

## **Способ локального определения технического состояния компрессионного бытового холодильного прибора**

**А.В.Кожемяченко, М.А. Лемешко, С.П. Петросов, В.В. Рукасевич, В.В. Шерстюков, М.И. Романова**

Бытовые холодильные приборы (БХП) в настоящее время нашли широкое применение не только в быту, но и в медицине, торговле, гостиничном и ресторанном хозяйстве и на других предприятиях и в организациях различной формы собственности [1,2].

Эти приборы эксплуатируются весь срок наработки, обусловленный требованиями нормативно-технической документации, практически без наблюдения потребителем за их техническим состоянием [3,4,5].

Однако в процессе эксплуатации БХП испытывает воздействие различных эксплуатационных факторов снижающих показатели их надежности [6,7].

К таким факторам можно отнести температуру окружающего воздуха, износ трибосапряжений хладонового компрессора, физико-химическую стабильность рабочей среды, не плотность прилегания дверей к шкафу холодильного прибора и др. [8,9].

В первую очередь влияние всех вышеперечисленных факторов сказывается на повышении суточного энергопотребления БХП.

Поэтому в рамках требований Федерального закона «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» Российской Федерации от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ текущее определение технического состояния БХП в процессе эксплуатации является актуальной задачей.

Одним из способов определения технического состояния бытового холодильного прибора, является способ его испытания с применением специальных стендов. Например, способ, реализуемый на переносном стенде СХ-2 [10]. При использовании этого стенда измеряется время работы хладонового

компрессора и времени нахождения его в выключенном состоянии, на основании результатов измерений в регламентируемых условиях, например, согласно ГОСТ 16317-87 [11], вычисляется коэффициент рабочего времени (КРВ), значение которого сравнивается с КРВ эталонного холодильника, или с регламентируемыми эталонными значениями КРВ для конкретных моделей. Одновременно с КРВ, измеряется температура в камерах холодильника, которая, сравнивается с регламентируемыми значениями температуры для конкретных режимов его испытания, для их типовых моделей, в соответствие с климатическим классом, согласно ГОСТ 30204-95 [12].

Достоинством этого способа является то, что измерение времени работы и стоянки хладонового компрессора позволяет вычислять один из важных энергетических показателей работы хладонового компрессора – КРВ, являющийся интегральной характеристикой технического состояния всего БХП.

КРВ косвенно характеризует холодопроизводительность агрегата и герметичность холодильного шкафа. Прибор позволяет реализовать метод измерения температур в холодильном и морозильном отделениях и сравнивать опорные (эталонные) КРВ с фактическими, измеренными после определенного периода эксплуатации. При этом способе вывод о техническом состоянии бытового холодильника выполняется на основании сравнения КРВ и температур в камерах исследуемого холодильного прибора с КРВ и температурами в камерах эталонного или с показателями заведомо исправного однотипного, нового холодильного прибора.

Недостатком способа оценки технического состояния с использованием прибора «СХ-2» является то, что показатель КРВ зависит от температуры окружающего воздуха. Чем выше температура воздуха, окружающего холодильный прибор, тем выше его КРВ, при прочих неизменных параметрах. Описанный способ дает ориентировочную оценку технического состояния БХП, и не автоматизирован – измерения и вычисления выполняются специалистом, прибор не предусматривает возможности записи результатов измерений и вычислений КРВ.

Другим методом определения технического состояния бытового холодильного прибора является определение его холодопроизводительности на стендах, имеющих теплоизолированные камеры и калориметр [13]. Сущность этого метода заключается в измерении холодопроизводительности работающего холодильного агрегата при постоянных внешних условиях.

Метод определения холодопроизводительности в теплоизолированной камере осуществляется путем ручного регулирования мощности нагревателя калориметра, размещенного в одной теплоизолированной емкости с испарителем исследуемого работающего агрегата. При этом добиваются теплового равновесия (теплового баланса) вырабатываемого холода и компенсирующего тепла. Полученное значение мощности нагревательного элемента при тепловом установленном равновесии характеризует холодопроизводительность агрегата. Такой способ обеспечивает измерение и сравнение фактической холодопроизводительности исследуемого холодильника с ожидаемой, полученной расчетным путем или с холодопроизводительностью эталонного (образцового) однотипного холодильного прибора. По сходимости или отличию этих показателей оценивается техническое состояние исследуемого бытового холодильного прибора.

Недостатком рассмотренного способа оценки технического состояния бытового холодильника на калориметрических стендах и в теплоизолированной камере является громоздкость стенда, длительность испытаний, ручное управление процессом измерений, снятие показателей по шкальным манометрам, а так же то, что измерения имеют относительно высокую погрешность.

Известен также метод определения работоспособности и технического состояния бытового холодильника, путем прямого измерения температуры в испарителе в нескольких «точках» [14]. Сравнивая фактические измерения температуры в испарителе, после наступления устоявшегося режима с ожидаемой (на основании опыта), принимают решение о техническом состоянии бытового холодильного прибора.

Недостатком такого способа является то, что температура в испарителе зависит от многих условий эксплуатации и без регламентирования этих условий оценка технического состояния БХП по этому способу будет ориентировочной и требует дополнительных действий для достижения цели.

Наиболее близким по технической сущности к разработанному способу является способ определения технического состояния подсистем бытовых компрессионных холодильников [15], в котором измеряют диагностические параметры: температуру воздуха и температуру хладона в точках подсистем холодильного агрегата, а значения искомых параметров БХП определяют косвенным путем, путем подстановки результатов прямых измерений параметров в расчетные зависимости, при этом измеряют температуру окружающего воздуха, рассчитывают значение давления или температуры хладона в исследуемых подсистемах по соответствующим выражениям инвариантов подобия функционирования холодильного агрегата, сравнивают рассчитанные значения давления или температуры с их соответственными нормативными значениями и делают вывод о соответствии технического состояния подсистем их заданному состоянию.

Недостатком такого способа определения технического состояния подсистем бытовых компрессионных холодильников является использование метода неполных измерений параметров, характеризующих техническое состояние подсистем БХП, а измерение некоторой части этих параметров и вычисление других параметров на основе инвариантов подобия функционирования, что усложняет получение показателей технического состояния подсистем БХП. При этом уменьшается достоверность показателей технического состояния, так как прямые измерения более достоверны в сравнении с косвенными, получаемыми расчетным путем. Кроме того, такой способ не может быть автоматизирован, так как в этом случае требуется выполнение относительно сложных расчетов, на основе анализа полученных результатов.

Цель работы - устранить вышеперечисленные недостатки рассмотренных способов определения технического состояния БХП. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

- обеспечение автономности выполнения процесса оценки технического состояния БХП по интегральным показателям;
- упрощение процесса оценки технического состояния БХП;
- повышение достоверности заключения о техническом состоянии БХП.

Поставленные задачи решаются тем, что способ определения технического состояния БХП, включающий выполнение нормативных условий испытания холодильника в зависимости от его класса и модели, при номинальных значениях температуры окружающей среды, заключается в том, что для нормативных условий испытаний перед началом эксплуатации БХП измеряется (измеряются) одна (или несколько) характеристик, определяющих интегральные показатели технического состояния БХП, вычисляются показатели технического состояния, которые принимаются за базовые значения, выполняется запись (регистрация) этих показателей, а по истечению нормированного периода эксплуатации, выполняются последующие проверочные измерения этих же характеристик и вычисляются эти же показатели, которые сравниваются с базовыми. По сходимости или расхождению этих показателей оценивается техническое состояние всего холодильного прибора. При этом для записи результатов измерений характеристик, вычисления показателей технического состояния БХП, выполнения операций сравнения и управления подпрограммами по обеспечению нормированных условий измерений, используется контроллер системы управления БХП.

В качестве нормированных показателей технического состояния БХП в разработанном способе могут быть использованы следующие интегральные показатели технического состояния БХП:

- индекс энергетической эффективности или оценка по среднегодовому энергопотреблению;
- среднесуточное энергопотребление;

- коэффициент рабочего времени;
- скорость заморозки.

Возможно применение и других показателей технического состояния БХП, например, скорость охлаждения в камерах БХП после размораживания и уборки внутри шкафа, температура на входе и выходе из испарителя и другие показатели технического состояния БХП и его подсистем, которые не являются нормированными, но при измерениях могут быть использованы для оценки технического состояния БХП.

Индекс энергетической эффективности холодильника вычисляется по формуле:

$$I = \frac{E_{\text{факт}}}{E_{\text{станд}}} 100\%,$$

где  $E_{\text{факт}}$  - фактическое годовое потребление электроэнергии холодильным прибором, кВт·ч;

$E_{\text{станд}}$  - стандартное годовое потребление для холодильного прибора данной категории, определяемое при испытаниях эталонного (нового) до периода его эксплуатации, или значение годового потребления, которое указывается производителем в паспорте на изделие, кВт·ч.

Фактическое суточное энергопотребление определяется согласно требований ГОСТ 30204-95 при температуре окружающей среды плюс 25<sup>0</sup>С.

В качестве нормированного показателя интегральной оценки БХП, может быть использован КРВ измеряемый при нормированном значении температуры окружающей среды. Так же сравнивается эталонное его значение нового (эталонного) холодильника с КРВ холодильника после нормированного периода его эксплуатации. По расхождению значений эталонного и фактического значения КРВ судят о техническом состоянии БХП.

Предлагаемый способ реализуется алгоритмом определения технического состояния БХП, приведенным на «рис. 1».

Первым этапом диагностирования является создание нормативных условий испытания БХП. Согласно ГОСТ 16317-87 и ГОСТ 30204-95, создаются

условия испытания нового изделия – БХП, которые включают поддержание температуры окружающего воздуха плюс 25<sup>0</sup>С, работу холодильника без загрузки продуктами или имитаторами продуктов, без открывания дверей холодильного шкафа.

При этом интегральными показателями технического состояния БХП являются величина измененного энергопотребления и/или коэффициент рабочего времени. В качестве интегральных показателей технического состояния БХП могут быть использованы другие показатели, например, мощность заморозки по ГОСТ 16317-87 или скорость охлаждения воздуха в камерах.

Вторым этапом является измерение опорных (эталонных) характеристик технического состояния БХП.

Третьим этапом определения технического состояния БХП является запись измеренных значений интегральных и частных показателей и характеристик в энергонезависимую память контролера системы управления БХП в соответствующие адресные ячейки памяти с возможностью считывания содержания ячеек и выполнения вычислений показателей технического состояния БХП.

Четвертым этапом является включение таймера регламентируемого периода эксплуатации БХП. Таким периодом может быть полгода или год.

Период работы БХП до первых контрольных измерений может изменяться в зависимости его прогнозируемой надежности, наличия новых малоизученных элементов, которые увеличивают вероятность измерения технического состояния и, что влияет на установление периодичности информирования пользователя состоянием текущего энергопотребления БХП.

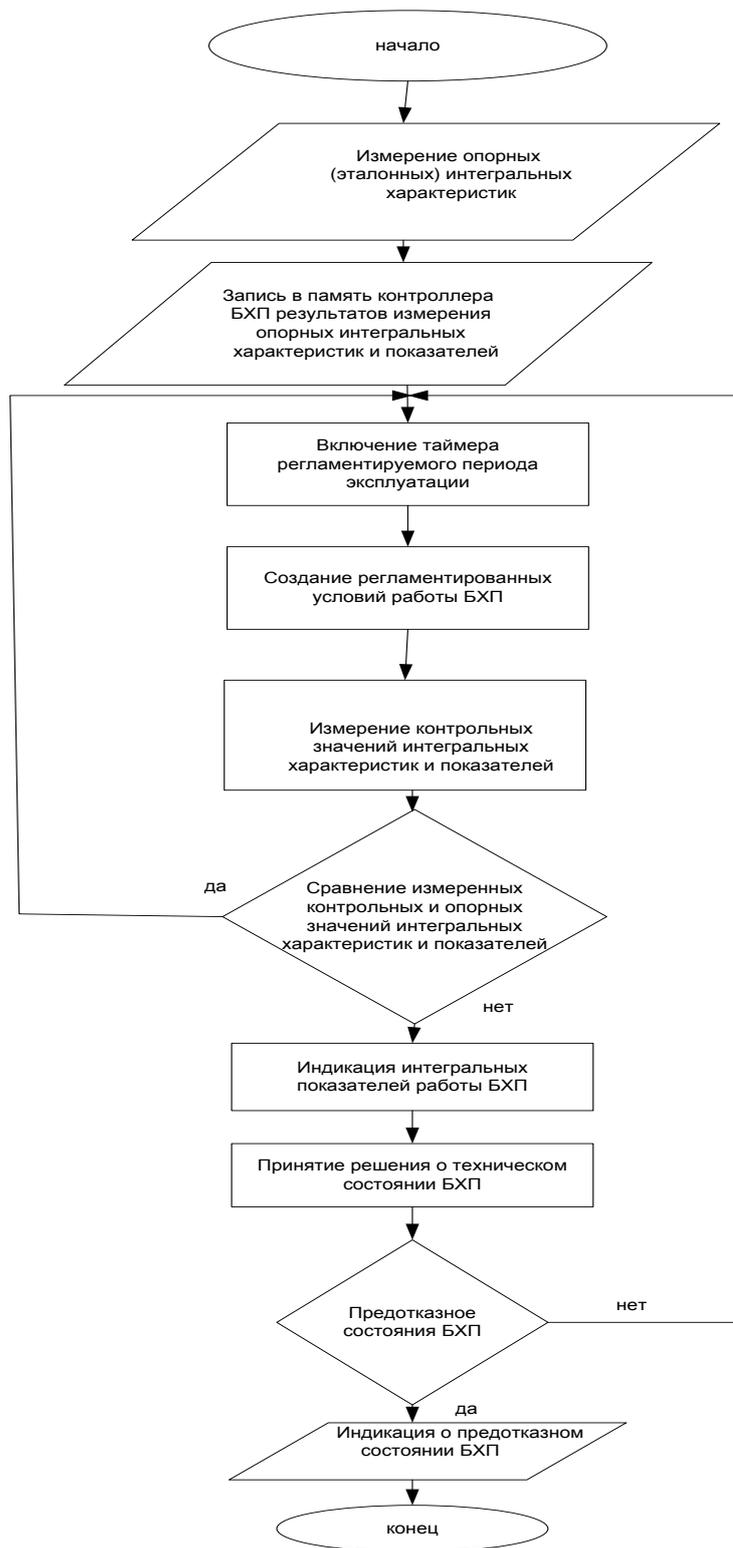


Рис. 1. – Алгоритм реализации разработанного способа определения технического состояния БХП.

По истечению установленного периода эксплуатации выполняется пятый этап определения технического состояния БХП, который заключается в создании регламентированных условий испытания, аналогичных условиям первого этапа.

Такие условия могут быть созданы принудительно или выполнены в период размораживания и/или уборки в холодильном шкафу. Основным регламентированным условием для проведения следующего этапа является установление регламентированного значения температуры окружающего воздуха. Например, с использованием кондиционера или сплит-системы.

Шестой этап включает контрольные измерения значений соответствующих характеристик и вычисление интегральных показателей технического состояния БХП.

Показатели интегральной оценки технического состояния БХП включают показатели, принятые на втором этапе диагностирования. Такие, как суточное энергопотребление и/или КРВ и/или скорость охлаждения и/или суммирующие показатели, например, среднесуточное энергопотребление за период между первичным измерением опорных (эталонных) интегральных показателей, измерением контрольных значений после регламентированного периода работы БХП.

При этом результаты контрольного измерения интегральных характеристик и показателей размещаются в память контроллера системы управления БХП, во вторую группу ячеек, соответственно с размещением значений измерений на третьем этапе.

Седьмой этап включает сравнение интегральных показателей технического состояния БХП, используя записи их значений из первой группы ячеек памяти и второй группы ячеек памяти, соответственно с наименованием оцениваемых параметров.

Восьмой этап заключается в выводе на индикатор результатов измерений базового (эталонного значения) и контрольного значения интегральных характеристик технического состояния БХП.

Девятый этап заключается в принятии решения об оценке технического состояния БХП по интегральным показателям.

При этом отклонение значения каждого контрольного показателя от значения базового (эталонного) сравниваются с допустимыми отклонениями

каждого показателя, внесенных в третью ячейку памяти контроллера управления БХП.

Если эти отклонения незначительны, и не превышают установленных пределов, принимается решение о продолжении эксплуатации БХП без индикации результатов сравнения, при этом на индикатор могут быть выведены сообщения для пользователя о благополучном техническом состоянии БХП.

Десятый этап предусматривает выявление критических отклонений и включения индикации о предаварийном состоянии на панели контроллера БХП. Возможно также дистанционное информирование сервисного центра о критическом состоянии БХП конкретного пользователя.

Техническое состояние БХП определяется интегральным показателем, который выбирается производителем холодильника или специалистом по программированию контроллера системы управления БХП.

В зависимости от выбранного показателя или показателей в контроллер вводится подпрограммы для измерения определенных характеристик работы БХП и вычисления показателя/показателей технического состояния БХП.

Например, для оценки технического состояния БХП по КРВ измеряется время работы компрессора  $\tau_p$  и время его стоянки  $\tau_c$  за один или несколько установившихся циклов, согласно ГОСТ 16317-87 и вычисляется показатель КРВ:

$$\theta = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_c}.$$

При этом выполняются следующие условия измерений:

а) контролируется температура окружающего воздуха. Преимущественно температура окружающего воздуха должна быть плюс 25<sup>0</sup>С (это условие идентично условиям заводских испытаний).

б) В расчете КРВ используются характеристики только тех циклов, за которые двери холодильного шкафа БХП не открывались, а температура окружающего воздуха не изменялась или изменялась незначительно, не более 3...5%.

Для оценки технического состояния БХП по среднесуточному или среднегодовому энергопотреблению измеряется фактическая потребляемая мощность за один, несколько установившихся циклов работы компрессора или за длительный срок эксплуатации, от одного месяца до года эксплуатации.

При измерении потребляемой мощности за один или несколько циклов необходимо также контролировать и/или поддерживать за период измерений температуру окружающего воздуха, преимущественно плюс 25<sup>0</sup>С и обеспечивать измерения без открывания холодильного шкафа БХП.

Расчет среднесуточного энергопотребления выполняется на основании результатов измерения потребленной мощности одного или нескольких циклов работы компрессора в установившемся режиме.

Оценка суточного энергопотребления БХП на основании измерений одного цикла в установившемся режиме выполняется следующим образом.

Вычисляется ожидаемое число циклов за сутки:

$$n_u = \frac{24}{\tau_u},$$

где  $\tau_u = \tau_p + \tau_c$  – длительность одного цикла.

Вычисляется среднесуточное энергопотребление:

$$E_{сум} = E_u \cdot n_u,$$

где  $E_u$  - замеренная потребляемая мощность за один цикл.

Оценка среднесуточного энергопотребления на основании измерений потребляемой мощности за несколько циклов выполняется по следующим выражениям:

$$\bar{\tau}_u = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{ui}}{n};$$

$$n_u = \frac{24}{\bar{\tau}_u};$$

$$\bar{E}_u = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n};$$

$$E_{\text{сут}} = \bar{E}_u \cdot n_u,$$

где  $\bar{\tau}_u$  - среднее значение длительности цикла за  $n$  циклов работы компрессора;

$\tau_{ui}$  - значение  $i$ -го измерения длительности каждого из  $n$  циклов;

$n_u$  - число циклов в сутки;

$\bar{E}_u$  - среднее значение  $n$  измерений  $i$ -го энергопотребления  $E_i$  за каждый  $i$ -й цикл.

Оценка среднесуточного энергопотребления  $E_{\text{сут}}$  за более длительный период от 1 мес. до 1 года определяется отношением потребленной энергии за этот период к числу суток за этот период. Например:

$$E_{\text{сут}} = \frac{E_{30}}{30},$$

где  $E_{30}$  – потребляемая мощность за 30 дней.

Интегральная оценка технического состояния БХП по среднесуточному энергопотреблению позволяет сравнивать вычисленные значения энергопотребления с паспортными значениями энергопотребления БХП и определить соответствие испытываемого холодильника его энергетическому классу в начале эксплуатации и после истечения задаваемого срока эксплуатации [16].

Оценка технического состояния БХП по скорости охлаждения, например, в холодильной камере выполняется путем сравнения скорости охлаждения в начальном (исходном) техническом состоянии БХП со скоростью охлаждения после регламентированного периода эксплуатации для идентичных условий измерения скорости охлаждения.

При этом контроллер управления БХП обеспечивает измерение температур в начале охлаждения, когда температура в камере равна температуре окружающей среды и на протяжении периода времени  $\tau_{охл}$ , за которое температура понижается до рабочего значения плюс  $2...5^{\circ}\text{C}$ . Достижение этой температуры является командой для остановки таймера времени работы компрессора. Далее вычисляется разница между температурой окружающей сре-

ды  $t_{oc}$  и температурой в камере  $t_{охл}$  и которая делится на время работы компрессора за этот период

$$V_{охл} = \frac{t_{oc} - t_{охл}}{\tau_{охл}}$$

Определение скорости охлаждения осуществляется под управлением подпрограммы контроллера системы управления БХП.

При этом выполняется сравнение температуры окружающего воздуха и температуры внутри исследуемой камеры БХП. Если температуры не равны, измерение не выполняется; если температуры равны, вырабатываются команда на включение компрессора и команда на запуск таймера текущего времени с момента работы компрессора, сигнал с датчика температуры внутри камеры холодильника является командой для остановки таймера текущего времени и начала определения (вычисления) скорости охлаждения.

Подпрограмма определения скорости охлаждения выполняется первично для нового холодильника при температуре окружающего воздуха от 20 до 30<sup>0</sup>С и через устанавливаемый период эксплуатации, преимущественно при температуре окружающей среды, равной температуре окружающей среды при испытании нового холодильника.

При последующих измерениях скорости охлаждения устанавливается такое же значение температуры окружающей среды. Измерение скорости охлаждения выполняется при незагруженных продуктами камерами холодильника.

Такие измерения можно выполнять в периоды размораживания и уборки внутри камер.

Разработанный способ определения технического состояния БХП обладает следующими преимуществами в сравнении с другими выше рассмотренными способами:

- упрощается процесс определения технического состояния БХП, т.к. не требуется дорогостоящих и громоздких калориметрических стендов;

- не требуется выполнять вычисления характеристик через критерии, а непосредственно измерять эти характеристики, что минимизирует участие человека;

- увеличивается точность и достоверность диагностики, так как исключаются погрешности нелинейностей в критериях подобия, а косвенные вычисления заменяются измерением фактических значений характеристики и показателей;

- способ обладает большей мобильностью, т.к. обеспечивает возможность определять техническое состояние БХП, общее (интегральное) без участия человека и с минимальными требованиями к условиям реализации способа;

- способ может быть использован в системе самодиагностики (преимущественно), так и при стационарных испытаниях БХП в ремонтных мастерских, а также при ремонтах «на дому»;

- способ может стать основой выпуска БХП с электронным паспортом, где в заводских условиях при плановых заводских испытаниях в электронной памяти контроллера системы управления БХП будут сохранены интегральные и локальные (номинальные) характеристики нового прибора.

### **Литература:**

1. Кожемяченко А.В. Методологические основы обеспечения технического состояния бытовых холодильных приборов в процессе их жизненного цикла [Текст]: дис. докт. техн. наук: 05.02.13: защищена 27.11.09: утв. 12.03.10.- Шахты: ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2009.-357с.

2. Петросов С.П, Научные основы повышения эффективности бытовых холодильников компрессионного типа [Текст]: дис. докт. техн. наук: 05.02.13: защищена 16.03.07: утв. 8.06.07.- Москва, 2007.-375с.

3. Кожемяченко А.В., Лемешко М.А., Рукасевич В.В., Шерстюков В.В. Снижение энергопотребления бытового холодильного прибора путем интенсификации охлаждения конденсатора [Эл. ресурс] // «Инженерный вестник

Дона», 2013, № 1. – Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1556> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз.рус.

4. Якобсон В.Б. Малые холодильные машины [Текст] / В.Б. Якобсон.- Москва: Пищевая промышленность, 1977.-с.16-20.

5. Dowing, R.O. Refrigerants: Service Pointers. – Refrigeration Service and Contracting. – 1971. – V. 39. – № 10. – P. 38, 40–41.

6. Кожемяченко А.В. Влияние эксплуатационных загрязнений на энергетические потери герметичных агрегатов бытовой холодильной техники [Текст] / А.В. Кожемяченко, Тез. докладов на внутривузовской конференции «Совершенствование техники и технологии и проблемы экологии производства». Шахты. 1994.-с.16-19.

7. Лалетин И.В. Математическое описание законов движения потока воздуха, свободно истекающего из камеры бытового холодильного прибора [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/607> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз.рус.

8. Кожемяченко А.В. Влияние эксплуатационных примесей на работоспособность холодильных агрегатов [Текст]/ А.В. Кожемяченко, Ю.К. Тюбин //Экспресс информ.: ЦБНТИ, МБОН РСФСР. Сер. Ремонт бытовой техники.- 1984.- Вып. 3.-с.1-10.

9. Jokerst, R.W. What kind of filter-dried fits your system best / R.W. Jokerst // Refrigeration service and contracting. – 1974. – V. 42. – № 8. – P. 22–26.

10. Лепавев Д.А. Ремонт бытовых холодильников, М.: Легпромбытиздат, 1989, с.255-258.

11. ГОСТ 1631787С.19 «Приборы холодильные электрические бытовые. Общие технические условия»

12. ГОСТ 30204-95 Эксплуатационные характеристики БХП. Методы испытаний.

13. Стенд для испытаний герметичного холодильного агрегата. А.с.SU 1315762 Оpub. 08.02.87 Авторы: И.В. Болгов, В.В. Левкин, А.В. Кожемяченко, С.Н. Алехин, С.В. Минаков.

14. Диагностическая система для бытовых электроприборов. Заявка RU № 2005121143, Оpub. 20.01.2006, Бюл. №02 .

15. Способ определения технического состояния подсистем бытовых компрессионных холодильников. Патент RU № 2354899, Оpubл. 10.05.2009. Авторы: Першин В. А., Кожемяченко А. В., Русяков Д. В., Алехин А. С.

16. ГОСТ Р 51565-2000. Приборы холодильные электрические. Эффективность энергопотребления. Методы определения.