

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТИ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION



**VI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2016»
VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2016»
VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2016»**

Конференция баяндамаларының жинағы

1-2 наурыз, 2016 ж.

Сборник докладов конференции

1-2 марта 2016 г.

Proceedings of the Conference

March 1-2, 2016

Алматы, 2016

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией доктора технических наук,
академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2016: Сбор. докл. межд. науч.-техн. конф. (1-2 марта 2016 г.) – Алматы: АТУ, 2016. – 163 с.

ISBN 978-601-263-344-3

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований ученых и специалистов Казахстана, Германии, России, Израиля, Голландии, Японии и Украины по направлениям: теплохладоснабжение, пищевая технология, кондиционирование и экология.

Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях индустрии холода, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также гостиничном бизнесе и спортивных комплексах.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-344-3

© АТУ, 2016

давления в системе повышается и температура в зоне охлаждения, т. е. холодопроизводительность АВХА ПД снижается.

Для оценки холодопроизводительности АВХА ПД в области «полезных» (температура в зоне охлаждения не выше 10 °С) параметров был проведен расчёт среднеинтегрального за рабочий период «зарядки-разрядки» значения теплоты парообразования аммиака. Показано, что холодопроизводительность возрастает с увеличением температуры греющего источника. Так, при $t_x = 25^\circ\text{C}$ и $X_{\min} = 0,3$, при росте $t_{\text{гр}}$ от 65 до 95°С, рост q_0 составляет от 650 до 2800 кДж. При $t_x = 35^\circ\text{C}$, q_0 увеличивается от 50 кДж до 1200 кДж. При $t_x = 45^\circ\text{C}$ режим работы АВХМ не реализуется при температурах греющей среды ниже 95°С. При низких температурах атмосферного воздуха можно получить достаточно высокие значения холодопроизводительности, увеличив количество аммиака в ВАР в зоне генерации. Так, аналогичные значения $q_0 = 2650$ кДж при $t_x = 25^\circ\text{C}$ можно получить и при $t_{\text{гр}} = 95^\circ\text{C}$ и $X_{\min} = 0,3$, и при $t_{\text{гр}} = 65^\circ\text{C}$ и $X_{\min} = 0,5$.

Выводы:

1. При увеличении температуры греющего источника снижается доля аммиака в зоне Г-А, что позволяет в период охлаждения получить более высокий потенциал процесса абсорбции, т.е. можно увеличить холодопроизводительность АВХА ПД и производительность по извлечению воды из атмосферного воздуха. Так при росте температуры греющего источника от 65°С до 95°С минимальная температура в зоне охлаждения снижается от 7°С до минус 17°С.

2. При увеличении температуры атмосферного воздуха холодопроизводительность АВХА ПД снижается, причем особенно заметна эта тенденция при больших долях аммиака в зоне генерации.

3. Проведенная оценка холодопроизводительности АВХА ПД показала, что она возрастает с увеличением температур греющего источника, причем при более низких значениях температуры атмосферного воздуха эта тенденция более явная.

4. При низкой температуре атмосферного воздуха можно получить максимальные значения холодопроизводительности АВХА ПД, увеличив количество аммиака в зоне генерации.

5. Несмотря на определенные с точки зрения термодинамики перспективы применения АВХА ПД в системах получения воды из атмосферного воздуха, окончательную оценку их эффективности можно получить после проведения конструктивного расчета, который и предполагается выполнить в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.В., Чекарев К.В. Получение пресной воды из влажного воздуха // Аридные экосистемы. – 1996. – Т. 2. – № 2–3.
2. Перельштейн Б.Х. Новые энергетические системы [Текст]: монография / Б.Х. Перельштейн; Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008. – 244 с.

УДК 621.56-022.532

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ МАСЕЛ С ДОБАВКАМИ ФУЛЛЕРЕНОВ В БЫТОВОМ ХОЛОДИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

*Хлиева О.Я., к.т.н., Мороз С.А., Лукьянов Н.Н., к.т.н., Железный В.П., д.т.н.,
Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. Мартыновского В.С. Одесской национальной
академии пищевых технологий, г. Одесса, Украина
E-mail: khliyev@ukr.net*

Повышение энергетической эффективности холодильного оборудования является основным требованием развития данной отрасли, ориентированным на рациональное использование энергии и снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду. Применение нанотехнологий, в частности использование нанофлюидов, может способствовать решению данного вопроса, без модернизации холодильного оборудования. В литературе имеются результаты экспериментальных исследований, посвященные применению нанофлюидов как в качестве рабочих тел холодильного оборудования (растворов хладагент/компрессорное масло/наночастицы) [1-18], так и в качестве промежуточных тепло- и хладоносителей [1]. Так как наночастицы не участвуют в фазовых переходах в рабочем цикле холодильной машины, то основная причина повышения энергетической эффективности холодильного оборудования связана, по всей видимости, с изменением свойств компрессорных масел с

наночастицами (наномасел). Теоретически, повышение общей энергоэффективности холодильной системы, использующей наномасло, может быть связано как со снижением износа деталей и потерь энергии на трение в компрессоре, так и с интенсификацией теплообменных процессов (прежде всего из-за изменения теплофизических свойств реального рабочего тела - хладагент/ компрессорное масло/ наночастицы).

По имеющейся в литературе информации в качестве добавок в компрессорные масла для холодильного применения различные исследователи используют: наночастицы оксидов металлов (Al_2O_3 , TiO_2) [2-14], наночастицы NiFe_2O_4 [15], поверхностно-модифицированный графит [16], фуллерены [17, 18], нанотрубки [13].

Из анализа рассмотренных работ следует, что результаты применения наночастиц в качестве примесей к компрессорному маслу в ряде случаев приводят к повышению показателей энергетической эффективности холодильного оборудования (увеличению холодильного коэффициента или снижению суточного потребления энергии бытовыми холодильными приборами). Хотя, следует заметить, что иногда позитивный эффект лежит в пределах погрешности выполненных экспериментов. В ряде работ [13, 14, 16] отмечена зависимость степени улучшения энергетических характеристик при использовании наномасла от концентрации наночастиц в масле. Характерная особенность работ [3-7, 15] заключается в том, что авторы попытались заменить более сложные в использовании полиэфирные масла на минеральные с добавками наночастиц и при этом экспериментально получили заметное повышение энергетических характеристик холодильной машины. Несмотря на то, что эти эксперименты проводились в идентичных условиях, делать выводы о перспективности применения наночастиц при таком подходе нельзя, так как не понятно, какой фактор оказал большее влияние – применение иного компрессорного масла или добавка в рабочее тело наночастиц. Так, на оригинальном экспериментальном стенде, созданном в лаборатории кафедры теплофизики и прикладной экологии ОНАПТ, авторами данной работы было показано [18], что при одинаковых рабочих параметрах холодильной компрессорной системы с хладагентом R600a холодильный коэффициент при использовании минеральных масел с различной вязкостью отличается на 5-7%.

В работе [8] рассматривались характеристики холодильной машины при использовании в качестве рабочего тела раствора R134a/наночастицы Al_2O_3 /полиалкиленгликольное масло и аналогичного рабочего тела без наночастиц. Показано, что при концентрации наночастиц в рабочем теле 0,2 масс.% энергопотребление снижается на 10,32 %. К сожалению, в этой работе не проведено сравнение холодильного коэффициента при работе на нанохладагенте и чистом хладагенте.

Автор работы [9] проводил сравнение параметров эффективности холодильной машины, работающей на хладагенте R12 с чистым минеральным маслом и тем же маслом с примесями наночастиц TiO_2 . Показано, что при концентрации наночастиц 0,01 об. % в компрессорном масле холодильный коэффициент возрастал на 17%.

В работе [10] авторы рассматривали применение наномасла (минеральное масло с примесями 0,2 масс. % наночастиц TiO_2) в холодильной машине с герметичным компрессором при разных температурах кипения. Показано, что потребляемая компрессором мощность при его заправке наномаслом на 9,33 % меньше, чем при использовании масла без наночастиц. Следует подчеркнуть, что в проведенных экспериментах наблюдалось увеличение усредненного по температуре кипения значения холодильного коэффициента на 16,08 %.

В работе [11] на калориметрическом стенде были проведены исследования работы компрессорной системы с использованием в качестве хладагента изобутана и изобутана с добавками наночастиц TiO_2 с концентрациями 0,01 и 0,05 масс. % при трех значениях температуры кипения. Показано незначительное (не более чем на 1,5 %), лежащее в пределах погрешности эксперимента, снижение потребляемой компрессором мощности и увеличение холодопроизводительности (на 0,5 %) при использовании в качестве хладагента изобутана с наночастицами. Кроме того, кажется не совсем корректным использованный в работе подход к приготовлению рабочего тела, при котором наночастицы смешивались с хладагентом.

Аналогичные рабочие тела были использованы при испытании бытового холодильника [12]. Исследования показали снижение суточного времени работы компрессора бытового холодильника на нанохладагентах на 3,2%.

В работе [13] проводилось сравнение энергетических характеристик системы, работающей по циклу теплового насоса при использовании полиэфирного компрессорного масла и двумя образцами наномасла (с наночастицами TiO_2 и углеродными нанотрубками). Кроме того, проводилось сравнение работы оборудования с минеральным маслом и наномаслом (с наночастицами TiO_2). Влияние добавок наночастиц TiO_2 в полиэфирное масло (при трех концентрациях) на величину коэффициента

преобразования теплового насоса было небольшим, в пределах погрешности эксперимента. Примеси углеродных нанотубок в масле привели к уменьшению коэффициента преобразования на 3,3%. Такой же отрицательный эффект был зафиксирован при использовании наночастиц TiO_2 в минеральном масле. Вероятнее всего объяснить полученный результат можно отсутствием использования поверхностно активных веществ при приготовлении наномасла, что могло привести к агрегации наночастиц при смешивании с хладагентом (хотя авторы утверждали, что проводились наблюдения за стабильностью наномасел после их приготовления).

Авторами данного исследования ранее получены результаты по энергетическим характеристикам холодильной компрессорной системы при использовании минерального компрессорного масла с наночастицами Al_2O_3 (0,08 и 0,52% масс.) и TiO_2 (0,48 и 1,00 % масс.) [2, 14]. Показано, что добавка указанных наночастиц всегда приводит к увеличению холодильного коэффициента системы. Величина этого эффекта зависит как от вида и концентрации наночастиц, так и от массового расхода рабочего тела в системе. При расходах, оптимальных для работы экспериментальной установки, укомплектованной компрессором бытового холодильного прибора, эффект увеличения холодильного коэффициента составлял от 3 до 6 % для различных наномасел, хотя при низких расходах эффект был выше.

В исследовании [16] рассматривалась работа бытового холодильного прибора (БХП) с использованием хладагента R600a и минерального компрессорного масла с добавками поверхностно модифицированного графита в концентрациях 0,05%, 0,1%, 0,2% и 0,5% масс. Проведенный эксперимент показал, что наибольшее снижение коэффициента рабочего времени (на 15,22%) и суточного энергопотребления (на 4,55 %) наблюдается при концентрации графита в масле 0,1 % масс. При концентрации 0,5 % масс. модифицированного графита эффект практически не наблюдался, а при концентрации 0,05% и 0,2% масс. суточное энергопотребление снижалось на 3,54 и 3,61 % соответственно. Особенность приготовления данного наномасла заключалась в использовании нанодисперсного поверхностно-модифицированного графита, стоимость которого (в силу отсутствия отработанной технологии приготовления) высока.

В качестве углеродного наноматериала перспективным является использование компрессорного масла с добавками фуллеренов, технология производства которых уже хорошо отработана. Еще одной положительной особенностью их использования является хорошая агрегативная стабильность в компрессорных маслах [17, 18, 19] и экспериментально подтвержденное снижение потерь энергии на трение при использовании масла с фуллеренами [19-21]. Вместе с тем, влияние примесей фуллеренов в компрессорном масле на показатели энергетической эффективности холодильного оборудования изучено еще недостаточно [17, 18], хотя приведенные в этих работах результаты исследования указывают на перспективность применения данного наномасла. Авторы работы [17] констатируют увеличение холодильного коэффициента бытового холодильника на 5,3-5,6% при использовании компрессорного масла с концентрацией в нем фуллеренов 3 г/л.

Экспериментальное сравнение показателей энергетической эффективности холодильной компрессорной системы при использовании рабочих тел R600a/минеральное масло и R600a/минеральное масло /фуллерены C_{60} .

Для оценки перспектив использования компрессорного масла с добавками фуллеренов авторами работы было проведено экспериментальное исследование показателей энергетической эффективности холодильной компрессорной системы при использовании минерального масла с добавками 0,5% масс. фуллеренов C_{60} [18]. В экспериментальной установке [2, 14] применялся компрессор Atlant SKH 150, предназначенный для использования в бытовых холодильниках. В проведенной серии экспериментов измерялись холодопроизводительность и потребляемая компрессором мощность при различных расходах рабочего тела (в диапазоне 0,0002 – 0,0004 кг/с), температурах кипения хладагента (от 254,9 до 255,8 К) и конденсации (от 300,2 до 301,6 К). Параметры работы компрессорной системы исследовались при работе на следующих рабочих телах: хладагент R600a (изобутан)/компрессорное масло (минеральное масло с вязкостью 19,5сСт при 40°С); R600a/масло/ фуллерены C_{60} с концентрацией 0,5 % масс.

Сравнение полученных экспериментальных результатов по величине холодопроизводительности и потребляемой компрессором мощности при использовании минерального масла без добавок и масла с фуллеренами приведены на рис. 1. Как видно, в среднем мощность, потребляемая компрессорной системой с наномаслом, уменьшилась на 5-6% (в зависимости от расхода рабочего тела) при приблизительно постоянном значении холодопроизводительности, что согласуется с результатами, полученными в работе [17].

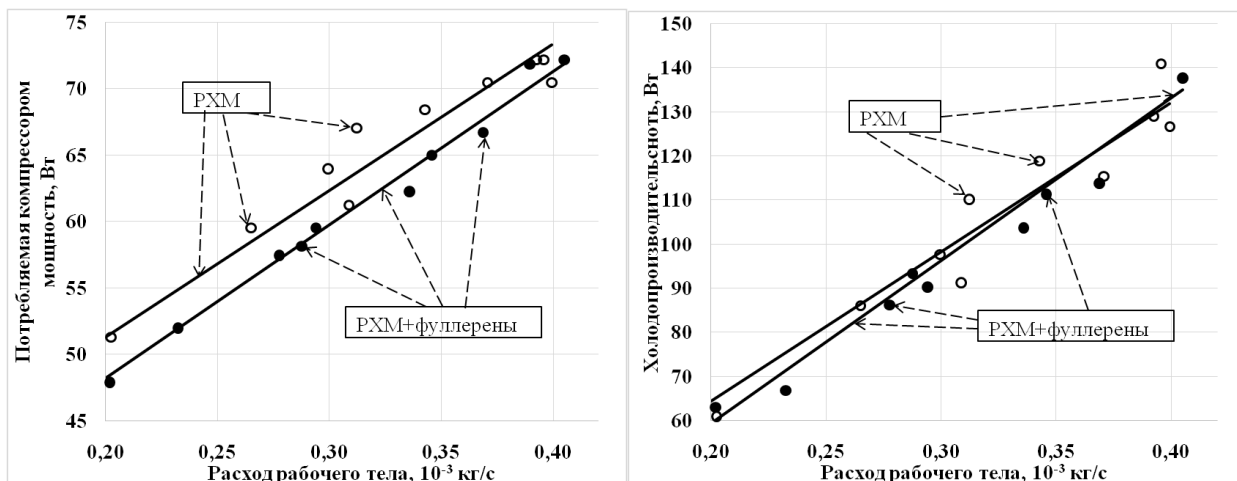


Рисунок 1 - Зависимость потребляемой компрессором мощности и холодопроизводительности от расхода рабочего тела в контуре холодильной компрессорной системы: \circ – PXM (R600a/масло); \bullet – PXM+фуллерены C_{60} (0,50 % масс.).

Эколого-энергетическое обоснование перспектив использования минерального компрессорного масла с добавками фуллеренов C_{60} в бытовом холодильном оборудовании.

Несмотря на то, что применение в бытовых холодильных приборах компрессорных наномасел не влечет за собой изменение конструкции оборудования, вывод о перспективах применения наномасел целью повышения энергоэффективности БХП должен быть обоснован с позиций эколого-энергетического анализа. Стоимость компрессорного масла с добавками наночастиц окислов металлов может существенно возрасти из-за сложности его приготовления, а углеродные наноматериалы (поверхно-модифицированного углерода или фуллеренов) сами отличаются высокой стоимостью.

По мнению авторов настоящей работы, величина индекса энергетической эффективности I [25], по численному значению которого определяется класс энергетической эффективности БХП, не может являться критерием для оценки перспективности применения наномасел, так как этот критерий не учитывает энергетические затраты на создание БХП. Очевидно, что высокий класс энергетической эффективности, как правило, обеспечивается высокими затратами на создание БХП. Использование для анализа БХП методики LCC (LifeCycleCost) позволяет учесть фактор высокой стоимости оборудования, но не учитывает экологические аспекты эксплуатации холодильных приборов. Вместе с тем, в материалах UNEP [26] подчеркивается, что создание нового энергоемкого холодильного оборудования должно проводиться с учетом необходимости снижения выбросов парниковых газов на всех этапах жизненного цикла БХП – от его создания до эксплуатации и утилизации.

Поэтому в соответствии с уже известными принципами оценки эквивалентной эмиссии парниковых газов при производстве искусственного холода [22-24] был разработан эколого-энергетический индикатор эффективности БХП:

$$\delta = \frac{ПЭЭПГ}{V_{\text{бхп}}} \cdot \tau, \text{ кгСО}_2\text{./(л}\cdot\text{сутки)} \quad (1)$$

где: $ПЭЭПГ$ – полная эквивалентная эмиссия парниковых газов на жизненном цикле БХП, кг CO_2 -экв; $V_{\text{бхп}}$ – приведенный объем БХП, л; τ – период эксплуатации БХП, сутки.

Отметим, что расчет величины $V_{\text{бхп}}$ осуществляется по методике, используемой при оценке класса энергоэффективности БХП [25]. Предложенный индикатор не противоречит традиционно используемому для оценки энергетической эффективности критерию I , вместе с тем дополняет его.

Общая зависимость для расчета $ПЭЭПГ$ приведена в ряде работ [22-24]. Применительно к БХП формула для расчета полной эквивалентной эмиссии парниковых газов имеет вид:

$$ПЭЭПГ_{\text{БХП}} = \beta(e_{\text{ВВП}} \cdot c_i^{\text{об}} + e^{u.m.} \cdot n^{u.m.}) + N_{\text{сут}} \cdot \beta \cdot \tau \cdot 365 + m_{\text{хл}} \cdot GWP, \quad (2)$$

где: β – выбросы CO_2 при производстве 1 кВт·ч электроэнергии для конкретной страны, кг CO_2 -экв/кВт·ч; $e_{\text{ВВП}}$ – энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) для конкретной страны, кВт·ч/ден.ед.; $c_i^{\text{об}}$ – себестоимость производства оборудования, ден.ед.; $e^{u.m.}$ – энергетический эквивалент человеческого труда при создании оборудования, кВт·ч/чел·час; $n_i^{u.m.}$ – трудозатраты на производство оборудования, чел·ч; $N_{\text{сут}}$ – суточное энергопотребление БХП, кВт·сут; τ – срок эксплуатации оборудования, год; $m_{\text{хл}}$ – масса утечек хладагента при эксплуатации оборудования и его

утилизации, кг/год; $GWP_{xл}$ - потенциал глобального потепления хладагента, CO_2 -экв/кг.

Данный экоиндикатор может быть использован как для обоснованного выбора перспективного рабочего тела (в частности, наномасла), так и для оценки общей эколого-энергетической эффективности БХП.

Для оценки перспектив применения компрессорного масла с фуллеренами по предложенной методике, на основании полученных экспериментальных данных был выполнен эколого-энергетический анализ БХП. Кроме того, была выполнена оценка индекса энергетической эффективности I БХП по стандартной методике [25].

Результаты расчета индекса энергетической эффективности I по полученным экспериментальным данным для массового расхода рабочего тела 0,0004 кг/с, характерного для БХП с компрессором Atlant СКН 150, показывают, что при использовании наномасла с содержанием 0,5 % масс.фуллеренов в сравнении с традиционным компрессорным маслом величина I уменьшается на 4,9%. Полученный результат говорит о увеличении энергетической эффективности БХП, что позволяет сформулировать вывод о принципиальной возможности повышения класса энергетической эффективности объекта исследования при использовании компрессорного масла с фуллеренами C_{60} .

Для оценки возможности применения полученных экспериментальных данных к анализу эколого-энергетической эффективности БХП был выполнен расчет теплопритоков в холодильную и морозильную камеру. В качестве объекта исследования использовался домашний холодильник НОРД ДХ-271, укомплектованный компрессором Atlant СКН 150. С использованием экспериментальных данных о потребляемой холодильной компрессорной системой мощности и холодопроизводительности рассчитаны коэффициент рабочего времени, суточное энергопотребление, и величина индекса энергетической эффективности БХП при использовании компрессорного масла с добавками фуллеренов и без них при разных расходах рабочего тела.

При выполнении расчетов показателя эколого-энергетической эффективности приняты следующие исходные данные: стоимость бытового холодильника НОРД ДХ-271 - 227 U.S.\$.; при анализе системы с наномаслом дополнительно учитывались затраты на приобретение фуллеренов C_{60} чистотой 99,5% в количестве 1,5 грамма; масса заправки хладагента R600a - 55 грамм; по данным U.S. EnergyInformationAdministration, значение энергоёмкости валового внутреннего продукта ($e_{ВВП}$) для Украины в 2011 г. - 16,56 кВт.ч/U.S.\$; по данным, приведенным на официальном сайте World-statistics, эквивалентная эмиссия парниковых газов при производстве 1 кВт.ч электроэнергии для Украины - $\beta = 0,697$ кг CO_2 /кВт.ч. Срок эксплуатации БХП у разных производителей колеблется в пределах 7-15 лет и, так как принятая для расчета величина срок эксплуатации скажется на результатах эколого-энергетического анализа, расчет выполнялся для периода 7, 10, 15 лет.

Результаты выполненного расчета удельного экоиндикатора δ в зависимости от расхода рабочего тела при разных сроках эксплуатации БХП представлены на рисунке 2.

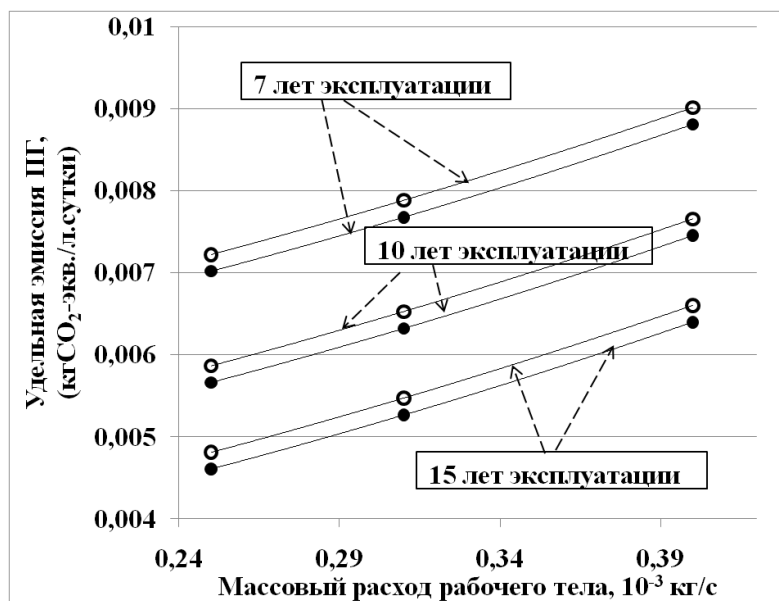


Рисунок 2 - Зависимость эколого-энергетического индикатора δ от расхода рабочего тела в контуре холодильной компрессорной системы при разных сроках эксплуатации БХП: \circ - РХМ (R600a/масло); \bullet - РХМ+фуллерены C_{60} (0,50 % масс.).

Анализ полученных значений величины удельной эмиссии парниковых газов на единицу объема бытового холодильного прибора δ показал, что для БХП, использующего компрессорное масло с примесями фуллеренов C_{60} , величина δ меньше, чем для БХП с традиционным компрессорным маслом, что говорит о большей эколого-энергетической эффективности БХП с наномаслом.

Использование наномасла с фуллеренами приводит к снижению косвенных выбросов CO_2 в атмосферу в связи с уменьшением суточного энергопотребления. Выполненный анализ вкладов в общую величину ПЭЭПГ показывает, что косвенный вклад от энергопотребления БХП больше, чем косвенный вклад от затрат на его производство (особенно при больших сроках эксплуатации). По этой причине небольшое увеличение косвенного вклада в ПЭЭПГ от повышения стоимости наномасла нивелируется снижением косвенного вклада от энергопотребления.

Снижение энергопотребления БХП без существенной модернизации оборудования является приоритетным направлением совершенствования бытовых приборов. В проведенном исследовании показано, что добавки фуллеренов C_{60} в минеральное компрессорное масло в количестве 0,5% масс. привели к уменьшению индекса энергетической эффективности бытового холодильника на 4,9%, что позволяет сформулировать вывод о принципиальной возможности повышения класса энергетической эффективности БХП при использовании наномасла с фуллеренами C_{60} . Выполненный анализ показывает, что применение компрессорных масел с добавками наночастиц обеспечивает решение задачи повышения эколого-энергетической эффективности, при незначительном увеличении затрат на производство БХП, связанном с повышенной стоимостью компрессорных наномасел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Celen, A. A review of nanorefrigerants: Flow characteristics and Applications / A. Celen, A. Çebi, M. Aktas, O. Mahian, A. S. Dalkilic, S. Wongwises // *International Journal of Refrigeration*. – 2014. – Vol. 44. – P. 125–140.
2. Chen, G. An experimental and theoretical investigation of the compressor oil and nanoparticles admixtures influence on the performance of the compressor systems / G. Chen, V. Zhelezny, K. Shestopalov, N. Lukianov, M. Polyuganich // *Proc. 24th International Congress of Refrigeration*. - Yokohama, Japan, August 16 - 22, 2015. - ID 318. - 8 p.
3. Bi, S. Application of nanoparticles in domestic refrigerators / S. Bi, L. Shi, Li. Zhang // *Applied Thermal Engineering*. – 2008. – Vol. 28, Issue 14-15. – P. 1834–1843.
4. Bi, S. Performance of a domestic refrigerator using TiO_2 -R600a nano-refrigerant as working fluid / S. Bi, K. Guo, Z. Liu, J. Wu // *Energy Conversion and Management*. – 2011. – Vol. 52, Issue 1. – P. 733–737.
5. Padmanabhan, V. M. V. The use of TiO_2 nanoparticles to reduce refrigerator irreversibility/ V. M. V. Padmanabhan, S. Palanisamy // *Energy Conversion and Management*. – 2012. – Vol. 59. – P. 122–132.
6. Subramani, N. Experimental studies on a vapour compression system using nanorefrigerant / N. Subramani, M. J. Prakash // *International Journal of Engineering, Science and Technology*. – 2011. – Vol. 3, Issue 9. – P. 95–102.
7. Jwo, C. S. Effects of nanolubricant on performance of hydrocarbon refrigerant system / C. S. Jwo, L. Y. Jeng, T. P. Teng, H. Chang // *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*. – 2009. – Vol. 27, Issue 3. – P. 1473–1477.
8. Kumar, D. S. Experimental Study on Al_2O_3 -R134a Nanorefrigerant in Refrigeration System / D. S. Kumar, R. D. Elansezhian // *International Journal of Modern Engineering Research*. – 2012. – Vol. 2, Issue 5. – P. 3927–3929.
9. Sabareesh, R. K. Application of TiO_2 nanoparticles as a lubricant-additive for vapor compression refrigeration systems – An experimental investigation / R. K. Sabareesh, N. Gobinath, V. Sajith, S. Das, C. B. Sobhan // *International Journal Refrigeration*. – 2012. – Vol. 35, Issue 7. – P. 1989–1996.
10. Sajumon, K. T. Performance analysis of nanofluid based lubricant / K. T. Sajumon, V. Jose Jubin, S. Sreejith, V. Menon Aghil, P. N. SreerajKurup, S. Sarath // *Proceedings of International Conference on Energy and Environment – 2013 (ICEE 2013)*, 2013. – P. 832–838.
11. Кулешов, Д. К. Влияние наночастиц TiO_2 на энергетическую эффективность холодильных машин, работающих на изобутане/ Д. К. Кулешов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Т. 5, № 8 (71). – С. 47–52.
12. Кулешов, Д. К. Экспериментальное исследование характеристик домашнего холодильника, использующего нанофлюид $R600A/TiO_2$ / Д. К. Кулешов, И. Н. Красновский // *Холодильная техника та технология*. – 2014. – № 5 (151). – С. 12–16.
13. Fedele, L. Nanofluids Characterization and Application as Nanolubricants in Heat Pumps Systems/ L. Fedele, L. Colla, S. Minetto, M. Scattolini, F. Bellomare, S. Bobbo, V. Zin // *Science and Technology for the Built Environment*. – 2015. – 21. – P. 621-630.
14. Лукьянов, Н. Н. Исследование перспектив применения нанохладагентов с целью повышения эколого-энергетической эффективности оборудования / Н. Н. Лукьянов, О. Я. Хлиева, В. П. Железный, Ю. В. Семенюк // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Т. 3, № 5 (75). – С. 32-40.
15. Wang, R. Use of nanoparticles to make mineral oil lubricants feasible for use in a residential air conditioner employing hydro-fluorocarbons refrigerants / R. Wang, Q. Wu, Y. Wu // *Energy and Buildings*. – 2010. – Vol. 42, Issue 11. – P. 2111–2117.

16. Lou, J. Experimental investigation of graphite nanolubricant used in a domestic refrigerator / J.Lou, H.Zhang, R. Wang // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2015. – Т. 7. – №. 2. – P. 1-9.
17. Xing, M. Application of fullerene C₆₀ nano-oil for performance enhancement of domestic refrigerator compressors / M.Xing, R.Wang, J.Yu // *International Journal of Refrigeration*. - 2014.- Vol. 40. - P. 398-403.
18. Хлиева, О. Я. Экспериментальное исследование влияния примесей фуллеренов C₆₀ в компрессорном масле и величины вязкости масла на показатели эффективности холодильной компрессорной системы / О. Я. Хлиева, С. А. Мороз, Н. Н. Лукьянов, В. П. Железный // *Вестник Международной Академии Холода*. – 2015. – принято к печати.
19. Lee, K. Performance evaluation of nanolubricants of fullerene in refrigeration mineral oil/ K.Lee, Y.Hwang, S.Cheong, L.Kwon, S.Kim, J.Lee // *Current Applied Physics*. - 2009. - Vol. 9, Issue 2. - P. 128-131.
20. Ku, B.C. Tribological effects of fullerene (C60) nanoparticles added in mineral lubricants according to its viscosity. / B.C.Ku, Y.C.Han, J.E.Lee, J.K.Lee, S.H. Park // *Int. J. Precis. Eng. Man.* – 2010. – Vol.11. – P. 607-611.
21. Lee, K. Understanding the Role of Nanoparticles in Nano-oil Lubrication/ K.Lee, Y.Hwang, S. Cheong, Y. Choi, L. Kwon, J. Lee, S. H. Kim // *Tribology Letters*. – 2009. – Vol.35, Issue 2. – P.127-131.
22. Chen, G. Ecological and energy efficiency analysis of reasonability application of ejector air conditioner compared to vapor compression equipment / G.Chen, V.Zhelezny, O.Khliyeva, K.Shestopalov, V.Ierin // *Proc. 24th International Congress of Refrigeration*. - Yokohama, Japan, August 16 - 22, 2015. - ID 787. - 8 p.
23. Zhelezny, V. Assessment of Total Equivalent of Greenhouse Gases Emission in the Industry / V. Zhelezny, O. Hlieva, S. Artemenko // *CD Proceedings of the 3rd Europeans Congress “Economics and Management of Energy in Industry”*. – Lisboa, Portugal, 2004.
24. Железный, В. П. Методика расчета полной эквивалентной эмиссии парниковых газов в промышленности / В. П. Железный, Н. П. Быковец, О. Я. Хлиева, В. П. Степанова, А. Б. Суходольская // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 2004. – № 6. – С. 34–43.
25. COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 1060/2010 of 28 September 2010 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of household refrigerating appliances // *Official Journal of the European Union*.
26. UNEP 2014. Report of the Refrigeration, air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee [Electronic resource] / Assessment, 2014. – Available at: http://www.montreal-protocol.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/RTOC/RTOC-Assessment-Report-2014.pdf.

УДК 621.565.83, 536.332

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАТОРОВ ТРУБЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ НОЧНОГО РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

*Цой А.П., к.т.н., Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан,
Грановский А.С., магистр, ТОО «Тениз», г. Алматы, Казахстан,
Бараненко А.В., д.т.н., Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
E-mail: teniz@bk.ru, granovskiy.a@rambler.ru, baranenko@mail.ifmo.ru*

Ночное радиационное охлаждение – это способ понижения температуры, основанный на передаче тепла в виде инфракрасного излучения через атмосферу Земли в окружающее космическое пространство [1]. Устройство для отвода теплоты за счет ночного радиационного излучения будем называть радиатором, а совокупность устройств, для осуществления охлаждения – системой ночного радиационного охлаждения (НРО).

Для определения того, как будет вести себя система НРО в тех или иных климатических условиях, необходимо определить, как различные факторы влияют на холодопроизводительность радиатора.

Достоверную математическую модель процессов теплообмена сравнительно просто разработать для радиатора пластинчатой конструкции, выполненного из двух металлических листов, между которыми протекает теплоноситель [2,3,4]. Однако, если радиатор имеет более сложную геометрическую форму (например представляет собой набор параллельных трубок), построение аналитической модели значительно усложняется.

Можно путем регрессионного анализа построить математическую модель радиатора на основе экспериментальных данных. Однако, в связи с тем, что погодные условия, в которых работает радиатор, трудно моделировать на экспериментальной установке, требуется значительное количество времени (от нескольких месяцев до года) для проведения эксперимента в естественных условиях.