

Совершенствование теплообмена конденсаторов бытовых холодильников

М.И. ВОРОНИН, д-р техн. наук Б.С. БАБАКИН

Московский государственный университет прикладной биотехнологии

The use of electrical-gas-dynamic devices (EGD-devices) for the improvement of heat exchange in condensers of domestic refrigerators (electrical convection) is considered. The volt-ampere characteristics of EGD-devices of the type «needle-net» with different distances between electrodes are presented, and also the dependence of the velocity of electric wind from the supply of permanent voltage for different distances between electrodes. To improve the flow-rate and head characteristics of EGD-devices it was offered to use electrodes, consisting of 11 and 31 needles. It was found that the optimum number of needles is 11, and the device with such electrode allows reduction of condensing temperature in domestic refrigerator by 5 ... 7 °C. Improvement of the design of generating electrodes and the use of new materials with increased emission of charges from electrode surface will allow improvement of characteristics of EGD-devices.

Увеличение объема производства холодильного оборудования, применяемого в пищевой промышленности и АПК, и, как следствие, рост энергозатрат и материалов делают задачу интенсификации теплообменных процессов актуальной. Различают пассивные и активные методы интенсификации различных процессов. В области теплообмена к первым можно отнести различные механические побудители расходов жидкости и газов, различные типы турбулизаторов, завихрителей и т.п., использующих механическую энергию, а ко вторым – методы, использующие энергию электрических полей. Отличие указанных методов состоит в способе передачи энергии телу. В случае использования механической энергии физико-химические характеристики рабочего тела не меняются. При использовании сильных электрических полей, генерируемых электрогазодинамическими (ЭГД) устройствами, происходит частичная ионизация молекул рабочего вещества, что существенно меняет картину взаимодействия тела с источником энергии, так как электрические поля действуют только на заряженные частицы, а их состав и количество зависят от свойств самого тела, геометрии газоразрядного промежутка и характеристик накладываемого поля. Ряд преимуществ использования активных методов становится очевидным при создании принудительной конвекции в узких и тупиковых каналах с большим аэродинамическим сопротивлением между ребрами конденсатора (расстояние 1 – 2 мм), в частности, при охлаждении микропроцессоров. Изучение процесса электроконвекции позволит разработать надежные и эффектив-

ные электрогазодинамические устройства для интенсификации процесса теплообмена конденсаторов. Исследования проводились на разработанном на кафедре «Холодильная техника» МГУПБ стенде.

В качестве элементной базы для конструирования ЭГД-устройства были выбраны иглы диаметром $0.5 \cdot 10^{-3}$ м и длиной $30 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве противоэлектрода использовали металлические сетки с размерами ячеек 6; 10 и 20 мм. В литературе имеются весьма противоречивые данные о скоростях электрического ветра [2, 3], получаемых при использовании системы электродов игла – плоскость, что указывает на отсутствие должного понимания процессов в газоразрядном промежутке, создающих электроконвекцию, так как наряду с ней происходит и целый ряд других процессов, способствующих диссипации энергии электрического поля. На сегодня нет устоявшихся методик расчета скорости электрического ветра [1].

Задачей проводимых исследований является выявление закономерностей, позволяющих разрабатывать рациональные конструкции ЭГД-устройств для охлаждения аппаратов (в том числе оребренных конденсаторов бытовых холодильников), обеспечивающих наибольший конвективный поток при незначительных энергозатратах, минимальное содержание побочных продуктов электросинтеза и безопасность конструкции.

Влияние выбранных базовых элементов на формирование электроконвективных потоков изучалось на базе характеристик ЭГД-устройства, состоящего из одной и множества игл (генерирующий электрод) и металлической сетки (противоэлектрода). Предварительные испытания

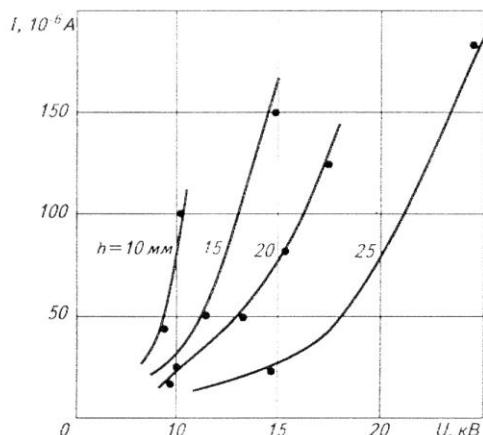


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики ЭГД-устройства (1 игла) при разных межэлектродных расстояниях h

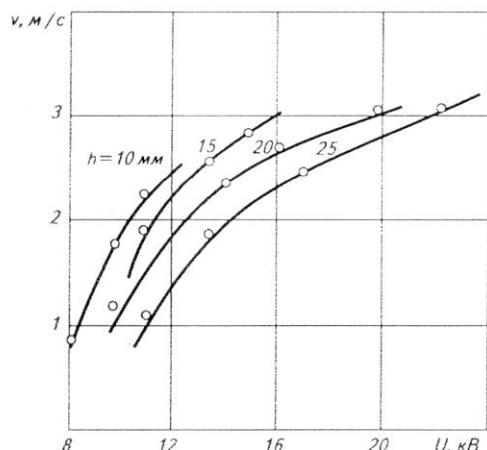


Рис. 2. Зависимость скорости электрического ветра от напряжения при разных расстояниях между электродами

показали незначительную зависимость работы устройства от температуры и влажности в диапазоне $t = 20\ldots35^\circ\text{C}$, $\varphi = 55\ldots65\%$. Что касается размера ячейки противоэлектрода, то, несмотря на влияние последнего на величину тока разряда, приходится прибегать к компромиссу, выбирая наибольшее значение тока при минимальном аэродинамическом сопротивлении.

На рис. 1 приведены вольт-амперные характеристики ЭГД-устройства «игла против сетки» при различных расстояниях между электродами h . Анализ полученных кривых показывает, что с уменьшением расстояния между генерирующим электродом и сеткой ток разряда I при равных напряжениях U возрастает. Однако при значениях $h < 15$ мм в газоразрядном промежутке возникают пробои и резко увеличивается содержание продуктов электросинтеза, поэтому использовать такие межэлектродные расстояния нецелесообразно.

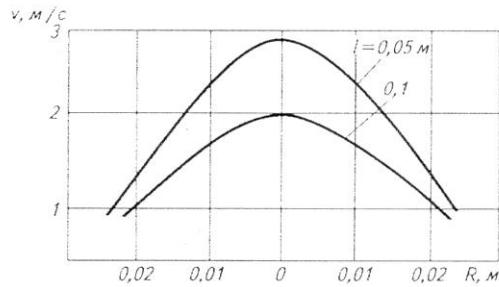


Рис. 3. Распределение скоростей воздушного потока в зависимости от расстояний от противоэлектрода и оси иглы

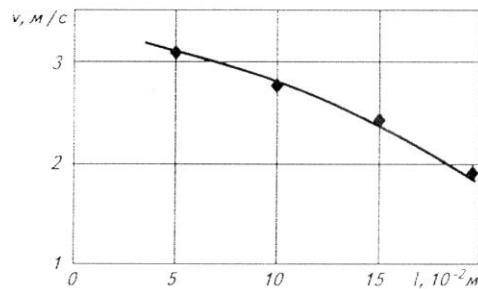


Рис. 4. Скорость электрического ветра на различных расстояниях от противоэлектрода

На рис. 2 представлена зависимость скорости электрического ветра v на оси ЭГД-устройства на расстоянии $5 \cdot 10^{-2}$ м от электрода-сетки от напряжения при тех же условиях, что и в предыдущем случае.

Полученные результаты хорошо коррелируют с выведенной ранее эмпирической зависимостью $v = f(\sqrt{I})$ [4]. При этом вплоть до напряжения 17 кВ продукты электросинтеза присутствовали в воздухе в количестве мень-

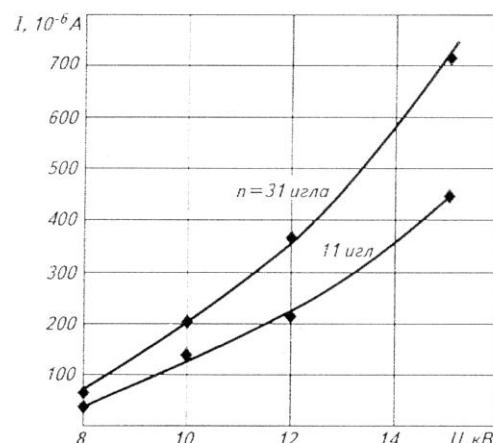


Рис. 5. Вольт-амперные характеристики ЭГД-устройства при разном числе игл на коронирующем электроде ($h = 20$ м.м.)

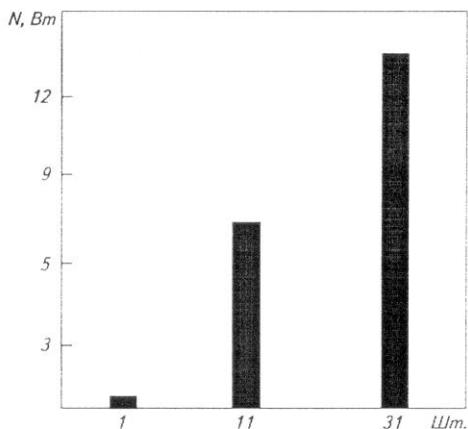


Рис. 6. Зависимость потребляемой мощности от числа игл на генерирующем электроде

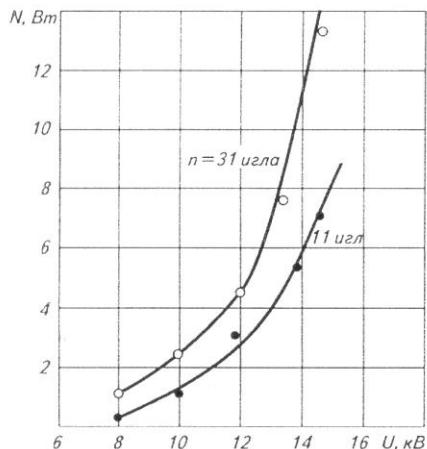


Рис. 7. Зависимость потребляемой мощности от приложенного напряжения

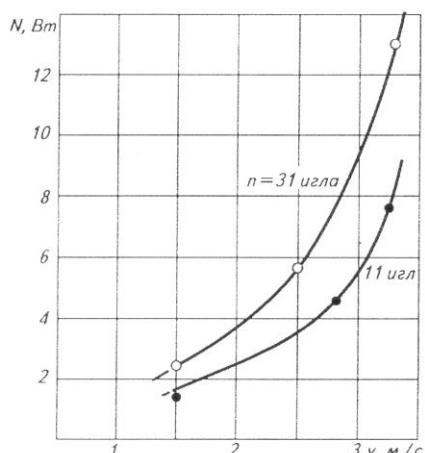


Рис. 8. Зависимость потребляемой мощности от скорости электрического ветра

шем, чем их предельно допустимые концентрации (ПДК). Распределение скоростей воздушного потока за электродом-сеткой в зависимости от расстояния от сетки l и смещения R в радиальном направлении от оси (в нашем случае направление оси совпадает с направлением иглы) показано на рис. 3 и 4.

Для улучшения расходно-напорных характеристик ЭГД-устройства были изготовлены электроды, состоящие из 11 и 31 игл, расположенных с равными интервалами на металлическом проводнике. Вольт-амперные характеристики таких ЭГД представлены на рис. 5.

Отмечено, что при расстоянии между иглами, равном $3 \cdot 10^{-2}$ м (11 игл), мощность, потребляемая ЭГД-устройством, равна сумме мощностей, потребляемых аналогичным числом игл, работающих независимо. Учитывая характер распределения скорости электрического ветра относительно оси иглы (см. рис. 3), можно утверждать, что в указанной конструкции электрода при работе ЭГД-устройства иглы не оказывают взаимного влияния. При использовании же электродов с 31 иглой (расстояние между иглами $1 \cdot 10^{-2}$ м) мощность, потребляемая устройством, почти в 2 раза ниже той, что потребляли бы эти иглы, работая независимо (рис. 6).

Последующий анализ зависимости потребляемой ЭГД-устройством мощности от приложенного напряжения (рис. 7) и от получаемой при этой мощности скорости ветра (рис. 8) показал, что снижение удельных энергозатрат на один элемент конструкции не приводит к снижению энергозатрат на создание электроконвективного потока.

Более того, при равной площади коллектора ($S = 0,1 \times 0,3$ м = $3 \cdot 10^{-2}$ м²) и скорости электрического ветра 2,8...3 м/с, при использовании большего числа игл энергозатраты возрастают более чем на 30 %, причем концентрация продуктов электросинтеза также возрастает.

Известно, что интенсификация процессов электросинтеза в газах напрямую связана с переходом от лавинной

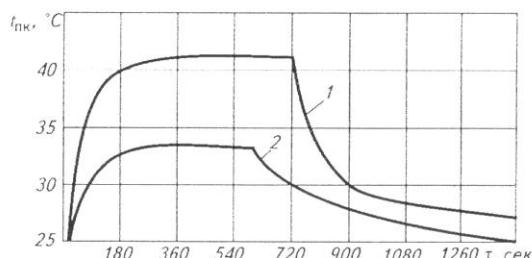


Рис. 9. Изменение температуры поверхности конденсатора t_{nk} от продолжительности работы холодильного агрегата τ для холодильника марки Liebherr KTS 1434-25 при температуре окружающей среды 18°C:
1 – естественная конвекция; 2 – электроконвекция

формы коронного разряда к лавинно-стримерной. Для такого перехода необходимо, чтобы при разряде в воздухе при атмосферном давлении выполнялось условие:

$$Q = \alpha(E)lh = 20,$$

где $\alpha(E)$ – первый ионизационный коэффициент Таунсенда,

а напряженность поля в зоне образования стримеров должна быть $E \approx 5$ кВ/см. При взаимовлиянии игл напряженность электрического поля в газоразрядном промежутке растет и в конечном итоге может даже превысить указанную величину, что указывает еще на одну возможность управлять процессом электроконвекции. Авторы полагают, что при переходе к стримерной форме разряда вклад энергии электрического поля в электроконвекцию снижается, а дополнительная энергия расходуется на электросинтез и другие процессы, сопровождающие разряд.

Оценка эффективности работы ЭГД-устройства по известному процентному отношению мощности воздушного потока к электрической мощности для $S = 3 \cdot 10^{-2}$ м², $U = 15$ кВ, $h = 20$ мм и $v = 2$ м/с дала значение 4,5 % для электрода с 11 иглами и 2,7 % для электрода с 31 иглой.

Использование ЭГД-устройства с коронирующим электродом из 11 игл для охлаждения конденсатора бытового холодильника, находящегося в узком ($600 \times 1000 \times 40$ мм) защитном кожухе, показало высокую эффективность работы ЭГД-устройства: снижение коэффициента рабочего времени в среднем на 15 % и снижение температуры конденсации рабочего тела на 5...7 °C (рис. 9).

Результаты проведенных исследований показывают, что дальнейшее усовершенствование ЭГД-устройств целесообразно осуществлять путем оптимизации конструкции электродных систем, в частности конструкций генерирующих электролов, а также применения новых материалов с повышенной эмиссией зарядов с поверхности электролов.

Список литературы

1. Амирров Я.С. Технико-экономические аспекты промышленной экологии. Ч.1, 1995.
2. Остроумов Г.А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. – М.: Наука, 1979.
3. Физические основы электрической сепарации / Под ред. В.И. Ревнивцева. – М.: Недра, 1983.
4. Robinson. Movement of Air in Electric Wind of Corona Discharge // Transaction AIEE, 1961, v. 80.