

Практические рекомендации по организации системы охлаждения

Светлана ПЕСКОВА

Правильная организация системы охлаждения позволяет достигнуть максимальной эффективности теплоотвода. Оптимально сконструированная система обеспечивает передачу тепла до 4 кВт и более на 1 л рабочей жидкости. При этом подводимая вода в змеевике может быть всего на 15 градусов ниже кипящей жидкости, а на его выходе она будет лишь на 10 градусов выше.

Конструкция емкости

Основное требование к емкости для размещения печатных плат — защита внутренних стенок от коррозии, возникающей от случайной конденсации влаги, а также от короткого замыкания на стенки. Для этих целей сосуд, на внутренние стенки которого наносится порошковое антикоррозионное покрытие, изготавливают из нержавеющей или углеродистой стали или алюминия. Также используется и стекло, а вот пластиковые емкости применять не рекомендуется. Кстати, особое внимание следует уделить материалу для герметизации швов.

Для введения охлаждающего змеевика емкость должна иметь отверстия. Они должны быть сконструированы так, чтобы через них, с одной стороны, не утекал рабочий раствор, а с другой — в случае протечки змеевика не поступала вода. Поэтому отверстия лучше выполнить выше уровня конденсации жидкости, например, в верхней горизонтальной

панели или в боковых стенках, чтобы минимизировать риск вытекания раствора. Для герметизации резьбовых соединений предназначены такие специальные материалы, как лента ФУМ или состав Leak Lock Blue Joint Sealing Compound.

Очевидно, что при кипении жидкости нагреваются и стенки емкости, поэтому необходимо предотвратить передачу избыточного тепла от емкости в помещение, что также позволит свести к минимуму риск получения ожогов (если используется жидкость с высокой температурой кипения). Для этого на емкость можно установить термоизолирующие накладки.

Следующий этап в разработке конструкции — вопрос герметизации швов крышки емкости. Его необходимо решить во избежание испарения рабочей жидкости и ее утечки из емкости. Крышку можно сделать из плоского стекла или металлической пластины. Для небольших сосудов используют стандартный кольцевой уплотнитель и ручные

прижимы, а для емкости большого размера на крышку необходимо установить трубчатые зажимы. Для уменьшения усилия прижатия предусмотрены полые кольцевые уплотнители или надувные уплотнители.

С жидкостями Novac 7000, 7100 и 7200 применяются уплотнители из EPDM-резины или бутилкаучука твердостью 80 А, а для жидкостей Novac 774 и Fluorinert FC-72/FC-84 — силиконовые. С уплотнителями связана такая проблема: эластомеры в их составе содержат масла, которые неизбежно будут вымываться в процессе эксплуатации и загрязнять рабочую жидкость. Поэтому следует выбирать эластомеры с самым низким содержанием экстрагируемых веществ или же предварительно обработать прокладки в установке обезжиривания парами очистителя.

Рассмотрим, как лучше разместить элементы охлаждающей системы внутри резервуара и подключить к нему внешнее оборудование. Радиаторы водяного охлаждения часто помещают в специальном углублении

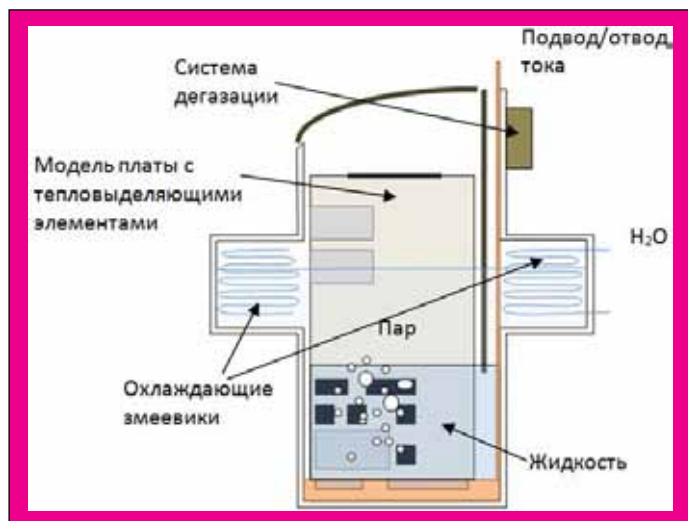


Рис. 1. Модель открытой погружной системы охлаждения [1]



Рис. 2. Пример радиатора для маломощных систем фирмы Hardware Labs

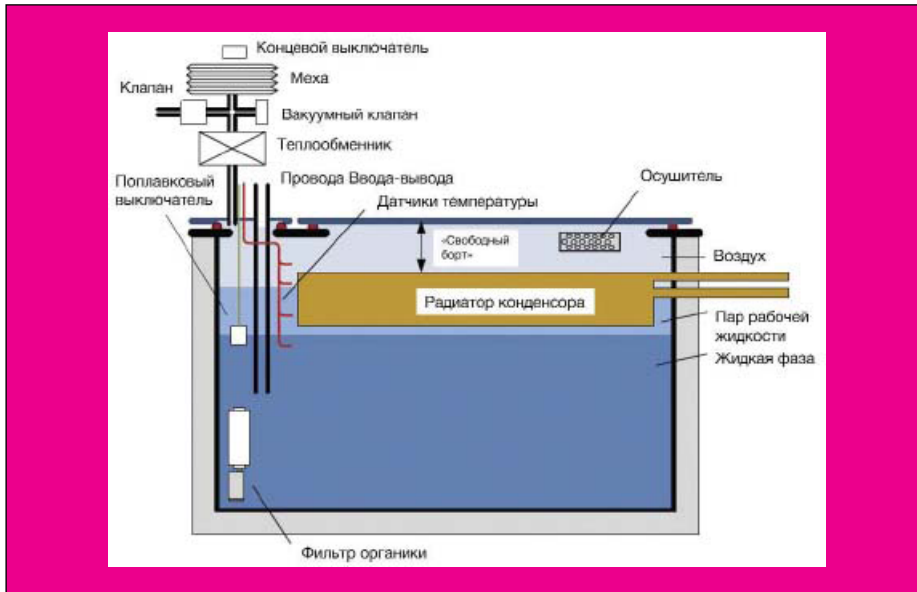


Рис. 3. Компоновка элементов емкости для двухфазной системы охлаждения погружением

Таблица. Конструкция емкости для охлаждения

| | |
|------------------------------------|--|
| Материал емкости | <ul style="list-style-type: none"> Сварная металлическая конструкция (углеродистая сталь, нержавеющая сталь, алюминий) Стекло (сложности с герметизацией стыков) |
| Внутреннее покрытие стенок емкости | <ul style="list-style-type: none"> Порошковое покрытие (для металлических емкостей) |
| Отверстия | <ul style="list-style-type: none"> Требуются для трубок конденсора, проводов, кабелей электропитания и т. д. Должны быть выше границы жидкой фазы |
| Крышка | <ul style="list-style-type: none"> Стекло или металл Стандартные уплотнительные кольца и ручной прижим (не тяжелая крышка) Полое или надувное уплотнительное кольцо и струбиционный зажим (тяжелая крышка) Уплотнитель из EPDM-резины или бутилкаучука твердостью 80 A для 3M Novac 7000, 7100 или 7200 Уплотнитель из силикона для 3M Novac 774, 3M Fluorinert FC-72 и FC-84 |
| Прочее | <ul style="list-style-type: none"> Термоизоляция для уменьшения передачи тепла в помещение Внешние накладки для безопасности и улучшения внешнего вида Углубления в боковых стенках для радиатора Оптимально сконструированная система может обеспечить передачу тепла до 4 кВт и более на 1 л рабочей жидкости |

сколько они выделяют масла и загрязняют рабочую жидкость.

Следующий важный момент — чистота печатной платы. Любые органические и неорганические загрязнения (остатки флюса, жировой слой отпечатков пальцев, смазки и т. д.) будут растворяться в охлаждающей жидкости и загрязнять ее. Поэтому рекомендуется провести очистку и обезжиривание плат (компания 3M предлагает свой очиститель Novac 71 IPA). Большинство используемых в электронике кабелей имеют оболочку из ПВХ, в которой концентрация масел может достигать до 30%. Во время эксплуатации масла будут экстрагироваться и загрязнять жидкость. При этом качество изоляции кабелей и проводов не ухудшится, жидкости Novac совместимы с большинством материалов. Один из предлагаемых разработчиком вариантов — обезжиривание проводов в парах очистителя в течение 24 ч. В процессе обезжиривания большинство масел растворится, а оставшаяся малая часть будет удалена системой фильтрации. Кабели с оболочкой из полиолефинов или политетрафторэтилена (ПТФЭ) не требуют такой обработки.

Фильтрация рабочей жидкости

Если не была проведена предварительная очистка плат и кабелей, то углеводородные масла, содержащиеся в изоляции кабеля и на поверхности плат, сольватируются рабочей жидкостью, выделяются при дистилляции и осаждаются на ее поверхности. Для очистки жидкости в небольших системах достаточно обычных угольных фильтров, используемых в картриджах для питьевой воды. Также можно просто поместить мешочек в углем в жидкость. Для крупных систем этот метод неэффективен и слишком медленен. Поэтому следует организовать принудительную прокачку жидкости через картридж с углем и выполнить процедуру с помощью автомобильного топливного насоса.

боковых стенок емкости. Это упрощает доступ к охлаждаемому оборудованию сверху для легкой замены плат (рис. 1).

Радиаторы для небольших систем (до нескольких киловатт) можно изготовить по технологии трубчатых радиаторов с соответствующим количеством ребер (рис. 2).

Для больших систем радиаторы должны быть выполнены как набор специально обработанных трубок, которые используются в промышленных охлаждающих системах.

Помимо правильного выбора радиатора не стоит забывать о технологических отверстиях в крышке для подвода кабелей электропитания и проводов ввода/вывода.

Над радиатором необходимо оставить свободное пространство, или свободный борт (рис. 3). Это позволит уменьшить потери жидкости при открывании емкости и снизить поступление воздуха. Высота борта должна быть не менее 10 см, и чем он выше, тем лучше.

Провода ввода/вывода и силовой части предпочтительно разместить в простой трубке, которая заканчивается ниже уровня жидкости. Жидкость создаст «ловушку», способную предотвратить бурный выход пара и уменьшить потери жидкости. Также можно закупорить трубку компаундом с низкой вязкостью.

В качестве дополнительного оборудования применяют датчик уровня жидкости и датчик температуры. Поплавковый выключатель используется для отключения питания оборудования в случае снижения жидкости ниже допустимого уровня. Температурный датчик размещается в паровой зоне для определения высоты пара, что может быть пригодиться для регулировки подачи воды в радиатор. Это поможет минимизировать расширение паровой зоны. Если температурный датчик нагрелся до уровня температуры кипения жидкости, значит, теплопередачи

радиатора недостаточно. Данные с температурного датчика можно передавать на контроллер для автоматической регулировки состояния системы.

Суммарная информация по конструкции емкости приведена в таблице.

Модификация оборудования для погружного охлаждения

Теперь остановимся на подготовке компьютерного оборудования или печатных плат для погружного охлаждения. Обычно в BIOS материнской платы устанавливается схема управления трехконтактного вентилятора, где два контакта — это напряжение питания, а третий контакт — сигнал тахометра с вентилятора. В погружном охлаждении этого сигнала не будет, поэтому модификация BIOS и микропрограммного кода не понадобится.

Что касается простой печатной платы, как правило, ни один ее компонент (конденсатор, разъем, трансформатор и др.) не требует модификации. Отдельное внимание нужно уделить компонентам, которые обычно применяются в паре с радиатором, то есть тем компонентам, что выделяют мощность свыше 50 Вт. Радиатор следует удалить, а вместо него установить какое-либо покрытие для облегчения начала кипения и улучшения теплоотдачи при кипении. Здесь подойдут как органические, так и металлические покрытия, например, на процессор можно методом пайки или клея нанести тонкое покрытие из пористого металла (в частности, 100-мкм слой пористого металла). Чем больше неровностей и пор у покрытия, тем лучше; чем больше пузырьков будет образовываться, тем выше теплоотдача. Данные покрытия обеспечивают коэффициент теплопередачи >10 Вт/см²·К при тепловом потоке 30 Вт/см². Не следует использовать термонасты, по-

Количество используемого угля должно в 5 раз (не менее) превышать массу ожидаемого загрязнения. После первой недели работы уголь необходимо заменить, впоследствии этого не потребуется. Спустя несколько месяцев фильтрацию можно полностью прекратить, поскольку новые загрязнения не возникнут. Также не следует забывать, что уголь является электропроводным. Мелкие частицы попадут через фильтр в рабочую жидкость и могут создать проводимость, а потому нужно провести дополнительную механическую фильтрацию.

Управление влажностью

Рабочие жидкости систем двухфазного погружного охлаждения имеют низкую растворимость в воде, но могут удерживать влагу в пределах 5–20 ppm (по массе) во фторкетонах и перфторуглеродах, и до 100 ppm в гидрофтороэфирах. При запуске системы (после прогрева) эта влага будет мигрировать в свободное пространство в верхнюю часть над зоной пара рабочей жидкости. Ее концентрация в свободном пространстве способна подняться выше концентрации на-

сыщения, и влага может начать конденсироваться в жидкую воду, тем самым вызвать короткое замыкание и коррозию. Сушитель, такой как силикагель, в перфорированном контейнере, помещенный в это свободное пространство над конденсором, предотвратит конденсацию воды.

Такой осушитель не будет удалять влагу, а только накапливать ее. Масса влагопоглотителя в осушителе должна в 5 раз и более превышать предполагаемую массу воды. Система будет достаточно осушена уже после первого дня работы, поэтому осушитель больше не понадобится, кроме случаев повторного запуска системы (когда она охлаждается и вновь нагревается).

Контроль давления

Система двухфазного охлаждения работает при атмосферном давлении, поэтому не требует герметичных соединителей и обеспечивает свободный доступ к оборудованию. Однако простой сброс давления в атмосферу приведет к большим потерям жидкости.

Один из известных способов поддержания атмосферного давления заключается в при-

менении мехов в сочетании с механическим датчиком и датчиком давления, которые управляют электромагнитным клапаном. Это можно сделать как на уровне отдельной емкости, так и на уровне помещения. Во время запуска системы, когда жидкость только начинает превращаться в пар, или во время очередного скачка мощности (увеличения кипения), увеличивается зона пара, растет давление газа внутри закрытой емкости, и меха расширяются. На пределе расширения мехов срабатывает концевой выключатель, что приводит к открытию вентиляционного клапана и выпуску воздуха. Выпускаемый воздух можно пропустить через дополнительный теплообменник, который сконденсирует большую часть паров жидкости и вернет их обратно в емкость. Когда меха сдуваются во время падения мощности или возвращения в стабильное состояние, срабатывает вакуумный выключатель, что приводит к открытию клапана и впуску воздуха. ■

Литература

1. www.habrahabr.ru/company/3mrussia/blog/206658/