

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ СТИРЛИНГА В МЕСТНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассматриваются схемы построения теплонасосных установок для местных систем теплоснабжения. Предложены различные варианты привода тепловых насосов, выполнены расчеты и проведен сравнительный анализ их основных параметров, дана оценка эффективности установок в целом.

Одним из важнейших достоинств двигателей Стирлинга является их обратимость. Без принципиальных изменений в конструкции их можно применять как тепловые насосы, холодильные установки. Тепловые насосы, работающие по циклу Стирлинга (ТНС), являются наиболее эффективными [1, 2] для местных систем теплоснабжения. Возможны различные варианты и схемы построения таких теплонасосных установок (ТНУ), причем в качестве привода теплового насоса можно использовать как электрические, так и тепловые двигатели (ДВС, газотурбинные, паросиловые установки, собственно двигатели Стирлинга и др.). Для систем теплоснабжения небольших зданий и сооружений, индивидуальных домов тепловая мощность ТНУ обычно не превышает нескольких десятков киловатт. Выбор привода в них практически ограничен электродвигателем или ДВС.

Нами выполнен сравнительный анализ эффективности ряда схем ТНУ с точки зрения достижения возможно большего коэффициента преобразования первичной энергии (КПЭ). Рассмотрены и проанализированы параметры ТНУ в диапазоне тепловых мощностей от 8 до 384 кВт. Все исследования вариантов построения, расчеты параметров тепловых насосов и ТНУ в целом проведены на ЭВМ с использованием разработанной нами методики замкнутой оптимизации [4]. В таблице в качестве примера представлены результаты сравнительного анализа для теплонасосной установки мощностью 64 кВт.

Первая из схем (рис.1, а) является в определенной мере традиционной и предусматривает применение электродвигателя в качестве привода.

Расчеты и оптимизация параметров теплового насоса, работающего по циклу Стирлинга, показали, что его отопительный коэффициент составляет $\psi=2,58$ при температуре теплоносителя (воды) в системе отопления 70/50 °С. Эти параметры, как и температура теплоноси-

теля, поступающего от источника, $+10^{\circ}\text{C}$, сбрасываемого в источник $+6^{\circ}\text{C}$, приняты одинаковыми для всех сравниваемых схем ТНУ.

Полученное значение отопительного коэффициента в приведенной схеме вполне приемлемо, так как даже с учетом КПД электродвигателя ($\sim 0,95$) суммарный КПЭ ТНУ определится как

$$\text{КПЭ}_{\text{ТНУ}} = \psi \cdot \eta_{\text{ЭД}} = 2,58 \cdot 0,95 = 2,45.$$

Принимая во внимание большую ценность электрической энергии по сравнению с тепловой (примерно в 2,5-3 раза), т.е. с учетом КПД электростанций и потерь в электрических сетях, КПЭ составит

$$\text{КПЭ} = \text{КПЭ}_{\text{ТНУ}} \cdot \eta_{\text{ТЭС}} \cdot \eta_{\text{ЭЛ}} = 2,45 \cdot 0,4 \cdot 0,92 = 0,90.$$

Это значение выше, чем КПД котельных малой и средней мощности даже без учета потерь в тепловых сетях, достигающих до 40% вырабатываемой теплоты.

В случае работы ТНУ в режиме частичной мощности (например, 50% номинальной) значение ψ для ТНС возрастает до 3,07. Тогда величина КПЭ соответственно составит 1,13. Режим работы с неполной тепловой мощностью характерен для большей части отопительного периода. Если же параметры ТНС оптимизированы именно для такого режима, то ψ достигает 3,14, а КПЭ – 1,16 [3]. Приведенная схема без существенных изменений в конструкции пригодна также для охлаждения помещений в летний период, поскольку осуществить реверсирование направления вращения электродвигателя достаточно просто. Поэтому ТНС с электродвигателем в качестве привода можно рекомендовать для использования в системах полного теплохладоснабжения зданий и сооружений. Если в качестве источника электроэнергии использовать ветроэлектростанции (например, в сельской местности), то такая схема становится наиболее перспективной.

Вариант применения ДВС в качестве привода ТНС является более “автономным” и не требует затрат электроэнергии. Однако следует заметить, что для этой цели приемлем лишь дизельный двигатель, обладающий достаточно высоким КПД и работающий на более дешевом топливе. Его обслуживание сложнее, чем электродвигателя, однако теплоту, отведенную системой охлаждения ДВС, можно с успехом использовать для дополнительного нагрева теплоносителя, поступающего в систему отопления, как это показано на рис.1, б. За счет этого тепловую мощность ТНС удастся несколько снизить, что, в свою очередь, приводит к уменьшению его габаритов. К сожалению, два существенных недостатка ДВС – шумность и сравнительно небольшая доля теплоты, отводимой системой его охлаждения, не позволяют добиться существенного повышения КПЭ по сравнению с предыдущей схемой.

Зарубежные исследователи [1, 2] рекомендуют в качестве привода ТНС применять двигатели Стирлинга (ДС). Основное преимущество такого привода, как и ДВС, – возможность использовать часть теплоты, отводимой в охладителе двигателя, для передачи ее в систему отопления (см. рис.2, а). Характерно, что в системах отвода теплоты двигателей Стирлинга ее выделяется примерно вдвое больше, чем в ДВС той же мощности, поскольку в последних значительная часть теплоты отводится с выхлопными газами. Это позволяет еще больше уменьшить тепловую мощность ТНС и повысить КПД собственно двигателя за счет снижения температуры в его охладителе. Если для двигателей наземного транспорта температура охлаждающей жидкости практически не ниже $+80^{\circ}\text{C}$, то для двигателей привода тепловых насосов ее можно снизить. Соответственно удастся уменьшить массу и габариты ТНУ.

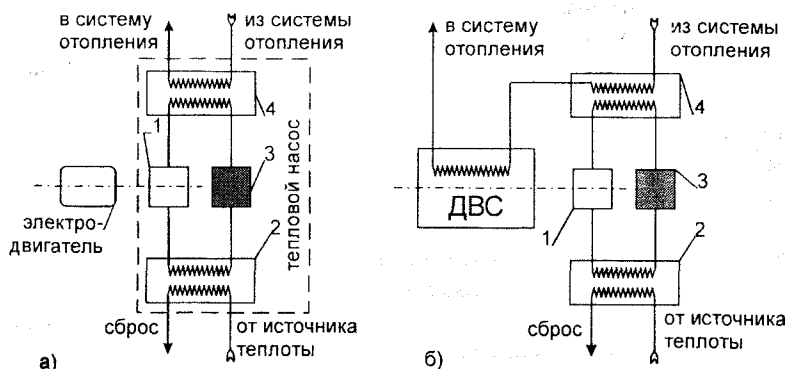


Рис.1 – Варианты построения теплонасосных установок с приводом от электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания:

1 – механизм ТНС; 2 – нагреватель ТНС; 3 – регенератор ТНС; 4 – охладитель ТНС

Эффективность такой ТНУ можно повысить путем предварительного нагрева теплоносителя, поступающего от источника теплоты, уходящими из камеры сгорания ДС газами (в случае сжигания органического топлива) в дополнительном теплообменнике. Однако с учетом малой величины коэффициента теплоотдачи со стороны газов габариты подобного дополнительного нагревателя значительно возрастают и увеличивают размеры ТНУ в целом. Кроме того, необходимо принимать меры для предотвращения коррозии поверхностей, контактирующих с агрессивными продуктами сгорания топлива, а также удале-

ния влаги, образующейся в результате конденсации водяных паров из них.

В ТНУ, представленной на рис.2,б, предусмотрен предварительный подогрев теплоносителя, поступающего из источника, в контуре системы отвода теплоты ДС. Это способствует еще большему росту КПД ДС, но дает дополнительную нагрузку на ТНС. В целом, как это показано в таблице, КПЭ несколько ниже, чем для предыдущей схемы, поскольку теплота, отводимая в ДС, является дополнительной тепловой нагрузкой для теплового насоса, что снижает КПЭ ТНУ. Однако ее не следует полностью исключать из рассмотрения благодаря одному из достоинств – снижению вероятности образования льда в нагревателе теплового насоса при низких температурах теплоносителя источника в случае, например, использования наружного воздуха в качестве источника теплоты.

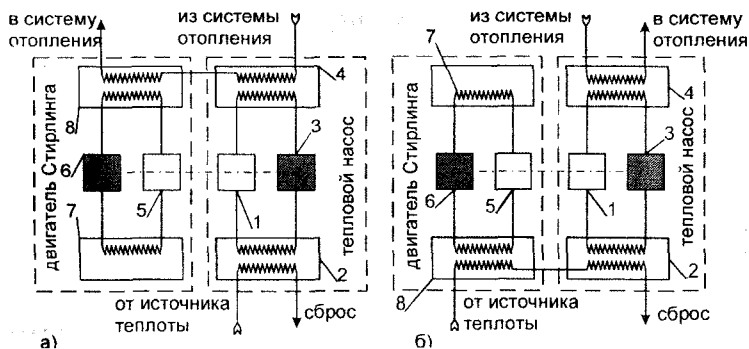


Рис.2 – Варианты построения теплонасосных установок с приводом от двигателя Стирлинга:

- 1 – механизм ТНС; 2 – нагреватель ТНС; 3 – регенератор ТНС; 4 – охладитель ТНС;
5 – механизм ДС; 6 – регенератор ДС; 7 – нагреватель ДС; 8 – охладитель ДС

Расчеты и оптимизация параметров всех схем перечисленных ТНУ выполнены для двух режимов: номинальной 100% мощности и мощности 50% от номинальной. Отопительный коэффициент теплоносителей, циркулирующих в его контурах, а отопительный коэффициент теплонасосной установки учитывает также нагрев теплоносителей в системах охлаждения двигателей Стирлинга и ДВС. Коэффициент преобразования первичной энергии учитывает КПД двигателей привода, работающих на жидком органическом топливе. Приведенная ниже таблица расчетных параметров показывает, что любая из названных схем имеет

больший коэффициент преобразования, чем централизованные системы теплоснабжения с котельными.

Сравнительная таблица параметров вариантов построения ТНУ

Тип привода	Оптимизация параметров при мощности, %	ОТК теплового насоса	ОТК ТНУ	Суммарный КПЭ
Электродвигатель	100	2,58	2,45	0,90
	50	3,14	2,98	1,10
Дизельный ДВС	100	2,50	2,77	1,00
	50	3,07	3,37	1,21
Дв. Стирлинга, схема рис.2,а	100	2,56	3,41	1,40
	50	3,11	3,84	1,70
Дв. Стирлинга, схема рис.2,б	100	2,53	2,53	1,15
	50	3,08	3,08	1,40

В расчетах принято: $\eta_{\text{ДВС}} = 0,36$ – КПД дизельного двигателя привода; $Q_{\text{ОХЛ}} = 0,3N$ – доля теплоты, отводимой системой охлаждения ДВС по отношению к его эффективной мощности; $\eta_{\text{КС}} = 0,8$ – КПД камеры сгорания двигателя Стирлинга, работающего на органическом топливе.

1. Уокер Г. Двигатели Стирлинга. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
2. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы. – М.: – Энергоиздат, 1982. – 224 с.
3. Горожанкин С.А. Выбор параметров тепловых насосов Стирлинга // Вест. Донбасской гос. акад. стр-ва и арх-ры. Вып.99-3(17), 1999. – С 88-91.
4. Горожанкин С.А. Эффективность тепловых насосов, работающих по циклу Стирлинга // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.21. – К.: Техника, 2000. – С.109-111.

Получено 10.05.2000

УДК 697.34

С.Ю.АНДРЕЕВ

ПО "Харьковтеплоэнерго"

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЛЩИН ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

Предлагаются математическая модель и программный комплекс для выбора оптимальных толщин изоляции трубопроводов тепловых сетей.

В качестве примера рассматривается один из трубопроводов отопительной системы (ОС), состоящей из отопительной котельной (ОК), тепловой сети (ТС) и теплораспределительных станций (ТРС).

Цель работы – найти оптимальные значения толщин изоляции подводящего и отводящего трубопроводов $\delta_{1\text{опт}}$ и $\delta_{2\text{опт}}$,