

## **7 Применение микромодульных ветродвигателей**

### **7.1 Теплообеспечение отдельного здания**

Применение существующих методов теплофикации в проекте здания, расположенного в отдаленных от энергоснабжения объектах, где требуется поддержание различных температур экономически не оправдано, поскольку полученное от сжигания минерального топлива высокопотенциальное тепло следовало бы направлять в помещения различного назначения. При этом не будет обеспечиваться стабильность необходимой температуры, поток тепла будет неадекватен колебаниям наружной температуры воздуха.

К проблеме обеспечения жилых и производственных помещений теплом за счет энергии возобновляемых источников проявляется интерес во всем мире. Однако, опубликованные в литературе проекты отличаются сложностью и неэкономичны [15]-[25].

Предлагаемый проект строительства зданий в отдаленных от энергообеспечения объектах целесообразно осуществить прежде всего в районах с холодным климатом. Вблизи здания сооружается скважина из которой предполагается поднимать воду. Источником механической работы будет парк микроветро двигателей, расположенный вблизи здания. Низкая стоимость создания микроветро двигателей, его монтажа и эксплуатации объясняется конструктивными особенностями, существенно уменьшающими материалоемкость, отнесенную к единице площади ветротурбины. Небольшие размеры позволяют сократить время и средства на экспериментальную отработку и корректировку конструкции.

Ветропарк состоит из нескольких тетраэдральных микроветро модулей. Съём и суммирование мощности микроветро модулей осуществляется пневматически с малой степенью сжатия воздуха, нагнетаемого в общую магистраль.

Накопитель энергии в виде трубчатого ресивера в отсутствие ветра обеспечит энергией жилые и производственные помещения: освещение, питание радиоаппаратуры и др., улучшая экологические и комфортные условия жизни на изолированных от энергоснабжения объектах. Механической энергией, снимаемой с вала ветротурбины, будут приводиться в действие насосы, компрессоры и пневмодвигатели. При длительном отсутствии ветра компрессоры работают, используя резервную дизельную установку, и закачивают сжатый воздух в ресиверы (рис. 7).

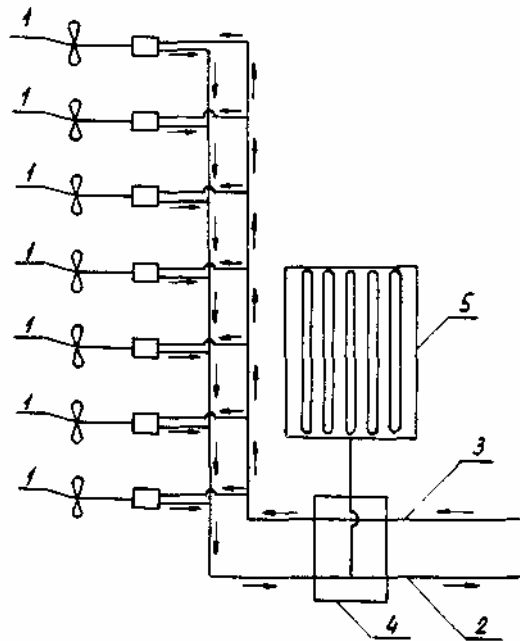


Рис. 7. Схема использования энергии ветра.

- 1 - парк микроветро двигателей с компрессорами;
- 2 - напорная магистраль (сжатый воздух);
- 3 - обратная магистраль;
- 4 - узел автоматики и всего ветропарка;
- 5 - ресивер — накопитель энергии.

Весь парк микроветро модулей управляется одним узлом автоматики. Энергией, снимаемой с парка ветродвигателей, можно выполнять различные работы, расходуя при этом, к примеру, следующие мощности:

- перекачивать воду из скважины — 100 Вт;
- приводить в действие тепловые насосы — 200 Вт;
- обеспечивать освещение и слаботочные приборы — 200 Вт;
- приводить в действие плиту на ТВЭЛе для приготовления пищи — 1 кВт;
- вращать станки мастерских — 500 Вт;

Тепловая мощность грунтовой воды в 100-200 раз превышает механическую мощность, необходимую для ее перекачки из скважины, что делает экономически оправданным использование тепла грунтовых вод для стабилизации температуры в здании с жилыми и производственными помещениями. Их обогрев осуществляется тепловыми насосами, которые приводятся в действие ветропарком и работают в благоприятных условиях малого перепада температуры.

В проекте, обеспечивающем экологически чистую систему теплообеспечения, стены I здания ограждают его от наружного воздуха и выполняют функции теплоизолятора зоны I (рис. 8).

На внутренней поверхности стен закреплены трубы диаметром  $\sim 4$  мм (рис. 8, поз.2). Зимой радиаторы нагревают помещение зоны I, а потом ее охлаждают. Зона I может быть использована как обширный холодильник, овощехранилище и для содержания сельскохозяйственных животных. При хранении овощей в зоне I температуру следует поддерживать вблизи  $0^{\circ}\text{C}$ . Экспериментально нами проверено, что выполнение этого условия, с учетом конвекционного переноса влаги, гарантирует сохранность картофеля до следующего урожая. При сильных морозах температура в зоне I за счет тепла грунтовых вод стабилизируется вблизи  $0^{\circ}\text{C}$ .

Если за время прохождения воды из скважины через радиатор 2 ее температура понизится на  $5^{\circ}\text{C}$ , то при поступлении воды с расходом 1 л/с выделится тепловая мощность 20 кВт. При этом для подъема воды из скважины необходимо затратить менее 0,2 кВт механической мощности.

Вода из скважины при температуре  $t = 8-10^{\circ}\text{C}$  заполняет радиаторы отопления зоны I (рис. 8, поз.2) и мощным тепловым потоком  $\frac{dq_1}{dt}$  помещение зоны I нагревается от температуры наружного воздуха, колеблющейся в пределах  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , до температуры  $1-2^{\circ}\text{C}$ .

В радиаторах 2 зоны I температура воды не должна опускаться ниже  $0-1^{\circ}\text{C}$ . Если из скважины вода в зону I поступает при  $t = +10^{\circ}\text{C}$ , то, при перепаде температур  $\Delta t = 9^{\circ}\text{C}$ , для передачи радиаторам зоны

I мощности  $N = 10$  кВт необходимый расход воды  $\frac{dm}{dt}$  определится

условиями  $N = \frac{dm}{dt} c \Delta t$ , где  $c$  - удельная теплоемкость воды,

откуда  $\frac{dm}{dt} = 0,2 \text{ л/с}$ .

При расходе воды 1 л/с, затратах на ее подъем из скважины мощности 200 Вт и перепаде температуры на входе и выходе из радиатора

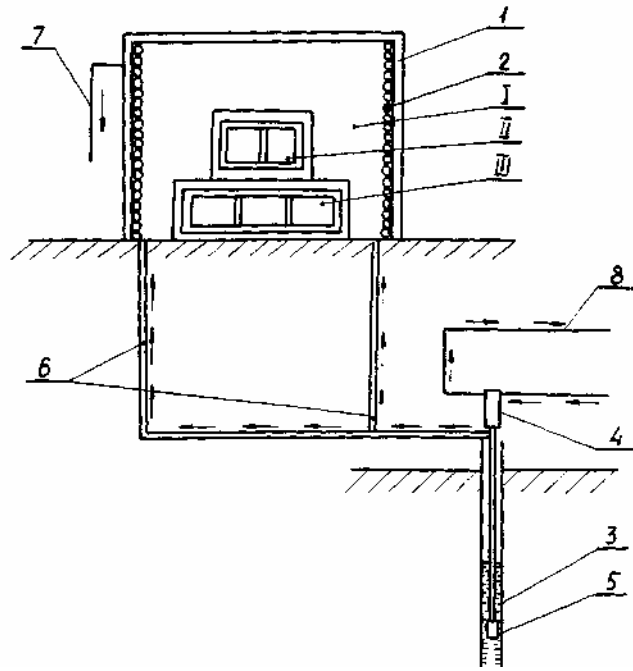


Рис. 8. Схема теплохолодообеспечения отдельного здания,  
 1 - стены здания;  
 2 - водяной радиатор;  
 3 - водяная скважина для отбора тепла грунта;  
 4 - пневмопривод гидронасоса;  
 5 - гидронасос;  
 6 - водяная магистраль (температура воды 8-10°C);  
 7 - сбросовая магистраль охлажденной воды;  
 8 - напорная пневмомагистраль от ветропарка.

зоны I  $\Delta t = +5^{\circ}C$ , радиаторами в зону I выделяется мощность 20 кВт. Этого вполне достаточно для поддержания в зоне I стабильной температуры при любой минусовой температуре наружного воздуха.

Жилые и производственные помещения расположены в зонах II и III.

Зоны II и III обогреваются за счет тепловых потоков сжатого воздуха

$\frac{dq_2}{dt}$  и  $\frac{dq_3}{dt}$ , направляемых тепловым насосом. Однако величина

теплого потока  $\frac{dq_1}{dt}$  значительно превосходит сумму тепловых

потоков  $\frac{dq_2}{dt} + \frac{dq_3}{dt}$ .

Нагрев зоны II и зоны III осуществляется по следующей схеме (рис. 9). От компрессоров, агрегатированных с микроветродвигателями, по магистрали 2 (рис.9) сжатый воздух поступает к поршневому детандеру 1, установленному вне здания, с выходом вала детандера через стену 4 в зону III. Детандер приводит в действие детандер-рекуператор 5 и компрессор 6, подающий сжатый воздух при температуре  $t = +50^{\circ}C$  в радиатор 7 зоны III. Проходя через радиатор 7, воздух охлаждается до температуры  $25^{\circ}C$ , что приводит к установлению в зоне III температуры  $25^{\circ}C$ . При температуре  $25^{\circ}C$  воздух направляется в радиатор 8 зоны II, где охлаждается до температуры  $+15^{\circ}C$ , и в зоне II устанавливается температура  $15^{\circ}C$ .

Сжатый воздух, охладившись до температуры  $+15^{\circ}C$ , из радиатора 8 поступает в детандер-рекуператор 5. После адиабатического расширения и охлаждения в детандере-рекуператоре 5 воздух при температуре  $-30^{\circ}C$  направляется в теплообменник 9, где за счет тепла грунтовой воды нагревается, и далее поступает в компрессор 6. Существенно, что при выполнении функций теплового насоса поршневые детандеры 1 и 5 в качестве теплоносителя используют только воздух, исключая потребление фреона, аммиака и других экологически вредных теплоносителей.

Для охлаждения помещений в зону I, при ее использовании в качестве холодильника или стоянки сельскохозяйственных животных, может направляться воздух, охлажденный в турбодетандере 5.

Нагрев помещений в зонах II и III тепловым насосом рационален только в тех случаях, когда здание строится на территории, где скорость ветра не превышает 2-4 м/с. Для теплового насоса верхний уровень температуры  $+200-300^{\circ}C$  трудно достижим. При этом коэффициент преобразования КОП опустится до величины менее единицы, что абсолютно нерационально.

В ветреных районах применение теплового насоса для хозяйственных целей неоправдано. В таких условиях проще и дешевле всю работу

от поршневого детандера направлять для прямого нагрева тепловыделяющего элемента (ТВЭЛа), превращать эту работу в тепло (нагревать ТВЭЛ до температуры  $+200-300^{\circ}\text{C}$ ) и использовать в быту, например, для приготовления пищи.

В таблице 6 приводятся экспериментальные данные, полученные при применении поршневого ТВЭЛа (рис. 10), нагревающего воду в лабораторных условиях с использованием токарного станка, имитирующего вращение вала ветродвигателя.

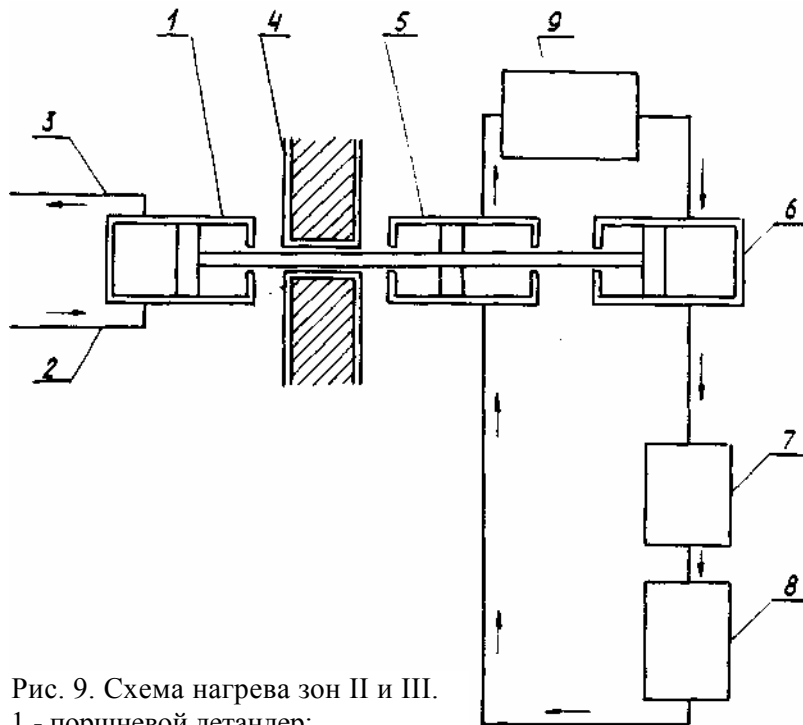


Рис. 9. Схема нагрева зон II и III.

- 1 - поршневой детандер;
- 2 - напорная магистраль;
- 3 - обратная магистраль;
- 4 - стена зоны III;
- 5 - поршневой детандер-рекуператор;
- 6 - компрессор теплового насоса;
- 7 - радиатор;
- 8 - радиатор;
- 9 - теплообменник.

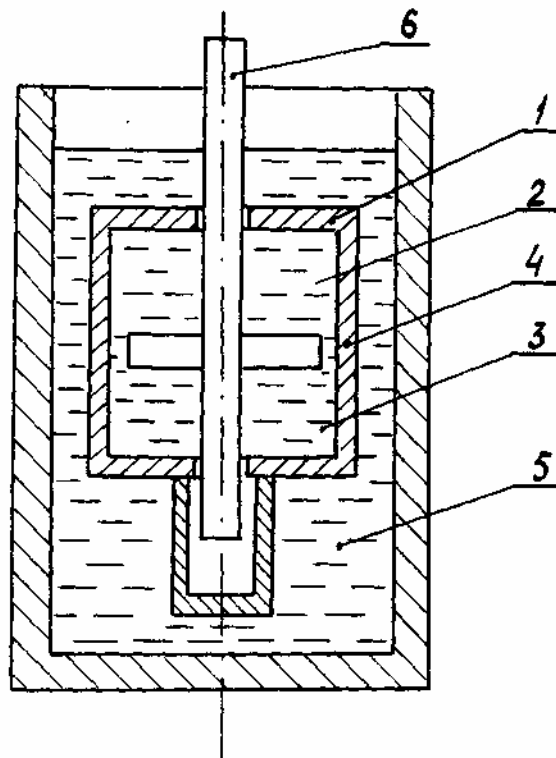


Рис. 10. Схема поршневого ТВЭЛа с приводом от токарного станка.

- 1 - цилиндр;
- 2 - верхняя полость цилиндра;
- 3 - нижняя полость цилиндра;
- 4 - зазор для превращения работы в тепло;
- 5 - термос с нагреваемой водой;
- 6 - шток, присоединенный через крайцкопф к кривошипному механизму с приводом от токарного станка, у которого крутящий момент и угловая скорость вращения вала такие же, как и у ветродвигателя.

Таблица 6. Экспериментальные данные, полученные при применении поршневого ТВЭЛа.

№ Эксперимента	Начальная температура, °С	Давление в верхней полости цилиндра, атм	Давление в нижней полости цилиндра, атм	Время работы, мин	Температура ползуна, °С	Температура воды, °С
1	20	2,2	8	15	50	38
2	38	2,2	8	15	50	52
3	52	2,2	8	15	60	68
4	68	1,5	8	15	70	82

## 7.2 Гидравлическое аккумулирование энергии ветра. Микроветрогидростанции (микроветроГЭС)

Широкое использование энергии ветра затруднено необходимостью согласования ее переменной мощности с потребителем. Однако, если ветроустановка соединена с аккумулирующим устройством, то проблема может быть решена.

Различные виды аккумулирования только еще предлагаются, в то время как гидроаккумулирование применяется уже достаточно широко. Изменение мощности гидроэлектростанции (ГЭС) может быть компенсировано путем подъема насосами воды в аккумулирующий резервуар, расположенный выше гидроэлектростанции, с последующим использованием потенциальной энергии поднятой воды для получения дополнительной энергии ГЭС в период ее дефицита.

Академик А.В.Винтер считал, что сочетание ветровой и гидравлической станций может увеличить выработку энергии гидроэлектростанциями в 3-4 раза. А.В.Винтер этот эффект относил к малым гидроэлектростанциям, но он еще в большей степени вырастает на сезонных водохранилищах, где зимой запасы воды резко уменьшаются, а ветер усиливается. При этом поднятие уровня водохранилища над ГЭС существенно повысит выработку электроэнергии.

Микроветрогидростанции — экологически чистые источники энергии — имеют очевидное преимущество перед тепловыми или атомными электростанциями. Учитывая капитальные затраты и продолжительность реализации аккумулированной энергии ветра, может быть целесообразным использование емкости отработанных скважин природного газа и других полых образований, заполняя их сжатым газом.



Таблица 7. Технические данные микроветроГЭС.

1. Расчетная скорость ветра, м/с	6
2. Высота подъема воды, м	200
3. Электроэнергия, вырабатываемая в сутки, кВт-ч	80
4. Установленная мощность электрогенератора, кВт	10
5. Распределение суточного потребления мощности:	
	20 ч - по 2 кВт
	4ч по 10 кВт
6. Средняя суточная потребляемая мощность, кВт	3,5

Гидравлическое аккумулирование энергии ветра экономически оправдано при использовании агрегатированных с ветродвигателем поршневых насосов, подающих воду в магистраль, соединяющую водяные емкости, расположенные выше и ниже микроветродвигателей (рис.11,12). Благодаря постоянной разнице высот размещения водяных емкостей микроветроГЭС легко подстраивается к нагрузке.

На рис.12 показана схема микроветроГЭС. Верхняя и нижняя водяные емкости соединены между собой трубопроводом 6. Верхний конец трубопровода вводится непосредственно в нижнюю точку водяной емкости 7, а нижний конец трубопровода присоединяется к гидротурбине 8, размещенной на одной оси с электрогенератором 9. Силовая жидкость под напором, определяемым расстоянием  $h$  от верхней водяной емкости 7 до гидротурбины 8, со скоростью  $v = \sqrt{2gh}$  попадает на лопатки гидротурбины, приводит ее во вращение, а затем сливается в нижнюю водяную емкость 1 и под атмосферным давлением самотеком поступает в насосы 2, соединенные с ветродвигателями

Вода содержит антикоррозионные добавки и циркулирует по замкнутому контуру. Пенообразование у лопастей гидротурбины 8 можно сократить, исключая в воде мыльные компоненты. Расположенная выше микроветродвигателей водяная емкость 1 выполняет также функции отстойника от пены, попадающей в гидротурбину 8 вместе с вращающимся потоком воды.

Предлагаемая схема (рис.11, 12) использования ветровой энергии экономична и доступна для широкого использования. По мере развертывания строительства микроветроГЭС открывается перспектива неограниченного тиражирования отдельных микроветро модулей и суммирования их мощности.

В зависимости от необходимой скорости ветра и потребляемой мощ

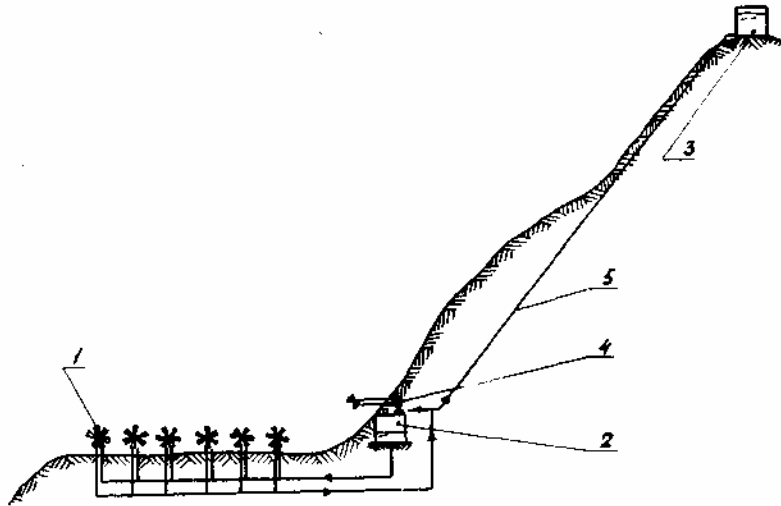


Рис. 11. Схема микроветроГЭС,  
 1 - ветродвигатели  
 2 - водяная емкость  
 3 - водяная емкость  
 4 - гидротурбина и электрогенератор  
 5 - гидромагистраль

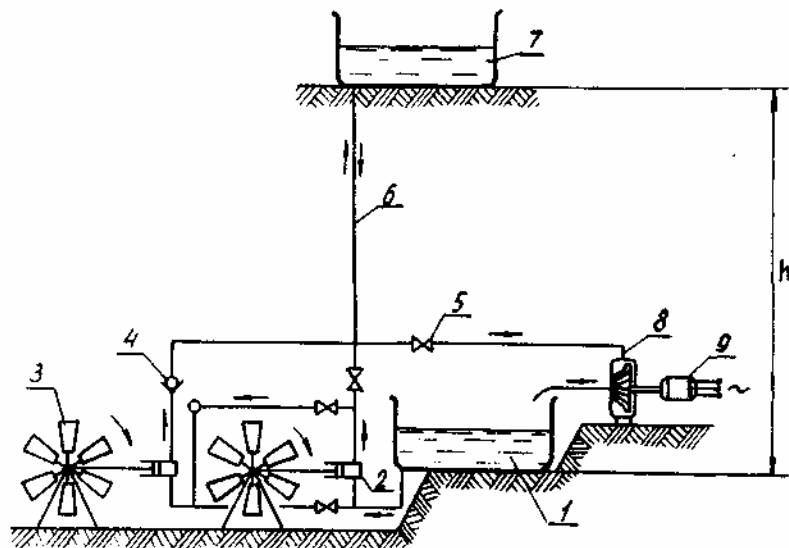


Рис. 12. Схема реализации и аккумуляции энергии ветра,

- 1 водная емкость;
- 2 гидронасос;
- 3 ветротурбина;
- 4 клапан;
- 5 клапан;
- 6 трубопровод;
- 7 водная емкость;
- 8 гидротурбина;
- 9 электрогенератор.

ности могут использоваться одиночные микромодульные ветродвигатели или их группы. При этом, в отличие от одиночных ветродвигателей большой мощности, уменьшаются затраты средств на экспериментальную доводку конструкции.

Энергия ветра реализуется шестилопастной ветротурбиной диаметром 5 м, состоящей из тетраэдрических ферм опоры и каркаса ветротурбины с легкими лопастями-парусами. При этом вал ветротурбины является одним из ребер тетраэдрической опоры ветродвигателя высотой 3 м.

К скалистому грунту крепление опоры микромодульного ветродвигателя осуществляется тремя анкерными болтами. Монтаж производится без использования самоходной грузоподъемной техники.

Суммарная масса микромодульного ветродвигателя и насоса не более 100 кг. Для подъема воды с нижней водяной емкости в верхнюю применяются созданные в ИГиЛ насосы поршневого типа (рис. 12, поз.2) с энергетическим к.п.д.  $\sim 85\%$ .

При скорости ветра 6 м/с один микроветродвигатель диаметром 5 м и мощностью  $N = 0,7$  кВт, агрегатированный с насосом, обеспечивает подачу воды на высоту 200 м под давлением в 20 атм при расходе 0,5 л/с.

Предварительно оцененная стоимость 1 кВт мощности микроветроГЭС при скорости ветра 6 м/с в серийном производстве не превысит 150 руб/кВт (в ценах 1985г).

### **7.3 Ветроэнергия в нефтяной промышленности**

В настоящее время все актуальней становится необходимость повышения отбора нефти из пластов, содержащих вязкую, битумную нефть. Если учесть, что в дальнейшем в разработку будут вводиться месторождения со сложными горно-геологическими условиями, то достичь успеха можно будет только за счет применения новых прогрессивных методов отбора нефти, учитывающих свойства коллектора и нефти [26]-[28].

Широко распространенная разработка нефтяных месторождений с применением методов заводнения увеличивает нефтеотдачу на 10-15%. При этом в недрах земли еще остается около 50% геологических запасов нефти. Для вязких нефтей закачка холодной воды в пласт еще менее эффективна.

Идея о целесообразности теплового воздействия на нефтесодержащие пласты принадлежит русским ученым Д.В.Голубятникову, И.М.Губкину, Д.А.Архангельскому, Лабораторные исследования, проведенные А.Б.Нейманом и К.К.Доброваем, показали замедленность фильтрации нефти при температуре близкой к кристаллизации парафина. Установлено, что тепловые методы воздействия на пласт существенно увеличивают нефтеотдачу пласта с нормальной и высоковязкой нефтью. Повышение температуры нефтесодержащего пласта с удельным весом нефти  $1 \text{ г/см}^3$  от температуры  $38^\circ\text{C}$  до  $93^\circ\text{C}$  снижает ее вязкость с  $20000 \text{ сПз}$  до  $500 \text{ сПз}$ , существенно улучшает подвижность и вытеснение нефти из коллектора [26, 27].

Особенно эффективны тепловые методы при освоении обширных месторождений битумных пород, залегающих на территориях Волго-Вятского района, республики Коми, Якутии, Казахстана, Азербайджана, Татарии, полуострова Мангышлак.

В нашей стране и за рубежом (США, Канаде, Венесуэле и др. странах) производству синтетической нефти из битумов придается большое значение. В этой области интенсивно проводятся научно-исследовательские и опытно-промышленные работы [29]. Сравнение затрат на получение синтетической нефти из бурого угля и из битумов показывает, что синтетическая нефть, полученная из битумов, значительно дешевле [30].

Для термического воздействия на пласт применяются различные методы: подогрев призабойной зоны скважины паром и электронагревателями; циклическое или постоянное нагнетание в пласт теплоносителей в виде перегретого водяного пара, парогазовых смесей и высокотемпературной воды; внутрислоевого горения и др. Наиболее эффективно применение пара, повышающее нефтеотдачу, по сравнению с заводнением горячей водой более, чем на 15-20%.

Эффективность термического воздействия на пласт

характеризуется коэффициентом теплоиспользования  $\eta_T = \frac{Q_n}{Q_0}$ . Не

учитывая потери тепла на пути движения теплоносителя в окружающие породы и другие потери, общее количество тепла, введенное в пласт,

$$Q_0 = V_{\text{ж}} C_{\text{ж}} T_{\text{в}} \text{ при } T_0 = 0; \quad (7.1)$$

$$Q_0 = V_{\text{ж}} C_{\text{ж}} (T_{\text{в}} - T_0) \text{ при } T_0 \neq 0. \quad (7.2)$$

Количество тепла, аккумулированное в пласте за время  $t$ ,

$$Q_{\Pi} = 2\pi h C_{\Pi} \int_0^{r_1} T(r, t) r dr, \quad (7.3)$$

где  $Q_0$  - общее количество тепла, введенное в пласт, ккал;  $Q_{\Pi}$  - количество тепла, аккумулированное в пласте, ккал;  $h$  - мощность

пласта, м;  $C_{\Pi}$  - объемная теплоемкость пласта,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}$ ;

$T_0$  - начальная температура пласта, °С;  $r$  - цилиндрическая координата, м;  $t$  - время, час;  $T_{\text{в}}$  - температура горячей жидкости, °С;

$V_{\text{ж}}$  — объемный расход горячей жидкости, м<sup>3</sup>/час;  $C_{\text{ж}}$  - объемная теплоемкость жидкости,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}$ ;

Из выражений (7.1-7.3) видно, что величина  $\eta_{\text{т}}$  зависит как от мощности пласта  $h$ , так и от теплофизических свойств теплоносителя. Чем больше значение  $\eta_{\text{т}}$ , тем эффективнее используется введенное в пласт тепло. Выгодно нагревать мощные пласты, нагнетая жидкость с большой объемной теплоемкостью при высоких температурах и расходах [31].

Эффективность паротепловой обработки определяется паронефтяным фактором, равным отношению количества дополнительно добытой нефти к количеству израсходованного для этой цели пара. В Азербайджане паронефтяной фактор достигал 7,0 т/т. В объединении "Сахалиннефть" паронефтяной фактор колеблется от 1,7 до 12,5 т/т [27].

Для всех способов термического воздействия на пласт эффективность процесса определяется затратами энергии. Поэтому поиск экономичного источника энергии для нагрева нефтесодержащих пластов, несомненно, является важным направлением научно-исследовательских работ.

В настоящее время в нашей стране и многих зарубежных странах большое внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии, в частности, энергии ветра. Геофизика Земли такова, что во многих местностях залежи нефти совпадают с ветрами на поверхности. Сочетание сильных ветров и месторождений нефти прослеживается у побережья Каспийского моря, на Тюменской низменности, европейской части Заполярья, на берегу Охотского моря, острове Сахалин и шельфах. Очень перспективно использование энергии ветра на обширных территориях вдоль побережья Северного ледовитого океана и Дальнего Востока. В этих районах мощность ветрового потока более, чем в 50 раз превышает мощность всех электростанций.

Характерной особенностью энергии ветра является ее переменность во времени, связанная с изменяющейся скоростью ветра. В связи с

этим ветроэнергетика будет наиболее эффективна в тех случаях, когда потребители энергии не нуждаются в ее постоянном поступлении на объект. Одним из таких объектов является нефтесодержащий пласт отлично аккумулирующий поступающее в него тепло. Поддерживая повышенную температуру призабойной зоны пласта, можно снизить вязкость нефти, предотвратить отложение парафиносмолистых веществ, увеличить проницаемость призабойной зоны.

Энергия ветра может быть использована в различных технологических схемах термического воздействия на пласт. При ее преобразовании в электрическую энергию она будет источником энергии применяемых в практике нефтедобычи глубинных электронагревательных устройств для периодической тепловой обработки призабойной зоны скважины, или для нагревания больших объемов теплоносителя, нагнетаемого в пласт. Для этих целей не требуется постоянно нагревать пласт, поэтому использование энергии ветра не постоянной по мощности, а порой и вовсе отсутствующей, будет весьма эффективным [32].

Ориентировочный расчет использования энергии ветра для термического воздействия на нефтесодержащий пласт показывает, что механическая энергия ветродвигателя мощностью 200 кВт может быть передана нефтесодержащему пласту в виде тепла равного 4,3-4,2 млн. ккал/сутки. На практике, при паронефтяном факторе 0,9-1,2, на 1 млн. ккал поступающего тепла можно получить от 1 до 4,2 тонн дополнительной нефти [27].

Несомненна экономичность применения энергии ветра для нагрева нефтяного пласта. Одна из возможных схем применения ветровой энергии для термического воздействия на пласт состоит в следующем: энергия, снимаемая с ветротурбины, преобразуется в возвратно-поступательное движение поршня насоса, сжимающего воздух до давления  $P = 4-6$  атм. Далее сжатый воздух поступает на турбодетандер с электрическим генератором на валу. (После прохождения через турбодетандер охлажденный воздух может быть использован в холодильных установках). Электрический ток целесообразно пропускать через электролизер и далее, не отделяя водород от кислорода, направлять газы по тонким трубам к месту сжигания, обеспечивая, тем самым, невзрывоопасность горючей смеси, применяемой для нагрева теплоносителя.

Непосредственное использование механической энергии ветра в технологических процессах нефтедобычи значительно экономичнее, чем ее преобразование в другие виды энергии. Например, на нефтяных

промыслах вместе с добываемой нефтью в огромных количествах выделяется сопутствующий ей газ. Установив вблизи нефтяных скважин ветродвигатель, оснащенный поршневым насосом, природный газ можно сжимать до давления 10-15 МПа, сразу же отделять от него ценные тяжелые фракции углеводородов (метан, этан, пропан, бутан) и затем их в баллонах транспортировать к различным предприятиям. В дальнейшем сжатый газ может быть расширен на турбодетандерах и использован при получении, например, жидкого кислорода. При этом, установив на валу турбодетандера электрогенератор, значительную часть механической энергии можно преобразовать в электрическую энергию.

Исследования проведенные в ИГиЛ, позволяют сделать следующие выводы:

- Территории многих нефтегазоносных районов (Казахстан, Татарстан, Азербайджан, респ. Коми, п-ов Мангышлак и др.) совпадают с ветренными зонами, что указывает на целесообразность использования энергии ветра в нефтедобывающей отрасли.
- В районах, где нет электроэнергии, но есть ветер, источником энергии для нагрева теплоносителей, электронагревателей и другого оборудования, применяемого при термическом воздействии на нефтесодержащие пласты, может быть ветродвигатель. Это позволит сэкономить привозное топливо, расходуемое на эти цели.
- Многолопастные ветродвигатели, оснащенные поршневым насосом, могут быть источником энергии для сжатия попутного
- с нефтью газа до 10-15 МПа, с последующим его транспортирова
- нием в баллонах на нефтеперерабатывающие заводы.

#### **7.4 Использование ветродвигателей для водоснабжения пастбищ**

В местах водопоя животные, заходя в водоемы, загрязняют воду, разрушают берег, дно водоема и зачастую потом заболевают. Достаточно поднять воду на высоту 2-3 м в лотки, установленные на берегу водоемов, чтобы повысить гигиену поения и при небольших денежных затратах получить значительный экономический эффект.



Строительство высоковольтной линии электропередач и сооружение подстанции, необходимых для питания водоподъемных устройств, может оказаться нерентабельным. Эксплуатация передвижной дизельной электростанции осложнена трудностями доставки топлива и высокой ее стоимостью в отдаленных от дорог местностях. Использование энергии ветра позволит сэкономить привозное топливо, упростить и снизить стоимость пастбищного водоснабжения.

Для водоподъема наиболее целесообразно использовать многолопастные ветродвигатели, соединенные с поршневым насосом посредством штанг, которые совершают возвратно-поступательное движение. Штанговая передача проста по конструкции, дешева и надежна в работе.

Достоинство многолопастных ветродвигателей в том, что при срабатывании с места они развивают максимальный крутящий момент и их не нужно отсоединять от насоса. Если для соединения ветродвигателя с насосом использовать электропривод, то совокупные потери энергии в редукторах, генераторах и электродвигателях могут достигать 50-75%.

При механической связи ветротурбин с поршневым насосом посредством штанг энергия передается с незначительными потерями. Набор шарнирно соединенных штанг, огибая рельеф местности, может передавать энергию на расстояние в несколько десятков метров. Это позволит устанавливать ветродвигатель на возвышении, где ветер сильнее, на значительном удалении от насоса, расположенного внизу у реки или водоема.

Механизация водоснабжения особенно большой эффект будет давать в условиях горных пастбищ, если пастбище и место водопоя расположены на разной высоте, или когда между ними имеются спуски и подъемы. В таких случаях подача воды по трубам на пастбище позволит увеличить прирост живой массы животных, поскольку при преодолении крутых спусков и подъемов на пути к водопою и обратно масса животных уменьшается.

Оценим потери живой массы животных на пути от пастбища к водопою и обратно. В соответствии с законом сохранения энергии

$$P_{ж} \cdot \sum h = \Delta P_{ж} Q q \eta, \quad (7-4)$$

где  $P_{ж}$  - масса одного животного, кг;  $\sum h$  - суммарный путь спуска животного от пастбища к водопою и обратно на пастбище, м;  $\Delta P_{ж}$  - потери живой массы одного животного в пути  $\sum h$ , кг;  $Q$  - удельная

теплота сгорания живой ткани, кДж/кг;  $q$  - механический эквивалент теплоты ( $q \cong 1$  Нм/Дж);  $\eta$  - коэффициент полезного действия при превращении биологической энергии животного в механическую энергию. Показателем эффективности механизированного водоподъема может служить величина  $\Theta$ , равная отношению  $\Delta P_{Ж}/P_B$ , где  $P_B$  - масса воды, выпиваемой одним животным за один приход к водопою. Тогда выражение 7.4 можно записать в виде

$$\Theta = \frac{\Delta P_{Ж}}{P_B} = \frac{P_{Ж}}{P_B} \cdot \frac{\Delta P_{Ж}}{P_{Ж}} = \frac{P_{Ж}}{P_B} \cdot \frac{\sum h}{Qq\eta} \quad (7.5)$$

Для оценки экономической эффективности механизации водоподъема полагаем, что отношение массы воды, выпиваемой животным за один приход к водопою, к массе животного не превышает 1:10, т.е.  $P_{Ж}/P_B = 10$ ; удельная теплота сгорания живой ткани  $Q$  — 12 500 кДж/кг; КПД двигательного аппарата животного  $\eta = 0,2$  (если принять его как КПД тепловой машины со средними показателями). При  $\sum h = 400$  м, согласно (7.5) имеем  $\frac{\Delta P_{Ж}}{P_B} = \frac{1}{60}$ . Это означает, что подача 60 л воды на горное пастбище, путь от которого на водопой и обратно на пастбище составляет 400 м, позволит сохранить 1 кг живой массы животного.

Кроме непосредственной экономии массы животных, механизированная подача воды на горные пастбища и разводка ее по трубам дает возможность соблюдать режим и требования гигиены поения животных, поливать луга на самих пастбищах. В этом случае пастбищные угодья могут служить своеобразным аккумулятором энергии, поскольку их можно поливать периодически в период когда дуют сильные ветры и есть избыток воды. На период безветрия воду можно запасать в искусственных водохранилищах, расположенных выше пастбища.

Для подачи воды на горные пастбища можно использовать трубы небольшого диаметра. Вода, протекая по трубопроводу диаметром 30 мм со скоростью 0,6 м/с при расходе 0,4 л/с, создает динамический напор в  $2 \cdot 10^{-4}$  МПа. Поскольку на участке трубопровода протяженностью в 30 его диаметров потери давления жидкости, возникающие из-за ее трения о стенки трубопровода, равны динамическому напору, то прохождение воды вдоль трубопровода длиной в 1 км вызовет снижение давления на 0,2 МПа. В таких условиях гидравлической мощностью ветродвигателей  $N_{Г} = 2-3$  кВт обеспечится суточная подача воды на горное пастбище с расходом 40-60 м<sup>3</sup>, что даст привес массы животных в 600-1000 кг.

Используя энергию ветра, можно намывать почву на горные каменистые террасы, подавая ее по трубопроводам в виде пульпы, а также закачивать на террасы удобрения.

### 7.5 Энергетика полевых овощехранилищ

Транспортировка урожая овощей на расстояния, измеряемые десятками, а иногда и сотнями километров, осложняется большой нагрузкой автотранспорта в осенний период. Возникающие трудности с транспортом зачастую приводят к потере овощей и их замораживанию. Автотранспорт существенно разгрузится при сооружении небольших овощехранилищ непосредственно на полях вблизи мест выращивания овощей. При этом появится возможность перевозить созревшие овощи и фрукты в течение года, в сезоны устойчивых грунтовых дорог.

Большинство полевых овощехранилищ расположено вдали от линий электропередач и, естественно, актуальным становится вопрос их энергоснабжения. Для многих сельскохозяйственных районов затраты электроэнергии значительно сократятся при использовании энергии ветра. Однако экономически целесообразным это станет лишь тогда, когда будут учтены задачи потребителя, условия эксплуатации ветродвигателя, ветровые характеристики и стоимость электроэнергии в местности, где будет установлен ветродвигатель. Только тщательная привязка ветродвигателя к потребителю обеспечит успех ветроэнергетики.

Параметры ветродвигателя и особенности его работы хорошо согласуются с задачами энергоснабжения овощехранилищ, для которых несущественна переменность мощности ветродвигателя, определяемая скоростью ветра. Грунт является естественным аккумулятором энергии и длительное время сохраняет свою температуру. Поэтому в местностях со слабым и переменным по направлению ветром его энергия может быть достаточной, при рациональном ее использовании, для сохранения в овощехранилище необходимой постоянной температуры. С этой целью будет целесообразным создание ветротеплонасоса, где механическая энергия малогабаритного ветродвигателя расходуется не на производство тепла, а на его перенос тепловым насосом из овощехранилища во внешнюю среду в летнее время, а зимой — в обратном направлении (рис. 13).

Установка ветротеплонасоса в полевых овощехранилищах наиболее выгодна в районах с теплым и умеренным климатом. Тепловой насос применим для переноса тепла при относительно небольших перепадах

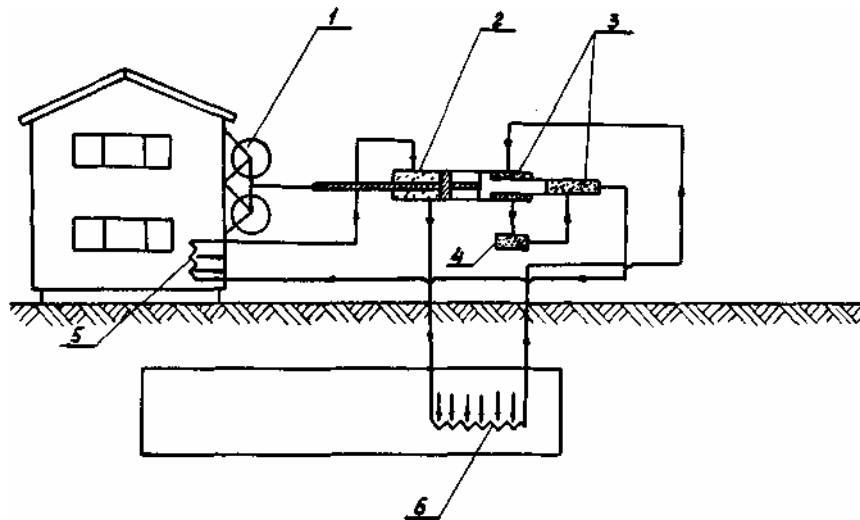


Рис. 13. Использование энергии ветра для нагрева здания и сохранения с/х продуктов

- 1 - ветродвигатель;
- 2 - поршневой детандер;
- 3 - насос;
- 4 - ресивер;
- 5 радиатор;
- 6 - овощехранилище.

температур в 20- 30°C. Для поддержания в овощехранилище температуры вблизи 0-1°C ему достаточно включаться изредка, с перерывами даже в несколько суток. Ветропеллонасос может использоваться также для обогрева жилищ и производственных помещений.

На протяжении нескольких веков много лопастные ветряные мельницы приводили в действие поршневые насосы для подъема воды из колодцев. Мощность малогабаритного много лопастного ветродвигателя, обладающего большим пусковым крутящим моментом, уже при скорости ветра 2 м/с достаточна для привода в действие маломощного поршневого насоса. Существенно, что насос возможно напрямую соединить с ветродвигателем, минуя промежуточные элементы преобразования энергии.

Нагрузочные характеристики теплового насоса почти совпадают с характеристиками насоса для подъема воды. Количество тепла  $Q$ , перенесенное тепловым насосом с температурного уровня  $T_1$  на уровень  $T_2$  может в несколько раз превышать затраченную механическую работу  $A$  [33]. На рис. 14 схематично показаны потоки энергии в тепловом насосе при непосредственном соединении вала ветродвигателя с валом теплового насоса.

Рис. 15 отражает связь величин  $T_2$ ,  $T_1$  и  $Q$ . При одном и том же значении  $T_2$  и постоянстве затраченной работы  $A$  произведение  $(T_2-T_1)Q$  будет постоянной величиной, равной площади прямоугольника, стороны которого образованы отрезками, соответствующими разности температур  $(T_2-T_1)$  и количеству тепла  $Q$ . С уменьшением  $(T_2-T_1)$  растет количество перенесенного тепла  $Q$ . Постоянство площади прямоугольника со сторонами  $(T_2-T_1)$  и  $Q$  строго выполняется для идеально обратимого процесса (тепловая машина - тепловой насос), описываемого циклом Карно [34]. При этом, сокращая расстояние между  $T_1$  и  $T_2$ , можно увеличить отношение  $Q/A$  до весьма больших величин. Например, 1 кВт механической мощности может обеспечить поток тепловой мощности более 10 Ватт. Однако у реально существующих тепловых насосов величина отношения  $Q/A$ , называемая коэффициентом преобразования КОП, порядка 3-4. Основные потери КОП происходят при передаче тепла в испарителе и конденсаторе.

При строительстве овощехранилищ было бы полезным отойти от традиционных методов вентиляции. Анализ процесса тепломассообмена в овощехранилище показывает целесообразность уменьшения вентиляции, ограничившись конвекционными перемещениями воздуха . Су-

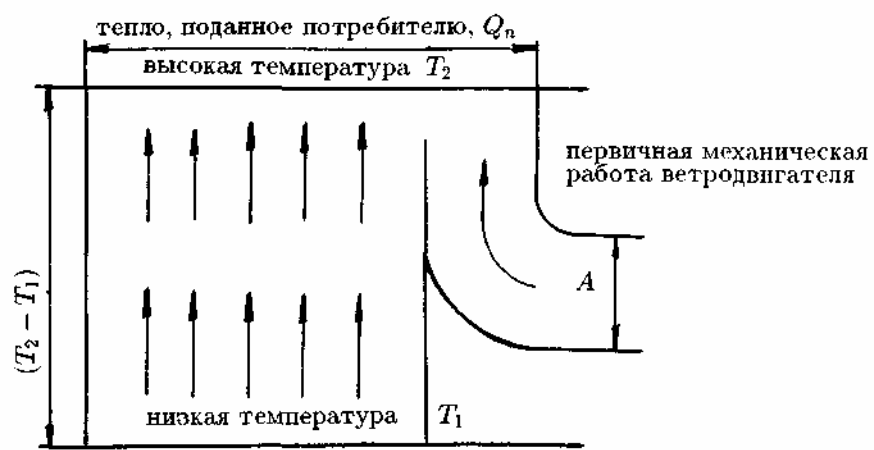


Рис. 14. Поток энергии в ветротеплонасосе с непосредственной передачей механической работы ветродвигателя тепловому насосу.

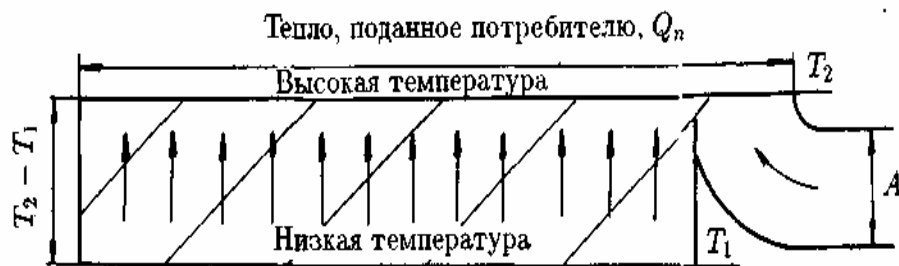


Рис. 15. Потоки энергии в ветротеплонасосе с непосредственной передачей механической работы ветродвигателя тепловому насосу при уменьшении  $(T_2 - T_1)$ .

ущественны перепады температур порядка  $1^{\circ}\text{C}$  между местом расположения овощей, размещенных в более теплой зоне, и близлежащей зоной. В небольших по размерам овощехранилищах можно применить защитную атмосферу, в которой сохранятся не только картофель, морковь, но и быстропортящиеся овощи.

Тепловая инерция грунта лучше используется, если овощехранилище имеет вид траншеи, где 1 тонна овощей может разместиться на участке протяженностью в два погонных метра. В условиях г. Новосибирска было сооружено траншейное овощехранилище в котором в течение года отлично сохранились картофель, морковь и другие овощи (рис. 16).

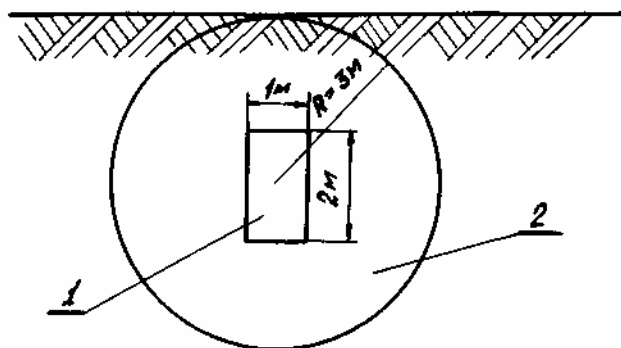


Рис. 16. Поперечное сечение траншейного овощехранилища.

1 - овощехранилище;

2 - зона, определяющая тепловую инерцию грунта.

Наблюдения за температурой в траншейном овощехранилище показали, что на протяжении периода  $\tau$  с середины октября до апреля месяца ( $\tau = 6$  месяцев) температура в нем монотонно снижалась от  $5^{\circ}\text{C}$  до



0°С. Уровень грунтовых вод находился на глубине 40 м от поверхности грунта, и они не влияли на температуру в овощехранилище. Оценка среднесезонной тепловой мощности  $N_q$ , необходимой для поддержания в овощехранилище температуры вблизи 1°С-0°С, производилась при условии минимального воздухообмена, происходящего только за счет конвекционных течений воздуха, не влияющих на энергетические показатели.

В грунте зоны  $V$  объемом  $60 \text{ м}^3$  (рис. 16) изменение теплосодержания  $Q$  в течении 6 месяцев приводило к снижению в зоне  $V$  температуры на  $\Delta t = 5^\circ \text{С}$ , мало отличающейся от температуры в овощехранилище. В этих условиях, за счет теплообмена, за период  $\tau$  из грунта объемом  $V$  во внешнюю среду передается тепло  $Q = pVc \Delta t = 5 \cdot 10^8 \text{ Дж}$ , где  $p$  - плотность грунта,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c$  - удельная теплоемкость грунта,  $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;  $\Delta t$  - изменение температуры в овощехранилище,  $\text{К}$ ;  $V$  - объем зоны, окружающей овощехранилище,  $\text{м}^3$ . При этом среднесезонная тепловая мощность, необходимая для поддержания в овощехранилище стабильной температуры вблизи 0-1°С,

$$N_q = Q/\tau = 25 \text{ Вт.}$$

Для переноса тепловым насосом тепловой мощности  $N_q = 25 \text{ Вт}$ , при коэффициенте преобразования КОП= 3, необходима механическая мощность ветродвигателя  $N_M = N_q / \text{КОП} \leq 10 \text{ Вт}$ .

Учитывая, что осенью овощехранилище до загрузки овощами будет охлаждено до 1-0°С, разница температур между овощехранилищем и атмосферой, по сравнению с наблюдаемой в эксперименте, сократится, и тепловая мощность  $N_q$ , соответственно, окажется меньшей, чем по приводимой выше оценке. Механическая трансмиссия при малых мощностях позволяет получить КПД= 90% и перенесенное тепло  $Q$  значительно превысит затраченную механическую работу ветродвигателя  $A$ . Если механическую работу малогабаритного ветродвигателя преобразовать в электрическую энергию, используя электрическую трансмиссию, то возникнут потери энергии, обусловленные малой мощностью ветродвигателя, а также потерями при генерации электроэнергии и ее передаче электродвигателю.

Мощность, передаваемая на вал теплового насоса, не превысит  $N_M = \eta_1 \eta_2 N_M$ , где  $\eta_1$  - коэффициент полезного действия маломощного электрогенератора ( $\eta = 0,3 - 0,5$ );  $\eta_2$  - коэффициент полезного действия маломощного электродвигателя ( $\eta_2 = 0,3 - 0,5$ ).

При преобразовании механической работы ветродвигателя в электрическую энергию, с использованием маломощных электрогенератора

и электродвигателя, суммарные потери, включая потери на промежуточных элементах (редукторах и др.), могут достигать 75% (рис. 17).

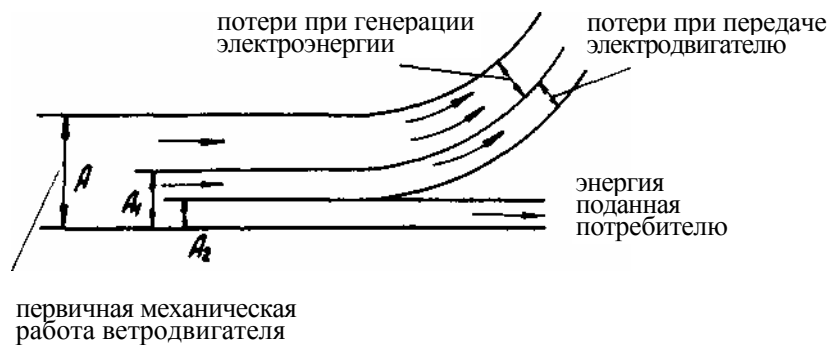


Рис. 17. Потoki энергии в ветротеплонасосе при использовании электропривода.

$A$  - первичная механическая работа ветродвигателя;

$A_1$  - потери энергии ветра при ее преобразовании в электроэнергию ( $A_1 \cong 0,5A$ );

$A_2$  - энергия, поступающая к потребителю — тепловому насосу ( $A_2 \cong \sim 0,25A$ ).

Среднегодовая скорость ветра 4 м/с наблюдается во многих районах России, где выращиваются овощи и фрукты. При скорости ветра 4 м/с с 1 м<sup>2</sup> площади сечения ветротурбины, ометаемой воздушным потоком, можно получить механическую мощность 12 Вт. При коэффициенте КОП = 3 реальная тепловая мощность  $N_q$ , перенесенная тепловым насосом в овощехранилище, составит 36 Вт. Существенно, что мощность ветродвигателя определяется не среднеарифметической ско-

ростью ветра, а среднекубической, которая превышает среднеарифметическую примерно в 1,5 раза. Соответственно, среднегодовая механическая мощность, полученная с  $1 \text{ м}^2$  площади сечения ветротурбины, ометаемой воздушным потоком, будет не 12 Вт, а в  $1,5^3$  большей, т.е.  $\cong 40 \text{ Вт}$ . При коэффициенте преобразования КОП= 3 тепловая мощность  $N_q$  будет порядка 120 Вт, что достаточно для сохранения 4-5 тонн овощей.

Проведенный анализ использования энергии ветра для сохранения овощей на местах их выращивания позволяет сделать следующие выводы:

- полевые подземные овощехранилища обладают тепловой инерцией и хорошо согласуются с особенностями ветровой энергии;
- малогабаритные ветродвигатели небольшой мощности, механически соединенные с тепловым насосом, смогут обеспечить устойчивый тепловой режим в подземных овощехранилищах;
- складирование овощей непосредственно вблизи мест их выращивания радикально решит транспортную проблему в период ее пиковой нагрузки;
- экономический эффект можно получать за счет сохранения высокого качества овощей, а также расширения масштабов и ассортимента производимой сельскохозяйственной продукции, особенно в районах, удаленных от потребителя.