

КОНТРОЛЬ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Контроль перепада давления с помощью системы вентиляции является одним из методов обеспечения чистоты помещения и защиты от утечек опасных загрязнений. Чтобы не допустить проникновение загрязнений извне, в помещении поддерживают избыточное давления. Если требуется избежать утечек загрязненного воздуха, например из лабораторий, где ведется работа с опасными веществами, в помещении создается отрицательный перепад давления (разрежение).

В статье рассмотрены основные требования, принципы, рекомендации, оборудование и технические решения для обеспечения контроля и регулирования перепада давления в помещениях с помощью системы вентиляции.

Обзор нормативных документов

Общие требования по поддержанию положительного дисбаланса в чистых помещениях приведены в СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41–01–2003» [1].

Согласно п. 7.5.4 этого документа при отсутствии тамбур-шлюза расход воздуха для обеспечения дисбаланса следует создать разность давления не менее 10 Па по отношению к давлению в защищаемом помещении, но не менее 100 м³/ч на каждую дверь.

Более четкие рекомендации дает ГОСТ Р 56638–2015 «Чистые помещения. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Общие требования» [2], где «поддержание положительного или отрицательного давления воздуха в помещении» прямо называется задачей системы вентиляции и кондиционирования. В документе вводится понятие «утечка воздуха», возникающая из-за перепада давления между помещениями, и предъявляется требование к расчету и учету величины утечки в балансе воздухообмена. В приложении В стандарта приведен пример таблицы балансов воздухообмена, учитывающей утечки (перетоки) воздуха как инфильтрацию и эксфильтрацию.

В пункте 4.8 документа указывается, что регулировать баланс воздухообмена нужно с помощью клапанов (регуляторов потока воздуха), устанавливаемых на притоке и (или) вытяжке. Более четких требований и рекомендаций, касающихся применяемых клапанов, в стандарте нет.

ГОСТ Р 56190–2014 «Чистые помещения. Методы энергосбережения» [3] содержит требование прини-

мать при проектировании общие и специальные меры экономии энергии, в том числе согласно п. 4.4.2 предусматривать регулирование расходов воздуха средствами автоматизации, например задавать режимы для рабочего и нерабочего времени и поддерживать параметры микроклимата исходя из конкретных условий.

Для поддержания чистоты воздуха в лечебных учреждениях стандарт ГОСТ Р 52539–2006 [4] предписывает использовать, в частности, принцип перепада давления. Согласно п. 5.3.3 документа перепад давления воздуха между смежными помещениями с различными классами чистоты должен быть не менее 10–15 Па. Для беспрепятственного открывания дверей рекомендуемый перепад давления между смежными помещениями, разделенными дверью, не должен превышать 20 Па.

В пункте 7.2 изложены требования по контролю расхода воздуха, однако в данном случае речь идет о разовых контрольных замерах с помощью расходомера или анемометра.

Стандарт ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4» [5] в основном применяется к производственным чистым помещениям. Для их защиты от загрязнений извне необходимо поддерживать более высокое статическое давление по сравнению с соседними зонами. Для производственных процессов важно не допустить даже кратковременного возникновения обратного потока воздуха, поэтому перепад давления должен быть стабильным и достаточным по значению.

Согласно стандарту перепад давления следует поддерживать с помощью различной техники баланси-

рования потоков воздуха (*активных/автоматизированных и пассивных/ручных систем*), при этом необходимо регулировать относительное количество воздуха, которое подается в каждую зону системой подачи воздуха и удаляется из нее через воздухопроводы или другим образом.

Пункт 4.21 стандарта ГОСТ Р 52249–2009 «Правила производства и контроля качества лекарственных средств (GMP)» [6], помимо поддержания перепадов давления, требует на каждой технологической стадии проводить мониторинг и контроль параметров помещения, в том числе — давления воздуха. Для производства ряда лекарственных средств используют изолированные помещения, в которых поддерживается отрицательный перепад давления (разрежение).

Но самые серьезные и сложно выполнимые требования к перепаду давления предъявляет свод правил СП 1.3.3118–13 «Безопасность работы с микроорганизмами I–II групп патогенности» [7]. Помещения «заразной» зоны лабораторий должны быть оборудованы системами приточно-вытяжной механической вентиляции, обеспечивающими в том числе «создание и поддержание требуемой величины отрицательного давления (разрежения) относительно окружающей среды». При этом в зависимости от назначения помещений определяется величина разрежения в 50 и 100 Па. Для наиболее опасных изолирующих помещений необходимо создание и поддержание разрежения в 200–250 Па с постоянным автоматическим регулированием и регистрацией параметров.

Таким образом, существующая нормативная база четко определяет требования к созданию и поддержанию перепада давления в помещениях различного назначения. При этом в справочной литературе дается не так много информации и рекомендаций по практической организации перепада давления, выбора схем и технических решений, оборудования, обеспечения автоматического регулирования, точности и скорости работы системы, алгоритмов управления и контроля основных рабочих параметров.

Герметичность помещения и перетоки воздуха

Рассмотрим полностью герметичное помещение, которое обслуживается системой приточно-вытяжной вентиляции. В случае, когда объем подаваемого приточного воздуха точно соответствует объему вытяжного воздуха, в помещении будет поддерживаться стабильное давление по отношению к атмосферному. Как только объем приточного воздуха станет больше, чем объем вытяжного, воздушный баланс нарушится, и давление в помещении начнет резко увеличиваться.

Это следует из уравнения Бернулли, решение которого может быть использовано для определения избыточного давления:

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{dL}{F \cdot \mu} \right)^2, \quad (1)$$

где ρ — плотность воздуха;

F — площадь неплотностей (щелей), м²;

dL — разница расхода приточного и вытяжного воздуха (утечки);

μ — коэффициент расхода.

Согласно уравнению (1) избыточное давление пропорционально утечкам воздуха из помещения, то есть разнице между расходами приточного и вытяжного воздуха, и обратно пропорционально площади различного рода неплотностей в ограждающих конструкциях помещения, через которые воздух может проникать в соседние помещения.

Коэффициент расхода μ для круглого отверстия принимают 0,6–0,62, но применительно к вентиляции помещения, где как в основном встречаются длинные тонкие щели с острыми кромками, рекомендуется принимать коэффициент $\mu = 0,72$.

Если бы помещение было бы абсолютно герметичным, то есть площадь щелей в нем стремилась к нулю, то даже самые незначительные отклонения в балансе между приточным и вытяжным воздухом приводили к резкому скачку давления:

$$\Delta P \sim \left(\frac{dL}{F} \right)^2. \quad (2)$$

Если помещение будет абсолютно герметично, как стальной баллон для сжатого воздуха, то даже при незначительной разнице в балансе приточного и вытяжного воздуха давление внутри повысится настолько, насколько позволит напор вентилятора. Поэтому, чтобы контролировать стабильное давление в полностью герметичном вентилируемом помещении, нужно идеально точно и быстро регулировать объем приточного и вытяжного воздуха, что в большинстве случаев практически невозможно.

В реальных условиях ограждающие конструкции даже самых «герметичных» помещений — стены, потолок и, конечно же, двери — имеют различного рода неплотности. Как только в одном помещении возникает избыточное давление по отношению к соседним, появляются утечки (перетоки) воздуха — эксфильтрация и инфильтрация. Именно благодаря небольшим перетокам становится технически возможным стабильно поддерживать разницу давления в помещении по отношению к соседним помещениям. Если же герметичность помещения недостаточно высока, то есть площадь щелей F слишком большая, то для поддержания давления требуется обеспечить очень большой дисбаланс dL . При проведении пусконаладочных работ из-за реальной низкой герметичности помещения требуемое давление просто не удастся создать, несмотря на существенный дисбаланс расходов воздуха.

Таким образом, чтобы контролировать перепад давления в помещении, нужно иметь возмож-

ность контролировать баланс расхода приточного и вытяжного воздуха и обеспечить приемлемый уровень перетоков. То есть нужны точные регуляторы расхода воздуха, а ограждающие конструкции помещения при этом не должны быть идеально герметичными, но в то же время должны обеспечивать минимальные утечки воздуха.

Если известно желаемое значение перепада давления в помещении, можно определить требуемую величину перетоков (разницу расходов приточного и вытяжного вентиляционного воздуха), например по формуле, рекомендуемой стандартом ASHRAE Fund.97, p25.11:

$$dL = 3600 \cdot F \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (3)$$

В отечественной нормативной базе также есть требование расчета утечки воздуха для каждого помещения и учета в балансе воздухообмена [2]. А для расчета количества воздуха, проходящего через дверную щель (предполагается что других воздухопроницаемых щелей в помещении нет), предлагается использовать формулу

$$L_g = F_g \cdot \Sigma \varepsilon \cdot \sqrt{\Delta P} \cdot 3600, \quad (4)$$

которая описывает тот же процесс, что и (3), но вместо коэффициента расхода $\mu = 0,6-0,72$ в ней используется коэффициент местных сопротивлений $= 0,85$, а составляющая « $\rho/2$ », равная для воздуха $0,6$, отсутствует. В итоге перетоки, рассчитанные по формуле (4), получаются несколько ниже.

Рассмотрим ситуацию, когда требуется поддерживать избыточное давление 15 Па в высокогерметичном помещении с площадью щелей $0,001$ м² и в помещении с относительно невысокой герметичностью с площадью щелей $0,01$ м², что условно соответствует щели под дверь шириной 1 мм и 1 см соответственно. Используя формулу (3) получим:

$$dL_{0,001} = 3600 \cdot 0,001 \cdot 0,72 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 15}{1,2}} = 12,9 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$dL_{0,01} = 3600 \cdot 0,01 \cdot 0,72 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 15}{1,2}} = 129,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В первом случае для достижения результата необходимо, чтобы разность между притоком и вытяжкой dL составляла $12,9$ м³/час, во втором — $129,6$ м³/час.

Чтобы оценить влияние герметичности на требования к оборудованию для системы вентиляции, сравним два помещения, в которых требуется поддерживать перепад давления в 15 Па. Допустим, в помещении № 1 объемом 15 м³ должен быть обеспечен воздухообмен 450 м³/час. При высокой герметичности дисбаланс в $12,9$ м³/час составляет всего 3% расхода приточного воздуха, и поддержать такую точ-

ность подачи воздуха будет достаточно сложно, а незначительные отклонения расходов воздуха приведут к существенным колебаниям давления. В то же время при дисбалансе в $129,6$ м³/час разница расходов приточного и вытяжного воздуха составит 29% , и обеспечивать регулировку в таком диапазоне значительно проще, однако разница между приточным и вытяжным воздухом будет весьма существенной, что может оказаться неприемлемым. Например, не будет обеспечен требуемый расход вытяжного воздуха или производительность приточной системы окажется недостаточной. Для более крупного помещения № 2 объемом 70 м³ с воздухообменом 2100 м³/час дисбаланс в $12,9$ м³/час составит всего $0,6\%$ общего расхода, а $129,6$ м³/час — 6% . Если помещение № 2 будет слишком герметичным, поддерживать в нем заданное давление станет технически невозможно, так как точность регулирования $0,6\%$ недостижима для большинства моделей современных регуляторов расхода воздуха. А вот обеспечить дисбаланс в $129,6$ м³/час будет просто.

В общем случае для стабильного поддержания перепада давления рекомендуется, чтобы объем перетока составлял $5-15\%$ общего расхода вентиляционного воздуха.

Требуемый для поддержания перепада давления дисбаланс не зависит от объема помещения и определяется только его герметичностью. В то же время объемы подаваемого приточного и вытяжного воздуха определяют необходимую точность регулирования расхода. Обеспечить поддержание дисбаланса в 100 м³/час при общем расходе 1000 м³/час гораздо проще, чем при расходе в 20000 м³/час. Поэтому помещения маленького объема должны быть более герметичными, чем крупные помещения с большим воздухообменом.

Оборудования и схемы регулирования для поддержания перепада давления

Итак, чтобы обеспечить перепад давления в помещении, нужно создать дисбаланс между приточным и вытяжным потоками.

Теоретически для этой цели можно использовать обыкновенные дроссельные заслонки и попытаться наладить систему вручную, но при любом изменении условий работы системы вентиляции перепад давления будет крайне нестабильным, поэтому такой вариант практически не применяется. Чтобы получить приемлемый результат, необходимо использовать различные комбинации приточных и вытяжных регуляторов постоянного (CAV) и переменного (VAV) расхода.

В самом простом случае для регулирования и стабильного поддержания дисбаланса между притоком и вытяжкой можно использовать два механических регулятора CAV с фиксированными расходами воздуха на приточном и вытяжном воздуховодах (рис. 1).



Это наиболее дешевый вариант. Расход воздуха через регулятор CAV, в отличие от обычной дроссельной заслонки, не зависит от колебаний давления в воздуховоде, что позволяет достаточно стабильно поддерживать требуемый расход как на притоке, так и на вытяжке.

Избыточное давление в помещении обеспечивается за счет разницы в расходах приточного и вытяжного воздуха. Разница расходов устанавливается на шкале регулятора CAV вручную, механически, при проведении пусконаладочных работ. При этом точность поддержания расходов регуляторами составляет примерно 10%. Для небольших по объему помещений с невысокой герметичностью этого вполне достаточно.

В процессе эксплуатации установившийся перепад давления в помещении можно только наблюдать с помощью дополнительного датчика, но нельзя кон-

тролировать (регулировать). Также нет никакой возможности отслеживать реальные расходы приточного и вытяжного воздуха.

Обычно такую схему используют для тамбур-шлюзов и менее ответственных помещений, где достаточно поддержания давления с точностью $\pm 5-8$ Па. Система не будет компенсировать изменения герметичности в помещении в процессе эксплуатации, однако при необходимости регуляторы CAV позволяют выполнить ручную корректировку расходов. Данное решение не подходит для помещений с переменными режимами работы вентиляции, например для помещений с местными отсосами или с чередованием дневного и ночного режимов воздухообмена.

Второй, более технологичный вариант поддержания давления — использование регулятора постоянного расхода CAV на притоке и клапана-регулятора давления на вытяжке (рис. 2).

Клапан-регулятор давления представляет собой готовое заводское изделие: воздушная заслонка в компактном корпусе, на котором смонтирован контроллер «К», сервопривод заслонки «М» и преобразователь перепада давления «Р».

При помощи тонкой пластиковой трубки преобразователь давления соединяется с объемом контролируемого помещения, к контролеру подключается питание и выставляется величина давления, которое нужно поддерживать. Поддержание перепада давления происходит автоматически: если давление в помещении ниже требуемого, заслонка прикрыва-



Рис. 1. Поддержание перепада давления с помощью регуляторов постоянного расхода CAV

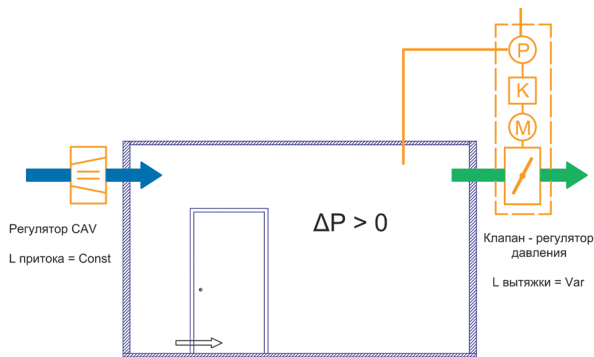


Рис. 2. Поддержание перепада давления с помощью клапана-регулятора

ется, а если выше — открывается до максимума. При этом клапан-регулятор управляет перепадом давления, но не измеряет и не контролирует фактический расход вытяжного воздуха.

В данном случае в клапане-регуляторе используется специально разработанный для поддержания давления контроллер с ПИД-регулятором. Параметры ПИД-регулятора адаптируются к режиму поддержания давления в системах вентиляции и позволяют быстро и точно установить заслонку в требуемое положение. Такой контроллер не нуждается в дополнительном программировании и настройке параметров при выполнении пусконаладочных работ. Дополнительно контроллер может открывать и закрывать заслонку по внешней команде.

Если для помещения важно гарантированно обеспечить расчетный объем вытяжного воздуха, то клапан-регулятор давления может быть установлен на точном воздуховоде.

Рабочие характеристики системы контроля и поддержания давления во многом определяются используемыми в клапанах-регуляторах сервоприводами, поэтому рассмотрим их характеристики более подробно.

Сервоприводы для клапанов-регуляторов давления и регуляторов переменного расхода VAV

От моделей сервоприводов, установленных на клапанах-регуляторах давления и регуляторах переменного расхода VAV, существенно зависят стоимость оборудования и результат его работы.

Все электрические сервоприводы, применяемые в регуляторах, имеют дискретный шаг вращения. Время поворота штока стандартного сервопривода на 90° — около 120–150 секунд. Точность позиционирования при этом составляет 5%, что примерно соответствует повороту на 2° . При расходе воздуха через регулятор $1000 \text{ м}^3/\text{час}$ шаг изменения расхода при минимальном повороте заслонки можно оценить в $20\text{--}40 \text{ м}^3/\text{час}$, что в ряде случаев — слишком много для контроля дисбаланса вентиляции поме-

щения. Поэтому для точной работы с относительно большими расходами воздуха и в помещениях с высокой герметичностью стандартные сервоприводы не подходят. В этих случаях необходимо использовать высокоскоростные сервоприводы, время полного поворота которых составляет всего 3–4 секунды. Конструкция высокоскоростного сервопривода позволяет обеспечить точность позиционирования заслонки в $0,5^\circ$, чего вполне достаточно для контроля воздушного баланса и перепада давления большинстве чистых помещений, в том числе оснащенных местными вытяжками постоянного и периодического действия.

Однако для контроля давления в высокогерметичных помещениях, например таких, как [7], где наличие перетоков практически недопустимо, необходима еще более высокая точность позиционирования заслонки. Такую точность могут обеспечить пневматические сервоприводы с плавным ходом штока.

До недавнего времени пневматические сервоприводы были единственным решением для контроля давления в полностью герметичных помещениях, но сейчас появилось новое поколение высокоточных электрических сервоприводов с шагом поворота заслонки в $0,1^\circ$, что делает их сопоставимыми с пневматическими и открывает новые возможности.

При использовании стандартного сервопривода на клапане-регуляторе давления, установленном, как на рис. 2, в не очень больших и не слишком герметичных помещениях, можно добиться точности поддержания расхода на уровне 10% при времени выхода на режим около 90 секунд, точность поддержания перепада давления может быть не более $\pm 5 \text{ Па}$. Таких параметров оказывается вполне достаточно для большинства простых помещений, используемых в медицине.

Применение регулятора с высокоскоростным сервоприводом позволит сократить время выхода на режим до 15–20 секунд. В этом случае контакты положения входной двери очень рекомендуется подключить к клапану-регулятору так, чтобы при открытии двери заслонка не закрывалась, а оставалась в открытом положении. При закрытии двери это позволит избежать резких скачков давления, которые могут привести даже к механическим повреждениям ограждающих конструкций герметичного помещения.

Преимущество рассмотренных выше схем заключается в простоте, надежности и полной автономности. Для контроля перепада давления не требуются внешние управляющие контроллеры и другие средства автоматизации. Конечно, в помещениях могут быть установлены дополнительные дифференциальные манометры или преобразователи давления, но их функция будет ограничена только наблюдением за фактическим перепадом давления. Использование простых регуляторов CAV и регуляторов давления

позволит создать перепад давления, но выполнить требования [3, 6, 7] будет технически невозможно.

Существует простая возможность существенно улучшить схему регулирования, показанную на рис. 2, — установить на подаче воздуха регулятор переменного расхода VAV вместо регулятора САУ. Он будет выполнять ту же самую функцию — обеспечивать постоянный фиксированный расход приточного воздуха, но уже с точностью менее 5%. При этом регулятор будет выдавать информацию о фактическом значении расхода воздуха, и система диспетчеризации сможет получать данные об объеме воздуха, который реально поступает в помещение, и выполнять требования [3, 6].

Использование внешнего цифрового программируемого контроллера позволяет реализовать более сложные и технологичные схемы управления перепадом давления и контроля параметров вентиляции в помещении (рис. 3).

В этой схеме сигнал от преобразователя перепада давления «Р» подается непосредственно на внешний цифровой контроллер, управляющий стандартными регуляторами переменного расхода на притоке и на вытяжке. Такие регуляторы оснащены штатными микроконтроллерами и могут изменять проходящий через них расход воздуха пропорционально управляющему сигналу от внешнего цифрового контроллера. Кроме того, регуляторы постоянно измеряют расход проходящего воздуха и выдают обратный сигнал, который может быть подан к внешнему цифровому контроллеру. В результате цифровой контроллер не только задает требуемые расходы воздуха через приточный и вытяжной регуляторы, но и получает обратные сигналы фактических значений, то есть обеспечивает постоянный контроль не только перепада давления в помещении, но и реального объема приточного и вытяжного воздуха, что особенно важно для некоторых производственных процессов.

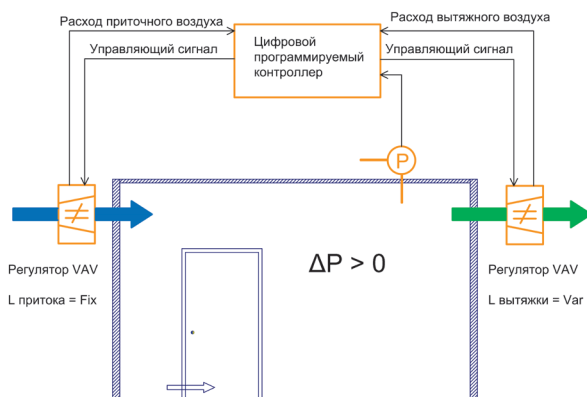


Рис. 3. Поддержание перепада давления с помощью регуляторов переменного расхода VAV и внешнего цифрового контроллера

Такая схема позволяет реализовать большое количество вариантов режимов работы и настройки системы. Так, когда большой воздухообмен не требуется (например, помещение не используется), можно снижать воздухообмен при сохранении контроля перепада давления. После открытия входной двери в помещении внешний контроллер может снизить установленный перепад давления и затем плавно вернуть его к заданному значению, избегая опасных резких скачков давления. В систему контроля могут быть легко интегрированы дополнительные вытяжные системы, такие как местные отсосы с постоянным или переменным режимом работы.

Используя данную схему, можно добиться точности контроля перепада давления до $\pm 2-5$ Па. При использовании стандартных сервоприводов схема позволяет обеспечить выход на режим не более чем за 60 секунд, при использовании высокоскоростных сервоприводов это время составит менее 15 секунд.

Однако реализация данной схемы во многом зависит от возможностей внешнего цифрового контроллера и скорости коммуникации и требует дополнительного объема проектно-монтажных работ, что критично при значительном количестве помещений. Поэтому для наиболее сложных и ответственных объектов производители оборудования предлагают альтернативное решение (рис. 4).

В этой схеме также используются два регулятора переменного расхода VAV, но каждый регулятор имеет штатный микропроцессорный контроллер «МК» со специально разработанным программным обеспечением. Преобразователь перепада давления в помещении «Р» подключается непосредственно к одному из микропроцессорных контроллеров регулятора VAV. Микропроцессорные контроллеры обмениваются данными по сетевому протоколу, передавая в том числе информацию о расходах воздуха и положении заслонок. Чтобы соединить приточный и вытяжной регуляторы в единую систему, можно использовать

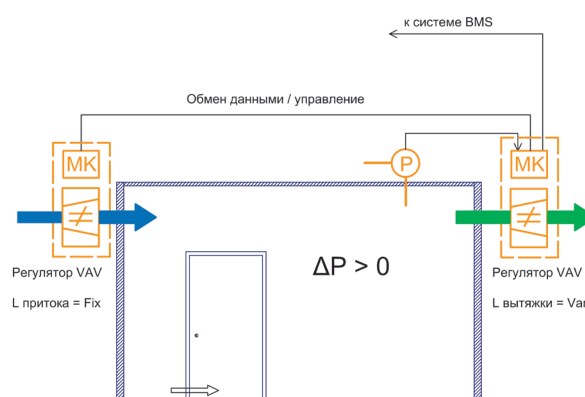


Рис. 4. Поддержание перепада давления с помощью клапанов-регуляторов давления VAV с локальными микропроцессорными контроллерами

обычный коммутационный шнур, что сводит к минимуму объем монтажных работ и вероятность ошибок.

Схема на рис. 4 имеет все преимущества схемы с внешним цифровым контроллером, но при этом обладает более высокими быстродействием и надежностью благодаря специально разработанному программному обеспечению. На верхний уровень системы диспетчеризации здания по стандартным сетевым протоколам подается только общая информация о рабочих параметрах, а процесс регулирования воздушного баланса и перепада давления выполняется на «полевом» уровне.

Стандартно для регуляторов VAV с микропроцессорными контроллерами используются только высокоскоростные сервоприводы, что обеспечивает точность поддержания расхода не менее 5% и время выхода на режим менее 10 секунд. Точность поддержания давления может достигать ± 2 Па. Данное решение рекомендуется применять для контроля перепада давления в помещениях с очень высокой герметичностью, где объемы перетоков воздуха должны быть минимальными, а также в помещениях с большим количеством дополнительных постоянных и переменных вытяжных систем.

Общие рекомендации по обеспечению перепада давления

Рассмотренные схемы демонстрируют основные принципы различных решений для поддержания и регулировки перепада давления в помещениях. В зависимости от конкретных требований объекта возможны различные комбинации регуляторов постоянного (CAV) и переменного (VAV) расхода, а также регулирование перепада давления как за счет изменения объема вытяжного воздуха, так и за счет изменения объема приточного воздуха. Выбор той или иной схемы обусловлен экономической целесообразностью, требованиями к герметичности ограждающих конструкций помещения и к точности и скорости регулирования перепада давления.

При проектировании и сооружении помещений с перепадом давления действуют следующие рекомендации.

- Диапазон значений перепада давления между соседними помещениями различных классов должен составлять 10–25 Па (оптимально — около 15 Па). Точность контроля перепада давления, которую позволяет обеспечить большинство вариантов, составляет ± 5 Па, поэтому перепад давления между помещениями различных классов менее 10 Па не гарантирует надежной работы. В свою очередь, перепады давления более 25 Па, как правило, не улучшают показателей чистоты и требуются только в изолирующих помещениях.
- Контроль давления во всех соседних помещениях должен выполняться относительно общего референтного помещения с постоянным стабильным давлением, обычно — коридора. Не рекомендуется

измерять перепад давления относительно запотолочного пространства. Не допускается каскадный принцип подключения преобразователей давления, когда одно помещение с контролируемым перепадом работает по датчику, соединенному с другим помещением с меньшим или большим перепадом, это приводит к значительным неточностям регулирования и постоянным колебаниям давления.

- Герметичность помещений, в которых контролируется перепад давления, должна быть достаточно высокой, но не чрезмерной. На практике гораздо чаще приходится сталкиваться с ситуацией, когда герметичность ограждающих конструкций помещения недостаточна для поддержания перепада давления, и объемов приточного или вытяжного воздуха просто не хватает для того, чтобы компенсировать возникающие перетоки в соседние помещения.
- При использовании в помещениях местных вытяжек периодического действия требуется применение более сложных схем регулирования давления, в том числе с внешними цифровыми контроллерами.
- Чем больше объем помещения и расходы приточного и вытяжного воздуха, тем сложнее контролировать давление в помещении, так как требуется очень высокая точность и скорость работы регуляторов. Регуляторы с высокоскоростными сервоприводами должны применяться для высокогерметичных помещений или в случаях, когда величина перетоков и соответственно дисбаланс между приточным и вытяжным воздухом составляют менее 5% общего воздухообмена. При больших расходах приточного и вытяжного воздуха для более точного контроля дисбаланса используют схемы с несколькими регуляторами расхода и давления на притоке или вытяжке.

Литература

1. СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41–01–2003».
2. ГОСТ Р 56638–2015 «Чистые помещения. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Общие требования».
3. ГОСТ Р 56190–2014 «Чистые помещения. Методы энергосбережения».
4. ГОСТ Р 52539–2006 «Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования».
5. ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4».
6. ГОСТ Р 52249–2009 «Правила производства и контроля качества лекарственных средств (GMP)».
7. СП 1.3.3118–13 «Безопасность работы с микроорганизмами I–II групп патогенности».

Виталий Алексеевич Волков, к. т. н., эксперт по системам вентиляции (info@dr-vent.ru)