

УДК 62-683

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СПЛИТ-СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

**А. В. ФОРСЮК, С. А. ЗАДОРЖНЫЙ, С. Г. ПОТАПОВ,  
В. С. ВОЛОБУЕВ**

*Национальный университет пищевых технологий,  
г. Киев, Украина*

### Введение

Тенденция роста стоимости энергоресурсов для конечного потребителя делает первичным увеличение эффективности работы оборудования и способствует поиску путей и механизмов использования низкопотенциальной энергии для замены традиционных источников тепла в виде сжигания органического топлива [1].

На сегодняшний день альтернативным источником теплоснабжения могут быть рассмотрены системы с тепловыми насосами, что широко используются для отопления и горячего водоснабжения (ГВС) разных объектов. Разработки и исследование технологий использования низкопотенциального тепла с помощью теплонасосных установок проводятся достаточно давно, но в подавляющем большинстве они относятся к системам, в которых используется энергия грунта, водоемов, подземных вод, вторичного тепла [5]. Внедрение таких систем тормозится их высокой стоимостью и большим сроком окупаемости, в некоторых случаях до ста лет.

Одним из направлений решения этой проблемы является использование воздушных тепловых насосов (ВТН), для которых в некоторых случаях нет альтернативы [2]. Но, несмотря на то, что во многих квартирах, офисах и учебно-образовательных учреждениях установлены сплит-системы, существует предвзятое отношение к эффективности их использования в режиме теплового насоса.

В связи с этим возникает вопрос рациональности и энергетической эффективности использования сплит-систем для отопления помещений как при индивидуальном, так и при массовом использовании.

### Основная часть

К ВТН относятся сплит-системы, которые могут работать в режимах охлаждения или нагрева воздуха в помещении, а также низкотемпературные специализированные ВТН, которые появились на рынке недавно. Для оценки энергоэффективности этих машин используют соответствующие коэффициенты:  $COP$  и  $SCOP$  согласно директивы ErP (Energy related Products). Разделение оборудования по классам энергетической эффективности проводится соответственно этим коэффициентам.

Оценивая эффективность работы сплит-системы, производители указывают значения соответствующих параметров работы, но действительность этих данных проверить невозможно. Всего лишь небольшое количество компаний-производителей предоставляют полную информацию о продукции, которую изготавливают. Это касается как отечественных, так и зарубежных производителей [3]. С целью привлечения потребителя большинство производителей завышают показатели эффективности работы оборудования, ссылаясь преимущественно на теоретические расчеты, которые не учитывают особенности работы реального оборудования.

Проблема определения действительных значений коэффициентов эффективности работы сплит-систем в качестве ВТН актуальна, так как они широко используются и в определенные периоды создают существенную нагрузку на энергетическую систему страны. Появляется необходимость создания адекватной методики расчета таких коэффициентов и, возможно, определение одного коэффициента, который будет определять действительную эффективность работы любого типичного воздушного теплового насоса при температурах окружающей среды, которые изменяются.

Для ответа на перечисленные вопросы разработана экспериментальная установка на основе сплит-системы TOSOT GN-18A. Рабочее вещество R-22.

Определение параметров работы установки происходит с помощью датчиков температуры – термопары медь-константан типа К, датчиков давления типа РТ-07М, датчиков относительной влажности типа НН-4000-003 и датчиков тока «Холла». Автоматическое и непрерывное снятие данных осуществляется с помощью аналого-цифровых преобразователей ICP CON i7018, i7017, которые через преобразователь протокола i7520 подключены к ПК. Дискретность опроса датчиков 1с. Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

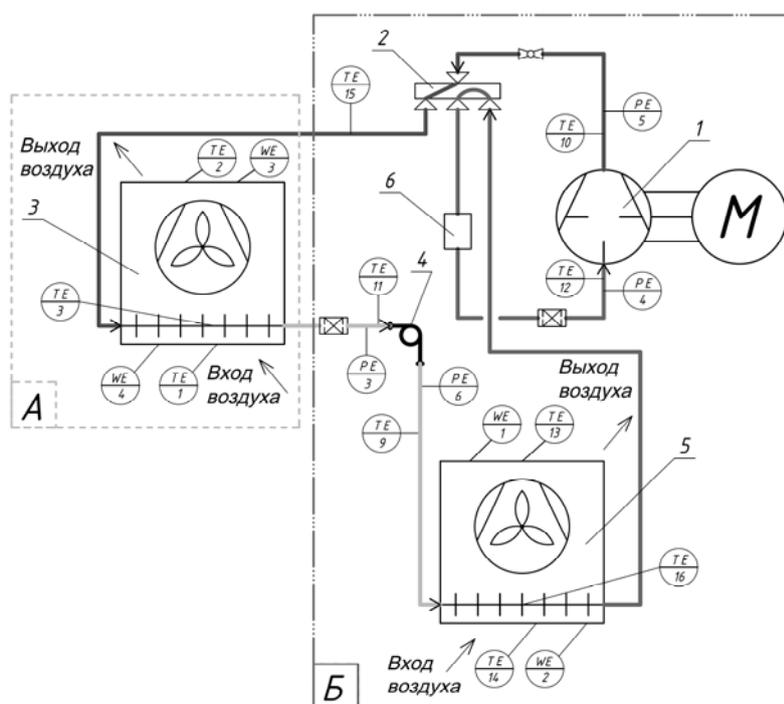


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

А – внутренний блок; Б – внешний блок; 1 – роторный компрессор; 2 – переключатель режимов; 3 – внутренний теплообменник; 4 – капиллярная трубка; 5 – внешний теплообменник; 6 – докислитель

Достоверность значений измерительных величин достигнуто с помощью проведения соответствующих мероприятий:

- внесение поправок, указанных фирмами-изготовителями;
- сопоставление данных, полученных с помощью датчиков, с данными контрольных измерительных приборов;
- расчет и учет поправки температуры за счет интенсивного теплообмена наружных трубопроводов с воздухом.

Во время работы ВТН есть возможность интенсификации теплообмена путем изменения скорости обдува внутреннего теплообменника вентилятором. При этом

минимальное значение использованной электроэнергии отвечает максимальному, а максимальное – минимальному режиму обдува. Это объясняется снижением коэффициента теплопередачи при уменьшении обдува и необходимостью поднимать температуру конденсации за счет работы компрессора.

Работа экспериментальной установки, как и любого ВТН – цикличная. Эта цикличность в первую очередь обусловлена характером изменения показателей эффективности работы установки, а именно  $COP$ ,  $Q_k$ ,  $N_{эл}$ . Исходя из полученных данных работу ВТН можно условно поделить на следующие периоды: выход на режим после длительной остановки, стабильная работа, интенсивное намораживание инея, оттаивание, выход на режим после оттаивания. Разделение времени работы экспериментальной установки в графическом виде показано на рис. 2.

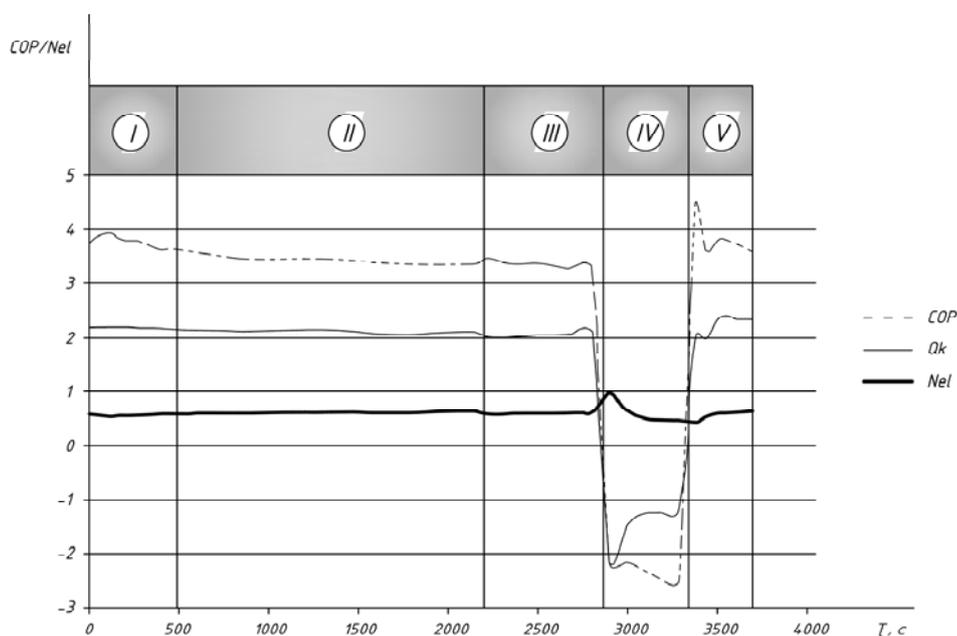


Рис. 2. Цикличность работы экспериментальной установки:

- I – выход на режим после длительной остановки;
- II – стабильная работа;
- III – интенсивное намораживание инея;
- IV – оттаивание;
- V – выход на режим после оттаивания

При постоянной работе ВТН в рабочий цикл не включается период «выход на режим после длительной остановки» из-за минимальной длительности и минимального влияния на среднее значение  $COP$ . В то же время в период «оттаивание» теплопродуктивность имеет отрицательный знак и существенно влияет на среднее значение  $COP$ .

Получив эти данные, используя известные методики, определены действительные значения средней теплопродуктивности. Используемая электрическая мощность определялась двумя способами: с помощью эмпирических зависимостей с использованием экспериментальных данных и измерением расхода электроэнергии. Так как нас интересует  $COP_{брутто}$ , а в технических характеристиках фирмы-производители представляют  $COP_{нетто}$ , предлагается ввести корректирующий коэффициент  $k$ , который будет определять соотношение этих величин. Полученные значения  $COP_{нетто}$  и  $COP_{брутто}$  работы сплит-системы ВТН позволяют определить значения этого коэффициента. По результатам проведенных исследований значения коэффициента колеблются в пределах 0,58–0,63 и мало зависят от температуры и от-

носительной влажности наружного воздуха. Учитывая это, значение действительной энергетической эффективности ВТН или  $COP_{\text{брутто}}$  может быть определено следующим образом:

$$COP_{\text{брутто}} = \int \frac{(h_{15} - h_{11})}{(h_{10} - h_{12})\eta_i\eta_{\text{ел}}\eta_{\text{м}}} K d\tau.$$

Теоретические расчеты эффективности работы оборудования разных производителей в стандартных условиях (ISO 5151), данные, полученные в результате исследования и заявленные в технических характеристиках, имеют существенные различия. Так, в случае теоретического расчета ВТН значения  $COP$  составляет 4,7; значения, полученные с использованием экспериментальной установки:  $COP_{\text{брутто}} = 1,7$ ;  $COP_{\text{нетто}} = 2,79$ ; а производители предоставляют значения  $COP \approx 3,3$ . Сравнение этих данных в зависимости от температуры и относительной влажности окружающего воздуха приведено на рис. 3.

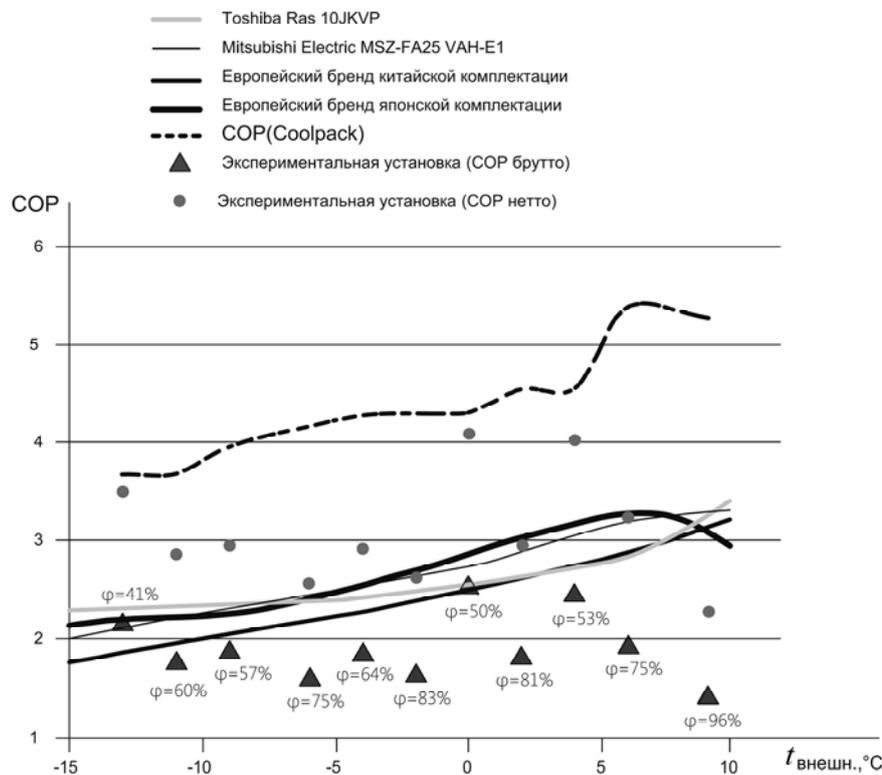


Рис. 3. Сравнение показателей эффективности работы ВТН разных производителей

Существенная разница между действительными и теоретическими значениями эффективности может быть объяснена следующими причинами:

- в реальных процессах:
  - влиянием относительной влажности наружного воздуха;
  - влиянием реальной температуры нагнетания и конденсации;
  - влиянием конструктивных особенностей использованного оборудования (неоптимальный шаг оребрения, диаметр труб и площадь теплообменной поверхности конденсатора и испарителя), очень большой перепад давлений всасывания и нагнетания, и перепад давления на входе и выходе с испарителя до 3 кПа;

- быстрым охлаждением компрессора при низких температурах наружного воздуха;
- не изохорностью процесса дросселирования;
- отрицательным значением  $Q_k$  во время оттаивания;
- в теоретических расчетах:
  - процесс сжатия считается изэнтропийным, а процесс дросселирования изохорным;
  - в реальных процессах с учетом  $K$ :
    - реальными значениями использованной электроэнергии, полученными путем измерения.

### Заключение

Предложен к использованию корректирующий коэффициент  $K$ , который дает возможность определить действительное значение коэффициента трансформации –  $COP_{\text{брутто}}$ , который, за результатами исследования типичных бытовых сплит-систем, составляет 0,58–0,63.

На величину  $COP_{\text{брутто}}$  значительно влияет относительная влажность наружного воздуха, но определяющее влияние имеет его температура.

Полученные в результате исследования данные показывают, что производить отопление с помощью сплит-системы в зимний период неэффективно. Диапазон использования таких систем в зависимости от комплектации от +5 до +15 °С.

### Литература

1. Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. Концептуальные положения. – Киев, 2004.
2. Овчаренко В. А. Використання теплових насосів / В. А. Овчаренко, А. В. Овчаренко // Холод М+Т. – 2006. – № 2. – С. 34–36.
3. Безродний, М. К. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання / М. К. Безродний, Н. О. Притула. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 207 с.
4. Братута, Э. Г. Уточненная методика расчета режимов работы теплонасосных установок на базе технических характеристик основного оборудования / Э. Г. Братута, Н. Б. Чиркин, В. Г. Шерстюк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – № 29. – С. 9–14.
5. Forsen M., Voeswarth R., Dubuisson X., Sandstrom B., (2005) Heat Pumps Technology and environmental impact. Swedish Heat pump Association. Part 1(pp 1-35), Part 2 (1-80).

Получено 02.11.2015 г.