 161).

Примечание. Более подробно с жерновыми поставами простейшего типа можно познакомиться по книге В. А. Пономарева (Спбкоопгиз, 1931).



Фиг. 161. Общий вид мельничного жернового постава, с которым работает ТВ-8 в колхозе «Пролетарская Воля»:

1 — ящик для засыпки зерна (ковш); 2 — храповик для регулирования подъема ящика 16, пропускающего зерно к жернову; 3 — рама для установки ковша 1; 4 — деревянная рессора для движения ящика-потряса 16; 5 — деревянный кожух-футляр для камня; 6 — деревянный рукав для выхода муки; 7 — ящик для муки; 8 — болт для регулирования подъема камня-бегуна; 9 — вал жернова (веретено); 10 — шкив жернова; 11 — пятник; 12 — опора пятника; 13 — опорная чашка (баланс); 14 — колпачок, на цапфы которого надевается баланс 13; 15 — подушка — основание жернова; 16 — ящик для регулирования подачи зерна; 17 — ремень-поводок для натяжения рессоры 4; 18 — коромысло; 19 — кольцо с двумя выступами для регулирования подачи зерна в зависимости от числа оборотов; 20 — верхний камень-бегун; 21 — нижний камень; 22 — натяжной ремень для регулирования высоты подъема потряса храповиком 2; 23 — приводной ремень; 24 — основание мельничного постава.

Мощность, развиваемая ветродвигателем ТВ-8 на валу ветроколеса при разных рабочих скоростях ветра, а также годовая выработка при условии его работы с постоянным коэффициентом использования энергии ветра 0,30 приведены в таблице. Выработка и число часов работы агрегата подсчитаны, исходя из повторяемости ветров, по М. М. Поморцеву, при условии использования всего хода рабочих скоростей ветра в течение года.

Таблица 4

№ по пор.	Показатели	Рабочие скорости ветра τ м/сек.						
		3	4	5	6	7	8 и выше	за год
1	Мощность на валу ветроколеса (л. с.)	0,3	0,7	1,5	2,7	4,2	6,5	—
2	Обороты ветроколеса в минуту	10	14	16	18	22	24	—
3	Возможное число часов работы агрегата при среднегодовой скорости ветра:							
4	$v_0=4$ м/сек.	1 445	1 610	1 445	1 070	640	545	6 755
5	$v_0=5$ м/сек.	1 003	1 310	1 445	1 310	1 050	1 407	7 525
6	$v_0=6$ м/сек.	700	963	1 210	1 320	1 223	2 609	8 025
7	Выработка полезной мощности агрегата л.с./час на валу ветроколеса при каждой скорости ветра и за год в районе со среднегодовой скоростью ветра:							
8	$v_0=4$ м/сек.	433	1 120	2 180	2 900	2 680	3 540	12 853
9	$v_0=5$ м/сек.	310	920	2 180	3 510	4 410	9 150	20 480
10	$v_0=6$ м/сек.	210	675	1 810	3 560	5 150	17 000	28 405

ВНЕШ

с 1

ИСПРАВЛЕНИЯ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
92	17 сверху	$N_n = 2,2$ л. с.	$N_n = 2,2$ л. с.
92	18 »	$N_n = 16$ м	$N_n = 16$ м
145	Колонка VIII	053,7	1053,7

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	2
Введение	3

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Общие сведения о ветродвигателях	5
1. Основные величины, характеризующие ветер с точки зрения технического его использования	5
Скорость ветра	5
Повторяемость ветра	7
Работа ветра и мощность ветродвигателя	13
2. Характеристика работы ветроколеса	15
3. Установ ветродвигателей на ветер	20
4. Регулирование числа оборотов и мощности ветродвигателей	22
а) Регулирование выводом ветроколеса из-под ветра	23
б) Регулирование вращением лопасти или части ее около оси маха	26
Конструкции ветродвигателей	28
1. Ветродвигатели в дореволюционной России	28
2. Современные ветродвигатели в СССР	29
а) Ветродвигатель ВД-5 м	30
б) Ветродвигатель ВД-8 м	38
в) Ветродвигатель ЦВЭИ Д-12 и ВИМ Д-12 м	43
г) Ветродвигатель ВИМ Д-5 м	50
д) Ветродвигатель ЦВЭИ Д-30 м	52
е) Ветродвигатель ВИМ Д-30 м	57
ж) Ветродвигатель ВИМ Д-24 м	60
з) Ветродвигатель системы Уфимцева	62
е) Ветроэлектростанция ПД-3 для зимовки «Северный полюс»	64

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

РАБОТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Работа ветродвигателя с поршневыми насосами	68
1. Характеристика ветронасосного агрегата	68
Часовая производительность ветронасосного агрегата	75
2. О подборе поршневых насосов к ветродвигателю	77
Работа ветродвигателей с центробежными насосами	89
1. Характеристика центробежных насосов	90
2. Подбор центробежных насосов к ветродвигателям	92
О заливке центробежных насосов	98
3. Определение полного напора H_n , с которым работает насос	101
Определение годовой производительности ветронасосного агрегата	103
Работа ветродвигателя с коловратным насосом	105
Работа ветродвигателя с сельхозмашинами	109
Подбор с.-х. машин к ветродвигателю	113

VI. Водохранилища при ветронасосных установках	117
1. Обоснование необходимости водохранилища при ветронасосной установке	117
2. Примеры существующих типов водохранилищ при ветронасосных установках	117
3. Типовые конструкции водохранилищ для ветронасосных установок по проектам Лаборатории ветроиспользования ВИМЭ	120
а) Водонапорная башня емкостью на 20 м ³	121
б) Водохранилище емкостью 50 м ³ из каменной кладки	124
4. О водохранилищах при ветронасосных установках для орошения	130
5. Определение емкости водохранилищ при ветронасосных установках	132
VII. Работа ветродвигателей в конкретных хозяйственных условиях	138
1. Ветронасосная установка с ВД-5 м в колхозе им. Ворошилова, в селе Лесках Черкасского района, Киевской области	138
2. Ветрооросительная установка ВД-8 м в колхозе «Ревтруд» Лаганского района, Калмыцкой АССР	143
3. Ветроустановка в колхозе «Большевик» Гомельского района	151
4. Ветроустановка на элеваторе Госсортфонда в г. Кирсанове	155
5. Ветронасосные установки, работающие сейчас в сельском хозяйстве	159
а) Ветронасосная установка ВД-5 м в г. Кургане Челябинской области	159
б) Ветронасосная установка ВД-5 м в колхозе «Серп и молот» Курганского района, Челябинской области	160
в) Ветронасосная установка ВД-8 м в колхозе им. Цвиллинга Чесменского района, Челябинской области	160
г) Ветронасосная установка в МТС Н.-Анненского района, Сталинградской области	161
д) Ветронасосная установка ВД-5 м на кирпичном заводе	162
VIII. Вопросы эксплуатации ветроустановок в сельском хозяйстве	163
1. Конструктивные схемы ветронасосных установок с ВД-5 м	164
2. Ветроустановки с ветродвигателем ВД-8 м	167
а) Ветрооросительная установка с ВД-8 м	168
б) Ветроустановка с ВД-8 м, для комплексного использования в животноводческом хозяйстве	171
3. Ветроустановки с ветродвигателем ВИМ Д-12 м	175
а) Ветрооросительная установка с ветродвигателем ВИМ Д-12 м	175
б) Конструктивная схема ветроустановки ВИМ Д-12 м для работы на мастерскую в МТС	177
в) Ветроустановка с ветродвигателем ВИМ Д-12 для мельницы	180
4. Ветроустановка для механического осушения заболоченных участков	180
5. Об уходе за ветроустановкой	183
Обязанности наблюдающего за ветроустановкой	186
IX. Дополнения	190
1. Ветроэлектрический двигатель ВИМ-Д-3	190
2. Ветродвигатель ВИМ-Д-5	194
3. Электрическая часть ветродвигателя ВИМ-Д-12	196
4. Ветродвигатель ТВ-8	197

Е. М. Фатеев. Ветродвигатели в сельском хозяйстве. Сельхозгиз. 1939. Издание 1-е. Редактор *А. Ицков.* Техн. редактор *И. Соболев.* Корректор *М. Сагацкая.* Упомянут. Главлита № Б-42878. Сдано в набор 28/II 1938 г. Подписано к печати 1/IV 1939 г. Инд. 15-Б. Сельхозгиз № 5980. Тираж 8000 экз. Учетно-изд. листов 17,0. Печать. листов 12,75. Бумажн. лит. 6³/₄. В 1 бум. листе 106600 типогр. знаков. Статформат бумаги 60×92/1₄. Цена книги 2 р. 25 к., цена переплета 60 к.



A
1169