

621.03

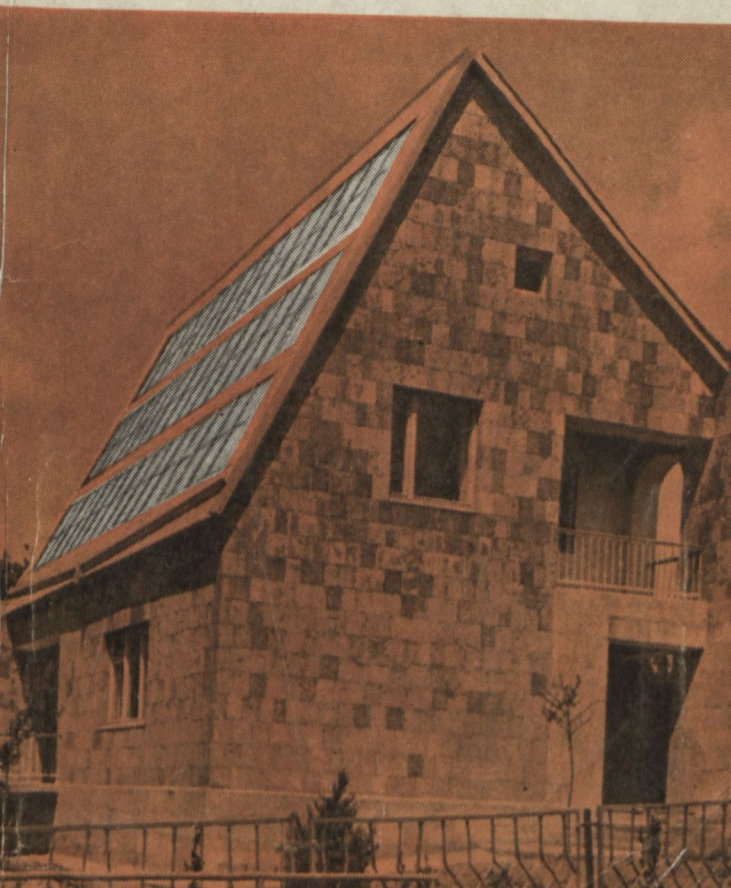
Б-48



Наука и технический прогресс

Б. М. Берковский
В. А. Кузьминов

Возобновляемые источники энергии на службе человека



621.03
548



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Серия «Наука и технический прогресс»

Б. М. Берковский
В. А. Кузьминов

Возобновляемые источники энергии на службе человека

Ответственный редактор
академик А. Е. ШЕЙНДЛИН

61.649-19
С 03
08



Москва «Наука»

1987

Орловская область
библиотека
им. Н. К. Крупской

87

Необходимо также отметить экологические последствия в районе расположения станции нагрева воздуха при прохождении через него солнечного излучения, сконцентрированного зеркальными отражателями. Это — изменение теплового баланса, влажности, направления ветров и т. д. Следует учесть и то, что строительство солнечных электростанций требует больших территорий: например, станция мощностью 100 МВт займет площадь почти 5 км².

Некоторые экологические проблемы возникают при эксплуатации фото- и термоэмиссионных солнечных электрических систем. Во время изготовления кремниевых, кадмиевых и арсенидо-гелиевых фотоэлектрических элементов в воздухе производственных помещений появляются кремниевая пыль, кадмиевые и арсенидовые соединения. Попадая при вдыхании в человеческий организм, они способны вызвать серьезные заболевания. Технологические процессы, связанные с очисткой кремния и галлия, могут приводить к загрязнениям воды щелочами и кислотами.

В заключение необходимо отметить, что нежелательные последствия, вызванные использованием солнечных энергетических систем, носят местный характер и их можно избежать при точном соблюдении правил техники безопасности.

Вторая жизнь ветряных мельниц

Как возникает ветер?

Когда солнце нагревает некоторую часть поверхности Земли интенсивнее, чем окружающие, воздух стремится переместиться. При этом теплые слои поднимаются вверх, а их место занимают более холодные. Такое перемещение воздуха и есть ветер. Крупномасштабная циркуляция воздуха происходит между высокими широтами и экватором. Типичная картина крупномасштабных ветров представлена на рис. 12. В экваториальных областях солнце очень сильно нагревает поверхность Земли. В результате горячий воздух вблизи экватора поднимается вверх и двумя потоками движется в сторону северного и южного полушарий. Охладившись в районе полюсов, воздух опускается вниз, образуя крупно-

масштабное циркуляционное течение у поверхности Земли от полюсов к экватору.

Конечно, данное представление о ветрах идеализировано. Вращение Земли, наличие суши и моря, гор и долин, участков суши, покрытых растительностью, и пустынь значительно усложняют картину ветров.

Например, на границе между сушей и морем весьма часто дуют ветры. Это связано с тем, что твердая поверхность и вода охлаждаются и нагреваются неодинаково. Днем под лучами солнца суша нагревается быстрее, чем море. Это приводит к тому, что над теплой сушей к солнечному полудню начинается интенсивный восходящий поток воздуха, а с моря на место поднявшегося теплого воздуха приходит более прохладный. Возникает хорошо известный ветер с моря, известный под названием «бриз».

Ночью суша охлаждается быстрее, чем море, и становится вскоре холоднее моря. Тогда над морем возникает восходящий поток воздуха, и ветер дует теперь в противоположном направлении (рис. 13).

Периодические изменения температуры в прибрежных районах морей и океанов вызывают циркуляцию более крупного масштаба, чем бризы, называемые муссонами. Они делятся на морские и материковые, отличаются, как правило, большими скоростями и в течение ночи меняют свое направление. Аналогичные процессы происходят в гористых местах и в долинах из-за разных уровней нагрева экваториальных зон и полюсов Земли. Характер циркуляции земной атмосферы усложняется вследствие сил инерции, возникающих при вращении Земли. Они вызывают отклонения воздушных течений, образуется множество циркуляций, в большей или меньшей мере взаимодействующих между собой.

Сила и направление ветра в различных зонах по-разному изменяются в зависимости от высоты над поверх-

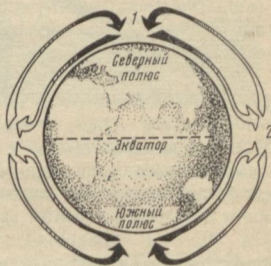
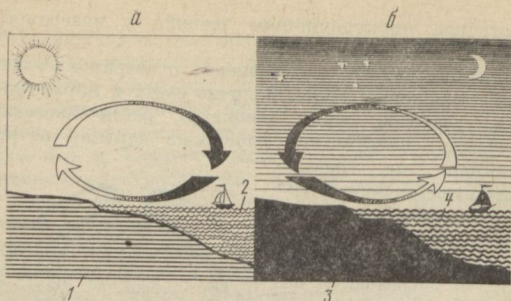


Рис. 12. Глобальная циркуляция воздуха

1 — холодный воздух опускается;
2 — горячий воздух поднимается



Р и с. 13. Возникновение бризов

а — день; б — ночь; 1 — подогретая земля; 2 — охлажденный океан; 3 — охлажденная земля; 4 — подогретый океан

ностью Земли. Так, на экваторе близко к земной поверхности расположена зона с относительно небольшими скоростями ветра, переменного по направлению, а в верхних слоях рождаются достаточно большие по скорости воздушные потоки в восточном направлении. На высоте от 1 до 4 км от поверхности Земли, между 30° северной и южной широт, образуются достаточно равномерные воздушные течения, называемые пассатами. В северном полушарии ближе к поверхности Земли их средняя скорость составляет 7—9 м/с.

Вокруг зоны пониженного давления возникают крупномасштабные циркуляции воздушных масс: в северном полушарии — против направления движения часовой стрелки, а в южном — по направлению ее движения. Из-за наклона на $23,5^\circ$ оси вращения Земли к плоскости ее движения относительно Солнца происходят сезонные изменения тепловой энергии, получаемой от него, величина которых зависит от силы и направления ветра над определенной зоной земной поверхности.

На относительно большой высоте над поверхностью Земли (в среднем 8—12 км) в тропосфере возникают достаточно равномерные и мощные воздушные течения, получившие название струйных. Их образование вызвано особенностями высотной атмосферной циркуляции, поэтому характеристики струйных течений существенно отличаются от параметров приземного ветра. Размеры струйных течений в поперечнике достигают 400—600 км,

а протяженность — до 1000 км. Обычно они не подвержены большим сезонным изменениям, но могут менять свое расположение по высоте. Над Восточной Сибирью и Чукоткой они, например, иногда опускаются до 3—4 км от поверхности Земли. Скорости воздушных масс в ядре струйного течения составляют 30—80 км/ч, но часто доходят до 200 км/ч.

Тепловая энергия, непрерывно поступающая от солнца, преобразуется в кинетическую энергию движения в атмосфере огромных масс воздуха, циркуляция которых и называется ветром.

Ветер является одним из наиболее мощных энергетических источников и может быть утилизирован в народном хозяйстве в значительно больших масштабах, чем в настоящее время. По ориентировочным оценкам, энергия, которая непрерывно поступает от солнца, превышает 10^{11} ГВт. Отсюда можно определить годовую выработку энергии ветроагрегатами — $1,18 \cdot 10^{13}$ кВт·ч. Эта величина во много раз превышает количество энергии, потребляемой сегодня в мире (около 3 млрд твт). Ветроэнергетический потенциал приземных слоев атмосферы только над территорией СССР составляет не менее 30 тыс. ТВт·ч/г, что примерно в 1,5 раза больше энергетического потенциала всех рек Советского Союза. Любопытно, что 80% этой энергии сосредоточено на половине площади страны, в зонах, где скорость ветра больше 6—7 м/с. Еще более значительные энергетические запасы сосредоточены на высотах 8—12 км, где скорости ветра весьма постоянны и достигают 20 м/с.

Энергетические установки обычно используют ветер в приземном слое на высоте до 50—70 м, реже — до 100 м от поверхности Земли, поэтому наибольший интерес представляют характеристики движения воздушных потоков именно в этом слое. В дальнейшем, по мере создания соответствующих технических средств, удастся использовать и струйные течения, характерные для тропопаузы.

Важнейшей характеристикой, определяющей энергетическую ценность ветра, является его скорость. В силу ряда метеорологических факторов (возмущения атмосферы, изменения солнечной активности, количества тепловой энергии, поступающей на Землю, и др.), а также вследствие влияния рельефных условий непрерывная длительность ветра в данной местности, его скорость и направление изменяются по случайному закону. Поэто-

му мощность, которую способна выработать ветроустановка в различные периоды времени, можно предсказать с малой вероятностью. В то же время суммарная выработка агрегата, особенно за длительный промежуток времени, рассчитывается с высоким уровнем достоверности, так как средняя скорость ветра и частота распределения скоростей в течение года или сезона изменяются мало.

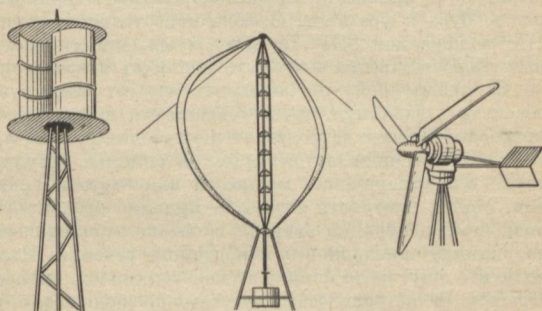
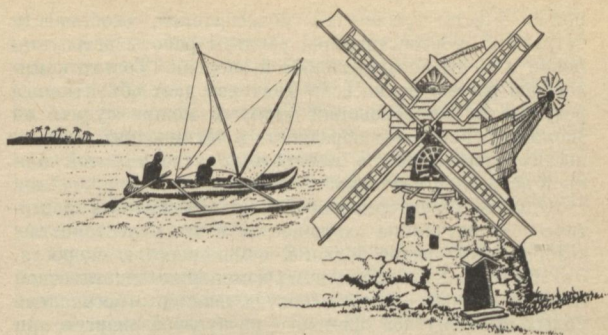
Основные типы ветроэнергетических установок

Уровень развития ветроэнергетики и применения ветроэнергетических агрегатов зависит прежде всего от технических и эксплуатационных параметров и экономической эффективности ветродвигателей и ветроустановок. В соответствии с принятой в СССР классификацией под ветродвигателем понимают любое устройство (двигатель), использующее кинетическую энергию ветра для выработки (производства) механической энергии (рис. 14).

Ветроэнергетический агрегат (ВЭА) — это система, состоящая из ветродвигателя, одной или нескольких рабочих машин (генератора, насоса, компрессора и т. д.), служащих для выработки определенного вида энергии (например, электрической) и (или) для выполнения заданного процесса (подъема воды, сжатия воздуха, размола зерна и др.). Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) представляет собой комплекс технических устройств, в который входят ветроагрегат и, в зависимости от схемы, аккумулирующее или резервирующее устройство, двигатель, дублирующий мощность ветродвигателя, системы автоматического управления и регулирования режимов работы установки и ее элементов. По своему назначению и устройству ветроустановки бывают насосными, зарядными и специализированными.

Большой вклад в разработку теоретических и практических основ ветродвигателестроения внесли советские ученые. Еще в середине 30-х годов Н. Е. Жуковский разработал теорию идеального и реального ветродвигателей, которая и поныне используется во всем мире.

Ветроустановки прошлых лет были, как правило, универсальными, т. е. механическим приводом различных рабочих машин, современные ветроагрегаты стали



Р и с. 14. Типы ветроустановок

специализированными: водоподъемными, зарядными и др. Для работы с комплексом оборудования предназначены агрегаты средней мощности с электрическим приводом рабочих машин.

Поскольку на «добычу» и транспортировку энергии ветра затраты не производятся, часто говорят, что ветер является «даровым» энергетическим источником. Бытует мнение, что энергия, получаемая с помощью ветродвигателя, тоже дешевая и даже практически «даровая». Это далеко не так. Нужно очень хорошо знать условия, чтобы определить, где и для каких целей выгодно использовать энергию ветра и когда целесообразнее и экономичнее применить энергетические установки других типов. При этом необходимо наиболее

полно учесть требования потребителей, особенности ветра как энергоисточника, режимы работы ветроустановки и качество производимой энергии. Только комплексное рассмотрение всех факторов дает объективные результаты, на основании которых можно судить об экономической целесообразности и технических возможностях применения в конкретных условиях той или иной ветроэнергетической установки.

Одна из характерных особенностей ветра как энергетического источника заключается в его непостоянстве, которое обусловлено большой изменчивостью скорости. Это приводит к значительному изменению кинетической энергии ветрового потока даже в течение относительно малых промежутков времени — от нулевой энергии при штиле до существенно превышающей расчетную в периоды бурь и ураганов. Отсюда непостоянство мощности, развиваемой ВЭУ. Поэтому, чтобы при определенных скоростях ветра сохранить мощность ветроагрегата почти неизменной, предохранить его от перегрузок, обеспечить заданную частоту вращения ветроколеса и присоединенных к ветродвигателю рабочих машин, приходится применять автоматические системы регулирования или ограничения мощности или частоты вращения. Малая плотность воздуха — причина относительно низкой концентрации энергии в потоке, приходящейся на единицу площади его поперечного сечения. Чтобы получить ощутимую мощность, необходимо использовать агрегаты с ветроколесами достаточно большого диаметра.

Ветер меняет не только свою скорость, но и направление. Для наиболее полного использования энергии потока ветроколесо (или любой другой рабочий орган, преобразующий кинетическую энергию ветра в механическую) должно занимать определенное положение относительно ветрового потока. Поэтому ветродвигатели многих типов необходимо оборудовать системами автоматической ориентации. Для двигателей крыльчатого типа с горизонтальной осью вращения плоскость вращения ветроколеса должна быть перпендикулярна вектору скорости ветра.

Когда наступают более или менее длительные затишья, скорости ветра недостаточны для работы ветроагрегата. Поэтому приходится предусматривать те или иные аккумулялирующие устройства, резервные двигатели или установки, дублирующие мощность ветроагрега-

та, благодаря которым удается обеспечить бесперебойную подачу потребителю энергии, тепла, воды или продуктов технологической переработки. Все это, естественно, усложняет и удорожает ВЭУ, и в ряде случаев ни по себестоимости вырабатываемой энергии и приведенным затратам на ее производство, ни по удельным капитальным вложениям такая установка уже не может конкурировать с энергетическими агрегатами, использующими жидкое топливо или какой-либо другой вид традиционного топлива.

Одно из главных условий, гарантирующих целесообразность применения ветроэнергетической установки, — наименьшие приведенные затраты на единицу производимой энергии по сравнению с другими типами энергетических установок. В зависимости от конкретных условий и целей эффективность ВЭУ может оцениваться и по другим критериям. Установки, использующие энергию ветра, становятся вполне конкурентоспособными, а малое загрязнение окружающей среды при их работе дает им определенные преимущества.

Одно время ученые шли по пути создания больших аппаратов с горизонтально установленным ветродвигателем. Но практика показала, что подобные установки себя не оправдывают. Недавно появились более удачные конструкции. На обдуваемых ветрами склонах холмов в различных районах можно, например, видеть устройства, напоминающие сбивалку для яиц. Это весьма эффективные новые ветровые двигатели системы Дарье.

Во всех ветродвигателях используется один и тот же принцип. Ветер обдувает поверхность лопастей, и возникающее при этом разрежение создает силу. Действуя на лопасть, она заставляет ее вращаться вокруг центрального вала, приводящего в движение электрогенератор. В различных конструкциях данный принцип используется по-разному. На протяжении многих лет он воплощался в двигателях винтового типа, где располагающиеся в вертикальной плоскости лопасти вращают горизонтальный вал. У наиболее крупных моделей размах лопастей достигает 90 м, высоты 26-этажного здания. Для обеспечения равномерной работы этих гигантов необходимы компьютеры, гидравлические системы регулирования положения лопастей и другая сложная аппаратура.

Считалось, что чем больше ветродвигатель, тем он

эффективнее (более длинные лопасти захватывают большую площадь), гораздо лучше преобразовывает порывы ветра в устойчивый поток электроэнергии, предназначенной для использования в промышленности и быту. Однако гигантские установки оказались ненадежными и очень дорогими. Один из первых ветродвигателей — МОД-1, сконструированный в США и обошедшийся в 30 млн долл., проработал всего 300 ч и сломался. То же случилось и с ветродвигателем МОД-2, имевшим винт с размахом лопастей 90 м. По современным представлениям экономически рентабельными считаются ВЭУ с диаметром ротора 50—60 м.

В самом начале XX в. французский изобретатель Г. Дарье получил патент на воздушную турбину, построенную им по принципу «яйцесбивалки». В 70-х годах его идея легла в основу создания агрегата ВАФТ — воздушной турбины с вертикальной осью. В отличие от ветродвигателя с большими винтами, вращающимися вокруг горизонтальной оси, у этой воздушной турбины лопасти сидят на вертикальной оси. Преимущество конструкции заключается в том, что она использует ветер, дующий с любой стороны. Винтовые воздушные турбины направлены навстречу ветру, и поэтому оборудование должно фиксировать направление ветра и поворачивать турбину, установленную на высокой мачте. Кроме того, у «яйцесбивалки» генератор и управляющие устройства располагаются на земле, а не на высоких мачтах, что облегчает их обслуживание и ремонт. Воздушная турбина с вертикальной осью проста по конструкции. Это очень важно, так как ветровым двигателям в процессе работы приходится выдерживать натиск бурных порывов ветра. У воздушной турбины нет движущихся частей для поворота по направлению ветра. Кроме того, технология изготовления лопастей основана на прессовании выдавливанием алюминия.

Основной недостаток «яйцесбивалки» заключается в том, что она нуждается в двигателе для раскручивания ее в начальный момент. При этой операции потребляется электрический ток, получаемый из электросети. Неспособность самостоятельно начать движение обусловлена аэродинамическими особенностями этой воздушной турбины и фиксированным положением ее лопастей.

Типичные ветродвигатели системы Дарье имеют высоту 20 м, ширину 10 м. Изгибающиеся лопасти ши-

риной 5 м и длиной 27 м от вершины до основания приводят в действие генератор, пиковая мощность которого достигает 100 кВт. Основанная на этом принципе ВЭУ позволяет получить большие мощности и, конечно, при несколько больших размерах.

Хотя «яйцесбивалка» и лидирует сейчас в своеобразном состязании, целью которого является создание наиболее эффективного ветродвигателя, тем не менее она нуждается в испытании ее надежности временем. Эта конструкция находится в эксплуатации всего несколько лет.

В настоящее время разработан еще один принципиально новый тип ветроэлектростанции (ВЭС), позволивший значительно увеличить установленную мощность агрегата. Ветродвигатель состоит из цилиндрической полой башни, в стенках которой сделаны вертикальные щели, снабженные створками (жалюзи). Открытая сверху башня имеет полое конусное основание с проемами на его боковых стенках для входа воздуха. В горловине основания размещается воздушная турбина, вал которой через маховик и муфту соединяется с вертикальным валом генератора.

Принцип действия такого агрегата сводится к следующему. Воздушный поток, поступая внутрь башни через открытые с наветренной стороны створки в тангенциальном направлении, обтекает цилиндрические стенки башни, в которых жалюзи закрыты, и завихряется. При этом окружная скорость по мере приближения к выходу из башни все время увеличивается из-за уменьшения радиуса вращения. В результате внутри башни образуется вихрь, в центре которого создается область пониженного давления — «стержень». Наружный воздух через проемы на боковых стенках конусного основания под действием избыточного давления устремляется в основание «стержня» и, перемещаясь вверх, вращает лопасти воздушной турбины, а следовательно, и вал генератора.

Такой вихревой ветродвигатель может работать при слабом ветре и даже без него. В этом случае достаточно перепада температур на дне и в верхней части башни не менее 10°C . Для подогрева воздуха в основании башни устанавливается подогревательная камера, в которой используется, например, теплая вода конденсаторов ТЭС, солнечная энергия и т. п. Подобный ветровой двигатель может обеспечивать значительную единичную

мощность и противостоять разрушительным воздействиям ураганных ветров (при открытых створках ветер, продувая башню насквозь, не оказывает давления на ее стенки).

В настоящее время в Советском Союзе ведутся интенсивные работы по созданию ВЭУ различного назначения. Разработано более 10 типов ветродвигателей малой мощности, используемых главным образом в сельском хозяйстве.

Уже говорилось, что ветер как энергетический источник обладает большой изменчивостью. И поскольку его режимы трудно предсказать заранее с большой точностью, приходится во многих случаях комплектовать ветроустановку аккумулялирующим устройством или использовать дублирующую неветровую энергоустановку. С помощью аккумулялирующих устройств можно выравнивать пульсирующую мощность, которую вырабатывает агрегат в условиях постоянно изменяющейся скорости ветра; координировать графики производства и потребления энергии в периоды, когда ветроагрегат не работает или его мощности не хватает для обеспечения полной нагрузки; снабжать объекты энергией (водой, продуктом) по заданному графику; увеличивать суммарную выработку ветроустановки; повышать эффективность использования энергии ветра; получать большую мощность за короткий промежуток времени.

Первая и последняя задачи решаются с помощью аккумулялирующих устройств относительно небольшой емкости. Они называются буферными и в определенных случаях могут способствовать увеличению выработки энергии за счет лучшего использования воздушных потоков, скорости которых выше расчетных. Главная их функция — сглаживать выработку энергии, вызванную микропульсациями ветра и кратковременными снижениями его скорости, обеспечивать устойчивую работу в пиковых по нагрузке режимах. Такие аккумуляторы отдают потребителю накопленную энергию сразу или через короткие промежутки времени, после того как они полностью или частично зарядились.

Для реализации других задач применяют, как правило, так называемые емкостные аккумулялирующие устройства, в которых запас энергии или продукта определяется двух-трехсуточным потреблением и более. Они рассчитаны на использование в периоды достаточно длительных спадов скорости ветра. Накопленную энер-

гию эти устройства могут отдавать потребителю после ее накопления за часы и сутки.

При решении вопросов, связанных с аккумулярованием энергии, производимой ветроустановками, должны приниматься во внимание многие характеристики аккумуляторов: их относительный вес, удельные затраты, длительность хранения энергии и возможные ее потери при хранении, сложность энергетических преобразований для зарядки аккумулятора, его конструктивные параметры, безопасность эксплуатации и др.

В общем виде любую систему аккумулярования можно характеризовать следующими основными величинами: максимальной емкостью системы; максимальной скоростью зарядки (заполнения) и допустимыми уровнем и скоростью разрядки; эффективностью системы, ее КПД.

Основные требования, которые предъявляются к аккумулярующему устройству ветроустановки, могут быть сформулированы следующим образом: высокий КПД и малая стоимость на единицу запасаемой энергии; надежная и эффективная работа в условиях выработки ветроагрегатом непостоянной по своим параметрам энергии; гарантированное покрытие заданного графика потребления с определенной обеспеченностью; простота устройства и технического обслуживания, высокая надежность в эксплуатации, безопасность.

Требуемая емкость аккумулятора зависит от типа и характеристик агрегата, режимов ветра, условий и схемы использования ветроустановки, мощности нагрузки и требований потребителя. Она определяется также исходя из технико-экономических показателей, поскольку аккумулярующее устройство не должно приводить к большому увеличению затрат на энергоснабжение объекта. Следовательно, нужно применять оптимальные по своей емкости аккумуляторы, которые, с одной стороны, хорошо удовлетворяют требованиям потребителей, т. е. графику нагрузки и нормативам качества, а с другой — неважного удорожают установки и себестоимость производства энергии. Отсюда, естественно, следует вывод, что стремиться к покрытию всех, даже самых длительных, но редко повторяющихся, затиший в большинстве случаев не следует, так как это может привести к неоправданно большим капиталовложениям на аккумулятор и недостаточно полному в течение года использованию его полезной емкости.

Содержание

От редактора	3
Прошлое и настоящее энергетики	5
Использование солнечной энергии	14
Вторая жизнь ветряных мельниц	40
Энергия океана на службе человека	<u>54</u>
Плантации горючего	74
Геотермальная энергия	89
Энергетические ресурсы рек	100
Возобновляемые источники энергии — объект международного сотрудничества	112
Литература	125