

ЦОД: климат под контролем



Алексей МЕЛЕШЕНКО,
директор по инфраструктурным
ИТ-решениям, компания
«Ситроникс»



Юрий ХОМУТСКИЙ,
ведущий инженер по системам
вентиляции и кондициони-
рования, компания «Ситроникс»

Что такое климат-контроль

Под климат-контролем в центрах обработки данных (ЦОД) понимается комплекс мер, направленных на создание и поддержание оптимальных для установленного ИТ-оборудования температуры и влажности, а также снижение уровня запыленности. Эти меры реализуются через системы вентиляции, кондиционирования и увлажнения. Сразу отметим, что здесь и далее пойдет

речь исключительно о прецизионном промышленном климатическом оборудовании.

Начнем с вентиляции. В помещении ЦОД не предполагается постоянного пребывания людей, поэтому из числа штатных систем вентиляции присутствует лишь приточная (подпорная), имеющая своей целью создать в обслуживаемом объеме избыточное давление во избежание попадания в помещение воздуха извне. Это небольшая система, обычно наборная, обеспечивающая класс очистки

приточного воздуха не ниже EU4, является типовой. Отдельного внимания заслуживает тот факт, что помещения ЦОД оборудуются системой автоматического газового пожаротушения, а, следовательно, должна быть аварийная система вентиляции – газоудаление.

Для систем кондиционирования и увлажнения важно правильно определить тепло-влажностный режим помещения. Требования со стороны производителей вычислительного оборудования не всегда корректны, поэтому лучше руководствоваться нормативной документацией.

Это два стандарта TIA/EIA-942 и TIA/EIA-569-B. Оба за более подробными рекомендациями ссылаются на американскую ассоциацию ASHRAE, которая в 2008 г. расширила рекомендуемый диапазон параметров внутреннего воздуха (рис. 1), введя следующие критерии:

- температура: 18...27°C,
- температура точки росы в пределах 5,5...15°C¹,
- относительная влажность – не выше 60%.

¹ Температурой точки росы является температура, до которой при постоянном влагосодержании необходимо охладить воздух, чтобы появился конденсат, т. е. фактически это требование определяет следующий диапазон влагосодержания – 5,5...11 г/кг.

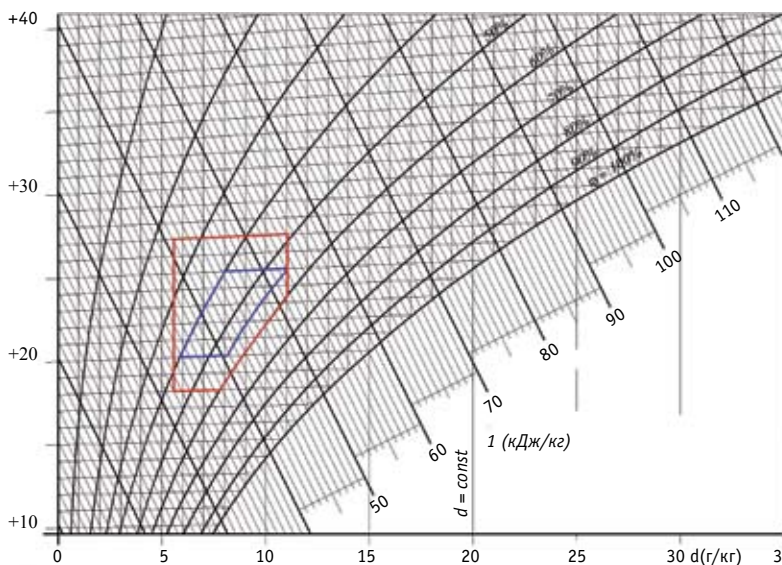


Рис. 1.
t-d-диаграмма
влажного воздуха
и рекомендуемый
диапазон
параметров
микроклимата
в ЦОД
(красным цветом
выделена
область
расширенного
диапазона
параметров)

Проблема теплоносителя

Как известно, в качестве теплоносителя воздух не идеален, что объясняется простейшей термодинамической формулой (справедливой для случая нагрева воздуха без изменения его влагосодержания, что и происходит в ИТ-стойках):

$$N = C \cdot M \cdot \Delta T \quad (1),$$

где N – мощность охлаждения, кВт; C – удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг*°C); M – массовый расход теплоносителя, кг/с; ΔT – перепад температур теплоносителя на входе и выходе из оборудования, °C.

Во-первых, дело в том, что для воздушных теплообменников характерна температура «недорекуперации» (минимальный температурный напор) около 7°C. Это значит, что испаритель кондиционера со средней температурой 8°C при разумной площади теплообмена сможет охладить воздух до $8 + 7 = 15$ °C, в то же время оборудование в стойке температурой 41°C нагревает воздух до $41 - 7 = 34$ °C. Таким образом, у идеального теплоносителя перепад температур составил бы $\Delta T_1 = 41 - 8 = 33$ °C, а у воздуха в качестве теплоносителя перепад равен $\Delta T_2 = 34 - 15 = 19$ °C, значит, при тех же N и C (см. (1)) требуется расход теплоносителя в $\Delta T_1/\Delta T_2 = 33/19 = 1,7$ раза больший.

Во-вторых, теплоемкость воздуха относительно низка (1,005 кДж/(кг*°C)), в то время как, например, для воды она составляет 4,183 кДж/(кг*°C), т. е. массовый расход воды при тех же значениях N и ΔT (см. (1)) требовался бы в $4,183/1,005 = 4,2$ раза меньший. Добавим, что температура недорекуперации для воды составляет примерно 2°C, следовательно, массовый расход снижается еще в $((41-2)-(8+2))/18 = 1,6$ раза, т. е. в общей сложности в $4,2 \cdot 1,7 = 7,1$ раза. А если учесть, что плотность воды в 1000 раз выше плотности воздуха, то объемный расход снизится в 7100 раз. Как видно из характеристик кондиционеров, на 1 кВт тепла необходимо в среднем 200 м³/ч воздуха, расход же воды составит всего 0,03 м³/ч. При прогнозируемой через несколько лет стойке в 100 кВт потребуются 3 м³/ч

воды, а поток воздуха... видимо, сдует стойку.

Таким образом, необходима замена воздуха в качестве теплоносителя другим жидким или газообразным веществом. Конечно, вода была бы идеальным вариантом, но одно лишь свойство электропроводности вычеркивает ее из списка претендентов.

На данный момент уже достаточно широко развито жидкостное охлаждение процессоров суперкомпьютеров, но на рынке массовой продукции это решение пока не популярно. Зато появляются инновационные решения – например, компания Iceotopre предложила погружать оборудование в специально разработанную жидкость – инертный синтетический охладитель. Повысив эффективность охлаждения таким способом, по данным компании, становится возможным снизить затраты на охлаждение серверов на 93%.

В перспективе, если учесть, что энергия фазового перехода вещества нередко соизмерима с энергией его нагрева на сотни и тысячи градусов, можно предположить появление синтетического теплоносителя, меняющего агрегатное состояние с жидкого на газообразное при температурах, близких к 30°C. Этот теплоноситель будет вскипать при контакте с оборудованием, затем в газообразном виде подниматься вверх, где его ждет более привычная система охлаждения, сжижающая его и отправляющая снова к оборудованию.

Обзор существующего оборудования

При использовании прецизионных кондиционеров обеспечение микроклимата реализуется на основе трех существующих архитектур охлаждения исходя из плотности тепловыделений:

- охлаждение на уровне зала;
- охлаждение на уровне ряда;
- охлаждение на уровне стойки.

Причем, независимо от выбранной архитектуры, следует обратить внимание на ключевые параметры прецизионных кондиционеров:

- полная холодильная мощность (холодопроизводительность);

- явная холодопроизводительность;
- расход воздуха, обрабатываемого кондиционером;
- площадь кондиционера в плане.

Рассмотрим основные типы климатического оборудования для помещений.

Прецизионные сплит-системы обычно реализуют архитектуру охлаждения на уровне зала и используются для помещений с малой плотностью тепловыделений. Как правило, это вспомогательные помещения – ИБП, электрощитовые и др.

Широко известна серия кондиционеров HPS компании Emerson Network Power Liebert (рис. 2). Внутренние блоки кассетного типа оснащены боковым воздухозабором с нижним выдувом и характеризуются равенством полной и скрытой холодопроизводительностей (SHR = 1).

Такое решение очень компактно и не занимает весьма ценное место на полу, но за это приходится пла-



Рис. 2. Прецизионные сплит-системы компании Emerson Network Power Liebert с внутренним блоком кассетного типа

тить низкой холодопроизводительностью (от 6,4 до 14,6 кВт). Расход воздуха в испарителе составляет от 190 до 240 м³/(ч*кВт). Бесспорным плюсом является функция свободного охлаждения с использованием наружного воздуха при неработающем компрессоре. Здесь кондиционеры компании Emerson Network Power Liebert выгодно отличаются наличием уникальной запатентованной системы плавного перехода на режим свободного охлаждения, использующей вращающуюся

Рис. 3. Прецизионные шкафные кондиционеры фирмы Uniflair



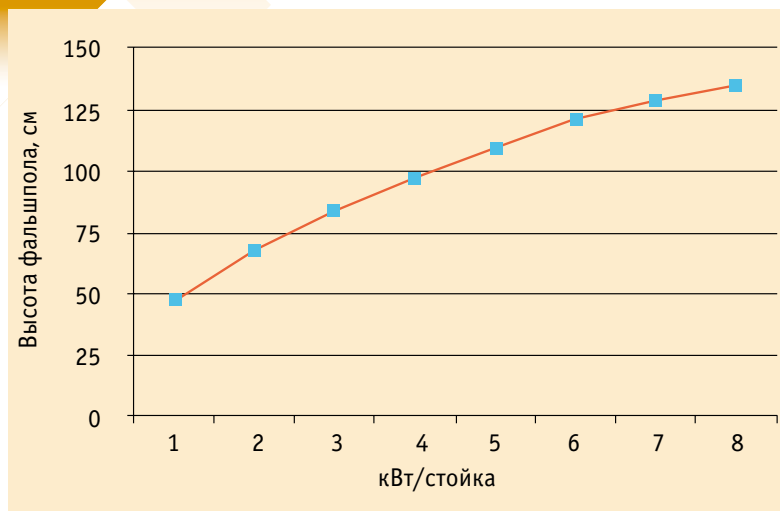


Рис. 4. Зависимость высоты фальшпола от мощности стойки

управляемую электроприводом заслонку. Плавное открытие заслонки от 0 до 100% позволяет работать в смешанном режиме, когда часть холода генерируется холодильным циклом, а часть забирается из окружающей среды.

Существуют и *моноблочные шкафные кондиционеры*, отличающиеся от предыдущих тем, что не требуют выносного конденсатора (он расположен в моноблоке). Эти системы устанавливаются в наружную стену так, чтобы лицевая панель с решетками забора и раздачи воздуха находилась в помещении, а задняя выходила на улицу. Тем самым достигается аналог оконного бытового кондиционера. Возможен режим свободного охлаждения. Холодопроизводительность систем достигает 20 кВт, и данный тип оборудования идеально подходит для обеспечения и контроля климата в маленьких, ограниченных помещениях, например на базовых станциях.

Наиболее широко распространенный тип – *прецизионные шкафные кондиционеры* (рис. 3). С их помощью реализуется архитектура охлаждения реже на уровне зала, чаще на уровне ряда. Шкафные кондиционеры охлаждают воздух как за счет фреона, так и за счет воды и имеют множество вариантов исполнения исходя из двух возможных направлений движения воздуха: сверху вниз и снизу вверх.

Характеристики различных производителей близки друг к другу, поэтому приведем усредненные значения для единицы оборудования: полная холодопроизводительность – от 4 до 160 кВт, явная холодопроизводительность – от 4 до 120 кВт, расход воздуха – от 160 до 260 м³/(ч*кВт), площадь в плане – от 0,3 до 2,4 м². Заметим, что блоки, работающие на фреоне, исключают наличие воды в ЦОД и обходятся дешевле при мощностях до 100 кВт, однако они обладают большими габаритами, сильнее нагружают

систему ИБП и, как правило, не оснащаются функцией свободного охлаждения (за исключением кондиционеров InRef).

На текущий момент именно на основе шкафных кондиционеров строится большинство ЦОД. Классическим вариантом стала расстановка стоек в ряды с выделением холодного и горячего коридоров. Существуют решения с выгораживанием холодного и горячего коридоров во избежание смешения разнотемпературных потоков. Раздача холодного воздуха кондиционерами осуществляется под фальшпол, откуда через специально предусмотренные решетки или панели активного пола воздух распределяется перед стойками. Здесь необходимо учитывать напор встроенного в кондиционер вентилятора и его расход.

Критическими являются следующие величины: высота фальшпола и длина обслуживаемого ряда (как правило, 10–12 м). Подпольное пространство играет роль воздуховода, идеальной скоростью воздуха для которого являются величины 1–1,5 м/с. Но даже при больших скоростях для мощных ЦОД высота фальшпола достигает полутора метров (рис. 4), что не всегда позволяет исполнить как высота помещения, так и конструктивные элементы полов.

Результатом ограничений является ухудшение топологии ЦОД. Кроме того, опытные данные показывают, что такой способ подходит для стоек, тепловыделения которых составляют, например, 10 кВт. Некоторые типы стоечного оборудования требуют теплоотвода до 25 кВт. Дальнейшее увеличение мощности обуславливает необходимость использования следующего типа климатического оборудования.

Кондиционеры-доводчики. Суть решения – в установке блоков кондиционеров непосредственно в ряду стоек (через одну, две, три стойки, в зависимости от соотношения мощностей), тем самым увеличивая теплоотвод со стойки до 40 кВт. При этом снижается электропотребление кондиционеров за счет меньшей мощности вентиляторов в связи с перемещением воздуха на меньшие расстояния.

Компания Emerson Network Power Liebert пошла дальше, выпустив надстоечные и надкоридорные

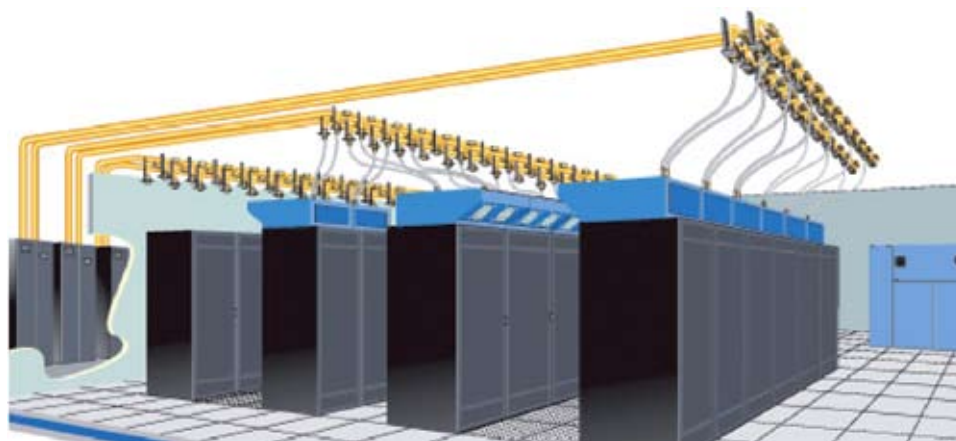


Рис. 5. Надстоечные блоки компании Emerson Network Power Liebert

кондиционеры (рис. 5). Добавим еще тот факт, что в контуре используется специальный хладагент, изменяющий свое агрегатное состояние без реализации парокомпрессионного холодильного цикла и циркулирующий с температурой выше точки росы, а, значит, явная холодопроизводительность равна полной (SHR=1). То есть, теоретически, самую «густонаселенную» стойку можно окружить кондиционерами с трех сторон – по бокам внутрирядными и двумя типами блоков сверху – и ни от одного из них не требуется отвод конденсата. Для подключения блоков используются гибкие подводки и быстроразъемные соединения, позволяющие выполнять работы без остановки всей системы холодоснабжения.

Полная холодопроизводительность блока – от 9 до 30 кВт, явная холодопроизводительность – от 9 до 30 кВт, расход воздуха – от 140 до 220 м³/(ч*кВт), площадь в плане – для внутрирядных блоков, как правило, равна 0,3 или 0,6 м².

Наиболее широкой линейкой оборудования обладает итальянская компания Uniflair. Ее кондиционеры характеризуются наличием по умолчанию электронного терморегулирующего вентиля, низкотемпературного комплекта до -40°C (что немаловажно для нашей страны), равенством полной и явной холодопроизводительностей (SHR=1), а также элементами автоматики от компании Carel. Компактность оборудования Uniflair достигается использованием хладагента R410a. Уникальными возможностями также являются контроль и регулирование статического давления под фальшполом запатентованными средствами Uniflair. Существует гарантированный и проверенный вариант отвода 40 кВт от стойки.

Компания APC активно продвигает собственную масштабируемую систему InfraStruXure, достигшую за восемь лет своего существования значительных успехов. Она объединяет не только некоторые инженерные системы – средства питания и кондиционирования воздуха, но и стойки для монтажа оборудования, а также средства управления. Разработаны модульные системы для пяти типов ИТ-среды, стал доступным и простым даже расчет

стоимости капитальных и эксплуатационных затрат при внедрении InfraStruXure.

Гибким производством, ориентированным под конкретного заказчика, обладает компания InRef. Благодаря налаженной связи с заводом имеется возможность изготовления оборудования под индивидуальный заказ. В стандартную комплектацию кондиционеров входят электронно-коммутируемые вентиляторы. Линейка кондиционеров отличается наличием моделей с инверторным приводом компрессора (до 110 Гц) и поддержкой прямого свободного охлаждения шкафными кондиционерами. Заводская гарантия составляет два года.

Часто встает вопрос о наличии качественной документации – описания систем, проектных, монтажных и сервисных руководств. На этом фронте лидирующие позиции занимает компания Emerson Network Power Liebert, а также Uniflair с многочисленными поясняющими фотографиями.

Отдельного внимания заслуживает диспетчерский контроль (системы мониторинга) климата в ЦОД. Производители предлагают отслеживать и корректировать ситуацию с персонального компьютера посредством специального программного обеспечения, позволяющего:

- видеть температуру и влажность воздуха, температуру и давление хладоносителя в местах установки датчиков;
- контролировать и управлять работой оборудования (кондиционеров, чиллеров, насосов, клапанов и задвижек и др.), отслеживать режим работы теплообменных аппаратов, степень их загрязнения;
- изменять настройки работы системы на расстоянии;
- осуществлять передачу сообщений по e-mail и sms;

- иметь доступ к ситуации через Интернет;
- объединять функции контроля над другими инженерными системами вычислительных центров.

Особенности построения климатических систем в МЦОД

МЦОД – это представитель нового класса модульных решений ЦОД. Когда они стали появляться на рынке, за ними закрепилось название «мобильные ЦОД» (МЦОД), поскольку наиболее заметная отличительная черта такого модуля – возможность перемещения на другое место эксплуатации. Но по мере развития понимания рынком возможностей МЦОД, мобильность стала восприниматься как полезная, но не столь уж и важная характеристика, а на первый план вышла автономность. В результате ведущие производители стали отказываться от термина «мобильный ЦОД»,

заменяя его «модульным», «портативным» и т. д. Мы предлагаем наравне с терминированием МЦОД, который можно расшифровать и как «модульный ЦОД», использовать более общий термин – мобильный (автономный) модуль ЦОД.

От серверных помещений стационарного ЦОД мобильные модули отличаются в первую очередь относительно небольшими размерами. С точки зрения построения систем кондиционирования, это означает, что в них невозможно установить фальшпол нормальной высоты, отсутствует буферный объем воздуха над стойками, необходимый для выравнивания температуры горячих потоков, и, главное, весьма невелико расстояние от стоек с ИТ-оборудованием до наружных стенок конструкции. Также имеется заметный тепловой поток через стенки конструкции МЦОД наружу. Фактически это означает, что классическую схему компоновки систем кондиционирования, доминирующую в стационарных ЦОД, в мобильных модулях применить невозможно.

Поэтому в них применяются компоновки систем кондиционирования с тепловыми доводчиками или оригинальные схемы, например, как в МЦОД Ситроникс «Датериум 2», где используется физическое разделение горячих и холодных потоков (патенты РФ № 78384, № 9366). Преобладают решения на межстоечных кондиционерах, но встречаются и потолочные кондиционеры. Выбор этих

компоновок обусловлен двумя основными причинами. Первая из них обусловлена тем, что система энергораспределения и беспробойного электроснабжения находится тут же, или, в лучшем случае, за тонкой перегородкой. Поэтому решения, использующие в качестве промежуточного теплоносителя растворы воды, здесь крайне нежелательны. В настоящее время острота данной проблемы снизилась, поскольку появились чисто фреоновые решения как в области межстоечных, так и потолочных кондиционеров. Вторая заключается в том, что ширину мобильного модуля увеличить нельзя (модуль становится негабаритным при перевозке), а глубина стоек возрастает вслед за увеличением глубины оборудования.

Так, если еще пять-семь лет назад средние стойки имели глубину 0,6–0,8 м, то сейчас стойка глубиной 1 м считается стандартной, появляются стойки глубиной 1,2 м. Частично эту проблему решает применяемый во всех МЦОД производства «Ситроникс» механизм перемещения сточного массива в поперечном направлении. Он позволяет оптимизировать ширину коридоров после завершения установки ИТ-оборудования, но все равно ширина коридоров в рабочем положении не превышает 0,75 м. Это значение при мощностях стойки в 5–10 кВт уже близко к критическому – в потоке начинают образовываться опасные псевдостационарные завихрения, обладающие повышенной температурой. Так, показанные на рис. 6 зоны повышенной температуры образовывались в углах горячего коридора МЦОД «Датериум 1».

Основной метод борьбы с этими явлениями – ликвидировать любые неравномерности на пути движения воздуха, особенно кабельные лотки, козырьки над стойками, настенные шкафы и т. п. Впрочем, с подобной проблемой в классических ЦОД столкнулись уже давно – это проблема влияния размещенных под фальшполом коммуникаций на подачу холодного воздуха к стойкам. И решается она аналогично – выносом всех коммуникаций из-под фальшпола.

С увеличением удельного потребления стойки возникает еще одна проблема – возможность повреждения ИТ-оборудования потоком прокачиваемого через него воздуха. Как уже отмечалось, мы достигли

предельных значений по температуре на входе в стойку и на выходе из стойки. На теплоемкость воздуха тоже пока повлиять не удается. Остается только повышать скорость продувки. На рис. 7 показано поле модуля скорости в поперечном разрезе МЦОД «Датериум 1».

Видно, что скорости потоков на входе в отдельные серверы достигают 1 м/с. Пока это не критично, но ведь и мощность стойки только 5 кВт. При мощности стойки в 50 кВт скорость потока возрастет как минимум до 10 м/с (60 км/ч), что приведет как минимум к разрушению вентиляторов в ИТ-оборудовании. Можно предположить, что этот фактор остановит рост удельной мощности стойки на уровне 50–100 кВт.

Но, скорее всего, увеличение удельной мощности стойки прекратится гораздо раньше. Дело в том, что 20-футовый контейнер с мощностью ИТ-оборудования от 100 кВт превращается в «тепловую бомбу». При отказе системы охлаждения температура внутри контейнера (гермозоны) за несколько секунд превышает 100 градусов, что фатально не только для оборудования, но и для случайно оказавшегося рядом обслуживающего персонала. Поэтому максимальную мощность стойки можно считать 12–15 кВт и не ожидать ее увеличения в ближайшее время.

Что касается тепловых потерь от теплопередачи через оболочку мобильного модуля, то при использовании современных материалов они равняются 0,5–1,5 Вт/кв. м град. Для 20-футового контейнера это составляет несколько киловатт и легко компенсируется соответствующим запасом холодильной (тепловой) мощности.

Поскольку вход в мобильные модули осуществляется непосредственно с улицы, то в конструкции МЦОД обязательно должен присутствовать тамбур-шлюз. При использовании в регионах с жарким и влажным климатом в тамбур-шлюзе может потребоваться отдельный кондиционер, работающий в режиме осушителя.

Несмотря на перечисленные проблемы, тепловая эффективность модульных решений заметно выше, чем в традиционных ЦОД, что в перспективе позволяет значительно снизить затраты на их эксплуатацию. ■



Рис. 6. Поле температуры в продольном разрезе МЦОД «Датериум 1»

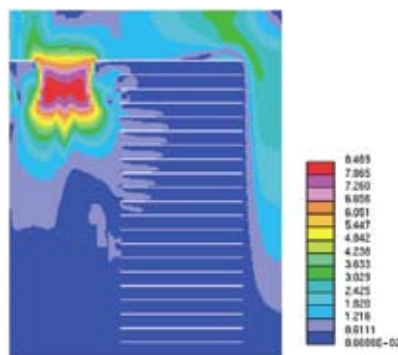


Рис. 7. Поле модуля скорости в поперечном разрезе МЦОД «Датериум 1»