

Производство электрической энергии на основе ВЭР

Цель работы: изучить конструкцию, назначение и принцип работы теплового насоса.

Порядок выполнения работы:

- 1) изучить назначение, классификацию, устройство и принцип действия теплового насоса;
- 2) составить отчет о выполненной работе.

Общие сведения

Активное внедрение тепловых насосов в качестве источников тепловой энергии в производстве и быту началось примерно в 70-х годах прошлого века. При этом, мировой уровень использования низкопотенциальной тепловой энергии Земли посредством тепловых насосов постоянно растет и сейчас составляет порядка 24000 ТДж/год при их установленной мощности около 7000 МВт.

Происходит внедрение тепловых насосных систем и в производственные объекты Республики Беларусь, так например в Гродненской области в период 2005 – 2019 годы запущены в эксплуатацию насосные установки на 8 предприятиях, с целью снижения потребления органического топлива и повышения рентабельности производства. Также, одним из крупных потребителей органического топлива является жилой фонд, на теплоснабжение которого расходуется до 35% процентов от общего потребления энергоресурсов.

Исходя из этого, учитывая энергетическую и экологическую эффективность теплового насоса появляется возможность его использовать в качестве альтернативного варианта при отоплении жилого фонда.

Теоретическое обоснование принципа работы теплового двигателя и холодильной установки (теплового насоса) было отражено в цикле Карно (рис. 5.1), который он сформулировал в материалах своей диссертации в 1824 г.

Однако, теплонасосную систему, пригодную для практического использования представил общественности лорд Кельвин в 1852 г. (она аккумулировала тепловую энергию в одной или нескольких точках и передавала ее к источнику потребления посредством системы коллекторов).

В дальнейшем эта система была усовершенствована в 1855 г. австрийским инженером Петером Риттер фон Риттингером и поэтому, именно его считают изобретателем первого теплового насоса. Практическое же применение тепловых насосов приобрёл значительно позже, а точнее в 40-х годах XX века, когда изобретатель Роберт Вебер экспериментировал с холодильной машиной.

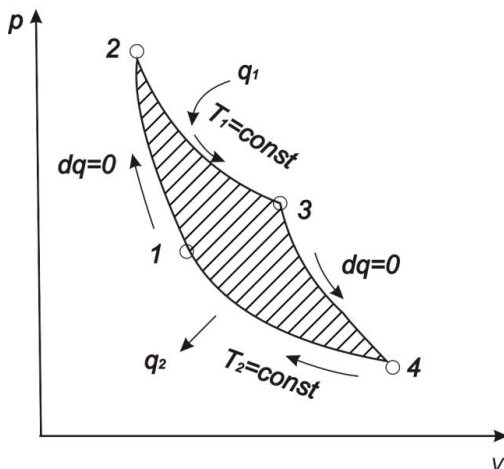


Рис. 5.1. Цикл Карно для теплового двигателя и холодильной установки (теплового насоса)

Тепловой насос – это холодильная установка, отбирающая теплоту низкого потенциала из окружающей среды и, за счёт затраченной работы, отдающая потребителю теплоту высокого потенциала рабочим телом (хладагентом). Хладагент представляет собой вещество с низкой температурой кипения. В тепловых насосах чаще всего в качестве хладагента используются различные фреоны (R407C, R134a, R410a), а также углекислый газ и пропан.

Принципиальное отличие между тепловым насосом и холодильной установкой заключается в их коэффициентах преобразования теплоты. Данное различие определим на примере работы геотермального теплового насоса (рис. 5.2).

Сухой насыщенный пар хладагента адиабатно сжимается в компрессоре 1 до состояния перегретого пара.

Из компрессора перегретый пар поступает в конденсатор 2, где при конденсации отдаёт теплоту q_1 воде, циркулирующей в системе отопления по трубопроводу 3, и превращается в жидкость.

Далее эта жидкость подаётся к дросселю 4, пройдя через который она превращается во влажный насыщенный пар со степенью сухости $x = 0,1 \dots 0,3$.

Влажный насыщенный пар поступает в испаритель 5, где под действием теплоты q_2 , отбираемой от воды в водоёме 6, влажный насыщенный пар превращается в сухой насыщенный.

Сухой насыщенный пар поступает в компрессор 1 и цикл повторяется.

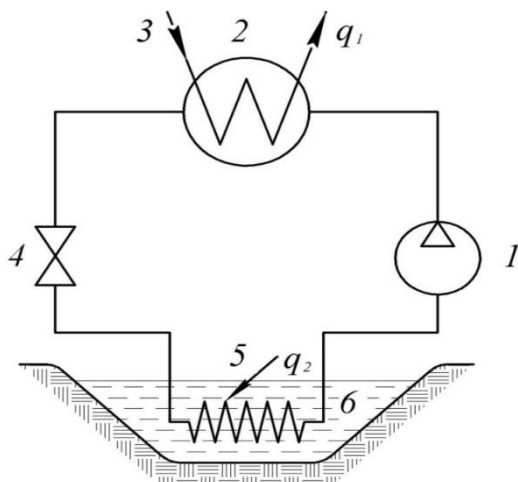


Рис. 5.2. Конструктивная схема геотермального теплового насоса:
 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – трубопровод;
 4 – дроссель; 5 – испаритель; 6 – водоём

Эффективность работы теплового насоса оценивается коэффициентом преобразования теплоты ψ (коэффициентом преобразования электрической энергии в тепловую – COP)

$$\psi = \frac{q_1}{l_p}, \quad (5.1)$$

где q_1 – количество тепла, которое подводится к 1 кг рабочего тела, Дж/кг;

l_p – полезная работа, совершаемая рабочим телом (газом), Дж/кг.

Полезная работа и соответственно полезное тепло, которое используется в цикле определяется по формуле, (Джс/кг)

$$l_p = q = q_1 - q_2, \quad (5.2)$$

где q_2 – количество тепла, которое отводится от 1 кг рабочего тела, Дж/кг.

Для оценки эффективности холодильной установки используется холодильный коэффициент, равный отношению количества отведенной теплоты q_2 к полезной работе l_p

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l_p}, \quad (5.3)$$

Коэффициент преобразования теплоты ψ и холодильный коэффициент ε взаимосвязаны между собой следующим соотношением

$$\psi = \frac{q_1}{l_p} = \frac{q_2 + l_p}{l_p} = \frac{q_2}{l_p} + 1 = \varepsilon + 1, \quad (5.4)$$

Отсюда следует, что коэффициент преобразования теплоты всегда на единицу больше холодильного коэффициента для той же установки.

При расчете коэффициента преобразования теплоты с учетом температур теплоприемника и конденсатора (обратный цикл Карно) получим

$$\psi = \frac{q_1}{l_p} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}, \quad (5.5)$$

Для оценки эффективности работы теплового насоса используем реальные условия. Например, будем считать, что температура речной воды, равна $t_2 = 7^\circ \text{C}$ ($T_2 = 280 \text{ K}$), а температура воды в системе отопления – $t_1 = 77^\circ \text{C}$ ($T_1 = 350 \text{ K}$).

С учетом данных условий определим теоретическое значение коэффициента преобразования теплоты

$$\psi = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{350}{350 - 280} = 5, \quad (5.6)$$

Данные расчеты показывают, что тепловой насос передаёт в систему отопления теплоты в пять раз больше, чем затраченная работа на привод компрессора.

Так, например, затратив на работу теплового насоса 1 кВт электроэнергии, в системе отопления мы получим 5 кВт тепловой энергии.

Цикл паровой компрессорной холодильной установки, по которому работает тепловой насос, менее совершенен по сравнению с обратным циклом Карно, поэтому для реальных тепловых насосов значения коэффициента преобразования теплоты находятся в пределах $\psi = 3 \dots 5$.

Учитывая, что до 80% тепловой энергии получается, практически, бесплатно, тепловые насосы в последнее время все чаще используются для отопления помещений.

Данные установки экологически чисты, так как работают без сжигания топлива и не производят вредных выбросов в окружающую среду. Работает тепловой насос по принципу холодильника, только наоборот: забирает теплоту из окружающей среды и отдает (переносит) ее в дом. Как и холодильники, тепловые насосы не требуют обслуживания до 30 лет.

Тепловые насосы можно использовать не только для системы отопления, но и для передачи теплоты в систему бытового горячего водоснабжения высокой эффективности в соответствии с возникающими потребностями.

Электронагреватели установлены практически во всех моделях тепловых насосов. Это связано с тем, что при выборе отопительной техники расчет номинальной мощности делается с учетом покрытия тепловой нагрузки в самые холодные дни (для Республики Беларусь минимальная расчетная температура составляет $-26 \text{ }^\circ\text{C}$). Но такая температура держится всего несколько дней в году. Экономически выгоднее приобрести тепловой насос меньшей мощности, а в самые холодные дни пользоваться электрообогревом.

Комбинация двух источников теплоты - вырабатывающего дешевую энергию, но дорогостоящего (тепловой насос), и дешевого, но вырабатывающего дорогую энергию (электронагреватель) позволяет снизить стоимость капитальных затрат и увеличить срок окупаемости тепловой насосной установки.

Наибольшее распространение получили компрессионные тепловые насосы. Принцип их действия основан на использовании обратного термодинамического цикла, в котором теплота переносится от

низкотемпературного источника на более высокий температурный уровень за счет затраты механической энергии (работы на сжатие рабочего вещества в компрессоре).

Современные тепловые насосы представлены на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Современные тепловые насосы

Такие тепловые насосы могут работать в двух режимах:
- в режиме подогрева воздуха (холодный период года, рис. 5.4).

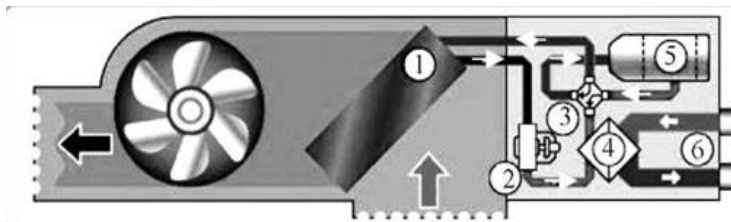


Рис. 5.4. Режим работы теплового насоса в холодный период

Низкотемпературной стороной (испарителем) является теплообменник 4. Теплота воды в нем по трубопроводу 6 передается рабочему телу теплового насоса (хладагенту), после сжатия которого в компрессоре 5 теплота передается воздуху в конденсаторе 1. Воздух в конденсатор поступает через патрубок 2. Подвод теплоты производится водой с температурой от +4 °С до +32 °С, максимальная эффективность обеспечивается при температурах в диапазоне от +15 °С до +30 °С. При

таким температурным режиме современные ТНУ требуют электроэнергии в 3-6 раз меньше величины передаваемой теплоты;

- в режиме охлаждения воздуха (теплый период года, рис. 5.5).

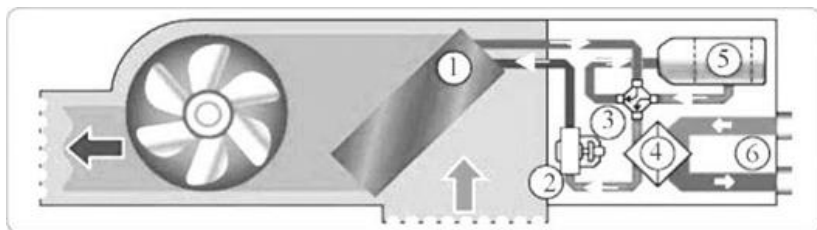


Рис. 5.5. Режим работы теплового насоса в теплый период

Управляющий (реверсивный) клапан 3 изменяет направление движения хладагента в тепловом насосе, тепловой режим и функции теплообменников 1 и 4, и теплота отводится по трубопроводу водой. В режиме подогрева воздуха низкотемпературной стороной (испарителем) является теплообменник 4, в нем теплота воды 6 передается хладагенту, после сжатия которого в компрессоре 5, теплота на более высоком уровне передается воздуху в конденсаторе 1. В режиме охлаждения за счет переключения реверсивного клапана 3 теплообменники меняются функциями.

В настоящее время масштабы использования тепловых насосов в мире следующие:

- в Швеции 50 % всего отопления обеспечивают геотермальные тепловые насосы. В Стокгольме 12 % всего отопления обеспечивается геотермальными насосами с общей мощностью 320 МВт, источник тепла - Балтийское море;

- в Швейцарии эксплуатируется свыше 60 тыс. тепловых насосов, что экономит 150 тыс. л жидкого топлива; при этом 390 тыс. т CO_2 и 325 т CO не выбрасывается в окружающую среду;

- в США ежегодно производится более 1 млн геотермальных тепловых насосов. Федеральное законодательство США при строительстве новых общественных зданий требует использовать геотермальные тепловые насосы для отопления;

- в Германии предусмотрена дотация государства на установку тепловых насосов, поэтому покупка теплового насоса стала доступна большинству населения.

Наибольший экономический эффект тепловые насосы дают при комбинированном производстве теплоты и холода. Например, на МТФ

тепловые насосы применяются в режиме теплохолодильных установок для охлаждения молока и одновременного получения воды на нужды горячего водоснабжения.

Преимущества использования тепловых насосов для систем отопления и горячего водоснабжения:

- тепловой насос долговечен и не требует особого внимания к себе. Срок эксплуатации заводских грунтовых зондов достигает 100 лет, срок работы основного узла теплового насоса-компрессора - 30 лет;

- обеспечивает отопление и холод одним и тем же оборудованием;
- высвобождает территорию, необходимую для размещения котельной, дымохода, хранилища топлива; топочной для теплового насоса может быть любое помещение;

- имеет относительно небольшую потребность в электроэнергии. Так геотермальный тепловой насос для отопления дома площадью около 350 м при теплопроизводительности 17 кВт будет потреблять до 5 кВтч электроэнергии при условии работы не более 12 часов в сутки, обеспечивая этим низкие эксплуатационные затраты;

- система отопления на тепловом насосе взрыво- и пожаробезопасна, не требует специального обслуживания, проста в управлении;

- это экологически чистый метод отопления и кондиционирования, характеризующийся отсутствием выбросов CO₂ и других продуктов горения;

- тепловой насос имеет максимальную автономность - необходимо только электричество, отсутствует потребность в газоснабжении.

В зависимости от источника теплоты низкого потенциала тепловые насосы подразделяются на геотермальные, воздушные и использующие низкопотенциальную теплоту искусственного происхождения (сбросные воды, продукты технологических процессов, вытяжной воздух систем вентиляции и др.).

Геотермальные тепловые насосы используют теплоту земли, наземных водоёмов или подземных грунтовых вод. Тепловой режим грунта поверхностных слоев Земли формируется под действием двух основных факторов – падающей на поверхность солнечной радиации и потоком радиогенного тепла из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоев грунта. Глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий

колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации не превышает, как правило, 15–20 м.

Иногда к системам, использующим тепло Земли, относят и системы использования низкопотенциального тепла открытых водоемов, естественных и искусственных. Системы, использующие низкопотенциальное тепло водоемов, относятся к открытым, как и системы, использующие низкопотенциальное тепло грунтовых вод.

Замкнутые системы, в свою очередь, делятся на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтальный грунтовой теплообменник устраивается, как правило, рядом с домом на небольшой глубине (но ниже уровня промерзания грунта в зимнее время). Использование горизонтальных грунтовых теплообменников ограничено размерами имеющейся площадки.

Вертикальные грунтовые теплообменники позволяют использовать низкопотенциальную тепловую энергию грунтового массива, лежащего ниже «нейтральной зоны» (10–20 м от уровня земли).

Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками не требуют участков большой площади и не зависят от интенсивности солнечной радиации, падающей на поверхность.

Вертикальные грунтовые теплообменники эффективно работают практически во всех видах геологических сред, за исключением грунтов с низкой теплопроводностью, например, сухого песка или сухого гравия. Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками получили очень широкое распространение.

При эксплуатации грунтового теплообменника может возникнуть ситуация, когда за время отопительного сезона температура грунта вблизи грунтового теплообменника понижается, а в летний период грунт не успевает прогреться до начальной температуры – происходит понижение его температурного потенциала. Потребление энергии в течение следующего отопительного сезона вызывает еще большее понижение температуры грунта, и его температурный потенциал еще больше снижается. Это заставляет при проектировании систем использования низкопотенциального тепла Земли рассматривать проблему «устойчивости» таких систем. Часто энергетические ресурсы для снижения периода окупаемости оборудования эксплуатируются очень интенсивно, что может привести к их быстрому истощению.

Поэтому необходимо поддерживать такой уровень производства энергии, который бы позволил эксплуатировать источник энергетических ресурсов длительное время (100–300 лет).

Воздушные тепловые насосы аккумулируют теплоту окружающего воздуха.

Окружающий воздух является наиболее доступным источником низкопотенциальной теплоты для теплового насоса. Одним из преимуществ, при выборе теплового насоса данного типа, является простая схема монтажа оборудования в систему с уже установленным любым дополнительным источником тепла (например, дизельным, твердотопливным или газовым котлом). Однако стоит учитывать и то, что, ввиду особенностей наших климатических условий с достаточно низкой температурой наружного воздуха в холодное время года, работа теплового насоса в отопительный период является не столь продуктивной. Кроме того, тепловые насосы, принимающие тепло от наружного воздуха, способны работать до температуры -25°C , при более низкой температуре автоматика теплового насоса будет переводить теплоснабжение потребителя от другого дополнительного источника.

Несмотря на высокую эффективность получения тепла и его экологическую чистоту активное использование их сдерживает ряд недостатков.

Для установки теплового насоса необходимы первоначальные затраты: стоимость насоса и монтажа системы составляет 300 – 1200 долларов на 1 кВт необходимой мощности отопления. Время окупаемости теплонасосов составляет 4 – 9 лет, при сроке службы 25 – 30 лет до капитального ремонта.

К недостаткам геотермальных тепловых насосов, используемых для отопления, следует отнести большую стоимость установленного оборудования, необходимость сложного и дорогого монтажа внешних подземных или подводных теплообменных контуров.

Воздушные тепловые насосы менее эффективны (по сравнению с геотермальными), это связано с низкой температурой кипения хладагента во внешнем «воздушном» испарителе.

Общим недостатком тепловых насосов является сравнительно низкая температура нагреваемой воды, в большинстве не более $+50^{\circ}\text{C}$ – $+60^{\circ}\text{C}$, причём, чем выше температура нагреваемой воды, тем меньше эффективность и надёжность теплового насоса.

Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Теоретический цикл работы теплового насоса (рис. 5.1);
3. Конструктивная схема геотермального теплового насоса (рис. 5.2);
4. Направления использования тепловых насосов;

Контрольные вопросы

1. Опишите принцип действия теплового насоса.
2. Приведите примеры использования тепловых насосов как энергосберегающего оборудования.
3. Охарактеризуйте назначение основных конструктивных элементов теплового насоса.
4. Что такое коэффициент преобразования энергии в тепловом насосе?
5. Укажите причину ограниченного использования тепловых насосов.
6. Перечислите преимущества использования теплового насоса.

Управление энергоснабжением и энергопотреблением

Цель работы: ознакомиться с цепями трехфазного переменного тока и изучить основные мероприятия, позволяющие снизить потери электрической энергии.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться со схемами энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий.
2. Изучить основные параметры, по которым происходит контроль качества энергоснабжения.
3. Изучить основные способы и оборудование, позволяющие снизить потери электрической энергии.
4. Составить отчет о выполненной работе.

Общие сведения

В результате низкой энерговооруженности труда и надежности энергообеспечения потребителей, высокого удельного веса (до 60%) энергоресурсов в стоимости продукции и ее высокой энергоемкости (в 3 – 5 раз выше развитых стран) сельскохозяйственная продукция становится неконкурентоспособной на мировом рынке.

Нынешнее положение в аграрной энергетике обусловлено следующими основными причинами.

Сложилась недооценка роли энергетике в развитии АПК. Хорошо известно, что прирост энерговооруженности труда в сельском хозяйстве на 1% повышает производительность труда на 0,5%, тогда как увеличение основных фондов на 1% увеличивает производительность труда лишь на 0,2%. Известно также, что каждый миллион кВт·ч использованной электроэнергии эквивалентен затратам 9 – 10 тыс. работников. В технологических процессах потребление одного кВт·ч электроэнергии обеспечивает прирост производительности труда в 2,0 – 2,5 раза и снижает затраты на производство в 1,5 раза.

Действующие на производстве нормы расхода электрической энергии, как правило, статистические, устанавливались без должного научного и технико-экономического обоснования, не отражают действительных потребностей в энергоресурсах и тем самым не способствуют совершенствованию техники и технологий, рациональному использованию энергоресурсов, снижению непроизводительных расходов и потерь энергии, разработке и

использованию энергоэкономичных машин и агрегатов. В результате сформирован потенциал энергосбережения в АПК, технически возможная часть которого составляет около 1,5 млн. т у. т., что составляет 30 – 40% от всех расходуемых энергоресурсов.

Для эффективного электроснабжения сельского хозяйства необходимо обеспечивать высокое качество электрической энергии и надежность, постоянно контролируя режим электропотребления и значение коэффициента мощности.

Качество электрической энергии трехфазного тока, который применяется для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, определяется стабильностью его частоты f , уровнем напряжения у потребителей U_{ϕ} и степенью несимметрии фазных напряжений. На качество электроэнергии оказывает также влияние искажение формы кривой по сравнению с синусоидой.

Значительное снижение частоты сказывается на работе осветительных приемников; создается пульсация светового потока и, следовательно, освещенности.

Повышение и особенно снижение частоты тока влияют на работу электродвигателей, так как частота их вращения пропорциональна частоте ЭДС, а мощность – частоте вращения. Уменьшение частоты вращения электродвигателей при заданной нагрузке приводит к увеличению потребляемых ими токов, а следовательно, отражается на режиме питающей сети, увеличивая в ней потери напряжения и энергии. Изменения активной мощности и частоты тока приводят к возрастанию потребления реактивной мощности. Изменение частоты вращения электродвигателей сопровождается нарушением технологических процессов в приводимых ими механизмах.

Правила устройств электроустановок (ПУЭ) и ГОСТ на качество электроэнергии регламентируют требования для поддержания частоты 50 Гц в мощных системах с точностью до $\pm 0,1$ ($\pm 0,2$) Гц.

Важный показатель, определяющий качество электроэнергии, – уровень напряжения у потребителей. Снижение напряжения по сравнению с номинальным приводит к уменьшению светового потока осветительных электроприемников, причем на каждый процент снижения напряжения получается уменьшение потока на 3 – 4%. Снижение напряжения приводит к уменьшению в квадратичной зависимости вращающего момента электродвигателей, что при заданной нагрузке сопровождается увеличением потребляемого тока, а значит, и потери напряжения в питающей сети.

Повышение напряжения у потребителей по сравнению с номинальным значением также крайне нежелательно. Оно резко сокращает срок службы осветительных приборов, вредно воздействует на все виды бытовых приборов и существенно увеличивает потребление реактивной мощности электродвигателями, что отражается и на работе питающей сети.

Стандартом установлены предельно допустимые отклонения напряжений от номинальных значений: $\pm 5\%$ для большинства потребителей и от $+10$ до -10% для отдельных групп потребителей. Для сельских потребителей значение предельно допустимых отклонений напряжения установлено $\pm 7,5\%$, а для сельских электродвигателей – от $+10$ до $-7,5\%$.

Асимметрия фазных напряжений в сельских четырехпроводных сетях напряжением 380/220В возникает вследствие неравномерной нагрузки, связанной с одновременностью включения электроприемников в различных фазах. Асимметрия фазных напряжений существенно отражается на работе осветительных и силовых электроприемников. Для осветительных электроприемников в разных фазах создаются неодинаковые условия, и соответственно при одинаковой их мощности и типе от них получаются разные световые потоки. В электродвигателях при несимметрии напряжения, кроме нормального вращающегося магнитного поля, возникает инверсное (обратное) поле, уменьшающее вращающий момент двигателя и их мощность. Это поле также вызывает дополнительные потери, что увеличивает нагрев двигателей, их вибрацию и сокращение срока службы.

Асимметрию напряжения в сельских сетях уменьшают равномерным распределением нагрузки по фазам и применением понижающих трансформаторов.

В настоящее время электроснабжение сельскохозяйственных потребителей осуществляется по линиям электропередачи напряжением 0,4; 10; 35 кВ. На долю распределительных электрических сетей, обеспечивающих также электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, приходится более 220 тыс. км ЛЭП напряжением 0,4 – 10,0 кВ и около 69 тыс. трансформаторных подстанций и распределительных пунктов напряжением 6 – 10/0,4 кВ общей установленной мощностью 14 тыс. МВт.

Требование к надежности электроснабжения со стороны отдельных потребителей зависит от уровня электрификации производственных

процессов и быта. Отдельные потребители в разное время предъявляют различные требования к надежности электроснабжения.

Учитывая исключительно важное значение фактора надежности при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов, потребителей делят на **три категории**.

Первая категория включает объекты, нарушение электроснабжения которых на 0,5 ч влечет за собой значительный материальный ущерб, вследствие массовой порчи продукции, и серьезные нарушения технологического процесса.

К потребителям первой категории относятся:

- фермы и комплексы по производству молока на 800 коров и более;
- по выращиванию и откорму свиней на 12 тыс. голов и более;
- молодняка крупного рогатого скота на 10 тыс. голов и более;
- открытые площадки по откорму молодняка крупного рогатого скота на 20 тыс. скотомест и более;
- по откорму коров мясных пород на 600 голов и более;
- племенные хозяйства и хозяйства по выращиванию ремонтного молодняка кур на 25 тыс. голов и более;
- гусей, уток и индюшек на 10 тыс. голов и более;
- кур-несушек на 100 тыс. голов и более;
- мясных цыплят на 1 млн. голов и более.

К потребителям первой категории относятся также электроприемники особо важных объектов несельскохозяйственного назначения, расположенных в сельской местности:

- пункты неотложной помощи;
- родильные дома;
- операционные отделения больниц и т. д.

Эти потребители кроме основного источника питания должны обеспечиваться резервным электроснабжением. Резервные источники электроснабжения наиболее ответственных потребителей первой категории (по спискам, утвержденным республиканскими органами сельского хозяйства) должны вводиться в действие автоматически. При неавтоматическом вводе в действие резервное питание должно быть обеспечено не позднее чем через 30 мин после отключения основного источника электроснабжения.

Вторая категория включает объекты, перерывы в электроснабжении которых свыше 3,5 ч приводят к нарушению

производственных процессов, снижению выхода сельскохозяйственной продукции и ее частичной порче.

К потребителям второй категории относятся:

- электрифицированные доильные установки и установки первичной обработки молока;
- линии по откорму свиней и крупного рогатого скота;
- животноводческие и птицеводческие фермы колхозов и совхозов;
- кормоприготовительные цехи и заводы по электромеханизированному приготовлению и раздаче кормов;
- водоснабжение для нужд животноводства и птицеводства.

К потребителям *третьей категории* относятся потребители, не относящиеся к первой и второй категориям.

Для потребителей третьей категории допускаются перерывы в электроснабжении на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но не более одних суток.

Одним из самых эффективных способов снижения потерь в линиях электропередач является применение батарей статических конденсаторов.

В настоящее время сельским хозяйством Республики Беларусь потребляется более 4 миллиардов кВт·ч электроэнергии, 50% которой потребляется асинхронными двигателями. На данный период времени в сельском хозяйстве Республики Беларусь эксплуатируется около 1,3 миллионов асинхронных электродвигателей общей мощностью в миллионы кВт (в среднем 415 двигателей на 1 хозяйство).

Асинхронные электродвигатели помимо достоинств (простота, надёжность в обслуживании) обладают и значительным недостатком – потребление реактивной энергии из сети, что приводит к снижению коэффициента мощности питающей сети.

Коэффициент мощности является одним из главных показателей качества питающей сети и определяет отношения активной энергии, потребляемой из сети к полной

$$\cos\varphi = P/S, \quad (6.1)$$

где P – активная мощность, кВт;

S – Полная мощность, кВ·А.

Поэтому при проектировании и эксплуатации сетей с пониженным коэффициентом мощности с целью сокращения потерь приходится идти на уменьшение значения сопротивления ЛЭП, что связано с

увеличением сечения проводов, металлоёмкости электроустановок и опор линий электропередач. Во избежание вышесказанного согласно ПУЭ все потребители должны иметь коэффициент мощности не ниже нормативного значения 0,94...0,97.

Существуют естественные и искусственные способы повышения $\cos\varphi$ (рис. 6.1).

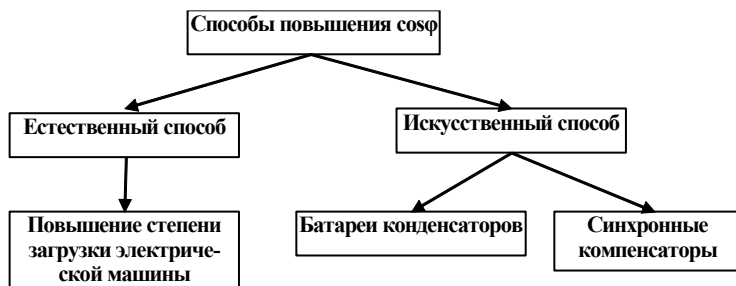


Рис. 6.1. Методы повышения коэффициента мощности.

Естественный способ – экономия электроэнергии при увеличении загрузки электродвигателя рабочей машины. Как показывают практические исследования, при увеличении степени загрузки электрической машины с 50 % до 80 %, потери электрической энергии уменьшаются на 19 % в электродвигателе и 30 % в питающих проводах.

Искусственный способ – экономия электроэнергии при помощи конденсаторных батарей, включённых по схеме “звезда” параллельно обмоткам асинхронного электродвигателя.

Подключение регулируемых и нерегулируемых конденсаторных установок на вводах в производственные помещения и на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции ТП 10/0,4 кВ необходимо для компенсации реактивной мощности электрической нагрузки. Так, например, относительное снижение потерь энергии при компенсации реактивной мощности до коэффициента мощности 0,96 при начальном его значении 0,86 в линиях 0,38 – 20,0 кВ происходит на 6 – 12 %.

Для снижения потерь энергии в системах электроснабжения необходимо применять в сетях 0,38 кВ регулируемые комплектные конденсаторные установки УКН-0,38 мощностью от 75 до 300 кВ·А со встроенным автоматически регулятором и числом ступеней

регулирования до 6 и разработать регулируемые комплектные конденсаторные установки мощностью до 75 кВ·А.

Использование синхронных компенсаторов

Реактивная мощность, развиваемая синхронным компенсатором, зависит от тока возбуждения.

Перевозбуждённый синхронный компенсатор работает с током, опережающим напряжение сети (отдаёт реактивную мощность). Применяется наиболее часто для компенсации реактивной мощности, потребляемой асинхронными двигателями.

При недозвозбуждении работает с током, отстающим от напряжения сети, и потребляет реактивную мощность из сети. Применяется в часы малой нагрузки линии передач, когда отстающий ток нагрузки не компенсирует ёмкостную составляющую тока линии.

Синхронный компенсатор (рис. 6.2) включается в конце линии передачи непосредственно у потребителя. Компенсируя частично или полностью реактивную составляющую тока линии, он уменьшает общий ток и потери в ней.

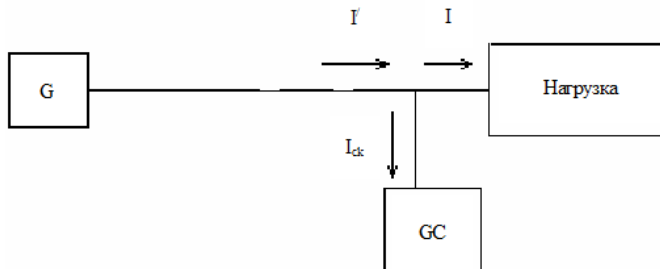


Рис. 6.2. Способ подключения синхронного компенсатора:
G – генератор; I' – ток нагрузки до компенсации, I – ток нагрузки после компенсации, $I_{ск}$ – ток, потребляемый синхронным компенсатором, $I_{ск}$; GC – синхронный компенсатор.

Конструктивно синхронный компенсатор отличается от синхронной машины тем, что у него отсутствует (или имеет незначительный диаметр) нагрузочный вал.

Промышленностью выпускаются синхронные компенсаторы типа СК-300.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с принципом работы конденсаторных батарей и синхронных компенсаторов.
2. Согласно выбранного варианта (табл. 6.1) провести расчет.
3. Определить емкость конденсаторной батареи.

Таблица 6.1. Данные для расчетов

Параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, Вт	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
U, В	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
I, А	2	2,1	2,2	2,3	3	4	4,2	4,5	5	5,3
I _c , А	1,5	1,8	2	2,2	2	3	4	4,1	4	4,5

Полная мощность, потребляемая из сети, определяется по формуле, (ВА)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (6.2)$$

где P – активная мощность, потребляемая из сети, Вт;
 Q – реактивная мощность потребляемая из сети, Вар.

$$S = U \cdot I, \quad (6.3)$$

где U – фазное напряжение, потребляемое из сети, В;
 I – ток, потребляемый из сети, А.

Активная мощность рассчитывается по выражению

$$P = U \cdot I \cdot \cos \phi, \quad (6.4)$$

где $\cos \phi$ – коэффициент мощности.

Реактивная мощность определяется по зависимости, (Вар)

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \phi, \quad (6.5)$$

где $\sin \phi$ – синус угла между фазным напряжением и током.
 Тригонометрическая зависимость имеет вид

$$\sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1, \quad (6.6)$$

Тогда

$$\sin \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \phi}, \quad (6.7)$$

Мощность батареи статических конденсаторов определяется по формуле, (*Var*)

$$Q_c = P (tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (6.8)$$

где P – активная мощность электрической цепи, Вт;

$tg\varphi_1, tg\varphi_2$ – соответственно тангенсы угла сдвига фаз до и после установки компенсирующего устройства (батареи статических конденсаторов).

Ёмкость батареи статических конденсаторов рассчитывается по выражению, (*мкФ*)

$$C = \frac{Q_c \cdot 10^{-6}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}, \quad (6.9)$$

где U – фазное напряжение, В;

f – частота питающей сети, Гц.

Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Методы повышения коэффициента мощности (рис. 6.1);
3. Категории потребителей по энергоснабжению и объекты;
4. Результаты расчетов.

Контрольные вопросы

1. Какие Вы знаете способы повышения коэффициента мощности?
2. Почему необходимо повышать коэффициент мощности?
3. Какое электрическое оборудование при работе потребляет реактивную мощность и почему?
4. Какой из способов повышения коэффициента мощности, на Ваш взгляд, является наиболее эффективным и почему?
5. На какие категории подразделяются потребители электрической энергии?