

## **СЕКЦИЯ 8 «ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕПЛОФИЗИКА»**

УДК 536.7:661.7

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Щемелев А.П., Голубева Н.В., Самуйлов В.С.**

**Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий  
г. Могилев, Республика Беларусь**

Современные электронные компоненты с каждым годом работают все быстрее. С ростом рабочих скоростей увеличивается энергопотребление и тепловыделение. При перегреве элементы начинают работать некорректно, и это может привести к сбою работы всей системы. Именно поэтому важно использовать хорошие системы охлаждения для эксплуатации электроники в заданном температурном режиме.

В данной работе проведен обзор литературных источников, посвященных экспериментальному исследованию теплофизических свойств жидкостей, используемых при охлаждении радиоэлектронного оборудования.

Охлаждающие жидкости должны обладать хорошими теплофизическими свойствами, такими как высокая теплопроводность и удельная теплоемкость, низкая вязкость и высокая плотность, высокая скрытая теплота испарения для двухфазного применения. Теплоносители должны обладать такими значениями теплофизических свойств, чтобы коэффициент теплоотдачи имел как можно большее значение, а работа, затраченная на привод насосов – наименьшее значение.

Для однофазных систем охлаждения важна высокая температура кипения при атмосферном давлении (или низкое давление пара при рабочей температуре). Для двухфазных – низкая температура кипения. Охлаждающие жидкости должны обладать хорошей химической и термической стабильностью в течение всего срока службы электронной системы. Важными показателями являются высокая температура вспышки и температура самовоспламенения. В идеале выбранная охлаждающая жидкость должна быть негорючей (без точки воспламенения), поскольку она используется в непосредственной близости от электрических компонентов. Принципиальным при выборе типа жидкости является совместимость со всеми компонентами системы, которые имеют контакт с теплоносителем. Это позволит избежать коррозии при долгосрочном использовании. Электропроводность охлаждающей жидкости имеет значение, если жидкость вступает в физический контакт с электроникой, или если она вытекает из охлаждающего контура и поступает внутрь, контактируя с электрическими цепями. Жидкости, используемые для охлаждения электронного оборудования, так же должны иметь низкую температуру кристаллизации (ниже минус 40 °С), иметь малый коэффициент объемного расширения, быть экологически чистыми, нетоксичными и биоразлагаемыми, недорогими и иметь долгий срок службы.

Существует ряд традиционных охлаждающих жидкостей на водной и неводной основе. К наиболее используемым жидкостям на водной основе относятся: деионизированная вода, водные растворы этиленгликоля, пропиленгликоля, метанола или этанола, формиата калия, ацетата калия, хлорида кальция и хлорида натрия. Охлаждающие жидкости на водной основе обладают лучшими теплофизическими свойствами по сравнению с неводными. Вода имеет высокую удельную теплоемкость и теплопроводность, а также низкую вязкость. Но необходимо учитывать, что данные жидкости обладают хорошей электропроводностью и не подходят для иммерсионных

систем охлаждения. В водные растворы необходимо добавлять антикоррозионные добавки, которые могут выпадать в осадок. Водные растворы солей, таких как, например, хлорид кальция, вызывают сильную коррозию даже в присутствии ингибиторов. Высокая температура замерзания и большой коэффициент объемного расширения не позволяют использовать деионизированную воду в замкнутых контурах охлаждения. Добавление этиленгликоля или пропиленгликоля к воде может решить проблему замерзания, но значительно снижает коэффициент теплоотдачи. Метанол и этанол являются легковоспламеняющимися жидкостями и представляет потенциальную опасность возгорания. Кроме того, этиленгликоль и метанол являются токсичными веществами.

Рассмотрение различных способов охлаждения электронных компонентов показало, что прямое погружение в кипящую диэлектрическую жидкость эффективнее для снятия высоких тепловых нагрузок с электронных компонентов при низких значениях перегрева стенок. К диэлектрическим охлаждающим жидкостям относятся ароматические и алифатические соединения, силиконы и жидкости на основе фторуглеродов.

Ароматические охлаждающие жидкости нельзя отнести к категории нетоксичных и некоторые из них имеют сильный запах. Силикатные эфиры вызывают значительные проблемы из-за их гигроскопичности и последующего образования легковоспламеняющихся спиртов и силикагеля. Алифатические углеводороды парафинового и изопарафинового типов (включая минеральные масла) и алифатические полиальфаолефины (ПАО) нуждаются в присадках. Охлаждающие жидкости на основе силиконов обладают низким поверхностным натяжением. Полиальфаолефины, алифатические, ароматические соединения и силиконы легковоспламеняемы и несовместимы с некоторыми пластиковыми и резиновыми компонентами.

Среди диэлектрических жидкостей особое внимание на себя обращают гидрофторэфиры. Главным достоинством которых является отсутствие в молекуле атомов хлора, т.е. их потенциал озоноразрушения равен нулю. Присутствие атомов фтора делает жидкость более стабильной и негорючей, а структура эфира способствует усилению реакции с гидроксильными радикалами в нижних слоях атмосферы. Гидрофторэфиры обладают низкой токсичностью, низким потенциалом глобального потепления, коротким временем жизни в атмосфере, низкой температурой замерзания и вязкостью, широким диапазоном точек кипения, хорошей совместимостью с различными материалами и низкой растворимостью в воде. Таким образом, гидрофторэфиры демонстрируют хороший баланс между безопасностью, производительностью и экологическими свойствами.

Был проведен обзор теплофизических свойств наиболее используемых в настоящее время гидрофторэфиров фирма 3M Novac.

Из анализа экспериментальных работ по теплофизическим свойствам охлаждающих жидкостей 3M Novac можно сделать вывод, что наиболее исследуемыми являются Novac 7000 и Novac 7500. Из теплофизических свойств наиболее исследованным в широком диапазоне изменения параметров состояния является плотность и скорость звука. Другие физические свойства рассмотренных жидкостей представлены фрагментарно. Основная часть исследований проводилась в узких диапазонах температур и при атмосферном давлении.

Для создания надежных баз данных по теплофизическим свойствам требуется продолжение накопления и получения новых разнородных экспериментальных данных необходимой точности в широком диапазоне изменения параметров состояния.