



СПЕЦИАЛЬНО  
К РОССИЙСКОЙ НЕДЕЛЕ  
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО ЗАЛА В США

Филип Бартоломью, ведущий инженер-механик, Miller-Remick (Cherry Hill, N. J.)

Поддержание в операционной требуемых стандартом ASHRAE<sup>1</sup> параметров микроклимата, качества воздуха и кратности воздухообмена требует значительных затрат энергии на транспортировку и тепловлажностную обработку воздуха. Рассмотрим одно из возможных решений по снижению энергопотребления системы вентиляции и кондиционирования операционного зала – систему dual duct, при которой помещения обслуживаются двумя установками, работающими параллельно с разными температурными режимами. Параметры воздуха на входе в каждое помещения определяются локальной потребностью и поддерживаются за счет смешения воздуха от двух установок в нужной пропорции на смешивающем VAV-клапане.

Стандартное решение при проектировании системы вентиляции и кондиционирования медицинских учреждений в США (рис. 1) – это система механической приточно-вытяжной вентиляции с переменным расходом: центральный кондиционер с глубокой обработкой и очисткой воздуха и опцией рециркуляции; VAV-клапан перед каждым помещением, имеющий встроенный теплообменник для догрева приточного воздуха. При проведении операций в помещении поддерживается кратность 20 ч<sup>-1</sup>. В режиме, когда операционная не используется, расход воздуха снижается до 10 ч<sup>-1</sup>, система вентиляции поддерживает подпор воздуха и температурный режим в помещении.

<sup>1</sup> ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170–2008, Ventilation of Health Care Facilities.

<sup>2</sup> VAV-клапаны (Variable Air Volume) – клапаны для создания переменного расхода воздуха.

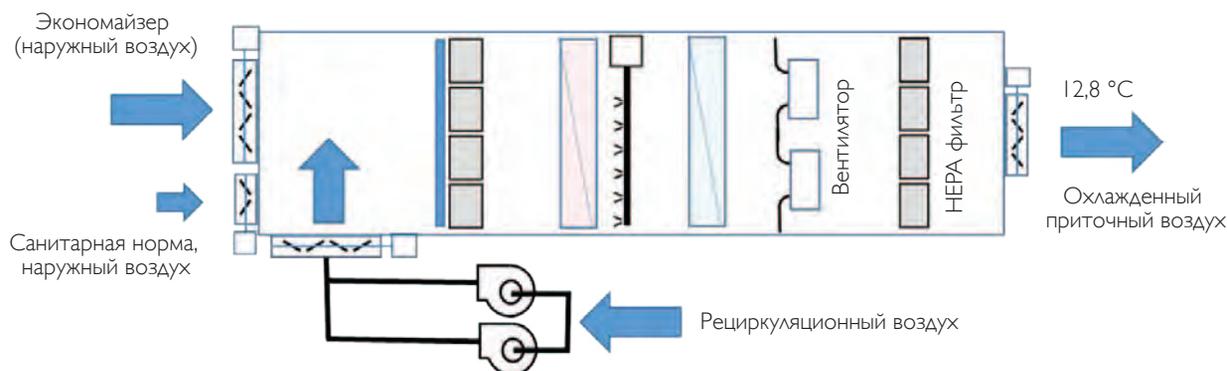


Рис. 1. Стандартная система

Исторически все признавали, что догрев воздуха на локальном VAV-клапане – это энергозатратное решение, но, учитывая необходимость поддержания влажности в теплое время года и необходимость ассимиляции значительных теплоступлений от осветительных приборов, медицинского оборудования и персонала в совокупности с требованиями по кратности воздухообмена, именно такое решение стало самым популярным. Температура воздуха на выходе из центрального кондиционера составляет 12,8 °С и в зависимости от фактического уровня теплоступлений в помещении, требуемой температуры помещения и расхода воздуха догревается на локальном VAV-клапане на входе в помещение до требуемого значения.

Одним из примеров системы dual duct (далее – двухканальная система) может служить установка, показанная на рис. 2. Это принципиальная схема

крышного центрального кондиционера, собранного как единая установка.

Двухканальная система при необходимости может быть реализована другими, альтернативными способами с отдельными установками «холодной» и «теплой» сторон, отдельной установкой подготовки приточного воздуха либо с одним общим вентилятором и отдельными камерами тепловлажностной обработки и очистки воздуха. Решение о типе системы и ее конфигурации нужно принимать индивидуально для каждого проекта.

Использование двух отдельных вентиляторов между охладителем и HEPA-фильтром в установке позволяет использовать тепловую энергию вращающегося вентилятора для догрева охлажденного воздуха, насыщенного влагой. Такое размещение вентилятора необходимо для снижения риска роста бактерий на HEPA-фильтрах.

Расход воздуха установки «холодной» стороны, охлаждающей воздух до 12,8 °С (рис. 2), определяется нагрузкой на ассимиляцию полных теплоступлений в помещении. Прочий расход воздуха, требуемый для поддержания требуемой кратности и режима течения воздуха в помещении, подается через вторую установку, с температурой воздуха на выходе 22,2 °С.

### Стандартная система с VAV-клапанами с догревом

VAV-клапаны, как правило, работают в двухпозиционном режиме, поддерживая номинальный и минимальный расход на помещение. Центральный кондиционер обрабатывает воздух до 12,8 °С. После охладителя температура воздуха составляет 10,8 °С, далее на вентиляторе он догревается на 2 °С. Система работает

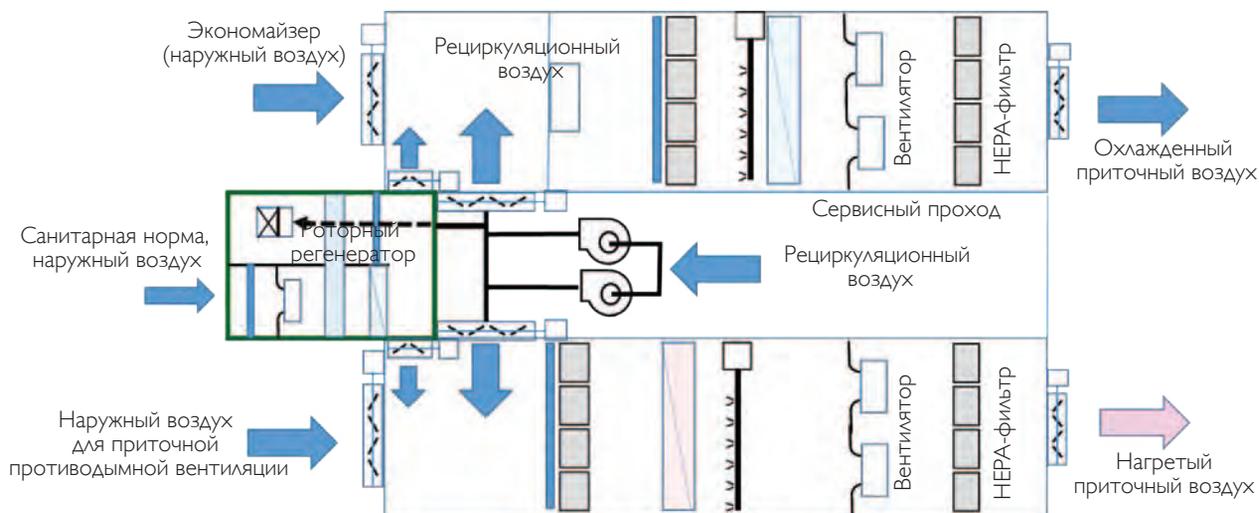


Рис. 2. Двухканальная система

круглосуточно в круглогодичном режиме, поддерживая в обслуживаемых помещениях кратность воздухообмена  $20 \text{ ч}^{-1}$ . В периоды, когда помещения не используются для проведения операций, температура воздуха на выходе из центрального кондиционера может составлять  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , а кратность воздухообмена в помещениях снижается до  $10 \text{ ч}^{-1}$ .

Догрев воздуха на VAV-клапане на входе в каждое из помещений регулируется по датчику температуры локальным комнатным термостатом.

При этом расчеты показывают, что исключительно на нужды ассимиляции теплоступлений и поддержание влажности в среднем для типовой операционной достаточно кратности воздухообмена  $12 \text{ ч}^{-1}$  при температуре приточного воздуха  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . В режиме пиковых нагрузок кратность, необходимая для поддержания параметров микроклимата, может быть выше. Очевидно, что значительное количество энергии на охлаждение и последующий догрев расходуется нерационально.

### Двухканальная система со смешивающими VAV-клапанами

Помещения обслуживаются двумя установками, работающими параллельно с разными температурными режимами – «холодной» и «теплой». Параметры воздуха на входе в каждое помещения определяются локальной потребностью и поддерживаются за счет смешения воздуха от двух установок в нужной пропорции на смешивающем VAV-клапане (рис. 2).

Система работает с кратностью  $20 \text{ ч}^{-1}$ , но, как правило, суммарное энергопотребление вентиляторов меньше, чем у стандартной системы, поскольку обе установки большую часть времени работают с расходом меньше номинального и аэродинамическое сопротивление отдельного канала ниже, чем у стандартной системы. Теплоступления от секций вентилятора двухканальной системы не превосходят аналогичный показатель стандартной системы.

### Сравнение энергопотребления систем

Данные по энергопотреблению стандартной и двухканальной систем получены в ходе работ по реновации системы вентиляции и кондиционирования в медицинском центре, расположенном в западной части штата Северная Каролина.

Операционный блок состоит из семи операционных залов с коридором, стерильными зонами и комнатами для хранения оборудования и медикаментов. Общая площадь операционных  $455 \text{ м}^2$ , общая площадь прочих помещений  $390 \text{ м}^2$ .

Центральный кондиционер стандартной системы работал с расходом  $44 \text{ 170 м}^3/\text{ч}$ .

Сравнение проводилось при следующих условиях:

1. Операционная комната представляла собой отдельный модуль, без внешних теплоступлений и теплопотерь от ограждающих конструкций здания, инфильтрации и солнечной радиации.



РОССИЙСКАЯ  
НЕДЕЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
RUSSIAN HEALTH CARE WEEK\*

\* Ежегодно входит в план научно-практических мероприятий Министерства здравоохранения РФ  
On the annual list of events supported by the Russian Ministry of Health Care

2–6 декабря 2019

## КОНФЕРЕНЦИЯ АВОК

Организация воздухообмена и архитектурно-планировочные решения для лечебно-профилактических учреждений как меры неспецифической профилактики внутрибольничной инфекции

на выставке РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ 2019

2 декабря 2019 года, 13:00–17:00

Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР» зал семинаров № 3, павильон № 2 (1 этаж)

Организатор конференции:



Некоммерческое партнерство «Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике» (НП «АВОК»)

Генеральный партнер конференции:



Компания ClimaTech Engineering

Председатель оргкомитета: **Марианна Михайловна Бродач**, вице-президент НП «АВОК», профессор МАРХИ

Контактные лица:

Вадим Потанов, [potanov@abok.ru](mailto:potanov@abok.ru) +7 (495) 984–9972  
Михаил Ефремов, [efremov@abok.ru](mailto:efremov@abok.ru) +7 (495) 621–8048

Реклама



# 3Э

Энергосервисная компания 3Э

**ЗАО «Энергосервисная компания 3Э»**  
125362, Москва, ул. Водников, д. 2, стр. 4  
Тел.: (499) 929-82-35, 929-82-36, 929-82-37 E-mail: info@esco3e.ru

www.esco3e.ru

**ВИД ИЗМЕРЕНИЯ:** ✓ тепло ✓ вода ✓ электроэнергия **ВИД УСЛУГ:** ✓ производство ✓ продажа ✓ монтаж ✓ сервисное обслуживание ✓ проверка

Производство, поставка, монтаж и сервисное обслуживание теплосчетчиков, расходомеров, регуляторов потребления тепловой энергии, запорно-регулирующих клапанов КСР серии «ЭСКО», автоматизированных систем коммерческого учета, регулирования и диспетчеризации (АСКУРДЭ), а также квартирных теплосчетчиков «ТЕПЛОСМАРТ». Производство и поставка универсального энергосберегающего контроллера «ЭНЕРГИЯ 3Э». Все приборы и системы сертифицированы. Разработка и реализация проектных решений в теплоэнергетике.

Реклама

2. Время работы (за вычетом экстренных ситуаций) операционных комнат с 6:00 до 17:00, с понедельника по пятницу. В это время температура воздуха на выходе из стандартной установки и «холодной» установки в двухканальной системе составляла 12,8 °С.

3. График операций составлялся таким образом, чтобы проводить все плановые операции до 15:00 и 65 % этого времени уходило непосредственно на проведение операций. Во время операций кратность воздухообмена составляла 20 ч<sup>-1</sup>. В перерывах кратность снижалась до 10 ч<sup>-1</sup>.

4. С 15:00 до 17:00 проводилась уборка помещений. Кратность воздухообмена 10 ч<sup>-1</sup>.

5. С 17:00 до 6:00 с понедельника по пятницу и на выходных уставка температуры центральных кондиционеров менялась с 12,8 на 18 °С и системы работали на рециркуляцию, без наружного воздуха, поддерживая кратность воздухообмена 10 ч<sup>-1</sup>.

6. В операционных не было установлено роботизированного медицинского оборудования для проведения операций.

На рис. 3 показано сравнение энергопотребления стандартной и двухканальной систем за неделю

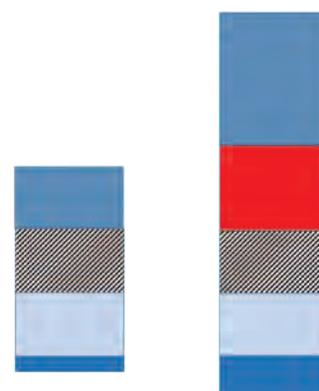
при условиях наружного воздуха 24–29 °С днем и 18 °С в ночное время. Измерения проводились именно в жаркую неделю, чтобы наглядно показать разницу в энергопотреблении на охлаждение и догрев приточного воздуха. При температурах наружного воздуха ниже указанных значений режим экономайзера позволяет снизить нагрузку на секцию охлаждения. Недельный период включал в себя и выходные дни, для лучшей оценки потенциала снижения энергопотребления в периоды, когда помещения не используются. Экономайзер применительно к данной системе – дополнительный прямой канал с заборной решеткой и клапаном с плавным регулированием на входе в смесительную камеру «холодной» установки, позволяющий использовать по возможности тепловую энергию необработанного наружного воздуха, подмешивая его в обход установки подготовки наружного воздуха.

Измерения учитывали исключительно потребление энергии центральными кондиционерами, без оценки возможного изменения COP чиллера и КПД котельной после ревновации.

## Выводы, сделанные на основе измерений

1. Нагрузку на систему холодоснабжения двухканальной системы удалось снизить на величину, близкую к нагрузке на догрев воздуха в VAV-клапанах, частично за счет применения роторного регенератора в подготовительной установке наружного воздуха двухканальной системы. Дополнительный плюс регенератора – в снижении нагрузки на увлажнитель в зимнем режиме за счет переноса влаги из удаляемого воздуха в приточный.

2. Энергопотребление вентиляторов в рассматриваемых системах оказалось равным. Аэродинамическое сопротивление одной ветки двухканальной системы ниже, чем у стандартной



Двухканальная система

Стандартная система

■ охлаждение наружного воздуха\*  
■ догрев на VAV-клапанах  
■ энергопотребление вентиляторов  
■ теплоступления от вентиляторов\*  
■ охлаждение операционных\*

\* Указанные нагрузки условно разделены по назначению и в сумме дают полное энергопотребление секций охлаждения.

Таблица 1

Энергопотребление	Двухканальная система	Стандартная система
Охлаждение, МВт	106,60	263,17
Электропотребление вентиляторов, МВт	129,80	143,31
Догрев на VAV-клапанах, МВт	0	123,08
Увлажнение, МВт	9,08	16,70
Итого, МВт:	245,48	546,26

Рис. 3. Сравнение годового энергопотребления систем

**Таблица 2** Изменение капитальных затрат при применении двухканальной системы, долл. США

«Теплая» сторона системы, установка и автоматика	120 000,00
Установка подготовки наружного воздуха	15 000,00
Снижение нагрузки на чиллер на 70 кВт	-40 000,00
Теплообменник «пар – вода»	-32 000,00
Система трубопровода для секций догрева в VAV	-29 300,00
Дополнительные воздуховоды	20 000,00
Итого разница в стоимости:	53 700,00

системы. Теплопоступления от вентиляторных секций тоже были на одинаковом уровне.

Данные моделирования годового энергопотребления на основе экстраполяции недельных результатов (рис. 3) сведены в табл. 1. При расчете принималась стоимость энергоресурсов 0,09 долл. США за 1 кВт электричества и 0,3 долл. США за 1 м<sup>3</sup> природного газа.

Расчетные годовые эксплуатационные затраты составили 21 000 долл. США для двухканальной системы и 34 500 долл. США для стандартной системы.

### Стоимость оборудования и срок окупаемости

При сравнении стоимости оборудования исходили из следующих вводных:

- «холодная» сторона двухканальной системы реализована отдельной установкой, стоимость «холодной»

установки двухканальной системы принимали равной стоимости стандартной установки. Фактически «холодная» установка стоит дешевле за счет уменьшенного типоразмера и отказа от секции нагревателя, но в данном сравнении эта разница не учитывалась;

- «теплая» сторона двухканальной системы реализована отдельной установкой;

- для предварительной обработки наружного воздуха применена отдельная установка с роторным регенератором и секцией охлаждения с расходом 6 849 м<sup>3</sup>/ч;

- холодоснабжение приточных установок реализовано с помощью чиллеров, имеющих резервный аварийный источник питания;

- для теплоснабжения нагревателей VAV-клапанов используется теплообменник «пар – вода» и отдельный насос.

Смешивающие VAV-клапаны двухканальной системы некоторых помещений имеют встроенный водяной

нагреватель для экстренных ситуаций. В целях доступности для обслуживания VAV-клапаны устанавливаются максимально близко к центральному кондиционеру. Трассировка от смешивающих клапанов идентична трассировке от VAV-клапанов с догревом. Используются одинаковые воздухо-распределители и вытяжные решетки.

Сравнение стоимости систем в разрезе изменения капитальных затрат при переходе со стандартной системы на двухканальную приводится в табл. 2.

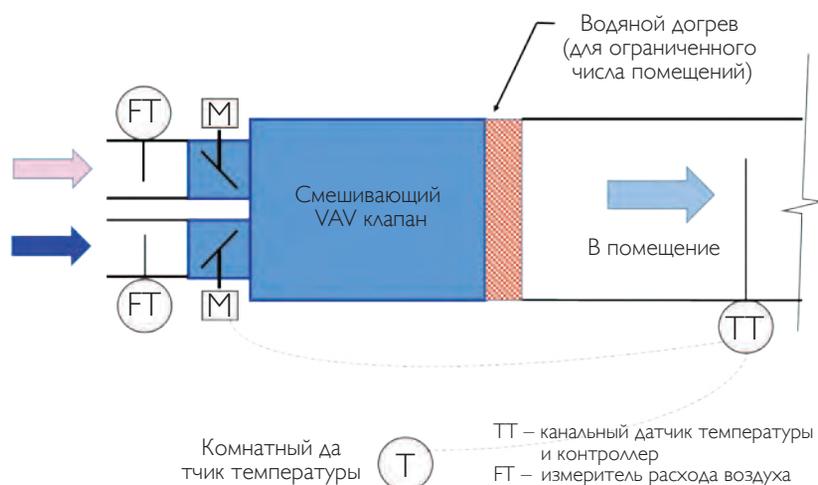
Срок окупаемости двухканальной установки составляет 4 года. При высоком уровне автоматизации двухканальной установки, работе в переменном режиме (предельное снижение расхода в нерабочие часы) и использовании экономайзера этот срок может значительно снизиться. В новых проектах, не требующих адаптации под существующие ограничения в конструкции здания, капитальная стоимость двухканальной системы и срок окупаемости могут оказаться ниже.

### Управление смешивающим VAV-клапаном

Схема управления смешивающего VAV-клапана показана на рис. 4.

Для поддержания высокой точности измерений расхода воздуха на входящих патрубках «холодной» и «теплой» сторон VAV-клапана следует использовать тепловые датчики расхода, а не стандартные для коммерческих зданий. Это позволит получить измерения с погрешностью около 3 %. Для VAV-клапанов вспомогательных помещений могут использоваться стандартные измерительные устройства.

Поскольку приточный воздух разделяется непосредственно в зону проведения операции, помимо комнатного датчика температуры используется каналный датчик температуры в воздухо-распределительном устройстве, а уставка по температуре помещения корректируется исходя из его показаний. Расход воздуха, подмешиваемый от «холодной» стороны, определяется по уставке температуры в помещении с учетом показаний каналного датчика, от «теплой» стороны подмешивается



**Рис. 4.** Смешивающий VAV клапан

## РЕКОМЕНДАЦИИ Р НП «АВОК» 7.8–2019

### «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ»

и приложение «Практические рекомендации. Инновационные технологии и оборудование инженерных систем лечебно-профилактических учреждений»



Рекомендации разработаны творческим коллективом специалистов НП «АВОК» при участии компаний – членов НП «АВОК» категории «Премиум»: ООО «Климатек Инжиниринг», «Цендер Груп Дойчланд ГмбХ», ООО «Аэролайф»; КТ «Овентроп ГмбХ & Ко.КГ», АО «Упонор Рус». Руководитель творческого коллектива – **А.П. Борисоглебская**, председатель комитета НП «АВОК» по лечебным учреждениям, канд. техн. наук.

В рекомендациях рассмотрены особенности проектирования инженерных систем в зданиях лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ). Медико-технологическая организация лечебных процессов совместно с компактностью планировочных решений влечет за собой близкое взаиморасположение в объеме одного здания помещений различных классов чистоты и нормируемых уровней бактериальной обсемененности воздуха, что и определяет задачи проектирования рассматриваемых в рекомендациях систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения.

Рекомендации дополнены приложением «Практические рекомендации. Инновационные технологии и оборудование инженерных систем лечебно-профилактических учреждений», содержащим материал от компаний, имеющих подтвержденный положительный опыт применения технических решений.

Реклама



+7 (495) 621-8048, доб. 218

s.mironova@abok.ru

abokbook.ru

количество воздуха, необходимое для поддержания требуемой кратности воздухообмена.

Смешивающие VAV-клапаны двухканальной системы некоторых помещений имеют встроенный водяной нагреватель для экстренных ситуаций (например, кардиохирургическая операционная).

## Расход наружного воздуха

Для того чтобы обеспечить требуемый расход наружного воздуха в помещениях, проектом предусмотрено, что процент содержания наружного воздуха в общем расходе на выходе из «холодной» и «теплой» сторон равен. Поскольку в «теплой» стороне отсутствует охладитель, а неосушенный наружный воздух нельзя подавать напрямую в помещения, проектом предусмотрена отдельная установка для подготовки наружного воздуха с опцией осушения на роторном регенераторе и секции охлаждения.

## Нагрев воздуха в «теплой» установке

Поскольку система использует рециркуляцию удаляемого воздуха, нагреватель в приточной установке «теплой» стороны практически не используется в обычном режиме эксплуатации. Температура воздуха после установки должна находиться в интервале 22–27 °С.

Но при работе системы в режиме приточной противодымной вентиляции рециркуляция не используется, и весь удаляемый из помещений воздух выбрасывается на улицу.

Размер нагревателя определяется нагрузкой при работе в режиме подготовки воздуха для приточной противодымной вентиляции. При подборе регуливающей арматуры необходимо учесть значительные различия в расходе теплоносителя на теплообменник при разных режимах работы.

## Модернизация стандартной системы

Даже если существующая стандартная система не выработала свой ресурс и не требует замены, стоит задумать-

ся о замене ее на двухканальную. При модернизации стандартной системы в двухканальную необходимо понимать, что расходы и экономия не ограничиваются исключительно созданием второго, «теплого» канала и напрямую связанными с этим изменениями при эксплуатации здания. Для оценки капитальных затрат и срока окупаемости необходимо тщательно оценить все необходимые изменения и выполнить технико-экономический анализ предлагаемых решений.

Если установленная на объекте в США система была спроектирована под старые требования, учитывающие запрет рециркуляции, ее нужно менять как можно скорее.

Самый простой способ – это использовать существующий центральный кондиционер в качестве «холодного», добавить второй, «теплый» канал и заменить VAV-клапаны с догревом на смешивающие. Но такой подход не всегда может быть реализован из-за ограниченного пространства вентиляционных камер и технических помещений. Прокладка второй ветки воздуховодов также требует доступного запотолочного пространства.

В некоторых случаях полная модернизация системы вентиляции и кондиционирования или даже полная модернизация здания и инженерных систем может оказаться экономически оправданной и выгодной.

Снижение нагрузки на системы теплоснабжения и холодоснабжения при использовании двухканальной системы позволит иметь резерв или использовать избыточную мощность чиллера и котельной при расширении здания.

Помимо создания «теплого» канала рекомендуется внедрять следующие решения:

- установить датчики присутствия в операционных комнатах, чтобы автоматически снижать кратность воздухообмена в периоды, когда помещение не используется;

- по возможности следует снижать расход приточного воздуха в неиспользуемых операционных до минимума, необходимого для поддержания избыточного давления в помещении. При этом вытяжка из таких помещений полностью перекрывается и компенсируется за счет увеличения вытяжки из примыкающих помещений;

- в неиспользуемых помещениях теплоснабжение аварийных водяных секций догрева в VAV-клапанах следует полностью перекрывать, чтобы избежать излишних затрат на охлаждение. В периоды, когда помещение не используется, температура в нем может быть снижена, а включение системы за 30 минут до начала операции позволит вывести температуру в помещении на требуемый уровень;

- пропорция подмеса наружного воздуха центральным кондиционером неиспользуемого здания должна быть максимально снижена;

- в неиспользуемом здании уставка «холодного» центрального кондиционера может быть увеличена с 12,8 до 18 °С.

Данные изменения позволяют снижать энергопотребление в периоды, когда часть помещений или все здание не используются. Статистика показывает, что операционные помещения не используются две трети времени в год, что дает колоссальный потенциал для энергосбережения.

Подводя итоги, можно констатировать, что двухканальная система с переменным расходом на базе смешивающих VAV-клапанов потребляет значительно меньше энергии, чем стандартная система с VAV-клапанами с догревом.

Разница в величине капитальных затрат сравниваемых систем достаточно быстро окупается в выбранном для сравнения примере медицинского здания. ■

*Статья публикуется с разрешения редакции ASHRAE Journal.*

*Перевод выполнен Владимиром Устиновым.*

*Оригинал статьи «Energy-Efficient Approach For Operating Rooms» опубликован в ASHRAE Journal, апрель 2015 г.*

*ASHRAE не несет ответственность за точность перевода.*

*Для того чтобы приобрести издание на английском языке, обратитесь в ASHRAE: 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329–2305 USA, www.ashrae.org.*