

Энергетические ресурсы ветра и его использование

Вопрос об энергетических ресурсах — как базе мирового экономического развития да и вообще всей современной культуры — с каждым годом все больше привлекает к себе внимание экономистов и техников. Надвигающееся истощение некоторых из основных наших энергетических ресурсов, как, например, нефти, заставляет все более внимательно относиться к возможно рациональному и экономному их использованию и изыскивать новые источники энергии.

Если исключить неосвоенные пока силы природы — как солнечный свет, внутриатомную энергию и пр., то энергетические ресурсы сводятся в настоящее время — к углю, нефти, торфу, водным силам, дровам, соломе и ветру, не считая некоторых второстепенных, как например, горючие сланцы, сельскохозяйственные отбросы и пр.

Если исходить из использования всех мировых запасов топлива в продолжение двухсот лет, и подсчитать возможное — в продолжение того же периода использование возобновляемых источников энергии, как, ветер, вода, дрова и пр., то, основываясь на подсчетах проф. Рамзина, удельный вес в мировом хозяйстве каждого из перечисленных источников энергии, переведенных в 7.000 калорий топливо представляется так:

Таблица 1

Удельный вес в мировом хозяйстве различных источников энергии

	Мировые			СССР			
	Мрд. тонн	‰	‰	Мрд. тонн	‰	‰	‰ миро- вого
Невозобновляемые							
Ископаемые угли	5.600	97,1	75,1	393,9	69,5	50,8	7,9
Нефть	11,5	0,2	0,15	4,3	0,75	0,6	37,4
Торф	215	3,7	2,9	168,6	29,8	21,7	78,0
Итого	5.826,5	100	78,1	566,8	100	73,1	9,8
Возобновляемые							
Торф	50	3,1	0,7	39,0	18,7	5,0	78,0
Дрова	340	20,8	4,6	63,0	30,2	8,1	18,5
Солома	37	2,3	0,5	6,7	3,2	0,9	18,1
Ветер	826	50,8	11,1	69,0	33,0	8,9	8,3
Водные силы	374	23,0	5,0	31,1	14,9	4,0	8,3
Итого	1.627	100	21,9	208,8	100	26,9	12,8
Всего	7.453,5	—	100	776,6	—	100	10,4

Ветру, как одному из элементов энергетической базы, до сих пор отводилась совершенно незначительная роль; судя же по данным приведенной выше таблицы и в будущем ему отведено лишь второстепенное значение.

Выяснение того — какое место может занять ветер в будущем мировом хозяйстве в ряду других источников энергии, как подойти к подсчетам таящейся в нем энергии и как его использовать наиболее рациональным образом и составляет содержание настоящей статьи.

Использование энергии ветра, как известно, возможно в двух направлениях. Первое — это применение его в качестве двигательной силы на парусных судах. Это самая старая и самая распространенная форма его утилизации. Этого способа использования ветра мы в дальнейшем касаться не будем, считая, что в этой области достигнуты известные технические границы и вопрос этот можно скорее рассматривать, как часть вопроса о транспорте. Второй путь использования ветра — применение его для механической работы также имеет длинную историю. Работа ветряков известна более восемнадцати веков. Распространение их чрезвычайно велико не только в странах старой культуры, но делает все большие и большие завоевания и в такой классической стране развития тепловых и электрических двигателей, как С.-А.С.Ш.

Ниже мы подробно разберем наиболее целесообразные методы использования ветра. Пока же укажем, что как механические двигатели, ветряки применимы в первую очередь в районах, отрезанных от электрических сетей с дешевой энергией, а также там, где непрерывность работы не является безусловным требованием. Кроме того, ветряки могут найти применение для выработки электрической энергии — при параллельной работе с тепловыми двигателями на общую сеть при условии, что энергия ветра дешевле топливной слагающей системы или цены, по которой округ, местечко, или хозяйство получают энергию от чужого им предприятия. Принявши в расчет эту оговорку, мы легко поймем, что в районах особенно дешевой энергии, например, около больших центров промышленности энергии ветра было бы крайне трудно конкурировать с большими электрическими гидро или пароустановками и, в этом отношении, они отступают перед напором дешевой электроэнергии. С другой стороны, столь же понятным станет широкое применение их при орошении, водоснабжении, осушении (Голландия), в мукомольном деле и пр.

Недавнее появление новых конструкций ветряков обещает, однако, создать в этом вопросе новую эру. Особенный интерес представляют последние конструкции (выработанные Московским центральным аэрогидродинамическим институтом) типа двух или трехлопастного трового двигателя с размахом крыльев от 3 до 60 м и с постоянным числом оборотов, колебание которых при порывах ветра или внезапных нагрузках ветряка не превышает 3%. Если при этом учесть, что даже паровые турбины при внезапной нагрузке дают большее колебание оборотов, то становится очевидным, что для современного ветродвигателя вполне возможна параллельная работа с другими двигателями на общую сеть.

Последнее обстоятельство открывает для ветроэнергии совершенно новые перспективы, которые заставляют ожидать наступления поворотного пункта в развитии ветросилового вопроса.

Следует лишь оговориться, что для широкого развития этого дела требуется еще положить довольно много труда в двух направлениях. В первых, придется еще основательно поработать над наиболее дешевыми и целесообразными конструкциями самих ветряков и башен к ним, а также над выработкой стандартных типов автоматических устройств. Во вторых, необходимо устранить дефекты в постановке учета наших данных о ветре. В этом отношении есть, правда, колоссальный материал наблюде-

ний метеорологических станций, но, к сожалению, лишь немногие станции дают истинное представление о силе ветра и его направлении. Большинство их расположено в сравнительно защищенном месте, вблизи построек, на опушке леса или вблизи какого-либо естественного препятствия для ветра. Так как ветровая тень ощущается более чем на двадцатикратном расстоянии высоты объекта, производящего тень, то ясно, что показания многих метеорологических станций крайне неточны. Даже такие открытые станции, как например, наша Крымская станция на Ай-Петри, расположенная на Яйлинском плато на высоте 1.183 м над уровнем моря, и та не дает истинного представления о ветрах, которые имеются кругом на всех окружающих холмах и совсем открытых площадях. Так, специальная экспедиция ЦАГИ, производившая массовые одновременные наблюдения в разных частях Крыма, в частности, в окрестностях Ай-Петринской метеорологической станции, констатировала в один и тот же момент силу ветра на метеорологической станции и двух соседних холмах — лишь на несколько десятков метров выше лежащих — для шести наблюдений при разных румбах.

При разных румбах Станция	Первый холм	Второй холм
3,4; 2,3; 3,7; 1,8; 8,3; 3,6 м/с.	9,1; 4,1; 4,0; 6,3; 13,4; 6,2 м/с.	13,8; 4,6; 4,3 5,2; 11,3; 7,3 м/с.

Это дает в среднем отношение количества проносимой ветром энергии (пропорционально кубу скорости) — 1 : 5, 3 : 6, 6. Еще разительнее одновременные наблюдения в трех пунктах долины горной речки Качи, лежащих в 3—4 км друг от друга почти на одной высоте.

1 пункт (Эгиз—Оба)	2 пункт (Кош—Дегермен)	3 пункт (Пички)
18,6; 19,2; 10,7 м/с	8,7; 7,5; 7,2 м/с	2,7; 3,0; 4,1 м/с

В этом случае имеем отношение энергии ветра в среднем 1 : 12, 5 : 127, 5, а для первого ряда наблюдений даже 1 : 33 : 322.

Упомянутой экспедиции пришлось констатировать неожиданно значительное влияние на ветер особенностей рельефа местности, уплотнение воздушного потока, в одних случаях, срыв как силы ветра, так и его общего направления — в других, а также поглощение живой силы ветра (причем часто лишь вблизи отдельного пункта) благодаря неправильностям промежуточного рельефа.

Широкому развитию ветросилового хозяйства должно предшествовать развитие анемометрических наблюдений; пока же, при решении вопроса о количестве энергии, которое может быть получено в том или ином месте, и о том ветре, на который надо базироваться при сооружении ветросилового устройства, нужно взять за основу наблюдения близлежащей станции, проделав предварительно для сравнения этих пунктов ряд одновременных наблюдений над ветрами разной силы и разных румбов. Такого рода немногочисленные одновременные наблюдения дадут возможность делать довольно точные заключения о ветрах испытываемого места.

Далее, исходя из наблюдений наших метеорологических станций, нам приходится обычно базироваться на данных о «средних ветрах». Самое же понятие — «средний ветер» вводит нас, подчас, в существенные ошибки. Так, если средний ветер получился в одном случае из 2 наблюдений — 0 м/с и 8 м/с, а в другом случае — 4 и 4 м/с, то истинное отношение, заключающееся в ветре энергии, будет относиться, как 4 : 1.

Итак, одна лишь ориентировка на метеорологические данные о «среднем ветре» местности не дает нам еще возможности определить ко-

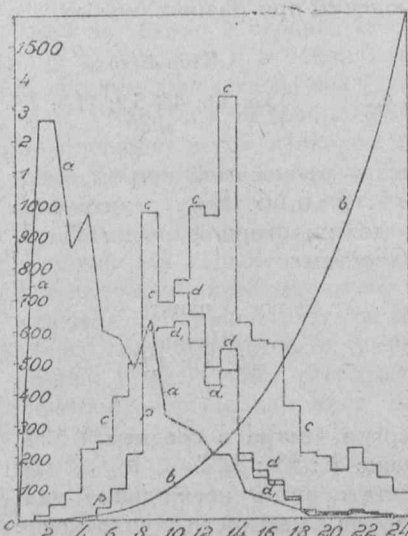
личество проносимой энергии. Чтобы иметь представление об энергии ветра, надо не только знать его среднюю силу, но его равномерность.

Подсчет количества энергии в ветре. Предлагаемый нами метод определения энергии ветра и определение оптимальных условий для его использования легче всего уясняется на конкретных примерах, детально нами разобранных.

Примерные подсчеты наши основаны на проработке наблюдений за 2 года (1913 и 1914) по Севастопольской метеорологической станции и за один (1917) год по станции на Караби-Яйле.

На обеих станциях записи ведутся анемографами Мунро. Первая расположена на берегу моря и несколько заслонена, особенно, от ветров всех южных румбов; и вторая, на Караби-Яйле, лежит на высоте 973 м над уровнем моря и открыта для всех ветров. Распределение ветров по временам года на обеих станциях сравнительно ровное без особых штилевых периодов.

Севастополь 1913 и 1914 гг.



Черт. 1

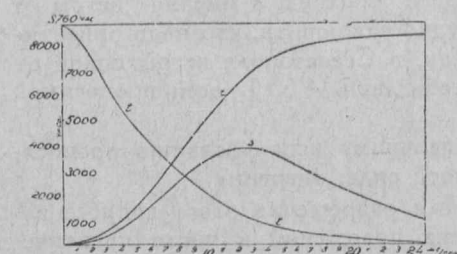
а — кривая годовых частот ветра разной скорости.
б — кубическая кривая энергии ветра.
с — энергия на крыльях при использовании всего ветра.
с₁с₂с₃с₄с₅с₆с₇с₈с₉с₁₀с₁₁с₁₂с₁₃с₁₄с₁₅с₁₆с₁₇с₁₈с₁₉с₂₀с₂₁с₂₂с₂₃с₂₄с₂₅с₂₆с₂₇с₂₈с₂₉с₃₀с₃₁с₃₂с₃₃с₃₄с₃₅с₃₆с₃₇с₃₈с₃₉с₄₀с₄₁с₄₂с₄₃с₄₄с₄₅с₄₆с₄₇с₄₈с₄₉с₅₀с₅₁с₅₂с₅₃с₅₄с₅₅с₅₆с₅₇с₅₈с₅₉с₆₀с₆₁с₆₂с₆₃с₆₄с₆₅с₆₆с₆₇с₆₈с₆₉с₇₀с₇₁с₇₂с₇₃с₇₄с₇₅с₇₆с₇₇с₇₈с₇₉с₈₀с₈₁с₈₂с₈₃с₈₄с₈₅с₈₆с₈₇с₈₈с₈₉с₉₀с₉₁с₉₂с₉₃с₉₄с₉₅с₉₆с₉₇с₉₈с₉₉с₁₀₀с₁₀₁с₁₀₂с₁₀₃с₁₀₄с₁₀₅с₁₀₆с₁₀₇с₁₀₈с₁₀₉с₁₁₀с₁₁₁с₁₁₂с₁₁₃с₁₁₄с₁₁₅с₁₁₆с₁₁₇с₁₁₈с₁₁₉с₁₂₀с₁₂₁с₁₂₂с₁₂₃с₁₂₄с₁₂₅с₁₂₆с₁₂₇с₁₂₈с₁₂₉с₁₃₀с₁₃₁с₁₃₂с₁₃₃с₁₃₄с₁₃₅с₁₃₆с₁₃₇с₁₃₈с₁₃₉с₁₄₀с₁₄₁с₁₄₂с₁₄₃с₁₄₄с₁₄₅с₁₄₆с₁₄₇с₁₄₈с₁₄₉с₁₅₀с₁₅₁с₁₅₂с₁₅₃с₁₅₄с₁₅₅с₁₅₆с₁₅₇с₁₅₈с₁₅₉с₁₆₀с₁₆₁с₁₆₂с₁₆₃с₁₆₄с₁₆₅с₁₆₆с₁₆₇с₁₆₈с₁₆₉с₁₇₀с₁₇₁с₁₇₂с₁₇₃с₁₇₄с₁₇₅с₁₇₆с₁₇₇с₁₇₈с₁₇₉с₁₈₀с₁₈₁с₁₈₂с₁₈₃с₁₈₄с₁₈₅с₁₈₆с₁₈₇с₁₈₈с₁₈₉с₁₉₀с₁₉₁с₁₉₂с₁₉₃с₁₉₄с₁₉₅с₁₉₆с₁₉₇с₁₉₈с₁₉₉с₂₀₀с₂₀₁с₂₀₂с₂₀₃с₂₀₄с₂₀₅с₂₀₆с₂₀₇с₂₀₈с₂₀₉с₂₁₀с₂₁₁с₂₁₂с₂₁₃с₂₁₄с₂₁₅с₂₁₆с₂₁₇с₂₁₈с₂₁₉с₂₂₀с₂₂₁с₂₂₂с₂₂₃с₂₂₄с₂₂₅с₂₂₆с₂₂₇с₂₂₈с₂₂₉с₂₃₀с₂₃₁с₂₃₂с₂₃₃с₂₃₄с₂₃₅с₂₃₆с₂₃₇с₂₃₈с₂₃₉с₂₄₀с₂₄₁с₂₄₂с₂₄₃с₂₄₄с₂₄₅с₂₄₆с₂₄₇с₂₄₈с₂₄₉с₂₅₀с₂₅₁с₂₅₂с₂₅₃с₂₅₄с₂₅₅с₂₅₆с₂₅₇с₂₅₈с₂₅₉с₂₆₀с₂₆₁с₂₆₂с₂₆₃с₂₆₄с₂₆₅с₂₆₆с₂₆₇с₂₆₈с₂₆₉с₂₇₀с₂₇₁с₂₇₂с₂₇₃с₂₇₄с₂₇₅с₂₇₆с₂₇₇с₂₇₈с₂₇₉с₂₈₀с₂₈₁с₂₈₂с₂₈₃с₂₈₄с₂₈₅с₂₈₆с₂₈₇с₂₈₈с₂₈₉с₂₉₀с₂₉₁с₂₉₂с₂₉₃с₂₉₄с₂₉₅с₂₉₆с₂₉₇с₂₉₈с₂₉₉с₃₀₀с₃₀₁с₃₀₂с₃₀₃с₃₀₄с₃₀₅с₃₀₆с₃₀₇с₃₀₈с₃₀₉с₃₁₀с₃₁₁с₃₁₂с₃₁₃с₃₁₄с₃₁₅с₃₁₆с₃₁₇с₃₁₈с₃₁₉с₃₂₀с₃₂₁с₃₂₂с₃₂₃с₃₂₄с₃₂₅с₃₂₆с₃₂₇с₃₂₈с₃₂₉с₃₃₀с₃₃₁с₃₃₂с₃₃₃с₃₃₄с₃₃₅с₃₃₆с₃₃₇с₃₃₈с₃₃₉с₃₄₀с₃₄₁с₃₄₂с₃₄₃с₃₄₄с₃₄₅с₃₄₆с₃₄₇с₃₄₈с₃₄₉с₃₅₀с₃₅₁с₃₅₂с₃₅₃с₃₅₄с₃₅₅с₃₅₆с₃₅₇с₃₅₈с₃₅₉с₃₆₀с₃₆₁с₃₆₂с₃₆₃с₃₆₄с₃₆₅с₃₆₆с₃₆₇с₃₆₈с₃₆₉с₃₇₀с₃₇₁с₃₇₂с₃₇₃с₃₇₄с₃₇₅с₃₇₆с₃₇₇с₃₇₈с₃₇₉с₃₈₀с₃₈₁с₃₈₂с₃₈₃с₃₈₄с₃₈₅с₃₈₆с₃₈₇с₃₈₈с₃₈₉с₃₉₀с₃₉₁с₃₉₂с₃₉₃с₃₉₄с₃₉₅с₃₉₆с₃₉₇с₃₉₈с₃₉₉с₄₀₀с₄₀₁с₄₀₂с₄₀₃с₄₀₄с₄₀₅с₄₀₆с₄₀₇с₄₀₈с₄₀₉с₄₁₀с₄₁₁с₄₁₂с₄₁₃с₄₁₄с₄₁₅с₄₁₆с₄₁₇с₄₁₈с₄₁₉с₄₂₀с₄₂₁с₄₂₂с₄₂₃с₄₂₄с₄₂₅с₄₂₆с₄₂₇с₄₂₈с₄₂₉с₄₃₀с₄₃₁с₄₃₂с₄₃₃с₄₃₄с₄₃₅с₄₃₆с₄₃₇с₄₃₈с₄₃₉с₄₄₀с₄₄₁с₄₄₂с₄₄₃с₄₄₄с₄₄₅с₄₄₆с₄₄₇с₄₄₈с₄₄₉с₄₅₀с₄₅₁с₄₅₂с₄₅₃с₄₅₄с₄₅₅с₄₅₆с₄₅₇с₄₅₈с₄₅₉с₄₆₀с₄₆₁с₄₆₂с₄₆₃с₄₆₄с₄₆₅с₄₆₆с₄₆₇с₄₆₈с₄₆₉с₄₇₀с₄₇₁с₄₇₂с₄₇₃с₄₇₄с₄₇₅с₄₇₆с₄₇₇с₄₇₈с₄₇₉с₄₈₀с₄₈₁с₄₈₂с₄₈₃с₄₈₄с₄₈₅с₄₈₆с₄₈₇с₄₈₈с₄₈₉с₄₉₀с₄₉₁с₄₉₂с₄₉₃с₄₉₄с₄₉₅с₄₉₆с₄₉₇с₄₉₈с₄₉₉с₅₀₀с₅₀₁с₅₀₂с₅₀₃с₅₀₄с₅₀₅с₅₀₆с₅₀₇с₅₀₈с₅₀₉с₅₁₀с₅₁₁с₅₁₂с₅₁₃с₅₁₄с₅₁₅с₅₁₆с₅₁₇с₅₁₈с₅₁₉с₅₂₀с₅₂₁с₅₂₂с₅₂₃с₅₂₄с₅₂₅с₅₂₆с₅₂₇с₅₂₈с₅₂₉с₅₃₀с₅₃₁с₅₃₂с₅₃₃с₅₃₄с₅₃₅с₅₃₆с₅₃₇с₅₃₈с₅₃₉с₅₄₀с₅₄₁с₅₄₂с₅₄₃с₅₄₄с₅₄₅с₅₄₆с₅₄₇с₅₄₈с₅₄₉с₅₅₀с₅₅₁с₅₅₂с₅₅₃с₅₅₄с₅₅₅с₅₅₆с₅₅₇с₅₅₈с₅₅₉с₅₆₀с₅₆₁с₅₆₂с₅₆₃с₅₆₄с₅₆₅с₅₆₆с₅₆₇с₅₆₈с₅₆₉с₅₇₀с₅₇₁с₅₇₂с₅₇₃с₅₇₄с₅₇₅с₅₇₆с₅₇₇с₅₇₈с₅₇₉с₅₈₀с₅₈₁с₅₈₂с₅₈₃с₅₈₄с₅₈₅с₅₈₆с₅₈₇с₅₈₈с₅₈₉с₅₉₀с₅₉₁с₅₉₂с₅₉₃с₅₉₄с₅₉₅с₅₉₆с₅₉₇с₅₉₈с₅₉₉с₆₀₀с₆₀₁с₆₀₂с₆₀₃с₆₀₄с₆₀₅с₆₀₆с₆₀₇с₆₀₈с₆₀₉с₆₁₀с₆₁₁с₆₁₂с₆₁₃с₆₁₄с₆₁₅с₆₁₆с₆₁₇с₆₁₈с₆₁₉с₆₂₀с₆₂₁с₆₂₂с₆₂₃с₆₂₄с₆₂₅с₆₂₆с₆₂₇с₆₂₈с₆₂₉с₆₃₀с₆₃₁с₆₃₂с₆₃₃с₆₃₄с₆₃₅с₆₃₆с₆₃₇с₆₃₈с₆₃₉с₆₄₀с₆₄₁с₆₄₂с₆₄₃с₆₄₄с₆₄₅с₆₄₆с₆₄₇с₆₄₈с₆₄₉с₆₅₀с₆₅₁с₆₅₂с₆₅₃с₆₅₄с₆₅₅с₆₅₆с₆₅₇с₆₅₈с₆₅₉с₆₆₀с₆₆₁с₆₆₂с₆₆₃с₆₆₄с₆₆₅с₆₆₆с₆₆₇с₆₆₈с₆₆₉с₆₇₀с₆₇₁с₆₇₂с₆₇₃с₆₇₄с₆₇₅с₆₇₆с₆₇₇с₆₇₈с₆₇₉с₆₈₀с₆₈₁с₆₈₂с₆₈₃с₆₈₄с₆₈₅с₆₈₆с₆₈₇с₆₈₈с₆₈₉с₆₉₀с₆₉₁с₆₉₂с₆₉₃с₆₉₄с₆₉₅с₆₉₆с₆₉₇с₆₉₈с₆₉₉с₇₀₀с₇₀₁с₇₀₂с₇₀₃с₇₀₄с₇₀₅с₇₀₆с₇₀₇с₇₀₈с₇₀₉с₇₁₀с₇₁₁с₇₁₂с₇₁₃с₇₁₄с₇₁₅с₇₁₆с₇₁₇с₇₁₈с₇₁₉с₇₂₀с₇₂₁с₇₂₂с₇₂₃с₇₂₄с₇₂₅с₇₂₆с₇₂₇с₇₂₈с₇₂₉с₇₃₀с₇₃₁с₇₃₂с₇₃₃с₇₃₄с₇₃₅с₇₃₆с₇₃₇с₇₃₈с₇₃₉с₇₄₀с₇₄₁с₇₄₂с₇₄₃с₇₄₄с₇₄₅с₇₄₆с₇₄₇с₇₄₈с₇₄₉с₇₅₀с₇₅₁с₇₅₂с₇₅₃с₇₅₄с₇₅₅с₇₅₆с₇₅₇с₇₅₈с₇₅₉с₇₆₀с₇₆₁с₇₆₂с₇₆₃с₇₆₄с₇₆₅с₇₆₆с₇₆₇с₇₆₈с₇₆₉с₇₇₀с₇₇₁с₇₇₂с₇₇₃с₇₇₄с₇₇₅с₇₇₆с₇₇₇с₇₇₈с₇₇₉с₇₈₀с₇₈₁с₇₈₂с₇₈₃с₇₈₄с₇₈₅с₇₈₆с₇₈₇с₇₈₈с₇₈₉с₇₉₀с₇₉₁с₇₉₂с₇₉₃с₇₉₄с₇₉₅с₇₉₆с₇₉₇с₇₉₈с₇₉₉с₈₀₀с₈₀₁с₈₀₂с₈₀₃с₈₀₄с₈₀₅с₈₀₆с₈₀₇с₈₀₈с₈₀₉с₈₁₀с₈₁₁с₈₁₂с₈₁₃с₈₁₄с₈₁₅с₈₁₆с₈₁₇с₈₁₈с₈₁₉с₈₂₀с₈₂₁с₈₂₂с₈₂₃с₈₂₄с₈₂₅с₈₂₆с₈₂₇с₈₂₈с₈₂₉с₈₃₀с₈₃₁с₈₃₂с₈₃₃с₈₃₄с₈₃₅с₈₃₆с₈₃₇с₈₃₈с₈₃₉с₈₄₀с₈₄₁с₈₄₂с₈₄₃с₈₄₄с₈₄₅с₈₄₆с₈₄₇с₈₄₈с₈₄₉с₈₅₀с₈₅₁с₈₅₂с₈₅₃с₈₅₄с₈₅₅с₈₅₆с₈₅₇с₈₅₈с₈₅₉с₈₆₀с₈₆₁с₈₆₂с₈₆₃с₈₆₄с₈₆₅с₈₆₆с₈₆₇с₈₆₈с₈₆₉с₈₇₀с₈₇₁с₈₇₂с₈₇₃с₈₇₄с₈₇₅с₈₇₆с₈₇₇с₈₇₈с₈₇₉с₈₈₀с₈₈₁с₈₈₂с₈₈₃с₈₈₄с₈₈₅с₈₈₆с₈₈₇с₈₈₈с₈₈₉с₈₉₀с₈₉₁с₈₉₂с₈₉₃с₈₉₄с₈₉₅с₈₉₆с₈₉₇с₈₉₈с₈₉₉с₉₀₀с₉₀₁с₉₀₂с₉₀₃с₉₀₄с₉₀₅с₉₀₆с₉₀₇с₉₀₈с₉₀₉с₉₁₀с₉₁₁с₉₁₂с₉₁₃с₉₁₄с₉₁₅с₉₁₆с₉₁₇с₉₁₈с₉₁₉с₉₂₀с₉₂₁с₉₂₂с₉₂₃с₉₂₄с₉₂₅с₉₂₆с₉₂₇с₉₂₈с₉₂₉с₉₃₀с₉₃₁с₉₃₂с₉₃₃с₉₃₄с₉₃₅с₉₃₆с₉₃₇с₉₃₈с₉₃₉с₉₄₀с₉₄₁с₉₄₂с₉₄₃с₉₄₄с₉₄₅с₉₄₆с₉₄₇с₉₄₈с₉₄₉с₉₅₀с₉₅₁с₉₅₂с₉₅₃с₉₅₄с₉₅₅с₉₅₆с₉₅₇с₉₅₈с₉₅₉с₉₆₀с₉₆₁с₉₆₂с₉₆₃с₉₆₄с₉₆₅с₉₆₆с₉₆₇с₉₆₈с₉₆₉с₉₇₀с₉₇₁с₉₇₂с₉₇₃с₉₇₄с₉₇₅с₉₇₆с₉₇₇с₉₇₈с₉₇₉с₉₈₀с₉₈₁с₉₈₂с₉₈₃с₉₈₄с₉₈₅с₉₈₆с₉₈₇с₉₈₈с₉₈₉с₉₉₀с₉₉₁с₉₉₂с₉₉₃с₉₉₄с₉₉₅с₉₉₆с₉₉₇с₉₉₈с₉₉₉с₁₀₀₀с₁₀₀₁с₁₀₀₂с₁₀₀₃с₁₀₀₄с₁₀₀₅с₁₀₀₆с₁₀₀₇с₁₀₀₈с₁₀₀₉с₁₀₁₀с₁₀₁₁с₁₀₁₂с₁₀₁₃с₁₀₁₄с₁₀₁₅с₁₀₁₆с₁₀₁₇с₁₀₁₈с₁₀₁₉с₁₀₂₀с₁₀₂₁с₁₀₂₂с₁₀₂₃с₁₀₂₄с₁₀₂₅с₁₀₂₆с₁₀₂₇с₁₀₂₈с₁₀₂₉с₁₀₃₀с₁₀₃₁с₁₀₃₂с₁₀₃₃с₁₀₃₄с₁₀₃₅с₁₀₃₆с₁₀₃₇с₁₀₃₈с₁₀₃₉с₁₀₄₀с₁₀₄₁с₁₀₄₂с₁₀₄₃с₁₀₄₄с₁₀₄₅с₁₀₄₆с₁₀₄₇с₁₀₄₈с₁₀₄₉с₁₀₅₀с₁₀₅₁с₁₀₅₂с₁₀₅₃с₁₀₅₄с₁₀₅₅с₁₀₅₆с₁₀₅₇с₁₀₅₈с₁₀₅₉с₁₀₆₀с₁₀₆₁с₁₀₆₂с₁₀₆₃с₁₀₆₄с₁₀₆₅с₁₀₆₆с₁₀₆₇с₁₀₆₈с₁₀₆₉с₁₀₇₀с₁₀₇₁с₁₀₇₂с₁₀₇₃с₁₀₇₄с₁₀₇₅с₁₀₇₆с₁₀₇₇с₁₀₇₈с₁₀₇₉с₁₀₈₀с₁₀₈₁с₁₀₈₂с₁₀₈₃с₁₀₈₄с₁₀₈₅с₁₀₈₆с₁₀₈₇с₁₀₈₈с₁₀₈₉с₁₀₉₀с₁₀₉₁с₁₀₉₂с₁₀₉₃с₁₀₉₄с₁₀₉₅с₁₀₉₆с₁₀₉₇с₁₀₉₈с₁₀₉₉с₁₁₀₀с₁₁₀₁с₁₁₀₂с₁₁₀₃с₁₁₀₄с₁₁₀₅с₁₁₀₆с₁₁₀₇с₁₁₀₈с₁₁₀₉с₁₁₁₀с₁₁₁₁с₁₁₁₂с₁₁₁₃с₁₁₁₄с₁₁₁₅с₁₁₁₆с₁₁₁₇с₁₁₁₈с₁₁₁₉с₁₁₂₀с₁₁₂₁с₁₁₂₂с₁₁₂₃с₁₁₂₄с₁₁₂₅с₁₁₂₆с₁₁₂₇с₁₁₂₈с₁₁₂₉с₁₁₃₀с₁₁₃₁с₁₁₃₂с₁₁₃₃с₁₁₃₄с₁₁₃₅с₁₁₃₆с₁₁₃₇с₁₁₃₈с₁₁₃₉с₁₁₄₀с₁₁₄₁с₁₁₄₂с₁₁₄₃с₁₁₄₄с₁₁₄₅с₁₁₄₆с₁₁₄₇с₁₁₄₈с₁₁₄₉с₁₁₅₀с₁₁₅₁с₁₁₅₂с₁₁₅₃с₁₁₅₄с₁₁₅₅с₁₁₅₆с₁₁₅₇с₁₁₅

кривой «с», а на энергию соответствующую ветру в 7,65 м/с. Тогда, начиная с точки «d», кривая начнет понижаться в соответствии с убывающим числом случаев для более и более сильных ветров и общее количество энергии, которое при этом будет выработано, будет пропорционально уже не всей площади описанной кривой «с», а той лишь части ее, которая ограничена сначала кривой «с» до точки «d», а затем кривой «dd».

На Севастопольском примере (черт. 1, на стр. 246) мы остановились на 10 м/с. Ломанная линия от точки «d» влево ограничивает энергию, которая может быть нами использована, а вправо площадь соответствующую энергии, которая пропадает вследствие того, что мы ограничили использование 10 м/с. Если в каждой последующей точке, соответствующей нарастающей силе ветра, мы построим, начиная со слабых и до наиболее сильных ветров, подобные же кривые, то получим все растущие площади, соответствующие все большему количеству энергии, которая будет нами использована при ориентировке на все более сильные ветры (см. рис. 2 на стр. 246), на котором мы приняли предельные ветры в 7,65 м/с 12, 18 и 30 м/с и ограничили соответствующие им энергетические площади в точках d, e, f, g.

Просчитав в отдельных таблицах количество энергии, которое может быть получено при ориентировке на ветер все большей силы, мы получаем

По Севастополю за 1913 и 1914 г.



Черт. 3

r — энергия на оси крыльев при установке на ветры разной силы.
S — энергия на борнах генератора с учетом всех коэфф. пол. действия.
t — число часов работы максимума.

Между энергией ветра, свободно протекающего в пространстве использованием этой энергии для механической работы и далее, превращением ее в электрическую энергию лежит ряд ступеней, на каждой из которых часть энергии теряется. Прежде всего, встречая препятствие в виде ветряка, ветер частично его обтекает и только часть потока проходит через крылья ветряка, где и преобразуется в механическую энергию. Предельный теоретический коэффициент полезного действия (ξ) на этой ступени — 59,2%. Но практические результаты не позволяют пока говорить об использовании более 34%.

Таким образом, мы получаем известное количество энергии на крыльях ветряка. Далее, приходится учесть потери в подшипниках, в зубчатке и, наконец, в сопряженной с ветряком динамомашине или ином механизме. Не останавливаясь подробно на подсчете этих потерь укажем, что при учете их кривая «r» (черт. 3 на стр. 248) превратится в кривую «S». Вместо прежнего постоянного нарастания количества вырабатываемой энергии от перехода работы установки на все более сильные ветры, мы после известной ступени ветра обнаруживаем, вместо прироста, убыль энергии. Объясняется это следующим. Согласно подсчета, при ветре в 2,5

раза более слабom, чем принятый нами предельный — энергии вырабатывается в (2,5³ раз меньше, т.е. 6,4% от полной мощности, а это равняется потерям холостого хода. При прочих же сравнительно слабых ветрах установка будет работать с плохим коэффициентом полезного действия. Если мы при расчете ветряка будем ориентироваться на ветер значительно более сильный, то, выигрывая очень мало от такого перехода на высшие ступени, мы значительно больше теряем на плохом использовании ветров несколько более слабых, но значительно более частых. Перегиб кривой «S» на черт. 3 (на стр. 248) и показывает это.

Для большей ясности картины мы изобразили на чертежах 1 и 2 (на стр. 246) для некоторых точек, кроме кривых ограничивающих использование всей энергии ветра, в зависимости от установки на предельный ветер, еще кривые использования в зависимости от коэффициента полезного действия генератора.

Так, на чертеже 1 (стр. 246) кривая ccdd ограничивает площадь 10 м/с, кривая же ppp₁d₁ ограничивает площадь, оставшуюся за вычетом использования энергии всех ветров при установке на предельный ветер в потерь в генераторе. То же самое мы отметим на чертеже 2 (на стр. 246) для 12 м/с и 30 м/с.

Осветим теперь еще один крайне существенный для каждой установки вопрос — о числе часов ее работы. При этом укажем, что общее количество часов работы вне вопроса об отдаваемой за это время энергии играет сравнительно второстепенную роль. Лучше характеризует установку не понятие «общее число часов работы», а «число часов работы максимума» (кривая «t» черт. 3, на стр. 248), т.е. к скольким часам работы можно было бы свести всю отдаваемую за год энергию при работе только на полную нагрузку. Получаем мы эту величину путем деления общего количества отдаваемой за год энергии на предельную мощность.

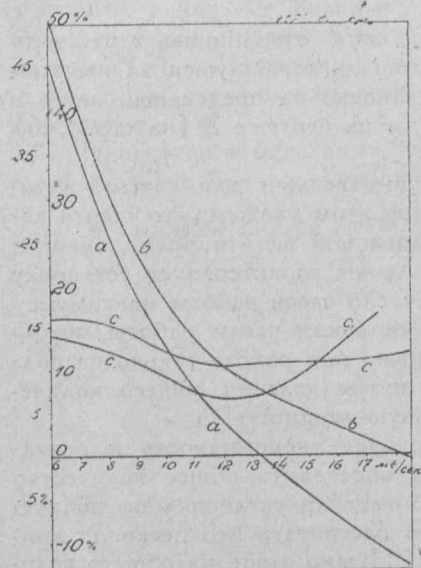
Это понятие гораздо лучше характеризует экономичность и рентабельность установки. Если же мы захотим определить общее количество часов работы вне зависимости от того, работает ли установка на полную мощность или загружена лишь частично, то рассчитать это легко по кривой «a» чертежей 2 и 3 (на стр. 246, 248). Нужно лишь из общего годового числа часов выкинуть штилевые дни, т.е. дни действительного и относительного штиля, когда установка не работает, так как каждая установка, как уже было сказано, начинает работать лишь с ветров в 2,5 раза меньших, чем избранный нами предельный ветер.

Определение оптимального ветра для установки. Как уже упоминалось, из чертежей 1 и 2 (на стр. 246) априори было ясно, что, при ориентировке на ветер определенной силы, нельзя останавливаться на ветрах средних и меньших. Протекающая с ними энергия настолько незначительна, по сравнению с общей массой последней, таящейся в ветрах, что говорить, при такой ориентировке, об использовании энергии ветра не приходится. С другой стороны, из чертежа 3 (на стр. 248) совершенно очевидно, что базироваться на ветрах за седлом — в наших примерах, на ветрах в 2,5 раз более сильных, чем средние — не приходится, так как в конечном счете, при более дорогой установке мы получили бы меньше энергии и притом менее равномерно использованной в продолжение года. Более определенно мы, пока, высказаться не можем. Если бы установка нам ничего не стоила, а рабочая сила тоже не оплачивалась бы, то ясно, что предельной — была бы установка на ветры на седле, т.е. для Севастополя — 13 м/с, а для Караби-Яйлы — 18 м/с. Тогда вопрос свелся бы лишь к получению максимального количества энергии. Но, на самом деле, вопрос стоит не так, и ориентировку на более сильный ветер приходится оплачивать растущими годовыми расходами. Всю систему как меха-

ническую, так и связанную с нею электрическую часть приходится сооружать соответственно предельному избранному ветру, а число случаев этого предельного ветра может быть и не столь велико. Таким образом, в реальных условиях может оказаться, что последние ступени перед седлом дадут большее удорожание, чем прибавят энергии. Тогда было бы выгоднее достичь увеличения количества энергии не путем использования более сильных ветров, а путем установки второго ветряка или путем увеличения размаха крыльев.

К решению поставленной выше задачи о наиболее экономически целесообразном пределе мы и перейдем.

Графическое определение оптимального ветра для установки ветряка



Черт. 4

а — прирост отдачи энергии в % при ориентировке на все более сильный ветер в Севастополе.
б — тоже на Караби-Яйле.
с — прирост в % годовых расходов как выше при работе с техническим персоналом.
с₁ — тоже при автоматизации установки.

ветра соответствует, конечно, соответствующая мощность сопряженного генератора. Стоимость установленного киловатта при увеличении мощности до известных пределов (до перехода на тихоходные типы) падает: стоимость же башни от установки на более сильные ветры возрастает незначительно, так как при всех случаях расчет башни приходится производить на предельные ветры данной местности. Нами просчитаны отдельно стоимость для каждой ступени ветра. При подсчете годовых расходов учтены проценты на капитал, амортизационные отчисления, ремонт и заработная плата.

Посмотрим же, как при переходе с одной ступени ветра на следующую будут расти, с одной стороны, количество отдаваемой энергии (по черт. 3 на стр. 248), с другой, как будут нарастать годовые расходы.

Выразим и то и другое приращение в процентах. На чертеже 4 (на стр. 250) кривые «а» и «б» показывают прирост (в процентах) энергии при переходе с одной ступени ветра к последующей (по Севастополю кр. 3

Прежде всего посмотрим, что определяет экономичность и практическую пригодность установки.

Основными моментами, характеризующими всякую установку являются: 1) количество вырабатываемой за год энергии; 2) годовые расходы, сопряженные с работой отдаваемой энергии в продолжение года или, что то же, число часов работы максимума.

Первые два момента определяют стоимость вырабатываемой энергии, третий характеризует установку с точки зрения ее пригодности для тех или иных целей. Так как первые два и последний признаки характеризуют установку с совершенно разных сторон, то исследовать их можно независимо друг от друга.

Количество вырабатываемой энергии нами подробно разобрано и исчерпывающе характеризуется кривыми «С». Зная силу ветра и избранный нами размах крыльев, мы в любой момент можем перевести наши условные единицы энергии в киловаттчасы.

Переходя к вопросу о стоимости установки, мы за недостатком места укажем лишь, что каждой ступени

черт. 3, на стр. 248). Прирост годовых расходов (расчет которых в виду ограниченности места мы здесь не приводим) — тоже в процентах, по отношению к каждой предшествующей ступени — изображен кривой «с» и «с₁», при чем «с₁» показывает прирост годовых расходов при автоматизации установки.

Если при переходе от одного ветра к более сильному прирост количества вырабатываемой энергии или киловаттчасов будет больше, чем прирост годовых расходов, то при переходе этом стоимость энергии уменьшится. Если же прирост энергии будет меньше, чем прирост годовых расходов по установке, то переход к следующей ступени удорожит энергию. Точки пересечения кривых «с» и «с₁» с кривыми «а» и «б» показывают тот оптимальный ветер, при установке на который мы имеем наиболее дешевую энергию. И до этой точки пересечения и после нее энергия будет дороже. Разница между ординатами «с» или «с₁» и «а» или «б» для каждой испытываемой ступени ветра показывает на сколько процентов в этом случае энергия будет дороже, чем при оптимальном ветре.

На разобранных нами примерах покажем каких результатов можно достигнуть при правильном расчете и ориентировке на оптимальный ветер. Приводим сводку результатов по двум установкам:

Таблица 2

Сводка расчетов установок с ориентировкой на оптимальный ветер

	На Караби-Яйле	В Севастополе
Оптимальный ветер в м/с	12	9,9
Соответствующий ему генератор в кат	250,5	133
Поправка на барометр давления в кат	222	133
Ближайший заводской тип в кат	200	150
Соответствующий ветер в м/с	11,6	10,3
Общее число часов работы	5.930	4.668
Число часов работы максимума	2.495	1.875
Число часов работы при полной нагрузке	1.741	1.141
Начальный ветер при трогании ветряка в м/с	4,65	4,15
% использован. энергии с учет. всех коэф. пол. действ. (включ. и генерат.) и с учетом потерь от установки на определенный ветер	29,9	39
% использования полный с учетом = 0,34	10,1	13,3
Число киловаттчасов в год	499.000	281.250
Расход за год с обслуживающим персоналом (в руб.)	6.863	6.177
Расход при автоматизации (в руб.)	4.565	4.235
Стоим. 1 катч. при работе с рабочим персоналом на шинах ветроустановки (в коп.)	1,37	2,2
Стоим. 1 катч. при автоматизации (в коп.)	0,86	1,63
Стоим. 1 катч. при автоматизации и массовой заготовке (в коп.)	0,67	1,25
Принятая стоимость установки (без автоматизации) (в руб.)	36.350	33.350

При этом считаем необходимым оговориться, что расчеты сделаны по ближайшей метеорологической станции, а, как указано было выше, количество энергии на соседних холмах было бы в 6 раз больше и стоимость установки возросла бы главным образом лишь в части, относящейся к стоимости электрического оборудования, да и то меньше, чем прирост мощности.

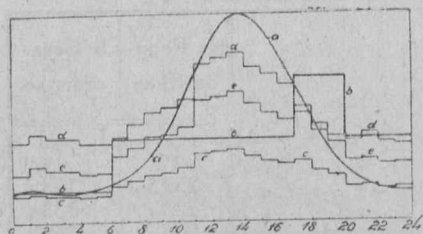
Уже из приведенных примеров видно, какие благоприятные результаты может дать ветросиловая установка и как выгодны были бы возможности приспособления ветряков для параллельной работы на общую сеть.

Работа ветросиловой установки в реальных условиях. Рассмотрим теперь условия работы ветросиловой установки в реаль-

ных условиях, чтобы перейти затем к вопросу о возможном потребителе этой дешевой, но неравномерно пульсирующей энергии.

Для решения этой задачи приходится во-первых, задаться определенным графиком суточного потребителя энергии, а во-вторых, на основании ежечасной проработки показаний анемометра определить общую отдачу энергии ветряком. Для этого мы взяли тот же пример Севастопольского ветряка, проработав 3 характерных месяца со средним в общем ветром (5,4 м/с) при чем один из месяцев был исключительно ветряный (в среднем — 8,1 м/с), один тихий (3,3 м/с) и один средний (5,6 м/с). При этом мы задались графиком потребления энергии (крив. «б» черт. 5 на 252 стр.), соответствующим средне-промышленной нагрузке (3.200 часов в год работы максимума). При зимней пиковой нагрузке в 100 квт мы приняли средне-годовую нагрузку в 80 квт. Систему работы ветряка мы приняли самую сложную, т.е. не связанную ни с какой иной системой и покрывающую весь спрос исключительно энергией ветра при наличии какого-либо аккумулятора.

Ежечасная проработка возможной отдачи с пополнением нехватки энергии аккумулятором (потери на аккумуляцию приняты — 50%) показала, что:



Черт. 5

а — энергетическая кривая ветра в Севастополе в продолжении суток.
б — заданный график потребления энергии за сутки при годовом максимуме 100 квт, а среднем — 80 квт.
в — кривая полезной отдачи за сутки ветряка в 100 квт, п. и потерях на аккумуляцию 50%.
г — тоже как в, но установка в 1,9 раз большая для полного покрытия спроса.
д — общая отдача этой установки включая потери при аккумуляции.

ниями) на покрытие 1,3 месячного спроса на энергию.

На чертеже 5 дан графический анализ работы ветросиловой установки в реальной обстановке по Севастополю.

Мировые ресурсы энергии ветра. Хотя вопрос этот имеет чисто академическое значение, но в виду того, что он неоднократно обсуждался, мы дадим подсчет мировых ресурсов на основании данных полученных от проработки нашим методом.

Приняв в расчет анемометрическую тень, мы подсчитали, что на 1 кв. км может быть установлено не более 5 тридцатиметровых ветряков. Если мы примем теперь географическую средне-арифметическую мировую скорость ветра в 4 м/с, то средне-кубическая для разных районов будет не меньше 4,7—4,8 м/с. Если же мы еще сделаем поправки на затихивое расположение метеорологических станций и повышение центра наших ветряков на 25 м над уровнем почвы, то получим минимум 5 м/с. Этот ветер мы и примем для нашего расчета.

Приняв данные, полученные по Севастополю, за основу, просчитаем, сколько энергии мы можем получить при ветрах в 5 м/с от одного ветряка

и, далее, с одного километра. Путем интерполяции получаем мощность одного ветряка — 95 квт и количество киловаттчасов с одного квадратного километра — 1.085.000.

При этих данных со всей суши за год могло бы быть получено количество энергии эквивалентное более ста миллиардов тонн 7.000 калорийного угля, т.е. количество в 85 раз превосходящее мировую добычу каменного угля в 1923 г.

Возвращаясь к таблице 1, мы приходим к выводу, что запасы энергии ветра в ней приуменьшены и превосходят запасы всех прочих видов энергии примерно в 3,5 раза.

О потребителе ветроэнергии и методах использования ветра. В заключение перейдем к чрезвычайно сложному вопросу, заслуживающему самостоятельной проработки — о наивыгоднейших методах работы ветряками. Что наиболее целесообразно, — самостоятельная ли работа ветряками или работа их в комбинациях с тепловыми или гидроустановками, в мелком масштабе для сельских станций или в комбинации с мощными сетями и пр?

Вследствие сложности вопроса и большого количества приводящихся моментов, мы лишь вкратце коснемся его, наметив основные типы работы и те пути, по которым, по нашему мнению, должно пойти развитие ветросиловой проблемы, чтобы дать наибольший народнохозяйственный эффект.

К каким же основным системам сводится работа ветряков?

1. Самостоятельная работа отдельных ветряков, работающих исключительно на энергии ветра без аккумуляции.
2. Система работы ветросиловых установок без иных резервов, но с аккумуляцией.
3. Работа ветряка с тепловым резервом.
4. Работа ветросиловых установок прямо на общую сеть без аккумуляирования энергии.
5. Работа ветряков непосредственно на сеть с аккумуляцией лишь точных излишков энергии.
6. Работа на общую сеть с аккумуляцией энергии ветра, особенно, с гидроаккумуляцией.
7. Работа ветросиловых установок, связанных с мощными областными комбинатами.

Дадим краткую характеристику каждого из приведенных методов работы.

1. Самостоятельная работа ветряка, да притом еще без аккумуляции энергии, конечно, крайне несовершенна, но она же почти только одна и известна на практике. Насколько она примитивна, видно из того, что ветряк такого типа, какой мы все время разбирали, работал бы (см. черт. 1, на стр. 246) при полной нагрузке 1.292 часа; при нагрузке от 0 до полной — 3.376 час., бездействовал бы — 4.092 час. Таким образом, только в 15% всего времени мы можем полностью его нагружать, в 38% мы работаем ненадежно, с возможностью лишь частичной нагрузки и 47% всего времени мы вообще не сможем работать. А, между тем, такие ветряки работают уже 2.000 лет и при этом имеют тенденцию к дальнейшему развитию.

Применяются они, главным образом, для механических целей и притом в тех лишь случаях, где непрерывность работы не является первейшим необходимым требованием. Для производства электрической энергии, без аккумуляторов или тепловых резервов, почти неприменимы, вследствие непостоянства работы и большого количества часов бездействия.

В связи с нашими изысканиями следует указать, что в этом типе ветряков главным моментом при выборе предельного ветра, на котором следует базироваться при расчете мощности установки, будет не дешевизна

энергии, а постоянство ее отдачи. Только что мы указывали, что ветряк, подобранный по нашему методу, работал бы лишь 4.668 час. — из них на полную нагрузку 1.292 часа. Если же мы понизим предельный ветер вместо 10 м/с до 7,5 м/с, то получим увеличение числа часов работы до 6.300. Если по условиям хозяйства требуется, чтобы ее работа давала возможность в крестьянском хозяйстве удобно комбинировать работу ветряка с другими хозяйственными работами, то это увеличение числа часов работы будет иметь первенствующее значение, хотя бы вырабатываемая в этом случае энергия была на валу двигателя и дороже.

Наивыгоднейший народнохозяйственный эффект будет проистекать не от наиболее дешевых силочасов на валу ветряка, а от приспособленности его к условиям хозяйства.

Эта система, несмотря на все свое несовершенство, и впредь сохраняет свою жизненность, особенно, в районах оторванных от дешевой энергии и для специальных целей, например, для мельниц, водоснабжения, орошения и пр. Следует лишь пожелать возможно большей массовой заготовки стандартных типов, к чему, впрочем, ЦАГИ теперь уже частично приступил.

2. Вторая возможная комбинация, при которой ветросиловая установка не нуждается ни в каком резерве или ином источнике энергии для полного обслуживания потребителя. Система эта предусматривает возможность аккумуляции энергии во время, обильное ветрами, при малой нагрузке, когда остаются от подачи в сеть избытки энергии, которые и можно сохранить при посредстве аккумуляторов и использовать ее во время безветрия, или когда сила ветра недостаточна, чтобы полностью покрыть спрос на энергию.

Система эта мало применима при дорогих свинцовых аккумуляторах, но может дать очень хорошие результаты, если только по близости имеется какой-либо водоем или возможность создать таковой и получить напор воды достаточный для гидроустановки, по мощности соответствующей нашему ветряку. Если при этом у нижнего уровня гидростанции можно получить второй водоем, то получится идеальная замкнутая система, при которой при безветрии вода изливается бы из верхнего водоема в нижний, — а при обильных ветрах снова поступала бы в верхнее водовместилище. По объему водоемы эти должны быть равны приблизительно 1,3-кратному количеству воды, которое нужно, чтобы покрыть при помощи резервной гидроустановки месячное потребление энергии. И в этом случае может оказаться целесообразным повысить число часов работы максимума за счет удорожания энергии. Хотя эта система при устройстве заново водоема, может оказаться и не дешевой, но она может дать очень хорошие результаты при наличии уже готовых искусственных или природных водоемов, с возможностью получения необходимого напора.

3. Система работы ветряка с тепловым резервом тоже может себя оправдать в районах оторванных от дешевой энергии.

Само собой очевидно, что система эта возможна лишь в том случае, если стоимость ветроэнергии будет дешевле топливной слагающей. Резерв может по мощности и не совпадать с мощностью ветряка. Он может быть рассчитан для покрытия лишь самой острой нужды в энергии, как например, части освещения, подачи воды и т. п.; прочий же спрос на энергию будет покрываться при наличии ветра.

И в этом случае, установка на тот или иной ветер может диктоваться не столько дешевизной, сколько хозяйственными соображениями.

При этом, большой резерв позволит, если это окажется дешевле для всей системы, ориентироваться на больший ветер. Наивыгоднейший ветер будет не при наиболее дешевой энергии ветроустановки, а при наименьших расходах за год всей системы.

4. Работа на общую сеть. С этой системы следует начинать работу по выработке тока ветросиловыми установками в более широких масштабах. Эта же система может дать наиболее дешевую энергию от ветряков (от всего комбината энергия следующих систем дешевле). Система эта стала вполне осуществима с тех пор, как были созданы ветряки с постоянным числом оборотов.

Как уже было указано, при колебании в числе оборотов, которое имеют современные конструкции ЦАГИ (в 3%), возможна непосредственная работа на сеть даже синхронными генераторами. Вопрос лишь в том, какое соотношение между мощностью ветряков и мощностью всей системы наиболее целесообразно.

При колеблющемся графике потребления энергии, принятом нами (кривая «б» черт. 5, на стр. 252), мы видим, что, если ветряки будут по мощности больше, чем минимальная ночная нагрузка, то часть энергии будет в ветреные ночи пропадать даром. Последнее, конечно, удорожило бы энергию и осложнило бы дело. Но до пределов ночного минимума, энергия, вливаемая в общую сеть будет наиболее дешевой. Предел выгоды — это, когда стоимость ветроэнергии равна стоимости топлива (топливная слагающая) + расход на смазку + уменьшение сноса тепловых машин от уменьшения числа часов работы или когда она равна цене за энергию, которую приходится уплачивать чужому предприятию.

Подсчет в каждом отдельном случае показал бы на сколько стоит повышать ветросиловую мощность по сравнению с ночным минимумом при условии частичных потерь энергии в особо ветряные ночи.

Подсчеты ветряков Севастополя и Кабар-Яйлы основаны на применении именно этой системы.

5. Пятая система — переходная к 6 и 7 — частичная аккумуляция энергии на несколько часов работы в сутки дает возможность с выгодой сильно повысить отношение мощности ветряков к мощности всей системы. При обсуждении системы 4, мы уже говорили, что предельная мощность ветряков в системе определяется минимумом ночного графика загрузки. Но если мы создадим аккумулятор, который смог хотя бы частично поглотить избыточную ночную энергию, то это дало бы нам возможность сильно повысить в общей системе ветросиловую часть. Так в Севастополе в настоящее время ночной минимум (в продолжении 4 часов) равен 17,5% от годового максимума. Расчет показал, что если создать аккумулятор емкостью в 13,3% суточной выработки энергии (т.е. примерно на 3,25 часа средней нагрузки), то это дало бы возможность повысить мощность ветряка до 0,5 мощности всей системы, т.е. к имеющейся теплосиловой или гидросиловой установке прибавить еще 50% по мощности ветряков. При наличии большого водохранилища суточное регулирование работы ветряков сказалось бы на водохранилище лишь как слабо ощущаемое суточное дыхание водоема.

6. Переходим к шестой группе — работе ветряков в комбинации с большими гидроустановками, имеющими многомесячное или годовое регулирование подачи тока, например, с Днепростроем.

Годовое регулирование предполагает обычно или же покрытие многомесячного маловодья, или, даже, сохранение известных запасов воды на сухой год. Из рассмотрения замкнутой (2) системы выяснилось, что, при условиях аналогичных Севастопольским, запасов воды для полной замкнутости системы требуется лишь 1,3 месячного спроса и что в срок нескольких месяцев система снова восполняет свои запасы. Годовое регулирование гидроустановки вполне совместимо с незначительным сравнительно, регулированием для ветродвигателей. В больших масштабах годового регулирования гидроустановки, где дело идет о запасах многомесячных и даже годовых.

сравнительно незначительные позаимствования и отдачи, которые будут заканчивать свой цикл в продолжении лишь немногих месяцев, будут проходить для системы сравнительно безболезненно. Это тоже можно сравнить с дыханием водоема, но уже не суточным, а сезонным. Таким образом, запас воды для, примерно, полуторамесячного количества энергии даст возможность при помощи ветросиловых установок увеличить мощность комбинированной системы вдвое. Если ниже уровня машинного здания гидростанции также имеется тоже достаточно мощный водный резервуар, а таковой будет, например, на Днестре при создании нижней плотины, то мощность ветряков может быть во столько раз больше мощности прочих двигателей, во сколько нижний и верхний водоемы по своей энергетической способности больше необходимого для выработки при замкнутой системе 1,3 месячного запаса энергии.

При большем развитии ветросиловой части общей системы и полном отсутствии нижнего водоема, поставить дело так, чтобы энергия ветра в обильных ветрами дни совсем не пропадала, конечно, нельзя.

7. В заключение еще последняя возможность работы ветросиловых установок — с еще более мощными комбинациями, охватывающими систему параллельно работающих установок, разбросанных на больших расстояниях друг от друга.

Нет сомнения, что не пройдет еще и 10—15 лет, т.е. времени в продолжении которого ветряки, вырабатывающие электрическую энергию, вряд ли даже переживут уже свои «детские болезни» — как весь юг СССР сольет все свои электропередачи в одну общую сеть. Гидростанции на Днестре, Буге, реках Северного Кавказа и пр., тепловые станции Донбасса, работающие на штыбе и низкосортном угле и заводские установки на доменных газах будут соединены одной общей сетью — паутиной высоковольтных передач.

При этой комбинации присоединение ветряков будет еще рациональнее. Ветряки Крымские, Новороссийской группы и другие, разбросанные на громадных расстояниях друг от друга, но соединенные общей системой, будут работать в несравненно более выгодных условиях. Подсчитано, что вследствие несовпадения на таких расстояниях штилевых и бурных дней, общее число часов работы всей ветровой группы может повыситься почти в полтора раза, что является, конечно, большим выигрышем, сделав отдачу от ветросиловых установок значительно ровнее.

Рассмотрение разных способов и систем работы ветряками убеждает нас, что, поскольку ветряки предназначаются для выработки электрической энергии они, хотя и применимы для индивидуального обслуживания поселений и совхозов, но действительного развития и полной своей выгодности они достигнут лишь в мощных комбинациях, особенно, в связи с гидросиловыми установками, где ветер может стать равноправным фактором в числе других входящих в комбинат групп.

Будучи в состоянии уменьшить установленные тепловые мощности лишь в незначительной степени (уменьшая число часов их работы), он тем не менее сможет значительно сократить расходы на топливо и уменьшить износ прочих машин.

Просмотр всех перечисленных возможностей работы ветра сделан, конечно, лишь схематически и ни в какой мере не претендует на исчерпывание материала. Мы лишь хотели наметить пути наивыгоднейшего использования ветровой энергии и дать хоть слабый толчок к дальнейшему изучению и проработке этого вопроса.