

# ЗМ™ Двухфазное охлаждение погружением

## Общие рекомендации по конструкции системы

### Часть 1 – Ёмкость

#### Материал

Ёмкость следует изготавливать из листов обычной углеродистой стали, соединённых сваркой. Металл должен иметь усиления, где это необходимо, и порошковое покрытие с внутренней стороны и сверху в местах размещения уплотнителей крышек, для предотвращения коррозии от случайной конденсации влаги и защиты от короткого замыкания на стенки ёмкости. Также можно использовать алюминий или нержавеющую сталь. Ёмкость можно изготовить из стекла, но следует с осторожностью отнестись к материалу для герметизации линий соединения. Из пластика ёмкость можно изготавливать исключительно для демонстрационных целей, так как пластики могут накапливать и пропускать влагу, что добавит нагрузку на систему осушения.

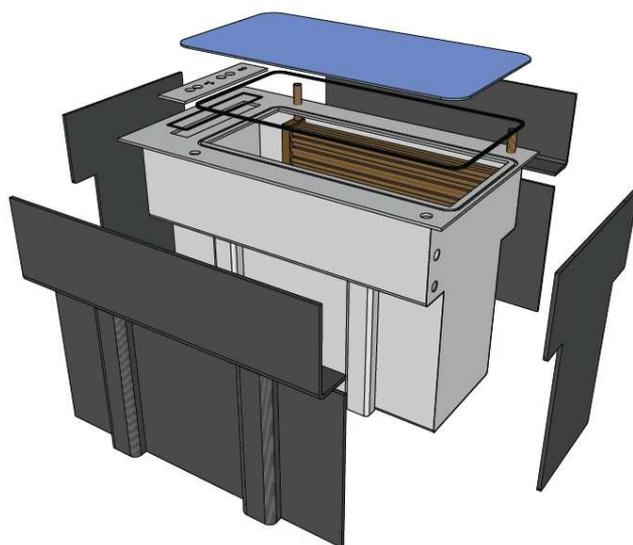


Рис.1. Объёмное изображение ёмкости для погружного охлаждения, рассчитанной на 200кВт, с разделением деталей.

#### Конструкция

Для того, чтобы все входные отверстия системы находились выше уровня конденсации рабочей жидкости, отверстия для подводящих трубок конденсора могут быть сделаны в верхней горизонтальной панели. Отверстия могут быть также и в боковой стенке, чтобы минимизировать вероятность стекания воды в ёмкость по трубкам, в случае подтекания соединений на них. В этом случае отверстия должны располагаться выше уровня жидкой фазы в ёмкости, чтобы минимизировать риск вытекания рабочей жидкости через эти отверстия. Для герметизации отверстий можно использовать переходники для компрессоров, или минимальное количество чистых эластомеров, таких как бутилкаучук, или чистых герметизирующих материалов для резьбовых соединений, как ФУМ лента, или состав Leak Lock® Blue Joint Sealing Compound<sup>1</sup>.

Ёмкость также должна иметь защитные термо-изолирующие накладки, чтобы предотвратить передачу избыточного тепла от ёмкости в помещение и минимизировать риск получения ожогов, когда используется жидкость с высокой температурой кипения. Накладки также позволяют придать ёмкости привлекательный внешний вид и предотвратить возможный электрический контакт с электропроводкой и другими проводящими элементами в окружении ёмкости.

## Верхняя крышка и герметизация

Крышка может быть изготовлена из плоского стекла или металлической пластины. Для ёмкости небольшого размера с лёгкой крышкой можно использовать стандартный кольцевой уплотнитель и ручные прижимы. У ёмкости большого размера крышка, как правило жёсткая и тяжёлая, и используются струбцинные зажимы. А поскольку избыточное давление внутри ёмкости, как правило, очень не высокое, для уменьшения усилия прижатия можно использовать полые кольцевые уплотнители<sup>2</sup> (возможно без канавки) или надувные уплотнители<sup>3</sup> (требуется канавка). Уплотнители из EPDM резины или бутилкаучука твёрдостью 80A используются с жидкостями 3M™ Novec™ 7000, 7100 или 7200, и уплотнители из силикона для 3M™ Novec™ 774, и 3M™ Fluorinert™ FC-72 и FC-84. Эти эластомеры содержат масла, которые при работе системы неизбежно вымываются рабочей жидкостью и загрязняют её. Поэтому следует выбирать эластомеры с самым низким содержанием экстрагируемых веществ. Рекомендуется предварительная обработка в Установке обезжиривания парами очистителя, чтобы «сжать» поверхность эластомера, и уменьшить органические выделения. Это будет рассмотрено ниже в руководстве.

## Компоновка

Радиаторы водяного охлаждения конденсора часто помещаются в специальном углублении боковых стенок ёмкости. Это позволяет организовать простой доступ в ёмкость сверху, для лёгкой замены плат, и минимизировать требования к жидкости. Конденсоры для небольших систем (несколько кВт) могут быть изготовлены по технологии изготовления трубчатых радиаторов с соответствующим количеством рёбер<sup>4</sup>. Для больших систем они должны быть изготовлены как набор специально обработанных трубок, которые обычно используют в промышленных охлаждающих системах<sup>5</sup>. Оптимально сконструированная система может обеспечить передачу тепла до 4кВт и более на литр рабочей жидкости, и при разнице температуры подводимой воды в 15°C (жидкость-вода), повышая температуру воды на выходе из системы на 10°C.

Дополнительно, в отдельной съёмной крышке, необходимо предусмотреть отверстия для кабелей электропитания, проводов ввода-вывода и др. Расположение крышки сверху позволяет минимизировать потери рабочей жидкости через возможные дефекты уплотнений этих отверстий.

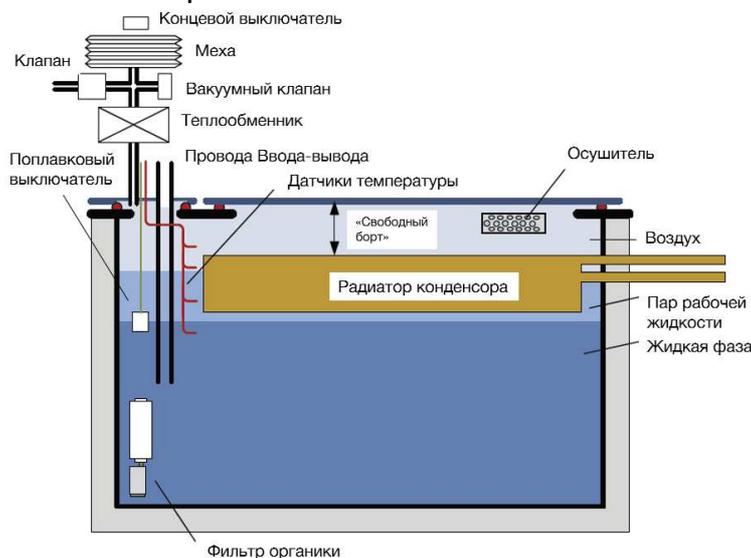


Рис.2. Компоновка элементов ёмкости для двухфазной системы охлаждения погружением

Пространство над конденсором и под верхней горизонтальной панелью с крышкой обычно называют «свободный борт». Оно помогает уменьшить потери жидкости из-за попадания воздуха при открывании ёмкости и перемешивания паров жидкости с воздухом. Рекомендуемая высота «борта» не менее 10 см. Чем выше это пространство, тем лучше, но это зависит от удельной мощности системы, её высоты, способа доступа в ёмкость и т.д.

Таблица 1. Основные компоненты конструкции ёмкости для двухфазного охлаждения погружением.

Компонент	Рекомендации
Материал	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сварная металлическая конструкция (углеродистая сталь, нержавеющая сталь, алюминий)</li> <li>• Стекло (сложности с герметизацией стыков)</li> </ul>
Покрытие	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Порошковое покрытие (для металлов)</li> </ul>
Отверстия	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Для трубок конденсора, проводов, кабелей электропитания и т.д.</li> <li>• Должны быть выше границы жидкой фазы</li> </ul>
Крышка	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Стекло или металл</li> <li>• Стандартное уплотнительное кольца и ручной прижим (не тяжелая крышка)</li> <li>• Полое или надувное уплотнительное кольцо и струбцинный зажим (тяжёлая крышка)</li> <li>• Уплотнитель из EPDM резины или бутилкаучука твердостью 80A для 3M™ Novec™ 7000, 7100 или 7200;</li> <li>• Уплотнитель из силикона для 3M™ Novec™ 774, 3M™ Fluorinert™ FC-72 и FC-84.</li> </ul>
Другие	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Термоизоляция для уменьшения передачи тепла в помещение</li> <li>• Внешние накладки для безопасности и улучшения внешнего вида</li> <li>• Углубления в боковых стенках для радиаторов конденсора</li> <li>• Оптимально сконструированная система может обеспечить передачу тепла до 4кВт и более на литр рабочей жидкости</li> </ul>

## Часть 2 - Модификации и подготовка компьютерного оборудования

Чтобы использовать погружное охлаждение потребуется модификация BIOS и микропрограммного кода, так как в условиях более высокой температуры отсутствует сигнал управления тахометром вентилятора, как это бывает при воздушном охлаждении. Для этого рекомендуется обратиться к производителю вашего вычислительного оборудования.

Как правило, любой элемент на плате, не имеющей радиатора воздушного охлаждения, не потребует модификации. Например, модули памяти, конденсаторы и т. д. Со всех остальных компонент радиаторы следует снять. Дополнительные модификации зависят от удельной мощности конкретных элементов. Обычно любое устройство, имеющее радиатор воздушного охлаждения, потребует специального покрытия, для облегчения начала и повышения эффективности кипения. Можно использовать как органические, так и металлические покрытия. Для большинства устройств с выделяемой мощностью в диапазоне 50-120Вт, таких как процессоры, пайкой или клеем на крышку рекомендуется нанести тонкое покрытие из пористого металла. Не следует использовать термо-смазки, так как они выделяют масла и деградируют со временем. Для бескорпусных элементов с

радиаторами и устройств с крышками мощностью более 50-120 Вт потребуется специальное покрытие, оптимизирующее распределения тепла и улучшающее закипание<sup>6</sup>.

После изготовления любое компьютерное оборудование обычно содержит значительное количество остатков флюса, штамповочной смазки, отпечатков пальцев и т.д. Блоки питания, вычислительные узлы и коммутаторы, всё это должно быть обработано в Установке обезжиривания парами очистителя<sup>7</sup>, такого как 3M™ Novoc™ 71 IPA Engineered Fluid для удаления таких загрязнений. Большинство проводов и кабелей имеет изоляцию из поливинилхлорида (ПВХ), которая содержит масла от 3% до 30% по весу. Эти масла во время работы системы неизбежно будут экстрагироваться из ПВХ и также загрязнять рабочую жидкость. Хотя оболочка из ПВХ постепенно станет более твёрдой, она не будет хрупкой и не будет разрушаться. Кабели и провода могут быть предварительно обработаны увеличенным по времени (24 часа) обезжириванием в парах очистителя, чтобы удалить как можно больше масел, а та часть масел, которая останется, будет удалена во время работы системой фильтрации, чтобы поддерживать жидкость работоспособной. Оболочки кабеля из полиолефинов или политетрафторэтилена (ПТФЭ), как правило, довольно чистые, но кабели с такими оболочками более дорогие.

### **Часть 3 - Удаление органики из рабочей жидкости**

Если углеводородные масла предварительно не удалены из эластомеров, ПВХ-изоляции, вспененных материалов, герметиков, клеев и т.д., то они сольватируются рабочей жидкостью в небольшом количестве и, выделяясь при дистилляции осаждаются на поверхностях, на которых происходит кипение. Они могут диффундировать в эти материалы и разрушать их. Активный уголь, промытый кислотой, аналогичный используемому в картриджах фильтров для питьевой воды, имеет высокую степень взаимодействия с такими материалами. Небольшие системы часто можно очищать пассивным способом, помещая в жидкость «мешочки» с углём. Для больших систем такая пассивная диффузия загрязняющих веществ в уголь будет слишком медленной, и будет полезна принудительная прокачка жидкости через картридж с углем, с использованием любого автомобильного топливного насоса. Ещё нужно помнить, что уголь проводит электричество, поэтому его необходимо дополнительно механически фильтровать. Количество используемого угля должно составлять не менее 5-кратной массы ожидаемого загрязнения, это можно оценить путем суммирования массы эластомеров и при условии, что 0,1% (если очищено), до 3% (обычно) или даже 25% (крайний случай) этой массы является загрязнением. Уголь следует заменить после первой недели работы, а в последствии не нужно заменять. Активную фильтрацию можно прекратить после нескольких месяцев работы.

### **Часть 4 – Управление влажностью**

Рабочие жидкости систем двухфазного погружного охлаждения имеют низкую растворимость в воде, но могут удерживать влагу от 5 до 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. Её концентрация в свободном пространстве может подняться выше концентрации насыщения, и влага может начать конденсироваться в жидкую воду, которая может вызвать короткое замыкание и коррозию. Сушитель, такой как силикагель, в перфорированном контейнере, помещенный в это свободное пространство над конденсором, предотвратит конденсацию воды. ВАЖНО, что сушитель, помещенный в зону жидкой фазы рабочей жидкости или её паров, будет НЕ удалять, а фактически накапливать влагу, которая после испарения будет конденсироваться в свободном пространстве. Масса влагопоглотителя в осушителе должна в 5 раз и более превышать предполагаемую массу воды. Система будет достаточно осушена уже после первого дня работы. Пока она остается в рабочем состоянии, поглотитель влаги будет не нужен, но его следует регулярно заменять при перезапусках, когда система будет охлаждаться, и в систему будет попадать воздух.

## Часть 5 – Воздушный клапан и контроль давления

Отличительной чертой двухфазного погружного охлаждения является работа при атмосферном давлении, что позволяет минимизировать потери жидкости, обеспечить легкий доступ к аппаратным средствам и устраняет необходимость в дорогостоящих герметичных электрических соединителях. Однако простой сброс давления в атмосферу приведёт к неприемлемым потерям жидкости. Один из известных способов поддержания атмосферного давления заключается в использовании мехов<sup>8</sup> в сочетании с механическим датчиком и датчиком давления, которые управляют электромагнитным клапаном. Это можно сделать как на уровне отдельной ёмкости, так и на уровне помещения. Во время запуска системы, когда жидкость только начинает превращаться в пар, или во время очередного скачка мощности (увеличения кипения), растёт зона пара, будет расти давление газа внутри закрытой ёмкости, и меха будут расширяться. 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 вернёт их обратно в ёмкость. Когда меха сдуваются во время падения мощности или возвращения в стабильное состояние, срабатывает вакуумный выключатель, что приводит к открытию клапана и впуску воздуха.

## Часть 6 – Силовая проводка и кабели ввода-вывода

Герметизация подвода проводов систем всегда была сложной задачей. Герметичные переходники для проводов электропитания обычно не вызывают проблем, но специальные герметичные переходники для оптики, в некоторых вычислительных системах, и многожильных жгутов, как правило непомерно дороги. Преимущество работы системы двухфазной погружного охлаждения при атмосферном давлении позволяет прокладывать провода и кабели через простую трубку, которая заканчивается ниже уровня жидкости. Жидкость создает «ловушку», которая помогает предотвратить бурный выход пара и уменьшает потери жидкости до уровня примерно 1 гр на см<sup>2</sup> площади сечения трубки. Эти потери можно снизить ещё, закупорив трубку компаундом с низкой вязкостью<sup>9</sup>. В некоторых системах с интенсивной коммуникацией печатная плата коммутатора может быть вставлена в крышку таким образом, что именно она будет служить кабелем ввода-вывода.

## Часть 7 – Другие управляющие элементы

Поплавковый выключатель может использоваться для отключения питания оборудования в случае, если уровень жидкости становится слишком низким. Температурные датчики в паровой зоне могут использоваться для определения высоты пара, это может быть использовано для регулирования подачи воды в конденсор, чтобы минимизировать расширение паровой зоны. Температурный датчик над конденсором будет нагреваться до температуры кипения жидкости, когда уровня теплопередачи конденсора будет недостаточно. Эти данные могут быть переданы на контроллер, чтобы автоматически регулировать состояние системы.

## Часть 8 – Ассортимент инженерных жидкостей 3M для погружного охлаждения

Свойство	Ед. изм.	Novec™					
		7000	7100	7200	7300	7500	7700
Точка кипения	°C	34	61	76	98	128	167
Технология		2-фазовое охл.			1-фазовое охл.		

Свойство	Ед. изм.	Fluorinert™						
		FC-3284	FC-72	FC-770	FC-3283	FC-40	FC-43	FC-70
Точка кипения	°C	50	56	95	128	155	174	215
Технология		2-фазовое охл.			1-фазовое охл.			

**Подробная информация:** Для получения подробной информации о продукте и технической поддержки, обратитесь в службу поддержки 3M или посетите сайт [3M.com/Novac](http://3M.com/Novac).

**Законодательство:** для получения информации о законодательстве по данному продукту свяжитесь с вашим представителем 3M.

**Использование продукта:** многие факторы, влияющие на эффективность конкретного применения неподконтрольны компании 3M и находятся в зоне ответственности пользователя. Учитывая многообразие данных факторов, пользователь несет ответственность за выбор и оценку эффективности продукта 3M для решения специфической задачи соответствующим способом.

**Внимание! Данные рекомендации составлены с учетом свойств и особенностей продукции 3M. Диэлектрические жидкости других производителей отличаются по термодинамическим, токсикологическим, коррозионным, диэлектрическим и другим физико-химическим свойствам. Применение диэлектрических жидкостей других производителей не гарантирует достижения ожидаемых результатов при применении их в оборудовании описанной конструкции.**

**Гарантия и частичное возмещение ущерба:** если не оговорено особо в документации на продукцию 3M™ или в упаковке отдельных продуктов, компания 3M гарантирует, что каждый продукт 3M™ соответствует действующим спецификациям на момент его поставки. 3M НЕ ДАЕТ НИКАКИХ ИНЫХ ГАРАНТИЙ, ПРЯМЫХ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫХ, ВКЛЮЧАЯ, ПОМИМО ПРОЧЕГО, ЛЮБЫЕ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ ТОВАРНОЙ ПРИГОДНОСТИ ПРОДУКТА ИЛИ ЕГО ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОНКРЕТНЫХ ЦЕЛЯХ ИЛИ ЛЮБЫЕ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПОРЯДКА ДЕЛОВЫХ ОТНОШЕНИЙ, ТАМОЖЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ИЛИ ТОРГОВОГО ОБЫКНОВЕНИЯ. Если продукт 3M не соответствует данной гарантии, исключительным правом пользователя и единственной обязанностью 3M™ и продавца является, на усмотрение 3M, замена продукта или возмещение его покупной стоимости.

**Ограничение ответственности:** за исключением случаев, предусмотренных законом, компания 3M™ и продавец не несут ответственности за любые прямые, косвенные, фактические или побочные убытки или ущерб, вызванные применением продукта 3M™, безотносительно заявленной теории права, включая ответственность по гарантийным обязательствам, контрактам, а также ответственность за ущерб от небрежного обращения с продуктом или объективную ответственность.

<sup>1</sup> <http://www.highsidechem.com/leaklock.html>

<sup>2</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=buyPdRTF0Ss>, <https://www.darcoid.com/products/extruded-products/extruded-products/hollow-spliced-o-rings>

<sup>3</sup> [http://www.dynamicrubber.com/?gclid=CKLJ5\\_j6774CFeZaMgodsFcAgw](http://www.dynamicrubber.com/?gclid=CKLJ5_j6774CFeZaMgodsFcAgw)

<sup>4</sup> Hardware Labs ([www.hwllabs.com](http://www.hwllabs.com)) один из поставщиков таких радиаторов. Optimal designs require thicker finstock and custom fabrication.

<sup>5</sup> Florian Hudelmaier, [Wieland Copper Products](http://www.wielandcopper.com), Wheeling, IL, Direct: (847) 465-6789

<sup>6</sup> Более подробное описание улучшения закипания доступно в других документах 3M.

<sup>7</sup> Существуют системы обезжиривания парами очистителя: короткий (для очистки) и длинный (экстакция).

<sup>8</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=oi\\_iFRAtfus](https://www.youtube.com/watch?v=oi_iFRAtfus)

<sup>9</sup> [http://www.polytek.com/index.php?dispatch=categories.view&category\\_id=243](http://www.polytek.com/index.php?dispatch=categories.view&category_id=243)



Отдел технологий электронной промышленности

ЗАО «3M Россия»

Крылатская ул. 17 к.3, Москва, Россия

Тел.: +7(495) 784-74-74

[www.3mrussia.ru](http://www.3mrussia.ru)