

УДК 621.182.233

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ АРМЕНИИ**

**Л.С. Оганесян, М.Г. Казарян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Системы теплоснабжения зданий, использующие нетрадиционные возобновляемые источники энергии, представляют собой надежный и экологически чистый источник энергии, который может быть использован повсеместно. Анализируется энергетическая и экономическая целесообразность применения систем теплоснабжения на основе тепловых насосов, которые используют атмосферный воздух в качестве источника тепловой энергии. Использование холодильной машины кондиционера в качестве теплового насоса в условиях климата Армении является одним из эффективных способов экономии энергоресурсов. Даны рекомендации по оценке эффективности тепловых насосов и определению сроков их окупаемости.

**Ключевые слова:** теплонасосная установка, коэффициент преобразования, воздушный тепловой насос, срок окупаемости.

**Введение.** Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой, по-видимому, будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Истощение запасов традиционного ископаемого топлива и экологические последствия его сжигания обусловили в последние десятилетия значительное повышение интереса к этим технологиям практически во всех развитых странах мира. Преимущества технологий теплоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии, по сравнению с их традиционными аналогами, связаны не только со значительными сокращениями затрат энергии в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений, но и с их экологическими характеристиками, а также с новыми возможностями в области повышения степени автономности систем энергообеспечения.

Опыт эксплуатации миллионов установок в мире доказал, что на сегодняшний день к наиболее эффективным энергосберегающим технологиям

производства теплоты следует отнести теплонасосные технологии, использующие нетрадиционные ВИЭ и позволяющие [1-3]:

- сэкономить дорогостоящее и дефицитное органическое топливо;
- снизить загрязнение окружающей среды;
- удовлетворить нужды потребителей в технологическом тепле;
- улучшить социальные условия быта и работы.

**Принцип действия и основные показатели тепловой экономичности парокompрессионного теплового насоса.** Упрощенная схема теплового насоса (ТН) представлена на рис. 1 [4,5].

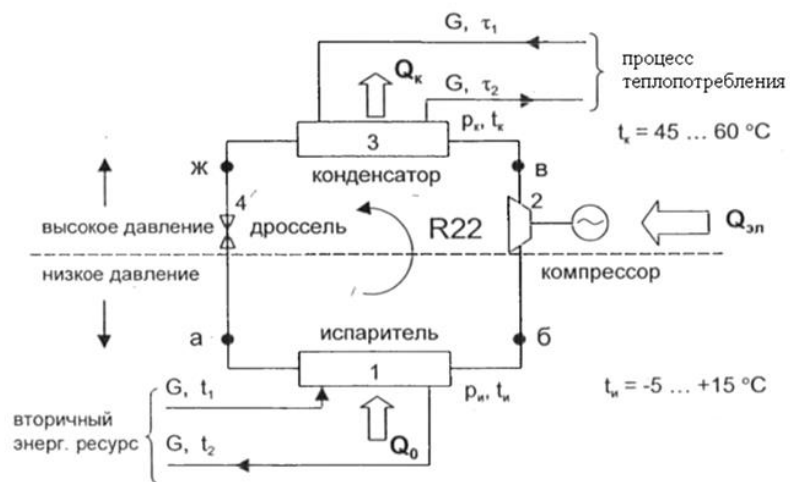


Рис. 1. Цикл парокompрессионного теплового насоса

В испарителе 1 жидкий хладагент испаряется при низком давлении  $P_n$  и температуре  $t_n$  за счет теплоты  $Q_0$ , поступающей на охлаждение в испаритель 1 природного теплового потока или вторичного энергетического ресурса (ВЭР) с температурой  $t_1$ . Компрессор 2 всасывает и сжимает пары хладагента. При этом его температура, согласно законам термодинамики, повышается. В конденсаторе 3 пары конденсируются при давлении  $P_k$  и температуре  $t_k$  с отдачей теплоты  $Q_k$  теплоносителю сети теплоснабжения. Далее сжиженный хладагент проходит через дроссельный клапан в испаритель 1, и цикл повторяется. Ход процесса работы ТН показан на термодинамической диаграмме  $h$ - $l_{gr}$  (рис. 2), в которой:

- “а-б” – испарение хладагента при постоянных температуре парообразования и давлении испарения;
- “б-в” – сжатие испаренного газа компрессором до состояния сухого насыщенного пара;
- “в-г” – охлаждение перегретого хладагента до точки насыщения пара;

- “г-е” – конденсация пара при постоянной температуре;
- “е-ж” – охлаждение жидкого хладагента со снижением температуры при давлении конденсации;
- “ж-а” – дросселирование с падением давления и снижением температуры с частичным испарением хладагента.

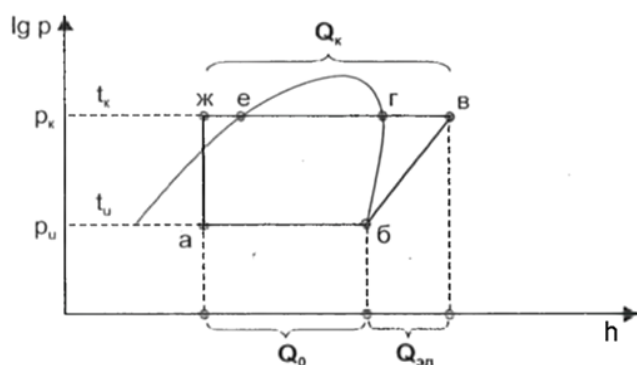


Рис. 2. Цикл парокомпрессионного ТН на термодинамической диаграмме  $h$ - $lgp$

Соотношения между параметрами энергетических потоков, обозначенные на рис. 1, имеют вид

$$Q_K = Q_0 + Q_{эл} ; COP = Q_K / Q_{эл} . \quad (1)$$

Из приведенных соотношений следует, что количество тепловой энергии, произведенной ТН  $Q_K$ , равно сумме теплоты, забираемой в испарителе от источника природной теплоты или ВЭР  $Q_0$ , и теплового эквивалента электрической энергии, расходуемой на привод компрессора  $Q_{эл}$ . Соотношение  $Q_K / Q_{эл}$  - это коэффициент трансформации низкопотенциальной теплоты или коэффициент преобразования теплового насоса COP (Coefficient of Performance), который характеризует энергетическую эффективность его работы.

Значение COP зависит от температуры теплоносителя на входе в испаритель и выходе из конденсатора. Эти зависимости в интервале расчетных температур приведены на рис. 3, из которых следует, что чем меньше разность этих температур, тем больше значение  $COP_p$ , а следовательно, и выше энергетическая эффективность ТН.

Значение коэффициента преобразования ТН при работе за отопительный период или год при изменяющихся температурах теплоносителей (SCOP) рассчитывается по выражению

$$SCOP = \frac{\sum COP_i Q_i}{\sum Q_i} , \quad (2)$$

где  $COP_i$  – коэффициент преобразования ТН в  $i$ -й интервал работы ТН;  $Q_i$  – количество теплоты, произведенной за  $i$ -й интервал работы.

Для современных тепловых насосов  $COP$  доходит до 5,0. Но эксперты считают, что технологии ТН ещё находятся на стадии непрерывного совершенствования [6] и можно ожидать 2...3-кратного повышения их эффективности в период до 2030 года.

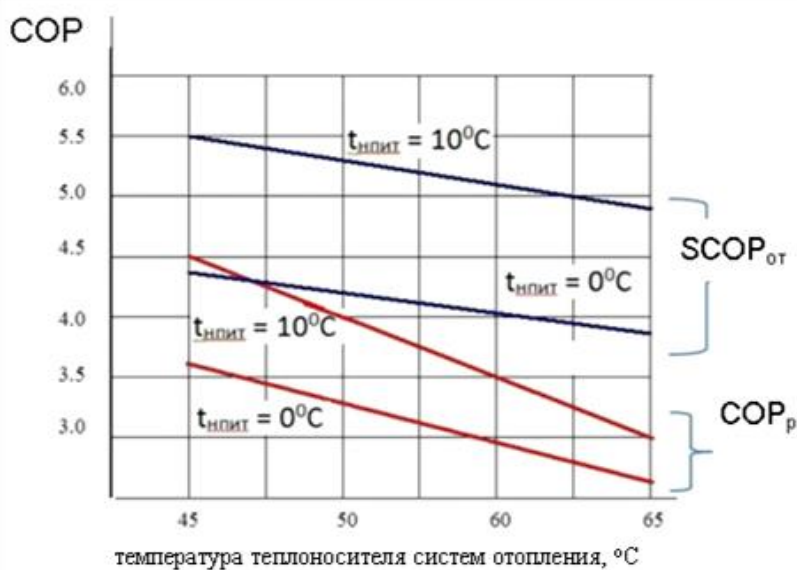


Рис. 3. Зависимости  $COP$  от значений температур теплоносителей на входе в испаритель и выходе из конденсатора

С учетом особенностей преобразования энергии в ТН в декабре 2008 года Европейским парламентом была принята Директива по применению ВИЭ (Directive on the Use of Renewable Energy Sources), которая не допускает использования ТН с коэффициентом преобразования, равным 2,875 и ниже.

Непосредственное сжигание какого-либо топлива для целей отопления, с точки зрения термодинамики, является процессом с необратимыми потерями. Это связано с тем, что тепло, выделяемое при сгорании, имеет значительно более высокую температуру, чем теплоноситель, используемый для отопления. В случае, если это тепло с температурой, выделяемой при горении ( $T_r$ ), будет передано теплоносителю с температурой, применяемой для отопления зданий ( $T_{от}$ ) без совершения работы, то возникнут вышеуказанные потери. Работа, совершенная между теплоносителем с температурой  $T_r$  и теплоносителем с температурой  $T_{от}$ , равна той, которая потребовалась бы для переноса тепла обратно с низкого на высокий температурный уровень. Такую работу и выполняет тепловой насос.

Основное отличие теплонасосных установок (ТНУ) от всех других топливопотребляющих теплоисточников состоит в том, что в них для производства полноценной тепловой энергии одновременно используются два преобразованных энергоносителя: сбросное низкопотенциальное тепло нагретых сред производственного или природного происхождения и электроэнергия.

Если использование сбросного низкопотенциального тепла рассматривается как положительное свойство ТНУ с точки зрения энергетических, экономических и экологических преимуществ, то использование электроэнергии включает в себе определенный негативный момент, прежде всего, из-за наличия двойной трансформации задействованного потока электроэнергии (преобразование теплоты в электроэнергию на тепловых электростанциях (ТЭС) и обратное ее преобразование в теплоту в ТН), которая сопровождается повышением расходов денежных средств и первичных энергоресурсов.

Следует отметить, что такая позиция энергетической отрасли сложилась в условиях, когда электроэнергия использовалась для производства теплоты непосредственно в различных электронагревателях и электродкотлах.

При применении ТН электроэнергия потребляется для трансформации теплоты со сравнительно низкой температурой в теплоту с температурой сети теплоснабжения, т.е. одновременно реализуются и тепловые, и силовые качества электроэнергии, благодаря чему достигается экономия первичных энергоресурсов. По существу, расходуемая в ТН электроэнергия заменяет высококачественное топливо - уголь, природный газ и жидкое топливо.

Основной смысл экономического вопроса применения ТН с электроприводом заключается в правильной и объективной оценке эффективности такого замещения как по расходу первичного энергоресурса, так и по уровню затрат.

**Масштабы и перспективы внедрения ТНУ.** Внедрение ТН является не очередной модернизацией традиционных теплогенераторов, а принципиально новой, прогрессивной технологией генерации тепла.

В настоящее время в большинстве развитых стран речь идет уже не о локальном, а о промышленном применении ТН в качестве источников теплоснабжения [7]. Так, масштабы внедрения ТН в мире составляют:

- в Швеции 50% отопления осуществляется за счет использования ТН;
- в Германии была предусмотрена субсидия государства на установку ТН за каждый *кВт* установленной мощности;
- в Японии ежегодно производится около 3 млн ТН;
- в США ежегодно производится около 1 млн ТН;
- в Стокгольме 12% отопления обеспечивается ТН общей мощностью 320 *МВт*.

Интенсивное внедрение ТН, прежде всего, в системах отопления и кондиционирования вызвало не только увеличение их сбыта, но и значительный прогресс в создании высокоэффективных ТНУ. Достаточно сказать, что по расчетам швейцарской компании *Fordergemeinschaft Wärmepumpen (FWS)*, использование ТН в стране привело к экономии ежегодно ~140 млн л легкого мазута, что составляет примерно 2% общего потребления этого топлива в Швейцарии. Согласно данным, объявленным на совещании по проекту Европейского сообщества *SHERPHA (Sustainable Heat and Energy for Heat Pumps Applications)*, в области внедрения ТН имеются следующие европейские достижения:

- 4,5 млн ТН установлено в Европе;
- ежегодный европейский рост сбыта ТН в среднем составляет 10...15%;
- установлено порядка 3 млн обратимых ТН (нагревание/охлаждение);
- Греция, Испания и Италия обладают более чем 3 млн обратимых ТН и т.д.

Состояние рынка и перспективы его развития в Азии и Тихоокеанском регионе представлены в [8], где показано, что основной тенденцией развития ТН является совершенствование и наращивание выпуска обратимых ТН, работающих как для охлаждения, так и для отопления помещений.

Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК), к 2020г. 75% теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью ТН. Разработка и производство ТН в мире достигли уже такого уровня, когда становится возможной реализация теплонасосного теплоснабжения в крупных городах с повышенной плотностью застройки.

Рынок ТН заметно вырос в последние несколько лет с особым подъемом в 2008г. [9,10], что вызвано несколькими факторами: ужесточением требований по энергоэффективности оборудования и зданий; введением правительствами ряда стран льготных законодательных актов и программ, поощряющих внедрение энергосберегающего, экологически прогрессивного оборудования и использование ВИЭ; флуктуациями цен на нефть; перебоями в поставках природного газа.

Европейский Союз утвердил в 2008г. воздушные и геотермальные ТН как системы [8], использующие регенерируемую энергию в совокупности с солнечными батареями и ветроустановками. Это побудило многие страны приступить к разработке программ и законодательных документов, стимулирующих широкое распространение этого типа оборудования.

Директива ЕС по возобновляемой энергетике (RES 2020), обязывающая страны ЕС снизить энергопотребление на 20% к 2020 г. за счет возобновляемых источников, стимулирующие дотационные и льготные программы Франции, Германии, Великобритании, государственный план Японии “*J Recovery Plan*” по внедрению технологий возобновляемой энергетики, учреждение правительством

США Департамента по Энергетике (DOE), призванного ускорить ввод новых стандартов по энергоэффективности, – вот только часть глобальных мероприятий, направленных на продвижение теплонасосного оборудования.

**Сравнительный анализ различных типов ТН.** Существуют две категории тепловых насосов - геотермальные (типа “вода-вода” и “грунт-вода”) и аэротермальные (типа “воздух-воздух” и “воздух-вода”). По существующим до последних лет экономическим оценкам, считалось, что в странах со сравнительно холодным климатом, к которому относится и Армения, целесообразно рассматривать вопрос о применении ТН, только использующих грунт как источник низкопотенциальной теплоты. Такие насосы хорошо себя зарекомендовали для круглогодичного использования. В воздушных ТН (Air-source heat pump-ASHP) использование атмосферного воздуха очень заманчиво в странах с мягким климатом, однако их применение в системах отопления Армении до недавнего времени было проблематичным. Со снижением температур наружного воздуха в зимнее время при требуемых возросших тепловых нагрузках эффективная работа ТН не обеспечивалась. Так, при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  теплопроизводительность ТН снижается до 40% от номинального значения, указанного в спецификации прибора и измеренного при тестовой температуре  $+7^{\circ}\text{C}$ . Именно по этой причине воздушные ТН не применялись в странах с холодными зимами как полноценный нагревательный прибор. Но появление на рынке новых низкотемпературных воздушных ТН серии ZubaDan Inverter Mitsubishi Electric [10] коренным образом изменило ситуацию и качественно повлияло на потребительские приоритеты и структуру европейского рынка. ТН этой серии прошли успешные испытания в 2008–2012 гг. в условиях сурового зимнего климата в Японии (остров Хоккайдо), Финляндии, России (Волгоградская область). Теплопроизводительность ТН поддерживалась стабильной до температуры  $-15^{\circ}\text{C}$ , а работоспособность - до  $-23^{\circ}\text{C}$  и даже в ряде случаев до  $-30^{\circ}\text{C}$ . При этом среднесезонный коэффициент преобразования энергии (SCOP) достигал величины 3,5.

Основными факторами, сыгравшими решающую роль в получении таких высоких энергетических характеристик воздушных ТН и ставшими стимулом увеличения их доли на рынке, являлось использование фреона R410A и инверторной технологии. Системы с инверторной технологией, широко применяемой в Японии, имеют на 30% более высокий COP по сравнению с неинверторными системами при полной нагрузке и на 40...50% – при частичной нагрузке. Благодаря инверторному приводу программно реализуется стабильная производительность ТН.

После появления на рынке ТН “воздух-воздух” серии ZubaDan Mitsubishi Electric все ведущие мировые производители теплонасосного оборудования

отреагировали на повышение потребительского спроса выпуском серии аналогичного оборудования. Фирма Daikin разработала центральную интеллектуальную систему VRV-III, гарантирующую COP=3,3 при температурах наружного воздуха до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Английская компания Gledhill Building Products предложила новую серию Slimline HP.

Если до 2005 года в скандинавских странах с суровым климатом предпочтение отдавалось грунтовым ТН (ГТН), то с появлением низкотемпературных сплит-систем, имеющих нижний предел эксплуатации на обогрев до  $-20\dots-25^{\circ}\text{C}$ , отмечается буквально взрывной скачок спроса на ТН с воздухом в качестве низкопотенциального источника энергии. Стоит отметить, что такие насосы оптимально подходят для низкотемпературных систем отопления и нагрева воды. При этом капитальные затраты на установку ГТН из-за наличия дополнительного подземного контура превышают капитальные затраты на установку воздушных ТН в несколько раз, а эффективность первых превышает эффективность вторых максимум на 10...15%. Поэтому выбор в пользу ГТН - самого дорогого по капитальным затратам из возможных вариантов без соответствующего выигрыша при последующей эксплуатации, возможен только в случае, если этот вариант воспринимается покупателем как единственный возможный.

Первый ТН “воздух-вода” (ATW), поставленный на европейский рынок в 2004 г. японской компанией Sanyo, был разработан для природного хладагента  $\text{CO}_2$ . Преимуществами использования  $\text{CO}_2$  являются возможность обеспечения более высокой температуры нагрева воды ( $65\dots90^{\circ}\text{C}$ ) и высокая эффективность установки при низких наружных температурах (ниже  $-6^{\circ}\text{C}$ ). При высоких наружных температурах и малой разнице давлений в холодильном контуре ТН “воздух-вода” более эффективным может оказаться использование хладагента R-410A.

Одной из наиболее важных характеристик ТН является температура горячей воды на выходе. В зависимости от ее значения ТН применительно к воздушному отоплению подразделяются на низкотемпературные ( $50\dots59^{\circ}\text{C}$ ), среднетемпературные ( $60\dots69^{\circ}\text{C}$ ) и высокотемпературные (выше  $70^{\circ}\text{C}$ ). В установках, работающих на хладагенте R-410A, температура выходящей горячей воды может быть  $50^{\circ}\text{C}$  или несколько выше (в зависимости от параметров наружного воздуха). Такая температура теплоносителя пригодна для систем напольного и панельного отопления, но является недостаточной при производстве бытовой горячей воды. Новейший воздушный тепловой насос “Q-ton”, разработанный инженерами Mitsubishi Heavy Industries Ltd, способен подготовить горячую воду с температурой от 60 до  $90^{\circ}\text{C}$  за счёт уникальных свойств хладагента R744 ( $\text{CO}_2$ ), используемого в парокомпрессионном цикле.



Рынок ТН АТW имеет огромный потенциал и неуклонно растет. Если количества теплоты, получаемой от контура ТН, всё же недостаточно для отопления помещения в сильные морозы, то практикуется бивалентная схема отопления, когда в работу включается второй генератор тепла, чаще всего это небольшой электронагреватель или газовый котёл.

Основным показателем целесообразности применения ТН является их конкурентоспособность с традиционными теплогенераторами, зависящая от функционального назначения и большого числа факторов термодинамического, конструктивного, экономического характера и фактора экологического воздействия на окружающую среду.

Преимущества ТН:

1. Высокая экологичность, связанная с возможностью использования альтернативного источника энергии для отопления. Загрязнение воздушной среды мегаполисов продуктами жизнедеятельности человека носит угрожающий характер. Размещение крупных теплогенераторов (тепловая электроцентраль - ТЭЦ) за пределами города ведет к потерям тепла (до половины тепла в теплосетях теряется при передаче). Потери электроэнергии при передаче значительно меньше, а отсутствие вредных выбросов в месте расположения ТН может обеспечить благоприятные экологические условия в крупных городах. В курортных местностях вообще нет альтернативы таким системам отопления, не выбрасывающим в атмосферу вредных веществ.

2. В ряде случаев капитальные затраты на отопление от ТН меньше, чем на другие теплогенераторы. Это обусловлено тем, что при новом строительстве, когда предлагаются высотные дома, трудно найти на площадке достаточное количество тепловых ресурсов для обеспечения новостройки. А проложить более мощный электрический кабель проще, чем газовую трубу, или реконструировать теплотрассу целого района.

3. Компактность. Воздушные ТН не требуют значительного объема строительных работ. На кровле здания в большинстве случаев достаточно места для их размещения. Отсутствие необходимости использования больших земельных участков для грунтовых зондов дает значительное преимущество воздушным ТН перед ГТН.

4. Низкие эксплуатационные расходы. Конечно, плата за энергоресурсы в целом зависит от страны размещения, но в европейских странах выгоднее отапливать тепловыми насосами, чем любым углеводородным топливом. В отдаленном будущем такая же картина будет в большинстве стран.

5. Возможность полной автоматизации, легкое и простое управление отопительной установкой, минимум сервисных работ, к тому же по квалификации они соответствуют чистке фильтра пылесоса. Все тепловые насосы MITSUBISHI

ELECTRIC сконструированы так, что они идеально интегрируются в “умный дом” или другую систему диспетчеризации.

6. Отсутствие в конструкции ТН вредных и взрывоопасных веществ, что исключает возможность террористических актов. Химические компоненты оборудования начинают выделять вредные для человека вещества при температурах выше 400°C, когда живых людей в помещениях с таким оборудованием быть не может.

7. Дружественность к кредитным ресурсам. Закупка и монтаж ТН могут производиться на этапе отделки здания (при условии, что это предусмотрено проектом здания), когда до пуска объекта осталось немного времени. Возможен вариант комплектации оборудования и пуска в эксплуатацию участками, что особенно важно при реконструкции зданий.

Использование ТН для отопления считается перспективным по двум соображениям:

- все развитые страны переходят на производство электрической энергии на солнечных, ветровых или гидроэлектростанциях, снижая использование углеводородного топлива;
- строительная индустрия предложила технологии производства зданий с использованием чрезвычайно малого количества энергии на отопление.

Одним из главных достоинств внедрения теплонососных технологий является их конкурентоспособность по сравнению с традиционно применяемыми теплогенераторами, сжигающими органическое топливо. Конкурентоспособность ТНУ зависит от их функционального назначения, экологического воздействия на окружающую среду и от целого ряда факторов термодинамического, конструктивного, экономического характера. Для экспресс-оценки можно применить анализ на базе критерия использованной первичной энергии.

Целесообразность применения ТН вместо обычного водяного отопления можно оценить по следующим ориентировочным соотношениям.

Тепло, подводимое ТН, равно

$$Q = \text{COP} \cdot N_{\text{э}} = B_1 \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \eta_{\text{ЭС}} \cdot \eta_{\text{лент}} \cdot \eta_{\text{э}}, \text{ кВт}; \quad (3)$$

это же тепло в системе водяного отопления:

$$Q = B_2 \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{тр}}, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{э}}$  - мощность, потребляемая компрессором ТН, кВт;  $B_1, B_2$  - расход топлива на выработку электроэнергии для ТН и расход топлива в котле для отопления, кг/с;  $Q_{\text{H}}^{\text{P}}$  - низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг;  $\eta_{\text{ЭС}}$  - КПД преобразования первичной энергии природного топлива в электрическую энергию на электростанции;  $\eta_{\text{лент}}$  - КПД транспорта электроэнергии;  $\eta_{\text{э}}$  - внутрен-

ний КПД преобразования электрической энергии в тепловую;  $\eta_K$  - КПД котла;  $\eta_{тр}$  - КПД транспортировки тепла от котла к отопительной системе.

Соотношение расхода топлива составляет

$$\frac{B_1}{B_2} = \text{COP} \frac{\eta_{ЭС} \cdot \eta_{лпн} \cdot \eta_{Э}}{\eta_K \cdot \eta_{тр}} . \quad (5)$$

В расчетах можно принять:  $\eta_K = 0,87$ ;  $\eta_{тр} = 0,95$ ;  $\eta_{ЭС} = 0,38$ ;  $\eta_{лпн} = 0,95$ ;  $\eta_{Э} = 0,995$ .

На рис. 4 представлены расчетные данные зависимости  $B_1/B_2 = f(\eta_{ЭС}, \eta_{тр})$ .

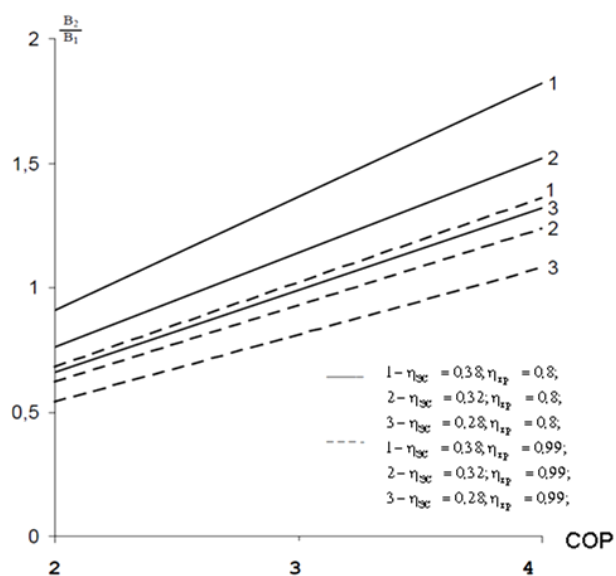


Рис. 4. Зависимость отношения потребляемого топлива  $B_2$  при использовании котла для отопления к потребляемому топливу  $B_1$  при использовании ТН от коэффициента преобразования COP:  $\eta_{ЭС}$  – эффективный КПД электрогенератора, вырабатывающего ток для ТН;  $\eta_{тр}$  – КПД транспортировки тепла при использовании котла

Из графиков видно, что для централизованного отопления (потери тепла при транспортировке 20%,  $\eta_{тр}=0,8$ ) преимущества ТН сказываются в диапазоне  $\text{COP} > 2,018 \dots 3,05$  в зависимости от значения эффективного КПД  $\eta_{ЭС}$ . При этом при  $\eta_{ЭС}=0,38$  уменьшение расхода топлива при использовании ТНУ достигает 1,52 раза. В случае местного теплоснабжения (потери тепла при транспортировке 1%,  $\eta_{тр}=0,99$ ), при прочих равных установках, этот диапазон составляет 2,95...3,67. Исходя из (5), определяем минимально допустимый коэффициент преобразования ТН. В этом случае величина коэффициента преобразования ТН  $\text{COP}_{\min}$  не должна быть меньше значения, обеспечивающего равенство расходов

первичной энергии (топлива) на производство тепловой энергии от комбинированной теплонасосной станции и традиционного источника:

$$\text{COP}_{\min} = \frac{\eta_{\text{к}} \eta_{\text{тр}}}{\eta_{\text{ЭС}} \eta_{\text{деп}} \eta_{\text{Э}}} \quad (6)$$

Если в качестве замыкающей станции рассматривать блок парогазовой установки (ПГУ), значение минимально допустимого коэффициента преобразования теплового насоса  $\text{COP}_{\min}$  составит порядка 1,7.

Таким образом, меры, направленные на удешевление производства электрической энергии, определяют условия экономичности внедрения парокомпрессионных ТНУ.

При предпроектной оценке системная эффективность применения ТН в сравнении с альтернативным теплогенерирующим оборудованием рассчитывается по величине ожидаемой экономии первичного топлива ( $\Delta B$ , %) с учетом потерь энергии во всех звеньях энергетической цепи, определяемой по выражению

$$\Delta B = \left[ 1 - \left( \frac{\eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{\eta_{\text{ЭС}} \cdot \eta_{\text{деп}} \cdot \eta_{\text{Э}} \cdot \text{SCOP}} \right) \right] \cdot 100. \quad (7)$$

Эта зависимость в виде  $\Delta B = f(\text{SCOP}, \eta_{\text{кр}})$  приведена на рис. 5. Из графика видно, как влияет значение результирующего параметра работы ТН SCOP на энергетическую эффективность их применения (см. также рис. 3).

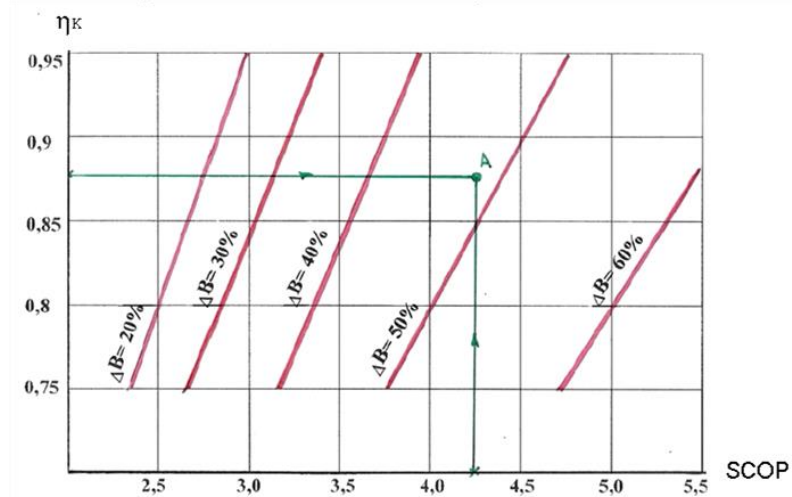


Рис. 5. Зависимость  $\Delta B$  от значений SCOP

При работе ТН с SCOP=4,2, как альтернатива замещаемому теплоисточнику с  $\eta_K = 0,87$ , обеспечивается экономия около 48% первичного топлива или около 65кг у.т. на 1Гкал произведенной тепловой энергии.

Коэффициент преобразования ТН является важнейшим критерием его энергетической эффективности, но для владельца здания важно знать, как эта эффективность отразится на его финансовых затратах. И здесь уже главную роль будут играть тарифы: каким бы эффективным ни был тепловой насос, степень его привлекательности для заказчика зависит не столько от степени его технического совершенства или схемы использования, сколько от тарифной политики государства.

Затраты на электрическую энергию, необходимую для работы ТН, будут меньше, чем на покупку природного газа или тепловой энергии, которые могли бы применяться для традиционных отопительных систем, если соблюдается неравенство

$$\frac{T_{\text{Э}} \cdot \eta_K}{\text{COP} \cdot T_{\text{Г}}} < 1, \tag{8}$$

где  $T_{\text{Э}}$  - тариф на электрическую энергию;  $T_{\text{Г}}$  - тариф на один из традиционных энергоносителей (рис. 6).

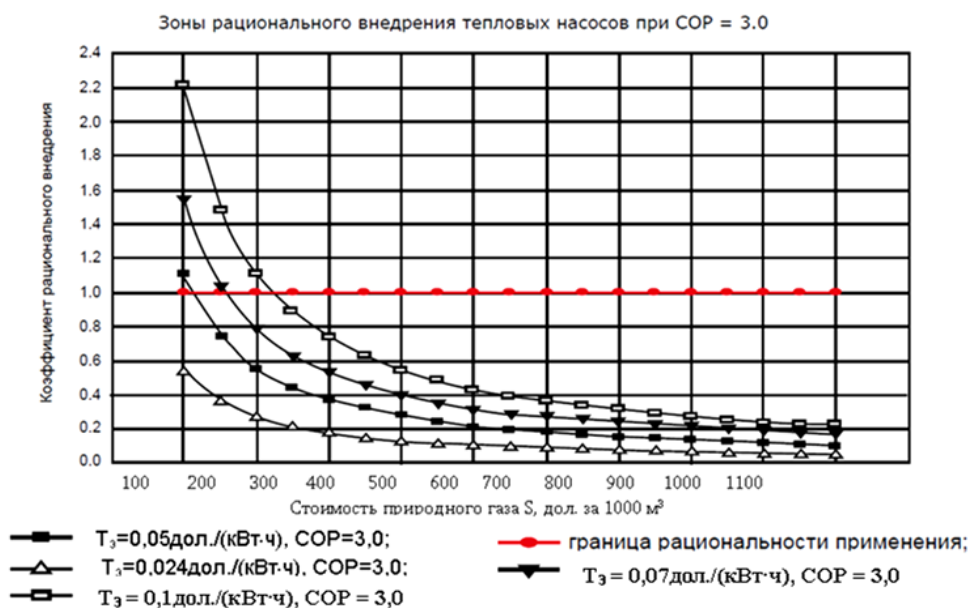


Рис. 6. Оценка рациональности внедрения ТН

Чтобы использовать эту формулу, нужно, чтобы тарифы  $T_{\text{Э}}$  и  $T_{\text{Г}}$  были выражены в одинаковых единицах измерения. Обычно тариф на газ выражают в

драм/м<sup>3</sup>, а тариф на тепловую энергию - драм/кВт·ч. Для возможности сопоставления тарифов удобно пользоваться следующими зависимостями:

$$1 \text{ драм/м}^3 = 0,106 \text{ драм/кВт}\cdot\text{ч},$$

$$100 \text{ драм/Гкал} = 0,86 \text{ драм/кВт}\cdot\text{ч}.$$

Выполнение условия (8) в большой степени определяется соотношением тарифов на электроэнергию и топливо ( $T_{\text{э}}/T_{\text{г}}$ ). Расчеты показывают что при  $T_{\text{э}}/T_{\text{г}} < 2,5$  срок окупаемости ТН техники составляет 2...3 года. В Швеции - “стране тепловых насосов” - соотношение  $T_{\text{э}}/T_{\text{г}}$  составляет 1,3, в Германии – 2,2. В странах бывшего СНГ это соотношение было на уровне 10, что являлось одной из причин невыгодности широкого применения электроприводных ТН, несмотря на значительную экономию первичной энергии. Сейчас в Армении это соотношение составляет 2,2. Следует ожидать, что переход Армении на мировые цены по расчету на энергоресурсы будет благоприятствовать действительному внедрению энергосберегающих технологий в целом и теплонасосных технологий в производстве теплоты в частности.

На предварительных стадиях рассмотрения экономической эффективности может быть применен метод экспресс-оценки. На рис. 7 приведены зависимости, позволяющие определить, при каких значениях тарифа на электрическую энергию, потребляемую тепловыми насосами с коэффициентом преобразования COP, и стоимости 1 тонны условного топлива (*m.u.m.*), расходуемого на производство тепловой энергии альтернативными теплоисточниками с КПД  $\eta_{\text{к}}$ , экономично применение ТН.

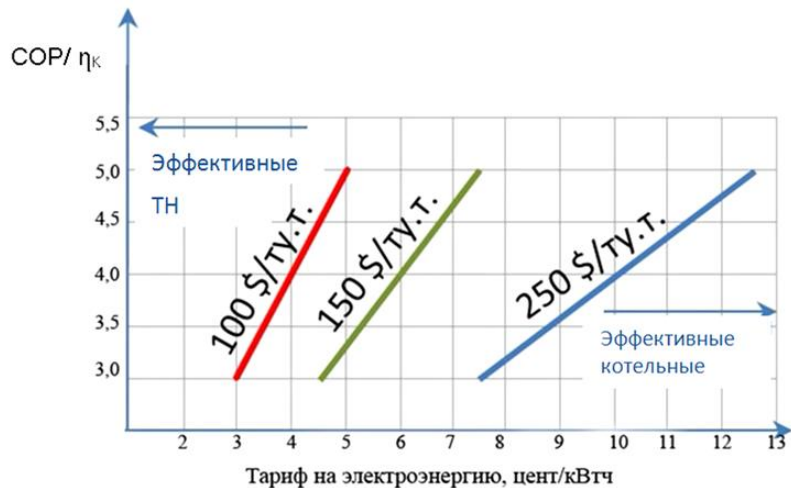


Рис. 7. Влияние тарифа на электрическую энергию и стоимости топлива на эффективность применения ТН

В каждом конкретном проекте только на основании технико-экономических расчетов определяется целесообразность внедрения ТНУ конкретного типа в качестве источника теплоты для конкретного потребителя с конкретным видом низкопотенциального теплоносителя [11,12].

**Возможности применения ТН в Армении.** На сегодняшний день в Армении при работе систем отопления и кондиционирования зданий происходит некоторое дублирование их функций, т.к. система кондиционирования осуществляет охлаждение помещений в летний период и нагрев помещений в переходный период (режим ТН), а система отопления также производит нагрев помещений в холодный период. С точки зрения капитальных затрат, экономичнее использовать одну систему вместо двух. В южных странах (Испания, Италия и т.д.) с небольшими отрицательными температурными колебаниями система кондиционирования с режимом ТН обеспечивает круглогодичное поддержание температуры помещений. Однако конструктивные особенности оборудования, а именно - небольшой предел работы при отрицательных температурах, не позволяли до настоящего времени использовать ту же схему в зданиях Армении. Новая VRF-система кондиционирования КХ4 от MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES обладает расширенным температурным диапазоном работы и позволяет использовать режим обогрева до наружной температуры  $-20^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, климатические условия Армении уже позволяют использовать систему кондиционирования КХ4 не только для охлаждения помещений в теплый период, но и для их обогрева в холодный период.

Рассмотрим, для каких городов Армении возможно использовать системы воздушного ТН (какой является VRF-система кондиционирования КХ4) в качестве основного и единственного источника обогрева помещений. Расчетные температуры наружного воздуха по параметру <Б> для зимнего периода приведены в табл. 1.

*Таблица 1  
Расчетные значения температуры наружного воздуха  
в холодный период*

Город	Параметры Б, $^{\circ}\text{C}$	Город	Параметры Б, $^{\circ}\text{C}$
Мегри	-10	Армавир	-19
Иджеван	-10	Ереван	-19
Дилижан	-10	Севан	-20
Капан	-11	Раздан	-21
Ванадзор	-15	Гюмри	-23

Согласно этим данным, фактически для всех городов Армении возможно использование системы КХ4 в качестве основной системы отопления зданий.

С целью определения экономичности использования режима ТН для отопления зданий необходимо рассмотреть характеристики работы ТН. Согласно [8], на рис. 8 приведен график зависимости коэффициентов преобразования ТН от температуры наружного воздуха.

Номинальная температура наружного воздуха, при которой приведены характеристики любых систем кондиционирования в режиме обогрева, равна 7°C по сухому термометру и 6°C - по влажному. При понижении температуры наружного воздуха эффективность ТН уменьшается и при температуре -20°C для наружного блока FDCA450HKHE4 системы КХ4 составляет 2,5. Таким образом, при сравнении систем прямого электроотопления (электродкотлы, масляные радиаторы и т.д.) выявлено, что при использовании воздушных ТН затрачивается, даже при температуре наружного воздуха -20°C, в 2,5 раза меньше электроэнергии, чем в случае электрообогревательных приборов. При сравнении с газовым отоплением или отоплением от тепловой сети становятся критическими стоимости получаемой энергии и распределения затрат на установку дополнительной системы отопления (приведенные затраты).



Рис. 8. Эффективность ТН модели FDCA450HKHE4 MHI

Для оценки затрат энергии на работу ТН в течение всего отопительного периода необходимо использовать не расчетные (с минимальной наружной температурой), а усредненные значения эффективности, которая, в свою очередь, зависит от хода изменения температур отопительного периода (табл. 2). В табл. 2 для каждого диапазона температур, согласно рис. 8, приведены также значения COP.



Таблица 2

Число дней со среднесуточной температурой воздуха в различных пределах

Температура воздуха, °С	Метри	Иджеван	Дилижан	Капан	Ванадзор	Армавир	Ереван	Севан	Раздан	Гюмри	СОР
-29,9...-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	-
-24,9...-20	-	-	-	-	-	0,60	0,04	0,32	0,60	1,80	-
-19,9...-15	-	-	-	0,08	0,44	2,40	1,20	4,54	5,20	8,44	2,75
-14,9...-10	0,20	0,44	1,64	0,70	4,70	5,74	5,70	25,48	18,84	20,70	2,95
-9,9...-5	4,34	6,40	15,90	5,88	23,74	14,40	12,70	47,40	41,10	36,88	3,15
-4,9...0,0	18,70	37,48	49,70	30,54	53,10	43,54	41,94	58,10	56,64	48,00	3,3
0,1...5	53,50	64,50	70,38	65,28	63,08	49,00	48,80	48,94	48,54	44,58	3,6
5,1...8	39,26	42,18	42,38	37,52	34,94	28,32	29,62	28,22	31,08	27,48	4,25
Итого	116,00	151,00	180,00	140,00	180,00	144,00	140,00	213,00	202,00	188,00	-
8,1...10	17,04	17,84	21,74	20,44	24,94	16,32	18,74	26,92	24,12	23,96	-
10,1...15	53,50	66,10	77,34	57,56	75,72	47,74	48,28	74,84	68,58	61,24	-
15,1...20	58,58	72,90	72,98	64,04	72,14	51,90	53,58	49,20	63,80	66,60	-
20,1...25	67,74	54,78	13,94	70,92	13,20	62,90	66,10	2,04	7,50	25,90	-
Итого	196,86	211,62	186,00	212,96	186,00	178,86	186,70	153,00	164,00	177,70	-
25,1...30	52,34	3,38	-	13,00	-	41,54	37,90	-	-	0,30	-
30,1...35	0,80	-	-	0,04	-	1,60	1,40	-	-	-	-
Итого	53,14	3,38	0,00	13,04	0,00	43,14	39,30	0,00	0,00	0,30	-
Всего	366,00	366,00	366,00	366,00	366,00	366,00	366,00	366,00	366,00	366,00	-

Определение среднего значения SCOP в течение отопительного сезона выполняется по формуле

$$SCOP = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K COP(T_k) N_k, \quad (9)$$

где  $T_k$  – значение температуры наружного воздуха в  $k$ -ом интервале температур, °C;  $N_k$  – количество дней оптимального периода со значением температуры  $T_k$ ;  $N$  – общее количество дней отопительного периода;  $K$  – количество температурных интервалов.

Расчетные значения SCOP для вышеприведенных городов приведены в табл. 3.

Таблица 3

<i>Расчетные значение SCOP</i>			
Город	SCOP	Город	SCOP
Мегри	3,77	Армавир	3,55
Иджеван	3,69	Ереван	3,57
Дилижан	3,62	Севан	3,26
Капан	3,7	Раздан	3,44
Ванадзор	3,55	Гюмри	3,42

Таким образом, для рассматриваемых городов значение SCOP меняется от 3,26 (г. Севан) до 3,77 (г. Мегри), т.е. даже минимальное значение SCOP на 27,8% выше минимально допустимого значения SCOP. Исходя из этого, использование данного типа оборудования является еще более предпочтительным для теплоснабжения в условиях Армении.

На рис. 9 представлено распределение функции воздушного ТН в течение года для г. Гюмри.

Согласно данным, приведенным на рис. 9, собственно охлаждения в Гюмри требуется, как правило, всего лишь 5% (442 часа) в течение года (общей продолжительностью 8760 часов), а отопления – 51,5%. Причем для 51% (4466 часов) отопления достаточно одного только воздушного ТН, а для 0,5% (46 часов) потребуются еще и дополнительный источник тепла. В течение 3760 часов (43,5% года) допустим нейтральный режим. Согласно этим данным, для г. Гюмри потребность в отоплении превосходит потребность в кондиционировании минимум на порядок.

Как видно из табл. 2, для городов Мегри, Иджеван, Дилижан, Капан, Ванадзор рассматриваемый тепловой насос работоспособен во всем диапазоне любых реальных температур. В городах с более холодным климатом (Армавир, Ереван, Севан, Раздан, Гюмри) теплоснабжение объекта при опускании температуры, ниже допустимой для ТН границы (-20°C), должно обеспечиваться резерв-

ным источником тепла-доводчика теплоты, например, электрическим или газовым котлом, мощность которого выбирается из условия покрытия максимальной тепловой нагрузки на объекте. Анализируя приведенные в табл. 2 данные, следует отметить, что продолжительность периодов стояния тех или иных температур в каждом из рассматриваемых городов отражает суммарную длительность всех существующих эпизодов. В отдельности каждый из них короче, поскольку температура в помещении в конце эпизода остывания зависит от начальной, принятой в качестве комфортности. Максимум, чем грозит подобный эпизод, - это кратковременный дискомфорт.

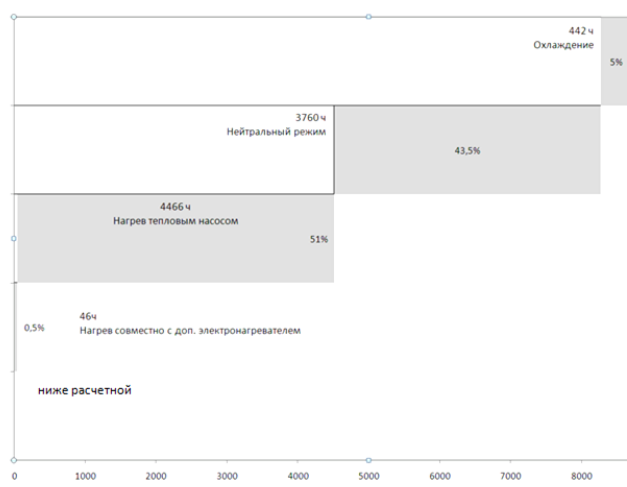


Рис. 9. Распределение функций воздушного ТН в течение года для г. Гюмри

Для городов Армении вполне возможно и оправдано применение новой системы кондиционирования КХ4 от MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES не только в качестве системы охлаждения воздуха в теплый период, но и единственной системы отопления в холодный период.

Из табл. 2 можем определить промежуток времени, в течение которого система кондиционирования КХ4 не сможет работать в качестве системы отопления, например, для здания в Гюмри. Продолжительность времени с температурой ниже критической ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) составляет 46 часов, или около двух суток. Весь отопительный период для Гюмри равен 188 суток, т.е. система кондиционирования КХ4 более 99% времени в течение отопительного периода может работать в климатических условиях Гюмри в качестве основной системы отопления.

Для того чтобы определить, хватит ли мощности кондиционера, подобранного для условий охлаждения помещений в теплый период или обогрева тех же помещений в холодный период (учитывая естественное снижение производительности ТН при низких температурах), рассмотрим характеристики кондиционера (рис. 10).

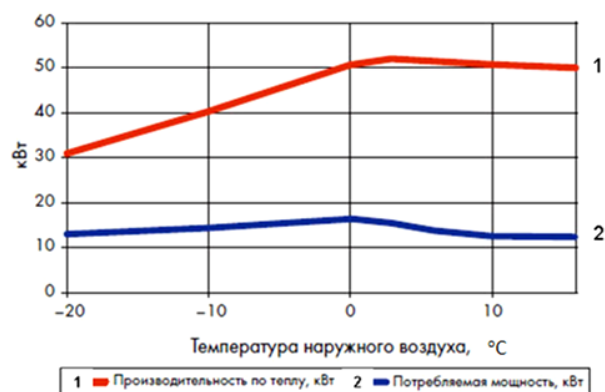


Рис. 10. Потребляемая мощность и производительность в режиме обогрева модели FDCA450HKXE4 MHI

На рис. 10 показаны изменения потребляемой мощности и производительности по теплу конкретной модели наружного блока системы КХ4. Из графика видно, что производительность наружного блока в диапазоне от 0 до 16°C практически не меняется, а в диапазоне от 0 до -20°C снижается фактически на 40%. Чтобы понять, достаточно ли этого для обогрева помещений здания, необходимо обратиться к таким величинам, как удельная тепловая нагрузка здания в теплый период и удельные теплопотери здания в холодный период. Для теплого периода теплоизбытки помещений зависят от многих факторов: величины солнечной радиации, количества людей в помещениях, вида и количества оборудования, величины воздухообмена и т.д. Для 90% помещений удельные теплоизбытки в теплый период находятся в пределах от 100 до 200 Вт/м<sup>2</sup>.

Рассмотрим холодный период и величину теплопотерь помещений, по которым собственно и подбирается мощность системы отопления. Удельные теплопотери помещений нормируются и для большинства городов страны составляют от 40 до 80 Вт/м<sup>2</sup> [14]. Необходимо для рассматриваемого блока FDCA450HKXE4 MHI рассчитать, хватит ли его мощности для обогрева кондиционируемых помещений. Мощность блока FDCA450HKXE4 составляет 45 кВт по холоду. Если удельная тепловая нагрузка составляет 120 Вт/м<sup>2</sup>, значит мощ-

ности этого блока хватит для охлаждения  $375 \text{ м}^2$  обслуживаемых помещений. В холодный период для обогрева этой площади требуется  $375 \times 60 = 22500 \text{ Вт}$ , т.е.  $22,5 \text{ кВт}$  тепловой энергии. Согласно рис. 10, при расчетной наружной температуре  $-20^\circ\text{C}$  производительность наружного блока составит  $30 \text{ кВт}$ , что на 30% превышает требуемую мощность для системы отопления.

Одним из основных критериев оценки целесообразности инвестиций в установку теплового насоса является простой срок окупаемости капиталовложений. Для этого необходимо определить величину экономии эксплуатационных затрат [15].

Экономия эксплуатационных расходов на потребляемую энергоносителем электроэнергию ( $\mathcal{E}$ , *драм/год*) при замещении нагрузки котельной на ТН может быть вычислена по формуле

$$\mathcal{E} = Q_{\text{год}} \cdot \left( \frac{T_{\text{г}}}{\eta} - \frac{T_{\text{э}}}{\text{SCOP}} \right), \quad (10)$$

где  $Q_{\text{год}}$  – количество *кВт·час* тепловой энергии, необходимой для отопления здания в течение одного отопительного сезона.

Величину  $Q_{\text{год}}$  можно определить по формуле

$$Q_{\text{год}} = q_0 \cdot V \cdot n \cdot (T_{\text{в}} - T_{\text{ср}}), \quad (11)$$

где  $q_0$  - удельная тепловая характеристика здания, *кВт·ч/(м<sup>3</sup>·сутки·°C)*, т.е. величина энергии для отопления  $1 \text{ м}^3$  здания в течение суток при перепаде температур между наружным и внутренним воздухом  $1^\circ\text{C}$ ; в данном случае нам удобнее измерять эту величину в *кВт·ч*. Этот показатель может быть различным и отражает величину энергоэффективности ограждающих конструкций здания;  $V$  - строительный объем здания, *м<sup>3</sup>*;  $n$  - продолжительность отопительного периода, *сут.*;  $T_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха, *°C*;  $T_{\text{ср}}$  – средняя температура отопительного периода, *°C*.

Временные капитальные затраты  $\Delta K$  определяются как разность на приобретение и установку теплового насоса и традиционной системы отопления.

Тогда простой срок окупаемости ( $T_{\text{ок}}$ , лет) может быть определен по формуле

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{\mathcal{E}} = \frac{\Delta K}{Q_{\text{год}} \cdot \left( \frac{T_{\text{г}}}{\eta} - \frac{T_{\text{э}}}{\text{SCOP}} \right)}. \quad (12)$$

**Пример.** В качестве примера экономической эффективности использования воздушного теплового насоса по сравнению с газовой отопительной котельной рассмотрим производственно-офисное здание в условиях г. Еревана, обслуживаемой площадью  $450 \text{ м}^2$ .

## 1. Капитальные затраты на систему отопления.

1.1. Согласно [16,17], вариант традиционного теплоснабжения при помощи газифицированной котельной для площади  $450 \text{ м}^2$  обходится в 26500 долл. США.

1.2. Стоимость теплоснабжения при помощи воздушного ТН включает (в долларах) [18,19]:

• наружный блок теплового насоса MITSUBISHI HEAVY FOCA450HKXEY	- 17000
• внутренние блоки (4 шт.)	- 5000
• аксессуары	- 1000
• контроллеры	- 3000
• индивидуальные пульты	- 1000
• центральный пульт	- 500
• монтажные работы	- 2000
• непредвиденные расходы	- 1500
Итого	- 31000

Таким образом, по капитальным расходам вариант с тепловым насосом на 17% дороже варианта газовой котельной. Увеличение капитальных затрат при переходе с газовой котельной на тепловые насосы составляет

$$\Delta K = 31000 - 26500 = 4500 \text{ долл. США.}$$

## 2. Расчет эксплуатационных расходов.

2.1. Расход тепловой энергии на отопление здания за год:

$$\begin{aligned} Q_{год} &= q_0 \cdot V \cdot n \cdot (T_g - T_{cp}), \\ V &= F \cdot h = 450,3 = 1350 \text{ м}^3, \\ q_0 &= 0,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{сутки}\cdot^\circ\text{C}), \\ n &= 140 \text{ день/год}, \quad T_g = 20^\circ\text{C}, \quad T_{cp} = +1^\circ\text{C}, \\ Q_{год} &= 0,6 \cdot 1350 \cdot 140 \cdot 19 \cdot 24 = 51710 \text{ тыс. ккал/год.} \end{aligned}$$

2.2. Годовой расход газа:

$$V_{газ} = \frac{51710 \cdot 10^3}{8000 \cdot 0,9} = 6464 \text{ м}^3/\text{год.}$$

2.3. Эксплуатационные расходы при цене газа 156 драм/м<sup>3</sup>:

$$\mathcal{E}_{газ} = 6464 \cdot 156 = 1008350 \text{ драм/год} = 2459 \text{ долл. США/год.}$$

2.4. Расход электрической энергии при использовании теплового насоса:

$$W_{эл.эн.} = \frac{51710 \cdot 10^3}{3,5 \cdot 860} = 17179 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

2.5. Эксплуатационные расходы при цене электроэнергии 36 драм/кВт·ч:

$$\mathcal{E}_{эл.эн.} = 17179 \cdot 36 = 618444 \text{ драм/год} = 1508 \text{ долл. США/год.}$$

2.6. Снижение эксплуатационных расходов при переходе с газовой котельной на тепловые насосы:

$$\Delta \mathcal{E} = 2459 - 1508 = 951 \text{ долл. США/год.}$$

3. Срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} = \frac{4500}{951} = 4,7 \text{ год.}$$

Из приведенных расчетов видно, что срок окупаемости ТН будет снижаться с ростом коэффициента преобразования энергии, увеличением числа часов использования установленной мощности, снижением отношения  $T_{\text{эл.э}}/T_{\text{газ}}$ . Таким образом, на основании изложенной методики можно предварительно оценить целесообразность применения ТН взамен газовых котельных. При этом гарантированный срок службы компрессора ТН – 60000 ч. Соответственно, тепловой насос прослужит порядка 25 лет до первого капитального ремонта. Таким образом, сегодня приобретение и установка теплового насоса - это эффективное капиталовложение, которое в недалеком будущем гарантированно сэкономит ваши деньги.

### **Выводы**

1. Энергетическая и экономическая целесообразность применения ТНУ в теплоснабжении зависит от состояния и уровня технического прогресса производства электроэнергии. При низких начальных параметрах пара (90 атм. и ниже) на тепловых конденсационных электростанциях используемые ТНУ не обладали энергетическим преимуществом перед обычными котельными ни в части эффективности использования топлива, ни в части сокращения выхода сбросного низкопотенциального тепла в окружающую среду. Этим можно объяснить сдержанное отношение к ним в прошлом. На современном этапе ТНУ входят в практику вместе с ростом технического прогресса тепловых электростанций. Применение на ТЭС парогазовых установок существенно повышает их энергетическую и экономическую эффективность.
2. Экономическая эффективность внедрения ТНУ зависит от соотношения цены природного газа и тарифа на электроэнергию.
3. Благодаря расширенному температурному диапазону и высокой энергетической эффективности VRF-система кондиционирования KX4 от MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES может быть использована в качестве основного источника тепла для условий Армении.
4. Приведенный анализ показывает, что в условиях Армении целесообразно применение современных воздушно-воздушных тепловых насосов как для кондиционирования, так и для отопления зданий. С помощью алгоритма

расчета, приведенного в статье, можно будет оценить снижение финансовых затрат, а также срок окупаемости и экономию эксплуатационных расходов.

### Литература

1. **Кологривых А.С., Семиненко А.С.** Обзор мирового и российского рынков теплонасосных установок.- 2013.- 55с. <http://www.scienceforum.ru/2013/43/5803>.
2. **Елистратов С.Л.** Комплексное исследование эффективности тепловых насосов: Автореферат дис... докт. техн. наук / Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН.- Новосибирск, 2010. - 383с.
3. **Филиппов С.П., Ионов М.С., Дильман М.Д.** Перспективы применения воздушных тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях// Теплоэнергетика.- 2012.- № 11.- С. 11–18.
4. **Шаповал В.Г., Моркляник Б.В.** Основания и фундаменты тепловых насосов.- Львов: Сполом, 2009 – 64с.
5. **Янговский Е.И., Пустовалов Ю.В.** Парокомпрессионные теплонасосные установки. – М.: Энергоиздат, 1982. – 144с.
6. **Степаненко В.А., Афанасьев А.С.** Тепловые насосы в системах теплоснабжения и кондиционирования городов и зданий Украины в 21 веке // Международная конференция “Тепловые насосы в странах СНГ”, 2013г., г. Алушта (Крым, Украина).- 2013.-19с.
7. **Laue H.J.** Stand und Zukunft der Heizungswärmepumpe // Kalte- und Klimatechn.- 2002.–55, №9.–Р. 56–61.
8. Тепловые насосы – состояние и тенденции развития в Азии и Тихоокеанском регионе / Heat pumps – status and trends in Asia and the Pacific. Т. Machida // Int. J. Refrig.- 2002. – 25, №4. – Р. 405–413.
9. Обзор мирового рынка тепловых насосов типа “воздух-вода” 2009 г. HVAC ReFerent по материалам журнала JARN (N 487-5-август 2009).
10. **Кологривых А.С., Семененко А.С.** Обзор мирового и российского рынка теплонасосных установок // БГТУ. journal. esco.co.ua/ cities/2014.8/art 156.pdf.-55с.
11. Климатические системы. Кондиционирование, вентиляция и отопление.- 2013. Mitsubishi Electric. Changes for Batter. www.mitsubishi-aircon.com.ua.- 232с.
12. **Тидовин Н.С.** Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения многоквартирного жилого фонда на принципах энергосбережения.- Минск, 2014.- 28 с.
13. **Брух С.В.** КХЧ-новая VRF-система от MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES и отопление зданий в условиях юга России // Электронный журнал энергосервисной компании “Экологические системы”.- 7 июля 2010.- С. 83-85.
14. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / **А.М. Бакластов, В.М. Бродянский, Б.П. Голубов** и др.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 588с.



15. **Беляев В.С., Граник Ю.Г., Матросов Ю.А.** Энергоэффективность и теплозащита зданий.- М., 2012.- 399с.
16. <http://www.buderue-home.ru/price> Buderue Home - системы отопления для домов.
17. <http://mykgrp.ru/otoplenie-chastnogo-doma> “Мосиж Грунт” - комплексные инженерные решения.
18. [www. cityclimat.ru](http://www.cityclimat.ru)
19. <http://www.split-s.ru>

*Поступила в редакцию 12.01.2015.  
Принята к опубликованию 15.05.2015.*

## **ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՕԴԱՅԻՆ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ՊՈՄՊԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ**

**Լ.Ս. Հովհաննիսյան, Մ.Գ. Ղազարյան**

Շենքերի ջերմամատակարարման համակարգերը, որոնք օգտագործում են էներգիայի ոչ ավանդական վերականգնվող աղբյուրներ, էներգիայի հուսալի աղբյուրներ են, որոնք կարող են կիրառվել ամենուրեք և հանդիսանում են էներգիայի՝ էկոլոգիապես մաքուր աղբյուրներից մեկը: Վերլուծվում է ջերմային պոմպերի հիման վրա ջերմամատակարարման համակարգերի կիրառման էկոնոմիկական նպատակահարմարությունը, որոնք որպես ջերմության աղբյուր օգտագործում են մթնոլորտային օդը: Կոնդիցիոների սառնարանային մեքենայի՝ որպես ջերմային պոմպի օգտագործումը Հայաստանի կլիմայական պայմաններում էներգառեսուրսների տնտեսման արդյունավետ եղանակներից մեկն է: Տրված են երաշխավորություններ ջերմային պոմպերի արդյունավետության և դրանց հետզնման ժամկետի գնահատման համար:

**Առանցքային բաներ.** ջերմապոմպային տեղակայանք, ձևափոխման գործակից, օդային ջերմային պոմպ, հետզնման ժամկետ:

## **EFFICIENCY OF APPLYING AIR HEAT PUMPS IN ARMENIA**

**L.S. Hovhannisyanyan, M.G. Ghazaryan**

The heat supply systems of buildings using nonconventional renewable power sources are a reliable and ecologically clean source of energy. The power and economic expediency of applying heat supply systems based on thermal pumps using atmospheric air as a thermal power source is analyzed. The use of the refrigerating machines of an air conditioner as a heat pump under Armenian climatic conditions is one of the effective ways of energy resource saving. Recommendations for estimating the heat pumps' efficiency and determining their payback period are given.

**Keywords:** heat-pump plant, conversion coefficient, aerial heat-pump, payback period.