

УДК 53.089:536-3:62-974:62-1

О.А. Онищенко, д-р техн. наук,
Л.В. Мельникова канд. техн.наук

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОХОДИМОСТИ МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Представлена экспериментально-аналитическая методика косвенного определения коэффициента теплопроводности, отличающаяся применением относительно простых измерительных средств и вспомогательного оборудования. Методика иллюстрируется примером оценки коэффициента теплопроводности для бытового холодильного прибора с морозильной и холодильной камерами.

Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, электрический холодильный коэффициент, энерго-сбережение, бытовой холодильный прибор.

O.A. Onishchenko, ScD.,
L.V. Melnikova, PhD.

CALCULATION FACTOR OF THERMAL PASSABLENESS OF THE SMALL REFRIGERATION UNITS

We present experimental-analytical method indirect measurement of the coefficient of thermal conductivity, where in the use of relatively simple measuring instruments and auxiliary equipment. The technique is illustrated by estimates of the coefficient of thermal conductivity of domestic refrigeration appliance with the freezing and refrigerating chambers.

Keywords: coefficient of thermal conductivity, electrical cooling rate, energy-savings, household refrigerating appliance.

О.А. Онищенко, д-р техн. наук,
Л.В. Мельникова, канд. техн.наук

РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТУ ТЕПЛОПРОХІДНІСТІ МАЛИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Представлено експериментально-аналітичну методику непрямого визначення коефіцієнту теплопрохідності, що відрізняється застосуванням відносно простих вимірювальних засобів і допоміжного устаткування. Методика ілюструється прикладом оцінки коефіцієнта теплопрохідності побутового холодильного приладу з морозильною й холодильною камерами.

Ключові слова: коефіцієнт теплопрохідності, електричний холодильний коефіцієнт, енергозбереження, побутовий холодильний прилад.

Одна из основных задач производителей холодильной техники – создание энергетически эффективного, в том числе и бытового, холодильного оборудования. В настоящее время количественное определение уровня энергетической эффективности бытовых холодильных приборов (БХП) и малых холодильных установок (МХУ) весьма затруднено. Это связано с тем, что сложно поддаются учету и оценке одновременно влияние на электрический холодильный коэффициент ε , характеризующий энергетическое совершенство установки, изменение тепловой нагрузки и количество циркулирующего хладагента. Подчеркнем, что при экспериментальном определении электрического холодильного коэффициента ε , необходим целый ряд кон-

структивных и технических параметров, а также множество частных коэффициентов испытуемой холодильной установки.

Эти параметры и коэффициенты, как правило, лишь частично известны и могут существенно изменяться в ходе экспериментов. Один из основных коэффициентов, используемый при анализе уровня энергетической эффективности любой холодильной установки, это суммарный коэффициент теплопроводности – $k_n \cdot F_n$, Вт/°С, где F_n – общая площадь поверхности наружных ограждений холодильной камеры или холодильного шкафа, м², а k_n – суммарный коэффициент теплопередачи названных ограждений, Вт/(м²·°С).

И если значение F_n можно достаточно точно рассчитать для любой известной конструкции холодильной камеры или холодильного шкафа, то значение k_n крайне сложно опре-

делить, так как суммарный коэффициент теплопередачи является сложной функцией коэффициентов теплоотдачи α , Вт/(м²·°С) и теплопроводности λ , Вт/(м·°С) наружных ограждений и внутренних изоляционных слоев ограждений МХУ [3, 5].

Решению задачи оценки результирующего коэффициента теплопроводимости МХУ посвящено много, в основном – экспериментальных, работ. Однако все известные [1, 2, 4, 5] экспериментальные исследования по определению $k_n \cdot F_n$ требуют достаточно сложного измерительного оборудования и проводятся в специальных условиях. Проведение испытаний БХП регламентируется ДСТУ 2295-93 – “Приборы холодильные электрические бытовые. Общие технические условия”. Указанный ДСТУ содержит в себе сложные требования целого ряда международных стандартов – ISO 8187 (EN 28187), ISO 7371, ISO 5155 и других. Тем не менее, выполнение требований ДСТУ 2295-93 позволяет определить коэффициенты теплопроводимости, значения потребляемой энергии, температуры хранения продуктов и многие другие параметры БХП. Такие испытания проводятся в особых климатических камерах с применением весьма сложной калориметрической измерительной техники.

Например, в ЗАО “Группа Норд” [1] используется информационно-измерительная, оснащенная мощной вычислительной техникой станция испытаний бытовых холодильных приборов “СИ-ПСХ-1”, входящая в состав комплексной автоматизированной системы теплоэнергетических испытаний БХП ЗАО “Группа Норд”.

Цель статьи – представить новую экспериментально-аналитическую методику, позволяющую проводить косвенную оценку результирующего коэффициента теплопроводимости $k_n \cdot F_n$ малых холодильных установок. Экспериментальная оценка коэффициентов теплопроводимости шкафа БХП не предполагает вмешательства в гидравлический тракт холодильной установки. В результате использования предложенной методики возможно проведение количественной оценки энергетических свойств МХУ, в том числе в режимах их работы с плавно регулируемой холодопроизводительностью.

Предлагаемую методику проиллюстрируем на примере исследования теплопроводимости БХП [82].

Если в холодильный шкаф (ХШ) с одним уровнем температур хранения (без морозильной камеры) поступает тепло Q_n только через теплоизоляцию наружных ограждений, то величина теплопритока определится известным выражением:

$$Q_n = k_n \cdot F_n \cdot (t_{н.в.} - t_{в.к.}), \text{ Вт}$$

где $t_{н.в.}$ и $t_{в.к.}$ – соответственно, средние значения температур воздуха снаружи и внутри холодильной камеры, °С.

Безусловно, что для установившегося температурного режима работы это тепло соответствует текущей холодопроизводительности компрессора БХП.

Обозначим через Q_m максимально возможную, при заданных температурных условиях, холодопроизводительность компрессора, достигаемую при его непрерывной работе, т.е. при коэффициенте рабочего времени компрессора $b = 1$. Обозначив через $k \cdot F = k_n \cdot F_n$ суммарный коэффициент теплопроводимости шкафа, можно записать:

$$b \cdot Q_m = k \cdot F \cdot (t_{н.в.} - t_{в.к.}). \quad (1)$$

Очевидно, что непосредственно измерить $k \cdot F$ и Q_m простыми средствами невозможно.

Представляемая экспериментально-аналитическая методика оценки коэффициента теплопроводимости БХП основана на принципах стационарности тепловых режимов и допущении, что коэффициент теплопроводимости в ходе проведения экспериментов не меняется ($k \cdot F = k_n \cdot F_n \approx const$).

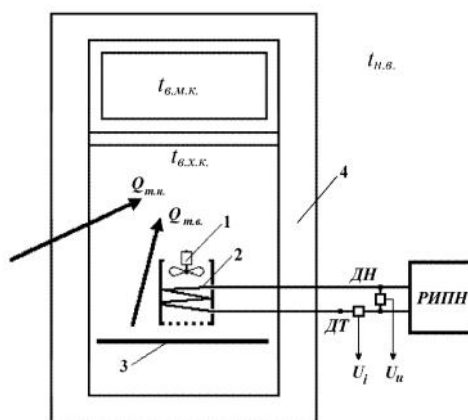


Рис. 1. Пояснение принципа построения установки для определения $k \cdot F$ и Q_m

Упрощенная функциональная схема для экспериментов с БХП, имеющем холодильную и морозильную камеры (два уровня температур хранения), приведена на рис. 1.

На рисунке обозначены: $t_{н.в.}$, $t_{в.х.к.}$, $t_{в.м.к.}$ – средние значения температур наружного воздуха, воздуха внутри холодильной и морозильной камер, соответственно; 1 – микродвигатель тепловентилятора; 2 – выделяющая электронагревательная спираль; 3 – теплораспределяющая металлическая панель; 4 – шкаф БХП; $ДН$ и $ДТ$ – датчики напряжения и тока с соответствующими выходными сигналами U_u и U_i ; $РИПН$ – регулируемый источник постоянного напряжения; $Q_{т.н.}$ – наружный теплоприток через ограждения; $Q_{т.в.}$ – внутренний, управляемый со стороны тепловентилятора, теплоприток.

Учитывая, что величина теплопритока от тепловентилятора содержит две составляющие – тепло, создаваемое спиралью 2 и тепло выделяемое микродвигателем 1 (принятое постоянным и равным, примерно, 8 Вт), считаем, что вся электрическая мощность, изменяемая $РИПН$, преобразуется в тепловую мощность $Q_{т.в.}$. Кроме того, считаем, что за счет принудительной циркуляции воздуха внутри незагруженных имитаторами продуктов камер, в них поддерживается требуемое равномерное распределение температур и предотвращается образование льда в районе испарителя.

Проведем избыточный эксперимент с различной измеряемой и устанавливаемой $РИПН$ тепловой мощностью $Q_{т.в.}$, не помещая БХП в климатическую камеру. Эксперименты проводятся в кондиционируемом помещении, а терморегулятор БХП устанавливается в фиксированное (например, среднее) положение.

В ходе i -экспериментов, при достижении квазиустановившегося (по ДСТУ 2295-93) режима стабилизации температуры, например, в холодильной камере, фиксируются следующие переменные: средние значения наружного воздуха $t_{н.в.i}$ и воздуха в холодильной камере $t_{в.к.i}$; время включенного $\tau_{вкл.i}$ и отключенного $\tau_{откл.i}$ состояния компрессора; суммарную мощность источника внутреннего теплопритока $Q_{т.в.i}$.

Далее составляется избыточная система из i -уравнений, содержащая искомые значения коэффициента теплопроводимости холодильной камеры $(k \cdot F)_{х.к.}$ максимальной холодопроизводительности $Q_{м1}$:

$$\left. \begin{aligned} b_1 \cdot Q_{м1} - (k \cdot F)_{х.к.} \cdot (t_{н.в.1} - t_{в.х.к.1}) &= Q_{т.в.1} \\ b_2 \cdot Q_{м1} - (k \cdot F)_{х.к.} \cdot (t_{н.в.2} - t_{в.х.к.2}) &= Q_{т.в.2} \\ \dots\dots\dots \\ b_i \cdot Q_{м1} - (k \cdot F)_{х.к.} \cdot (t_{н.в.i} - t_{в.х.к.i}) &= Q_{т.в.i} \end{aligned} \right\}; \quad (2)$$

при известных коэффициентах рабочего времени $b_i = \tau_{вкл.i} / (\tau_{вкл.i} + \tau_{откл.i})$.

Решая (2), находим $Q_{м1}$ и $(k \cdot F)_{х.к.}$.

Проведя аналогичный эксперимент с морозильной камерой БХП, составляем избыточную систему уравнений, подобную (2), и определяются $Q_{м2}$ и коэффициент теплопроводимости морозильной камеры $(k \cdot F)_{м.к.}$.

Очевидно, что за рассматриваемый период времени среднее значение холодопроизводительности БХП, имеющего два различных средних значения уровней температур хранения в камерах, определяется уравнением

$$b \cdot Q_{м} = (k \cdot F)_{х.к.} \cdot (t_{н.в.} - t_{х.к.}) + (k \cdot F)_{м.к.} \cdot (t_{н.в.} - t_{м.к.}) \quad (3)$$

где расчетное среднее значение максимально-возможной холодопроизводительности $Q_{м}$ принимается

$$Q_{м} = (Q_{м1} + Q_{м2})/2. \quad (4)$$

Следует отметить, что экспериментально получаемые значения $Q_{м1}$ и $Q_{м2}$ достаточно близки и, без особых погрешностей, можно принимать $Q_{м} \approx Q_{м1} \approx Q_{м2}$.

Теперь БХП может исследоваться в различных условиях – изменениях тепловой нагрузки, температуры конденсации, использовании управляемого электропривода компрессора и других.

Например, измеряя в незагруженном продуктами (имитаторами продуктов) БХП фактические средние температуры наружного воздуха, воздуха в морозильной и холодильной камерах, можно рассчитать среднее значение холодопроизводительности из выражения

$$Q_0 \approx (k \cdot F)_{х.к.} \cdot (t_{н.в.} - t_{х.к.}) + (k \cdot F)_{м.к.} \cdot (t_{н.в.} - t_{м.к.}) \quad (5)$$

и при необходимости рассчитать массовый расход холодильного агента, а также, измерив фактический расход электроэнергии, – электрический холодильный коэффициент.

Некоторые из результатов экспериментальных исследований, использующих описанную методику расчета $k \cdot F$ для БХП, сравнивались с регулируемой холодопроизводительностью. Сравнение результатов экспериментов автора [2] с результатами, приведенными в [1], показало их высокую сопоставимость.

Таким образом, представленная методика оценки коэффициентов теплопроводности $k_n \cdot F_n$ может быть применена для практически любых малых холодильных установок, поскольку использует относительно простое оборудование, измерительные средства и несложный алгоритм обработки результатов измерений температур и электрических параметров.

Список использованной литературы

1. Кrasновський І.Н. Нова методика розрахунку теплоприпливів у шафу побутових холодильних приладів (ПХП) виробництва АТ «Норд» / І.Н. Кrasновський, І.М. Радіоненко // Промисловий холод і аміак. Зб. наук. праць. – Одеса: ОДАХ, 2004. – С. 61-65.

2. Онищенко О.А. Методика идентификации электрического холодильного коэффициента малых холодильных установок в режимах регулируемой холодопроизводительности / О.А. Онищенко // Холодильная техника и технология. – 2008. – №4(114). – С. 81-85.

3. Маакe В. Учебник по холодильной технике / В. Маакe, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен; пер. с франц. под ред. В.Б. Сапожникова. – М.: МГУ, 1998. – 1142 с.

4. Chumak I. Monitoring and energy saving control for reciprocating refrigerating compressors / I. Chumak, Y. Zhyvytsya, O. Onishchenko // Compressors-2006: 6 Int. Conf. on Compressors & Coolants. – Papiernicka, 2006. – P. 383-390.

5. Dossat R.J. Principles of Refrigeration / R.J. Dossat, T.J. Horan. – NY: Prentice Hall Press, 2002. – P. 454.

References

1. Krasnovskii I.N. A new method of calculation of thermal tides in the closet of household refrigeration equipment (HRE) produced by JSC "Nord" / I.N. Krasnovskii, I. Radionenko // Refrigeration and ammonia. Scientific Papers. – Odessa: OSAR, 2004. – P. 61-65. [in Ukrainian].

2. Onishchenko O.A. Methods of identifying electrical coefficient of performance small refrigeration mode controlled performance of cold / O.A. Onishchenko // Refrigeration equipment and technology. – 2008. – № 4 (114). – P. 81-85. [in Russian].

3. Maake B. Textbook of refrigeration / B. Maake, G.-Y. Eckert, J.-L. Coshpen; translated from French. Edited V.B. Sapognikov. – Moscow: Moscow Univer. Press, 1998. – 1142 p. [in Russian].

4. Chumak I. Monitoring and energy saving control for reciprocating refrigerating compressors / I. Chumak, Y. Zhyvytsya, O. Onishchenko // Compressors-2006: 6 Int. Conf. on Compressors&Coolants. – Papiernicka, 2006. – P. 383-390. [in English].

5. Dossat R.J. Principles of Refrigeration / R.J. Dossat, T.J. Horan. – NY: Prentice Hall Press, 2002. – P. 454. [in English].

Получено 05.03.2012



Онищенко Олег Анатольевич, д-р техн. наук, проф. каф. электротехники и электронных устройств Одесской госуд. академии холода, Одесса, ул. Дворянская, 1/3.
Тел.: (048) 720-91-71



Мельникова Любовь Васильевна, канд. техн. наук, доц. каф. ЭМСКУ Одесского нац. политехн ун-та
Тел. (048)7332016.