

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 5 / 2023, Vol. 15, Iss. 5 <https://esj.today/issue-5-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/06SAVN523.pdf>

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ильина, Т. Н. Тепловые насосы с испарителями различных конструкций / Т. Н. Ильина, Н. Ю. Саввин, П. А. Орлов, В. А. Уваров // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/06SAVN523.pdf>

For citation:

Il'ina T.N., Savvin N.Yu., Orlov P.A., Uvarov V.A. Heat pumps with evaporators of various designs. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(5): 06SAVN523. Available at: <https://esj.today/PDF/06SAVN523.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Статья написана в порядке выполнения служебного задания по гранту Пф-4/22 (р) «Повышение эффективности воздушного теплового насоса с системой MOVEBIT» в рамках Программы развития «Приоритет 2030» при содействии Центра трансфера инновационных технологий БГТУ имени В.Г. Шухова

УДК 697.11

Ильина Татьяна Николаевна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Профессор кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»
Доктор технических наук
E-mail: ilinatat50@mail.ru

Саввин Никита Юрьевич

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Доцент кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»
Кандидат технических наук
E-mail: n-savvin@mail.ru

Орлов Павел Анатольевич

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Аспирант
E-mail: n-savvin@mail.ru

Уваров Валерий Анатольевич

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Профессор кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»
Доктор технических наук
E-mail: n-savvin@mail.ru

Тепловые насосы с испарителями различных конструкций

Аннотация. Развитие рынка тепловых насосов обусловлено ростом цен на энергоресурсы, борьбой с глобальным потеплением и стимулированием правительствами развитых стран перехода на «чистые источники энергии». Наиболее экологически безопасными и энергоэффективными с учетом затрат на их прокладку и эксплуатацию являются воздушные тепловые насосы по сравнению с геотермальными. Однако их применение в странах с холодным климатом ограничено образованием наледи на теплообменнике испарительного блока, что значительно снижает их теплопроизводительность и коэффициент преобразования. Целью настоящей работы является сравнение эффективности работы тепловых насосов с теплообменником испарительного контура производства MITSUI (Япония) и теплообменника с антиобледенителем MOVEBIT производства АЛТЭК (Россия). Методология исследования

базируется на проведении лабораторных испытаний испарителя с колебательным контуром системы MOVEBIT (АЛТЭК — Россия) и теплообменника промышленного производства MITSUI (Япония), графоаналитического анализа работы теплового насоса с различными испарителями, теоретического обоснования полученных значений коэффициента трансформации. Для сравнения основных стандартизированных эксплуатационных показателей используется коэффициент трансформации (COP), показывающий отношение полученной энергии к затраченной работе. Анализ результатов работы теплового насоса показал, что при сохранении влажности на постоянном уровне $\varphi \approx 65\%$ и понижении температуры с $+10^\circ\text{C}$ до $+5^\circ\text{C}$ наблюдается снижение теплопроизводительности установки, независимо от вида теплообменника MOVEBIT и MITSUI, что объясняется образованием конденсата. При дальнейшем снижении температуры до нуля и ниже на испарителе теплообменника происходит образование наледи. С учетом затрат на удаление наледи на теплообменнике MITSUI коэффициент трансформации теплонасосной установки (ТНУ) составляет 2,08. Удаление наледи системой MOVEBIT практически не требует дополнительных затрат и коэффициента трансформации установки составляет 4,45, что аналогично работе воздушного теплового насоса при положительных температурах. Проведенные нами исследования показали, что наиболее перспективным способом удаления наледи является применение механических колебаний с помощью магнестрикционных излучателей. COP воздушного теплового насоса с системой MOVEBIT превышает COP теплового насоса со стандартным испарителем MITSUI в 2 раза при температуре 0°C и ниже.

Ключевые слова: тепловой насос; испаритель; наледь; коэффициент трансформации; энергопотребление; теплопроизводительность; испарительный блок; массообмен

Введение

Рынок тепловых насосов в России, а также во многих других странах, активно развивается в связи с ростом цен на традиционные источники энергии и с увеличением осведомленности о необходимости борьбы с глобальным потеплением. Правительства развитых стран, включая Россию, принимают меры для стимулирования использования «чистых источников энергии», в том числе насосов тепла. Это связано с потребностью уменьшить выбросы парниковых газов и снизить зависимость от нефтепродуктов и газа для отопления и горячего водоснабжения. Российское правительство, осознавая важность развития альтернативных источников энергии, сосредотачивает свое внимание на притоке новых перспективных проектов в области тепловых насосов. Это включает поддержку развития и производства тепловых насосов, создание условий для установки насосов в жилых и коммерческих зданиях, а также осуществление обучения и информирования населения о преимуществах и возможностях использования данной технологии.¹ Следует отметить общую мировую тенденцию перехода теплоснабжения инженерных систем на использование возобновляемых источников энергии [1–3], а также вторичных тепловых выбросов с помощью тепловых насосов [4–6]. Все типы испарителей воздушных тепловых насосов осуществляют теплообмен между воздухом и хладагентом, проходящим парожидкостную фазу. Эффективность теплопередачи обусловлена такими факторами, как скорость движения хладагента, его количество, температурный напор, материал изготовления теплообменника, форма, наличие различных отложений в виде пыли, наледи. Наличие разнообразных типов испарителей продиктовано конструктивными требованиями и техническими условиями,

¹ Министерство энергетики. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года <https://minenergo.gov.ru/node/10269>. Р. 1–20.

предъявляемыми к тепловому насосу [7–9].² Наиболее экологически безопасными и энергоэффективными с учетом затрат на их прокладку и эксплуатацию являются воздушные тепловые насосы по сравнению с геотермальными [10]. Тем не менее, в странах с холодным климатом их применение ограничено образованием льда на теплообменнике испарительного блока, что снижает эффективность их работы и коэффициент преобразования. Наши исследования показали, что наиболее эффективным способом борьбы с образованием льда является использование механических колебаний с помощью магнитоотрицательных излучателей [11].

Целью настоящей работы является сравнение эффективности работы тепловых насосов с теплообменником испарительного контура производства MITSUI (Япония) и теплообменника с антиобледенителем MOVEBIT производства АЛТЕК (Россия) [12]. Для сравнения основных стандартизированных эксплуатационных показателей используется COP — коэффициент трансформации, который показывает отношение полученной $Q_{п}$ энергии к затраченной энергии для ее трансформации $Q_{з}$, куда входят затраты на работу компрессора, вентиляторов и потребление различным электронным оборудованием, отвечающие за функционирование теплового насоса.

Материалы и методы

Из-за отсутствия на рынке готовых воздушных тепловых насосов без перегрева в оборудовании, используемом для проведения испытаний, были внесены изменения. На линии всасывания установлен дополнительный дозавправщик, а дроссельное устройство оснащено шаговым двигателем с электронной регулировкой подачи холодильного агента. Также были добавлены видимые стекла для визуального контроля в жидкостной и газовой магистралях. В лабораторных испытаниях использовались холодильная камера площадью 9 м², ультразвуковой увлажнитель воздуха, воздушный тепловой насос с электронным управлением дросселированием, теплообменники производства АЛТЕК (Россия) и MITSUI (Япония), а также контрольно-измерительное оборудование TESTO (Германия).

Расчет затрат электроэнергии на разморозку испарителя осуществляется из расчета выпадения конденсата на испарителе и затрат энергии на его удаление посредством электропрогрева Q_r . Расчет проводится по уравнению:

$$Q_r = p \cdot V \cdot \lambda \cdot m_{\kappa} + p \cdot V \cdot c \cdot m_{\kappa} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где λ — удельная теплота льда принимается — 340 КДж/кг; m_{κ} — удельная масса льда (конденсата), кг; c — удельная теплоемкость (для льда 2,1 кДж/кг °С); Δt — разница между начальной температуры льда и температурой плавления, °С; p — плотность воздуха, кг/м³; V — объем воздуха, проходящего через испаритель, м³.

Количество конденсата, кристаллизующегося на поверхности испарителя при прохождении воздушного потока объемом ($V = 1 \text{ м}^3$) через испаритель в виде льда и инея, рассчитывается по формуле:

$$m_{\kappa} = \frac{d_n - d_i}{10^3}, \quad (2)$$

где d_n — влагосодержание наружного воздуха, г/кг; d_i — влагосодержание воздуха при температуре кипения хладагента в испарителе (значения взяты по i-d диаграмме), г/кг.

² USA Corporate Sales Global Market Insights Inc [kgufhttps://www.nachedeu.com/global-market-insights-inc-european-market-tep](https://www.nachedeu.com/global-market-insights-inc-european-market-tep). P. 5–20.

Report on the dynamics of the heat pump market from the IEA. <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>. P. 1–20.

Результаты и их обсуждение

Испытания теплонасосной установки (ТНУ) проводили при температурах наружного воздуха -5, 0, 5, 10 °С. Результаты испытания ТНУ с испарителем фирмы MITSUI и MOVEBIT представлены в таблице.

Таблица

Результаты испытаний ТНУ при температурах перед испарительным блоком -5, 0, 5, 10 °С

№ п/п	Измеряемые величины	Ед. измерения	Испаритель MITSUI				Испаритель MOVEBIT			
			Температура							
			10°C	5°C	0°C	-5°C	10°C	5°C	0°C	-5°C
1	Низкое давление	bar	6,56	5,52	3,81	3,35	5,40	4,07	3,55	3,02
2	Температура хладагента газа	°С	-1,6	-6,1	-14,9	-17,6	-6,7	-13,4	-16,4	-19,7
3	Температура. газового трубопровода	°С	6,4	1,8	-8,1	-10,7	0,6	-8,3	-7,0	-9,1
4	Перегрев	К	8,0	7,9	6,8	6,9	7,3	5,2	9,4	10,7
5	Температура воздуха перед испарителем	°С	10,0	5,0	0,0	-5,0	10,0	5,0	0,0	-5,0
6	Температура воздуха после испарителя	°С	6,8	1,7	-4,0	-8,6	6,7	1,3	-3,4	-8,0
7	Высокое давление	bar	22,23	21,44	20,07	20,2	21,8	20,9	20,2	19,7
8	Температура газа	°С	38,3	36,9	34,3	34,5	37,5	35,9	34,6	33,6
9	Темпер. жидкостного трубопровода	°С	28,2	26,9	25,9	28,0	29,3	26,7	26,1	25,2
10	Переохлаждение	К	10,1	9,9	8,5	6,5	8,2	9,2	8,5	8,3
11	Температура воздуха перед конденсатором	°С	21,6	21,4	21,4	22,6	21,5	21,7	21,4	21,0
12	Температура воздуха после конденсатора	°С	34,7	32,7	33	32,5	35,1	35,2	33,4	32,4
13	Затраты электроэнергии на разморозку испарителя фактические/расчетные	Вт/ч	0 22	158 196	529 492	402 350	0	12	12	12
14	Влажность внутри камеры	%	64,3	65,5	66,4	63,3	67,0	64,1	63,2	65,9
15	Скорость воздушного потока после конденсатора	м/с	10,50	10,71	10,11	10,46	10,39	10,7	10,39	9,94
16	Активная мощность	W	637	692	643	670	643	653	602	557
17	Теплопроизводительность	W	2927	2602	2502	2204	3012	3003	2721	2417
18	COP без затрат на антиобледенения с учетом затрат на борьбу обледенением	COP	4,60 4,60	4,05 3,00	3,58 2,10	3,29 2,05	4,70 4,70	4,60 4,50	4,52 4,40	4,34 4,20

По результатам испытаний, представленным в таблице, можем рассчитать затраты электроэнергии на работу компрессора:

$$Q_3 = L + Q_o + Q_g = 700 + 168 + 10 = 878, \text{Вт} . \quad (3)$$

Холодопроизводительность испарителя Q_u предназначенного для проведения лабораторных испытаний:

$$Q_u = Q_k - Q_l = 3000 - 700 = 2300, \text{Вт} . \quad (4)$$

Коэффициент теплопередачи K рассчитывается по формулам [14]³, но в данном случае с большей степенью точности определяется из табличных значений $K = 23,8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

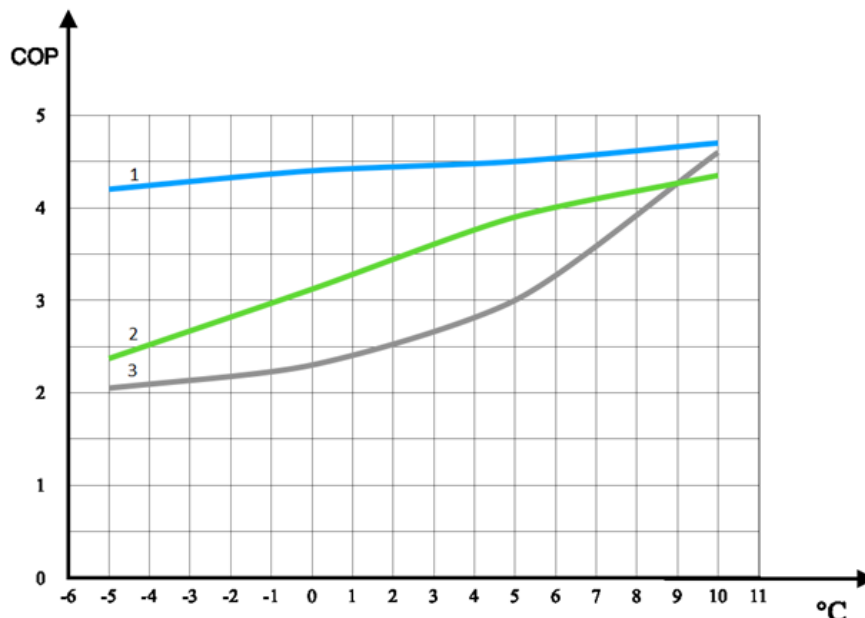
³ Маркетинговое исследование российского рынка пластинчатых теплообменников // <https://research.techart.ru/report/heat-exchange-equipment-market-research.htm>.

Анализ результатов работы теплового насоса показал, что при сохранении влажности на постоянном уровне $\varphi \approx 65\%$ и понижении температуры с $+10^\circ\text{C}$ до $+5^\circ\text{C}$ наблюдается снижение теплопроизводительности установки, независимо от вида теплообменника, MOVEBIT и MITSUI. Однако, использование теплообменника MOVEBIT позволяет установке работать с более высокой теплопроизводительностью на 10,1 % по сравнению с теплообменником MITSUI. Это объясняется тем, что теплообменник MITSUI имеет наледь на его испарителе, что снижает его способность к передаче тепла. Еще одним фактором, уменьшающим производительность, является понижение температуры низкопотенциального источника тепла. В расчетах учитывается, что с каждым снижением температуры источника тепла на 1°C , коэффициент трансформации понижается на 1 %, что в свою очередь приводит к уменьшению COP.

При измерениях параметров работы теплонасоса затраты электроэнергии на работу системы разморозки были выделены в отдельную графу п. 13 таблицы. Разморозка требует максимального количества энергии при $t_1 = 0^\circ\text{C}$ и составляет $Q = 529$ Вт, что превышает на 7 % расчетное количество электроэнергии. Это объясняется увеличением расхода энергии на нагрев не только льда, но и разогрев конструктивных и теплопередающих элементов, входящих в состав испарителя, а также воздуха, окружающего испаритель.

Понижение температуры окружающей среды не приводит к увеличению расхода энергии на оттаивание испарителя. Проведенные эксперименты показали, что при снижении температуры в камере на 5°C расход энергии уменьшился на 24 %, превышая расчетные значения на 4 %. Этот показатель считается приемлемым и не искажает общую динамику расхода энергии на оттаивание стандартного испарителя с помощью электропрогрева [15; 16].

При повышении температуры наружного воздуха выше 0°C затраты энергии на оттаивание уменьшаются. При температуре $+10^\circ\text{C}$ теоретический расход энергии составляет 22 Вт. Практические испытания показали, что образование конденсата в виде инея происходит только в местах, не подверженных потокам воздуха, создаваемым вентилятором (например, на калачах испарителя и на незащищенных участках хладопроводов).



1 — MOVEBIT; 2 — MITSUBISHI; 3 — MITSUI

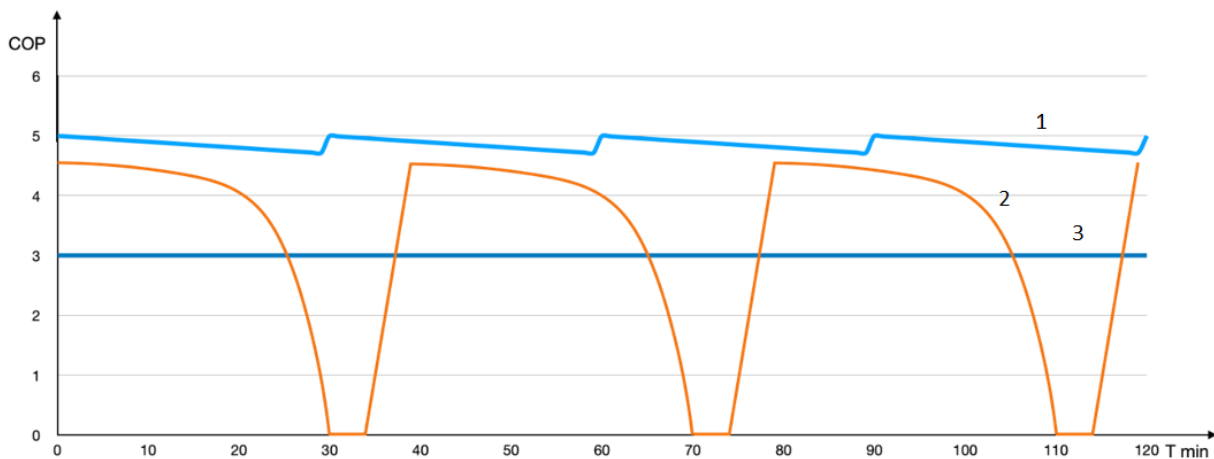
Рисунок 1. Зависимость коэффициента трансформации THU от температуры наружного воздуха при использовании в испарительном контуре теплообменников различных производителей

В случае с тестируемым теплообменником, оснащенным колебательным контуром системы «MOVEBIT», расход энергии составил 12 Вт независимо от температуры окружающей среды.

Графическое отображение эффективности работы воздушного теплового насоса от температуры окружающей среды с использованием стандартного испарителя MITSUI и испарителя с колебательным контуром MOVEBIT представлено на (рис. 1).

На рисунке 1 показана работа теплообменника MITSUBISHI, который считается одним из лучших на рынке воздушных тепловых насосов. Коэффициент трансформации этого теплообменника схож с коэффициентом трансформации лабораторного теплового насоса, но есть небольшая разница в значениях. Это объясняется технологией «ZUBADAN», которая обеспечивает более стабильную работу за счет контроля температуры нагнетания компрессора и увеличения перегрева хладагента в ресивере «POWER RECEIVER».

Резкое снижение производительности воздушного теплового насоса при отрицательных температурах объясняется работой системы оттаивания. Наглядно этот процесс демонстрирует график изменения коэффициента трансформации во времени (рис. 2), на котором не учитывается расходы электроэнергии на оттаивание. Линия 1 отображает изменение COP работы теплового насоса с испарителем MOVEBIT при температуре 0°C в течение 120 мин. Амплитуда колебания имеет очень малый интервал по оси ординат, и результирующая прямая COP имеет более высокие значения, чем кривая 2 работы теплового насоса с испарителем MITSUI. Колебания имеют большие значения COP от 0 до 4,6, следовательно, результирующая прямая MITSUI 3 имеет меньшие значения, чем у теплообменника MOVEBIT (рис. 2).



1 — MOVEBIT; 2 — MITSUI; 3 — результирующая прямая эффективности теплообменника MITSUI

Рисунок 2. Изменение коэффициента трансформации ТНУ (COP) при температуре 0°C в течение 120 мин. с испарителями

Процесс работы воздушно-теплового насоса (ВТН) и его эффективность подробно объясняются на рисунке 3. Сегмент между точкой А и В имеет максимальный коэффициент отношения (COP), поскольку испаритель имеет наибольшую теплоотдачу. После точки «В» процесс образования инея начинается с более высокой интенсивностью (сегмент В-С). В определенный момент заканчивается перегрев, приближаясь к нулевой температуре, что требует срочной очистки испарителя или выключения компрессора. В точке «С» компрессор отключается, и испаритель переходит в режим размораживания «С-С'». С «С'-d'» начинается время размораживания испарителя, а «d'-d» обозначает окончание процесса размораживания. Компрессор включается в точке «d». На участке «d-А» компрессор начинает циркулировать хладагент по системе. В точке «А'» воздушно-тепловой насос достигает максимальной

теплопроизводительности. Коэффициент трансформации теплового насоса ограничен площадью S_o :

$$S_o = S_t - S_p, \quad (5)$$

где S_t — площадь, ограниченная точками $OABC$ и $dA'O'$; S_p — площадь, ограниченная точками $Cc'd'd$; S_o — площадь, ограниченная точками $OEFO'$.

Средний коэффициент трансформации теплового насоса будет соответствовать прямой, проходящей через точки $E-F$ (рис. 3 а).

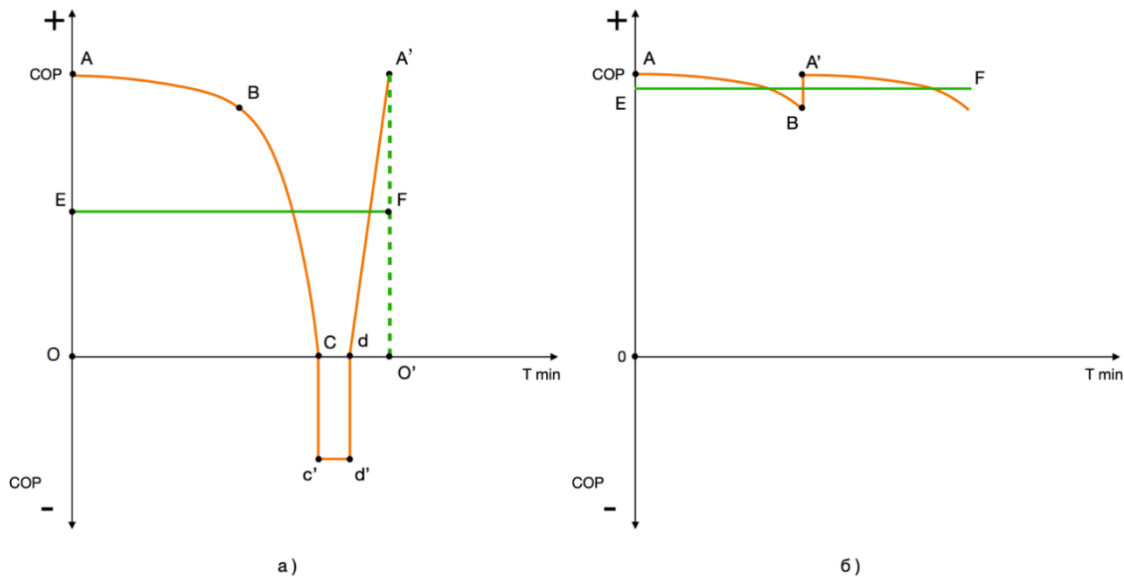


Рисунок 3. Влияние наледи на эффективность работы ТНУ: (а) с испарителем MITSUI; (б) с испарителем MOVEBIT

На рисунке 3б показано, как тепловой насос с испарителем MOVEBIT работает с минимальным слоем инея (толщиной 0,1–0,4 мм). В этом случае, теплоизолирующие свойства инея не влияют на теплопередачу испарителя и на общий коэффициент производительности (COP) теплового насоса. В точке «В» включается колебательный контур в течение 0,2–1,5 секунд (участок «В-А'»). Это приводит к очистке испарителя от инея и льда без остановки компрессора. Итоговая прямая COP для испарителя MOVEBIT, ограниченная точками «Е» и «F», проходит значительно выше, чем в варианте «а». Энергозатраты на работу колебательного контура составляют 12–14 Вт/ч, что не влияет на потребление электроэнергии, необходимой для работы теплового насоса [17–19].

Выводы

Исследования показали, что испаритель с колебательным контуром MOVEBIT обладает высокой эффективностью. Сравнивая коэффициент трансформации (COP) воздушного теплового насоса с системой MOVEBIT и насоса с обычным испарителем MITSUI, выяснилось, что COP в системе MOVEBIT в два раза выше при температуре 0°C и ниже. Графоаналитический и теоретический расчеты подтвердили такое повышение COP и производительности в диапазоне температур от 0°C до -5°C. Интеграция наружных блоков с системой MOVEBIT в уже существующие воздушные тепловые насосы позволяет сократить энергопотребление в два раза и обеспечивает широкие возможности использования таких установок в различных температурных условиях. Для перехода на систему MOVEBIT не требуется значительных изменений в конструкции воздушного теплового насоса.

Данная работа была выполнена в рамках реализации программы поддержки университетов «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий при БГТУ имени В.Г. Шухова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meghann Smith, Anthony Bevacqua, Sheryl Tembe, Pankaj Lal. Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: A comparative analysis of energy efficiency in New Jersey // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101364.
2. Tolga Ural, Gulsah Karaca Dolgun, Onur Vahip Guler, Ali Kecebas. Performance analysis of a textile based solar assisted air source heat pump with the energy and exergy methodology // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101534.
3. М. Mohanraj, L. Karthick, R. Dhivagar. Performance and economic analysis of a heat pump water heater assisted regenerative solar still using latent heat storage // Applied thermal Engineering. 2021. Vol. 196. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117263.
4. М. Mohanraj, L. Karthick, R. Dhivagar. Performance and economic analysis of a heat pump water heater assisted regenerative solar still using latent heat storage // Applied thermal Engineering. 2021. Vol. 196.
5. Ильина Т.Н., Мухамедов Р.Ю., Веревкин О.В. Перспективы использования тепловых насосов в системах отопления малоэтажных жилых домов Белгородской области // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 142–146.
6. Ю.С. Мороз, А.В. Никулин, Н.А. Третьякова. Рекуперация тепла / Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург. 2021. С. 138–141.
7. Мысовских, П.В. Особенности применения систем рекуперации тепла в системах вентиляции общественных зданий / П.В. Мысовских, И.Н. Петриков // Молодой ученый. 2021. № 9(351). С. 17–19.
8. Suszanowicz, D. (2018). Optimisation of Heat Loss through Ventilation for Residential Buildings. Atmosphere, 9(3), 95. doi: 10.3390/atmos9030095.
9. De Antonellis S.; Intini M.; Joppolo C.M.; Leone, C. // Design Optimization of Heat Wheels for Energy Recovery in HVAC Systems. Energies. 2014. 7. 7348–7367. <https://doi.org/10.3390/en7117348>.
10. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Promising methods of ice control of air heat pump evaporators. Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1926. 012017. doi: 10.1088/1742-6596/1926/1/012017.
11. Орлов П.А., Ильина Т.Н., Орлов К.П. Воздействие механических колебаний на обледенение испарителей воздушного теплового насоса // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2021. Т 6. № 6. С. 36–44.
12. P.A. Orlov, T.N. Il'ina, and K.P. Orlov Test of heat pump unit with MOVEBIT anti-icing system // Constructions materials and productions. 2022. Vol. 5. № 2. P. 43–50.

13. Мамченко В.О. Пластинчатые теплообменники в низкотемпературной технике и биотехнологических процессах: Учеб. пособие / В.О. Мамченко, А.А. Малышев. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ. 2014. 116 с.
14. С.Е. Исаев, А.Ф. Чернов, П.И. Бажан, А.Н. Назин. Методика расчета кожухотрубных теплообменных аппаратов // Газета «Энергетика и промышленность России». Нижний Новгород. № 12. 2006. С. 76.
15. Калабин С.Е. Экономический эффект от внедрения энергосберегающего оборудования: пластинчатых теплообменников, блочных индивидуальных тепловых пунктов // Журнал «С.О.К.». 2005. № 8.
16. В.Ю. Полякова, Т.О. Калинина, К.В. Кичин. Анализ энергоэффективности тепловых насосов в системах теплоснабжения по территориально-климатическому признаку // Молодой ученый. 2016. № 27(131). С. 142–146.
17. Юрицин С.А. Регулирование параметров теплонасосной установки / С.А. Юрицин, А.С. Кизуров // Молодой ученый. 2015. № 6.5(86.5). С. 17–21.
18. Лаксаева У.С., Кабанова И.А. Оценка эффективности работы воздушного теплового насоса // Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Омск. 2021. С. 9–13.
19. Федосеев В.Н., Алоян Р.М., Зайцева И.А., Острякова Ю.Е. Организационно-технические возможности использования воздушного теплового насоса как эффективного источника энергии // Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. Сборник научных трудов. Иваново. 2019. С. 152–157.

Il'ina Tatiana Nikolaevna

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: ilinatat50@mail.ru

Savvin Nikita Yurievich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: n-savvin@mail.ru

Orlov Pavel Anatolyevich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: n-savvin@mail.ru

Uvarov Valery Anatolyevich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: n-savvin@mail.ru

Heat pumps with evaporators of various designs

Abstract. The development of the heat pump market is due to the increase in energy prices, the fight against global warming and the stimulation by the governments of developed countries of the transition to «clean energy sources». Air heat pumps are the most environmentally safe and energy efficient, taking into account the costs of their installation and operation, compared to geothermal ones. However, their use in countries with a cold climate is limited by the formation of ice on the heat exchanger of the evaporation unit, which significantly reduces their heating capacity and conversion coefficient. The purpose of this work is to compare the efficiency of heat pumps with an evaporative circuit heat exchanger manufactured by MITSUI (Japan) and a heat exchanger with a MOVEBIT de-icer manufactured by ALTEK (Russia). The research methodology is based on laboratory tests of an evaporator with an oscillating circuit of the MOVEBIT system (ALTEK — Russia) and a heat exchanger manufactured by MITSUI (Japan), graphoanalytic analysis of the operation of a heat pump with various evaporators, theoretical justification of the obtained values of the transformation coefficient. To compare the main standardized operational indicators, the transformation coefficient (CR) is used, showing the ratio of the energy received to the work expended. Analysis of the results of the heat pump showed that while maintaining humidity at a constant level of $\varphi \approx 65\%$ and lowering the temperature from $+10^{\circ}\text{C}$ to $+5^{\circ}\text{C}$ there is a decrease in the heating capacity of the installation, regardless of the type of heat exchanger MOVEBIT and MITSUI, which is explained by the formation of condensate. With a further decrease in temperature to zero and below, ice formation occurs on the evaporator of the heat exchanger. Taking into account the costs of removing ice on the MITSUI heat exchanger, the transformation coefficient of the heat pump unit (TNU) is 2.08. The removal of ice by the MOVEBIT system practically does not require additional costs and the transformation coefficient of the unit is 4.45, which is similar to the operation of an air heat pump at positive temperatures. Our research has shown that the most promising way to remove ice is the use of mechanical vibrations using magnetostrictive emitters. The COP of an air heat pump with the MOVEBIT system exceeds the COP of a heat pump with a standard MITSUI evaporator by 2 times at a temperature of 0°C and below.

Keywords: heat pump; evaporator; ice; transformation coefficient; energy consumption; heating capacity; evaporation unit; mass transfer