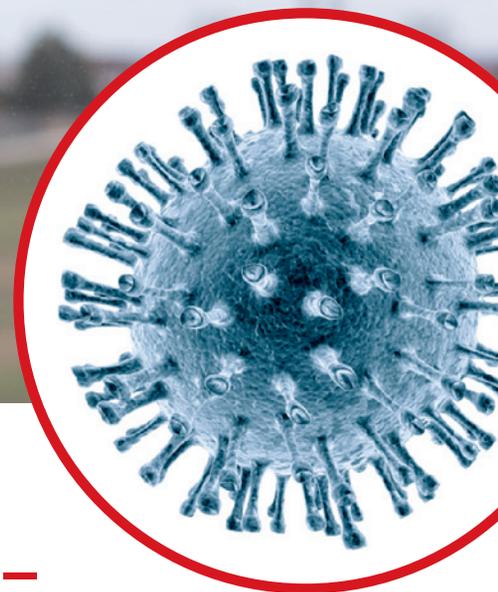


КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

инфекционный блок (ИБ),
схемы системы вентиляции,
цифровое моделирование,
движение воздушных потоков,
инфицированный пациент,
медработник,
концентрация загрязняющего
вещества

ru.depositphotos.com



ЭФФЕКТИВНАЯ ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА – ИНСТРУМЕНТ БОРЬБЫ С ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ

Jinkyun Cho, Ph.D, исследователь в KCL, Южная Корея, член ASHRAE;
Kyunghun Woo, исследователь в Samsung C&T Corporation, Южная Корея;
Byungseon S. Kim, Ph.D, профессор Yonsei University, Южная Корея, член ASHRAE

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила пандемию коронавирусной инфекции COVID-19. В связи со сложившейся ситуацией возрастает актуальность средств, устраняющих загрязнение воздуха при заболеваниях, передающихся воздушно-капельным путем. Исследование, которое описывается в данной статье, оценивает и сравнивает различные схемы систем кондиционирования воздуха при инфекционных заболеваниях, спровоцированных выдыхаемым пациентами воздухом. Данная статья изучает воздушные потоки и распределение загрязненного воздуха в инфекционных блоках (ИБ), обращаясь к возможностям прогнозного моделирования и фактическим измерениям, выполненным в реальных условиях.

В больницах риск распространения загрязненного воздуха в основном зависит от направления воздушных потоков и его смены, возникающей в связи с расположением приточных и вытяжных воздухораспределителей. Улучшенная стратегия вентиляции в ИБ является самой продуктивной в устранении загрязнения, она базируется на наблюдениях и результатах моделирования от трех типов систем воздухоподготовки.

Вспышки коронавирусов (заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем (см. *)) в больницах повышают риск инфицирования пациентами

ВОЗДУШНО-КАПЕЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА

медработников и других пациентов. В основном из-за плохой вентиляции и слабой дезинфекции в больнице, КБРС-вирусы (см. *) начали быстро распространяться среди пациентов, посетителей и даже медработников. План ИБ с отрицательным давлением включает в себя комплексный процесс решений.

Критичными параметрами дизайн-проекта являются технические параметры вентиляционной системы, местоположение, планировка, внутренняя отделка и оснащение ИБ. С учетом локации приточного и вытяжного воздуха риск распространения вируса в больнице зависит от смены движения и направления воздушных потоков.

Создание отрицательного давления в инфекционном блоке

Как показано в табл. 1, технические требования к ИБ при отрицательном давлении варьируются от страны к стране. ИБ должны быть спроектированы таким образом, чтобы доставлять чистый воздух из чистой зоны в загрязненную. Согласно стандарту ASHRAE¹, разница давлений требует сохранять отрицательное давление как минимум 2,5 Па. Актуальный уровень отрицательного давления будет

*) **Воздушно-капельная передача** – один из наиболее частых видов распространения инфекционных заболеваний, таких как оспа и туберкулез. Более 8 000 зарегистрированных случаев атипичной пневмонии повлекли за собой 774 случая летального исхода и подтолкнули к волне исследований и стандартизации медицинского оборудования в сфере заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем. В мае 2015 года во время вспышки коронавируса ближневосточного респираторного синдрома (КБРС) в Южной Корее 36 пациентов погибли и 186 человек были инфицированы.

зависеть от нескольких факторов: разницы объемов приточного (SA) и вытяжного (EA) воздуха; направления воздушных потоков; месторасположения точек, откуда происходит подача приточного воздуха и конструктивное наполнение палаты экстренной медицинской помощи. Для сохранения отрицательного давления в комнате объем вытяжного воздуха должен быть на 10 % больше объема приточного. В помещении с высокой воздухопроницаемостью система кондиционирования воздуха может оказаться неспособной обеспечить необходимый перепад в потоках приточного и вытяжного воздуха. Чтобы снизить концентрацию загрязнения, в существующих учреждениях здравоохранения требуется обеспечить

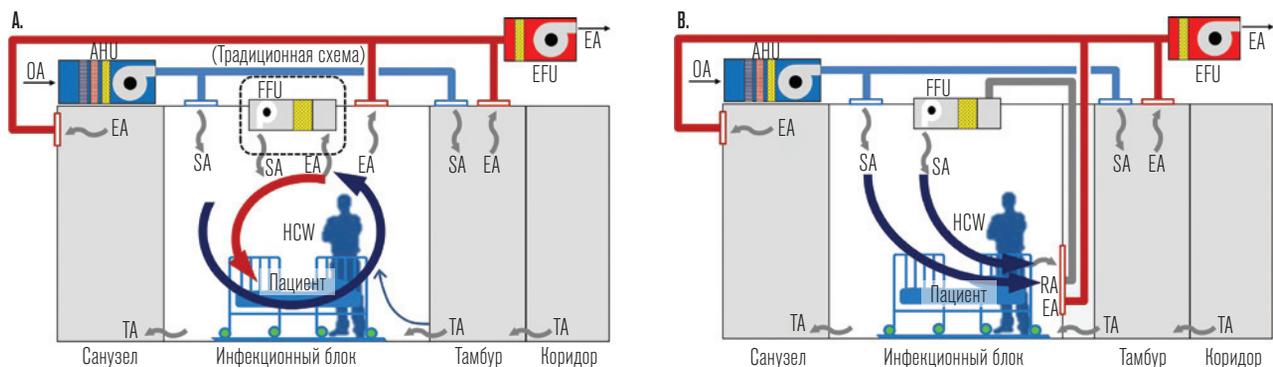
в инфекционных блоках кратность воздухообмена по крайней мере 6 ч⁻¹.

Проблемой может быть то, что вентиляционная система в инфекционных блоках может допускать смешивание воздушных потоков и неприемлемый характер обтекания воздушным потоком поверхностей внутри ИБ. В идеале подготовленный чистый приточный воздух нужно подавать в зону рядом с медработником и удалять воздух из зоны нахождения пациентов. В традиционной схеме воздухообмена в ИБ используется система верхней (потолочной) подачи приточного и удаления вытяжного воздуха и/или установка рециркуляции воздуха с HEPA-фильтром, таким как фильтровентиляционный модуль (fan filter unit, FFU).

Таблица 1 Стандарты дизайна для ИБ для предотвращения загрязнения воздуха

Страна	Наименование организации	Кратность воздухообмена, ч ⁻¹		Перепад давления, Pa	Рециркуляция	Наличие тамбура
США	Центр по контролю и профилактике заболеваний	Существующий – более 6	Новый / после модернизации – более 12	Более 2,5	Да (w/HEPA Filter)	Рекомендовано
Канада	Канадское агентство по здравоохранению	Существующий – более 6	Новый / после модернизации – более 9	–	Да (w/HEPA Filter)	Рекомендовано
Великобритания	Департамент здравоохранения	Более 10		Более 5,0	Нет	Рекомендовано
Норвегия	Департамент здравоохранения	Более 12		Более 5,0	Нет	Обязательно
Австралия	Министерство здравоохранения и людских ресурсов	Обязательный – более 12	Рекомендуемый – более 15	Более 15,0	Нет	Обязательно
Гонконг	Отдел здравоохранения Комитета по контролю за инфекциями	Существующий – более 6	Новый / после модернизации – более 12	Более 2,5	Да (w/HEPA Filter)	–
Южная Корея	Центры по контролю и профилактике заболеваний	Обязательный – более 6	Рекомендуемый – более 12	Более 2,5	Да (w/HEPA Filter)	Обязательно

¹ ASHRAE/ASH Standard 170–2017 «Вентиляция объектов здравоохранения».



HCW – медработник, OA – наружный воздух, SA – приточный воздух, EA – вытяжной воздух, TA – внутренний переток воздуха, FFU – фильтровентиляционный модуль, AHU – центральный кондиционер/приточная установка, EFU – вытяжная вентиляционная установка

Рис. 1. Варианты вентиляционных систем в инфекционном блоке: а) типичная; б) усовершенствованная

При решении, показанном на рис. 1а, в некоторых местах комнаты концентрация загрязнения от источника инфицирования может из-за смешивания воздушных потоков в ИБ снижаться недостаточно, то есть приточный воздух движется по направлению к пер-

соналу, однако воздух вблизи пациента не удаляется. В результате возникает высокий риск инфицирования пациентом медработника.

Усовершенствованная схема системы вентиляции (рис. 1б) имеет более удачное расположение: вытяжные

решетки установлены на стене у изголовья кровати на уровне пола, а на потолке со стороны изножья кровати предусмотрены приточные диффузоры. Вытяжные решетки должны быть расположены на высоте 150 мм от поверхности пола. Данная организация системы вентиляции была принята в нескольких больницах, однако пространство перед вытяжной решеткой при подобном расположении зачастую заставлено различными предметами, например медицинской мебелью. Поскольку места подачи приточного и удаления вытяжного воздуха очень важны, две настенные вытяжные решетки вместе с фильтровентиляционным модулем (FFU) должны быть установлены так, чтобы эффективно устранять загрязненный воздух (рис. 2). Конечная цель исследования – найти оптимальный вариант системы вентиляции, основным параметром которой является концентрация загрязняющих веществ, что позволяет придерживаться передовых методов проектирования.

Цифровое моделирование для системы вентиляции в инфекционном блоке

Схемы вычислительной гидродинамики (CFD) в цифровом моделировании

Исследование динамики воздушного потока и загрязнения воздуха в условиях, когда пациент кашляет, проведено на трех CFD-моделях. Местонахождение медработника, пациента, расположение дверей санузла и



Рис. 2. Эффективный вариант установки вытяжных решеток для системы вентиляции в инфекционном блоке

#терминология

#Вычислительная гидродинамика (также CFD, от англ. computational fluid dynamics) – подраздел механики сплошных сред, включающий совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов

прихожей (тамбура), а также потоки приточного и вытяжного воздуха для ситуаций, проанализированных в данном исследовании, показаны на рис. 3.

Площадь комнаты составляет 16 м², высота потолка – 2,6 м² (с учетом подвесного потолка). Тепловая нагрузка с учетом присутствия четырех человек (1 пациент и 3 медработника) предположительно составила 248 Вт (15,5 Вт/м²). Теплопоступления от освещения достигают 11,9 Вт/м². В комнате на восточной стене расположено окно, теплопоступления через которое составляют 30 Вт/м². Остальные наружные стены являются изолированными (отсутствие теплопритоков). Таким образом, общая тепловая нагрузка в ИБ равна 56,8 Вт/м².

Общий объем и температура приточного воздуха составляют соответственно 500 м³/ч и 16,4 °С. Через дверь тамбура дополнительно поступает 100 м³/ч приточного воздуха. В подвесном потолке размещены прямоугольные диффузоры, каждый из которых имеет расход 250 м³/ч. Количество вытяжного воздуха составляет не менее 400 м³/ч; кроме того, через

ванную комнату (санузел) дополнительно удаляется 200 м³/ч. Таким образом, общий расход вытяжного воздуха равен 600 м³/ч.

Исследование инфекционного блока предполагало контроль по отрицательному давлению при полностью закрытых дверях. Вначале применялись традиционные решения для зоны воздушных потоков. Потом в течение длительного времени индикаторный газ подавался в ИБ, а точнее прямо в ротовую полость выполняющего роль пациента манекена (далее – пациент). Источник заражения (рот пациента) находился на высоте 0,9 м над уровнем пола. Возможные траектории движения загрязненного пациентом воздуха анализировались путем отслеживания движения потока воздуха (табл. 2). Основное внимание уделялось высвобождению патогенных микроорганизмов с низким импульсом (иными словами, сильный кашель не рассматривался), и предполагалось, что большая часть болезнетворных организмов, находящихся на уровне лица пациента, станет распространяться с потоком воздуха и не будет оседать на различных поверхностях.

Рассмотрены три варианта местоположения вытяжных решеток (табл. 3) при условии, что во всех трех случаях потолочные приточные диффузоры расположены с левой стороны от головы пациента:

- Вариант 1: вытяжные решетки находятся на потолке около двери санузла (рис. 3а).
- Вариант 2: вытяжные решетки установлены под кроватью пациента на высоте 0,2 м над уровнем пола (рис. 3б).

Таблица 2 Предельные условия при стандартной скорости воздухообмена

Подача чистого воздуха в инфекционный блок	Скорость подачи по умолчанию $V_s = 0,772$ м/с (500 м ³ /ч), $T = 16,4$ °С
Поступление воздуха из тамбура	$V_s = 0,411$ м/с (100 м ³ /ч), $T = 26,0$ °С
Поступление воздуха в санузел	$V_s = 0,902$ м/с (200 м ³ /ч), $T = 26,0$ °С
Наклонный манекен (пациент)	Однородный тепловой поток 62 Вт, отсутствие границы проскальзывания, стандартная функция стены
Поступление загрязнения в инфекционный блок из рта пациента (манекен)	Скорость выдоха 0,995 м/с, $T = 30$ °С, массовая доля газа (SF ₆) равна 0,04 (т. е. скорость выпуска газа [SF ₆] равна 0,54 м ³ /ч)
Стены и койки	2 и 1 Вт/м ² на потолке/полу, отсутствие границы проскальзывания, стандартная функция стены



Реклама

ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЬНИЦ

ОПЕРАЦИОННЫЕ ПОТОЛКИ ЧИСТОГО ВОЗДУХА



ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ АГРЕГАТЫ
ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КОНДИЦИОНЕРЫ
РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ МОДУЛИ В ГИГИЕНИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ



ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛИ С НЕРА-ФИЛЬТРАМИ
МОБИЛЬНЫЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
ВЫТЯЖНЫЕ СЕПАРАТОРЫ ПУХА



КОМПАКТНЫЕ ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ
ШКАФНОГО ТИПА



Оборудование
ClimaTech Engineering
сертифицировано
в Европе,
на территории РФ,
странах Таможенного
союза и СНГ.

ООО «Климатек Инжиниринг»
105005, Россия, г. Москва,
+7 (495) 640-58-48,
info@climatch-engineering.ru
www.climatch-engineering.ru



clima
tech
Engineering

Сделано
в России

Таблица 3 Предельные условия вытяжного воздуха для вентиляционных решений

	Вытяжной воздух (скорость извлечения по умолчанию V_e)			
	Все поверхности	Потолок	Настенное крепление (под койкой)	Настенное крепление (за койкой)
Вариант 1 (базовый)		400 м ³ /ч $V = 0,617$ м/с (0,3 × 0,3 м) 2 ЕА	–	–
Вариант 2	400 м ³ /ч	40 м ³ /ч $V = 0,123$ м/с (0,3 × 0,3 м) 1 ЕА	360 м ³ /ч $V = 0,455$ м/с (1,1 × 0,2 м) 1 ЕА	–
Вариант 3		40 м ³ /ч $V = 0,123$ м/с (0,3 × 0,3 м) 1 ЕА	–	360 м ³ /ч $V = 0,455$ м/с (0,20 × 0,55 м) 2 ЕА

Таблица 4 Предельный уровень заражения медработников

	Средняя концентрация гексафторида серы SF ₆ , ppm		
	Система вентиляции, вариант 1	Система вентиляции, вариант 2	Система вентиляции, вариант 3
Медработник 1*	72,7	34,4	24,4
Медработник 2*	40,0	27,6	21,2
Медработник 3*	33,1	25,1	21,3
Среднее значение	45,5	40,1	34,5
Среднее значение по помещению	48,4	37,4	34,8

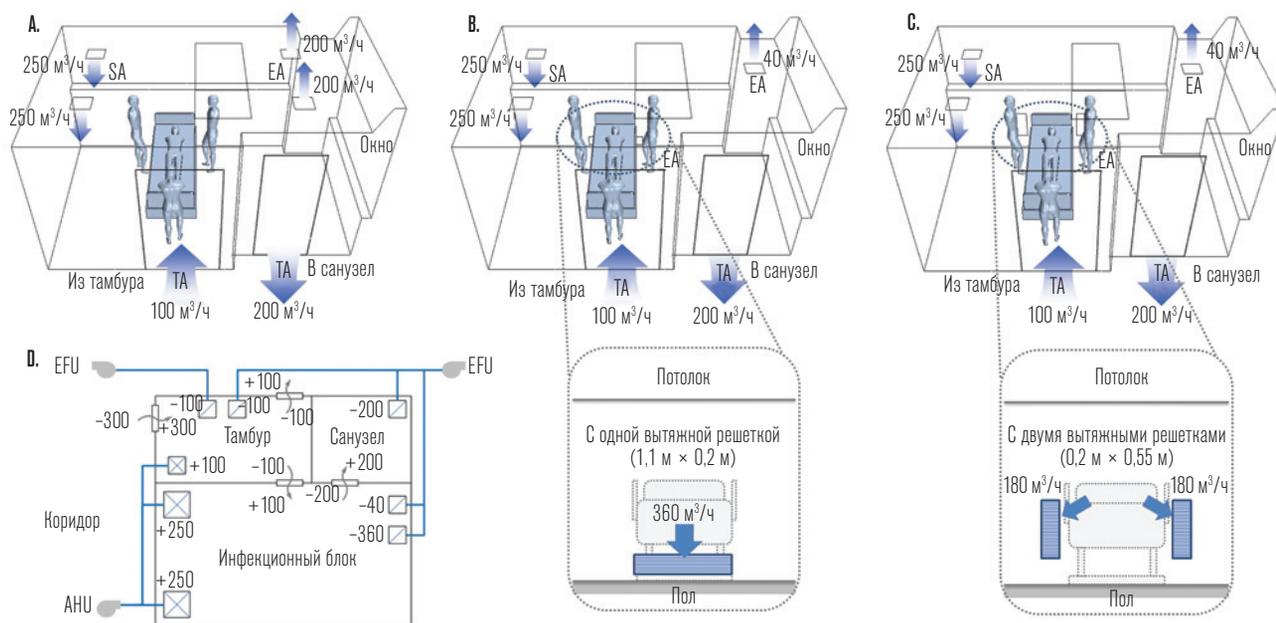
* На уровне 1,4 м от пола.

• Вариант 3: вытяжные решетки находятся на стене за головой пациента на высоте 0,2 м над уровнем пола (рис. 3с).

Результаты цифрового моделирования

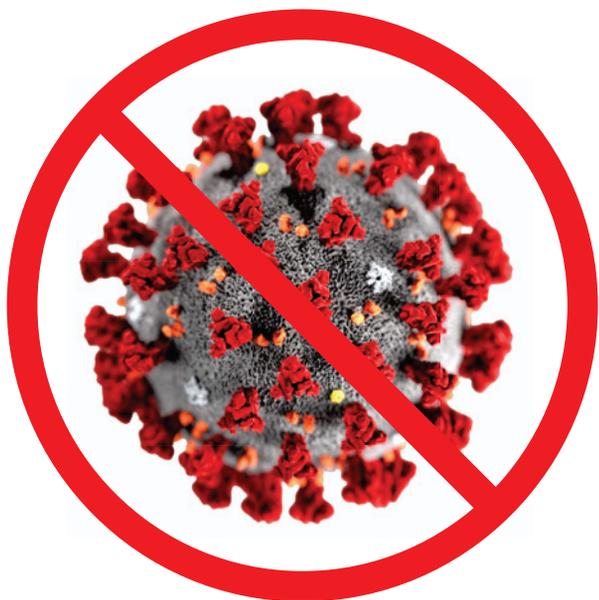
По каждому из трех вариантов было смоделировано распространение инфекции от пациента и распределение воздушного потока в ИБ (рис. 4) и показан уровень респирации медработников во время обслуживания пациента.

В некоторых зонах наблюдался застой воздуха с высокой концентрацией загрязнения. Наблюдался переток воздуха между приточными диффузорами и вытяжными решетками. Моделирование с применением методов CFD-моделирования показало, как предотвратить в инфекционном блоке распределение загрязнения воздуха, основываясь на анализе полученного спектра распределения потоков воздуха. Отметим, что абсолютное значение концентрации загрязнения в данном исследовании не имеет значения, важнее относительный профиль концентрации между различными системами вентиляции.



SA – приточный воздух, EA – вытяжной воздух, TA – внутренний переток воздуха, АНУ – центральный кондиционер/приточная установка, EFU – вытяжная вентиляционная установка

Рис. 3. Моделирование вычислительной газодинамики в различных вентиляционных системах: а) вариант 1; б) вариант 2; в) вариант 3, и схема воздухоподготовки в инфекционном блоке с окружающими объектами



Аэролайф

www.vozdyx.ru

99,99 %

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАЛЕНИЯ
ВИРУСОВ И БАКТЕРИЙ

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА



УЛАВЛИВАНИЕ



ИНАКТИВАЦИЯ



БЕЗОПАСНОСТЬ



УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ



ПОДКЛЮЧЕНИЕ

всех типов жидких, твёрдых аэрозолей
и биоаэрозолей по классу фильтрации E11-H14

всех типов микроорганизмов, в том числе биологических загрязнителей,
которые не поддаются инаktivации другими методами

сменные элементы
дезинфицируются в процессе работы и не требуют специальной утилизации

очистка воздуха от всех типов органических и неорганических загрязнителей:
неприятные запахи, формальдегид, озон, угарный газ,
хлорсодержащие соединения и т. д.

к общей системе диспетчеризации здания и контроль
всех параметров оборудования



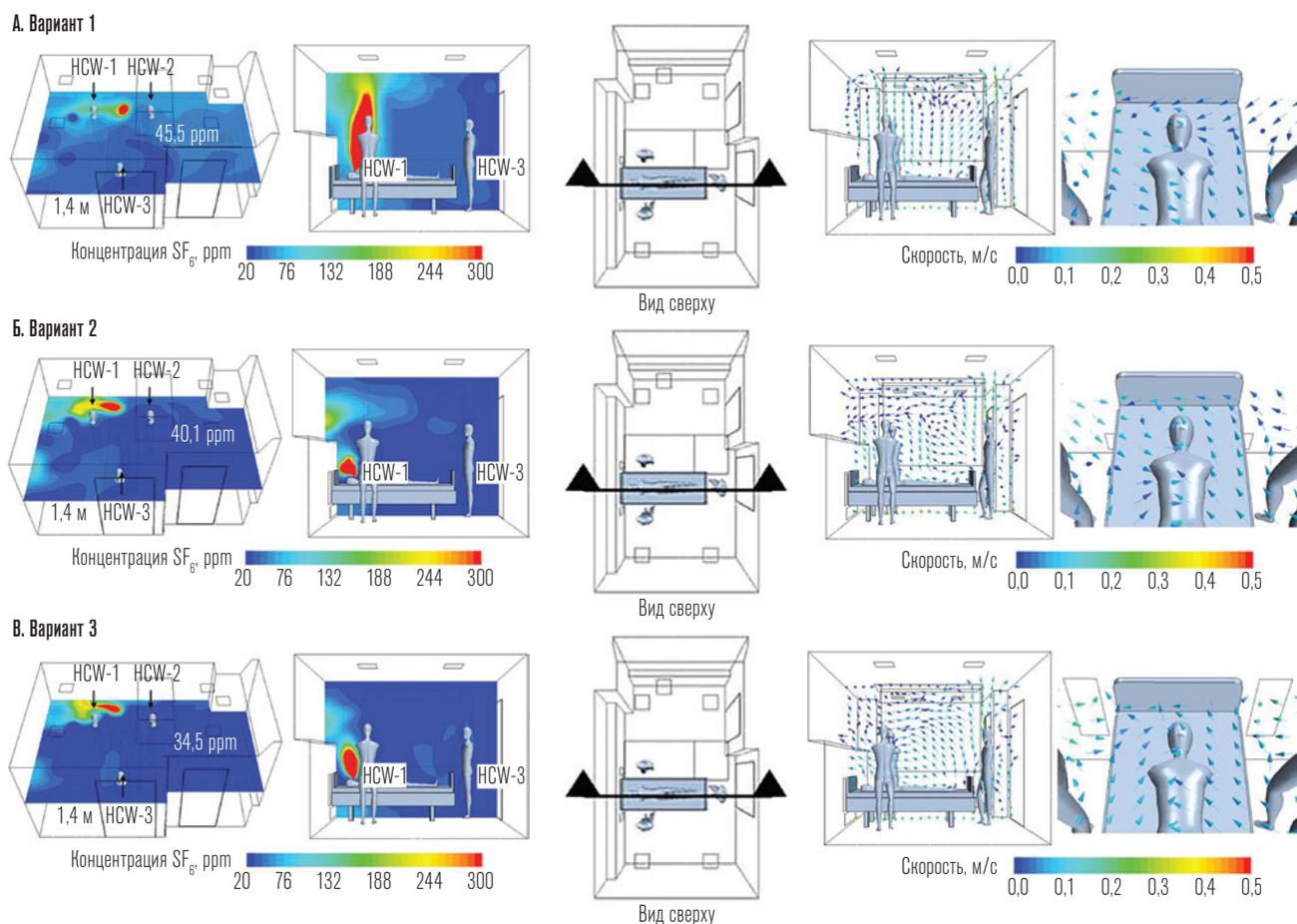


Рис. 4. Результаты моделирования изменения концентрации гексафторида серы с указанием местоположения медработников (HCW) и график вектора скорости при разных схемах вентиляции: а) вариант 1; б) вариант 2; в) вариант 3

Значения концентрации загрязнения, которому подвержены медработники, приведены в табл. 4. Система вентиляции в варианте 1 имеет самые высокие значения концентрации загрязнения – от 33,1 до 72,7 ppm. Самая низкая концентрация во всех трех вариантах наблюдается около медработника 3 (HCW-3), а самая высокая – около медработника 1 (HCW-1). Во время обслуживания пациента медработник,

скорее всего, будет находиться на расстоянии 1,4 м, где более высокий уровень воздействия загрязняющих веществ.

Это показывает, что вариант 1 – неэффективное решение для удаления загрязнения из ИБ. По сравнению с вариантом 1 схемы вентиляции в вариантах 2 и 3 обеспечивают более низкие значения концентрации загрязняющих веществ, соот-

ветственно в диапазонах 25,1–34,4 и 21,2–24,4 ppm.

При обслуживании медработниками пациента разница в уровне загрязнения оказалась существенной (табл. 5). На расстоянии 1,4 м от пациента средний уровень концентрации загрязнения в варианте 2 ниже на 11,9 %, чем в варианте 1. Наиболее эффективным решением по удалению загрязнения из ИБ является вариант 3, который

Таблица 5 Процентная разница концентрации загрязнения по трем вентиляционным решениям

	Процентная разница концентрации SF ₆ , %					
	Схема вентиляции, вариант 1 (C _{V1})		Схема вентиляции, вариант 2 (C _{V2})		Схема вентиляции, вариант 3 (C _{V3})	
	База	(C _{V1} - C _{V2}) / C _{V2}	(C _{V2} - C _{V1}) / C _{V1}	База	(C _{V3} - C _{V1}) / C _{V1}	(C _{V3} - C _{V2}) / C _{V2}
Медработник 1	0,0	34,4	-52,7	0,0	-66,4	-29,1
Медработник 2	0,0	44,9	-31,0	0,0	-47,0	-23,2
Медработник 3	0,0	31,9	-24,2	0,0	-35,6	-15,1
Среднее значение на уровне 1,4 м	0,0	13,5	-11,9	0,0	-24,2	-14,0
Среднее значение по помещению	0,0	29,4	-22,7	0,0	-28,1	-7,0



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

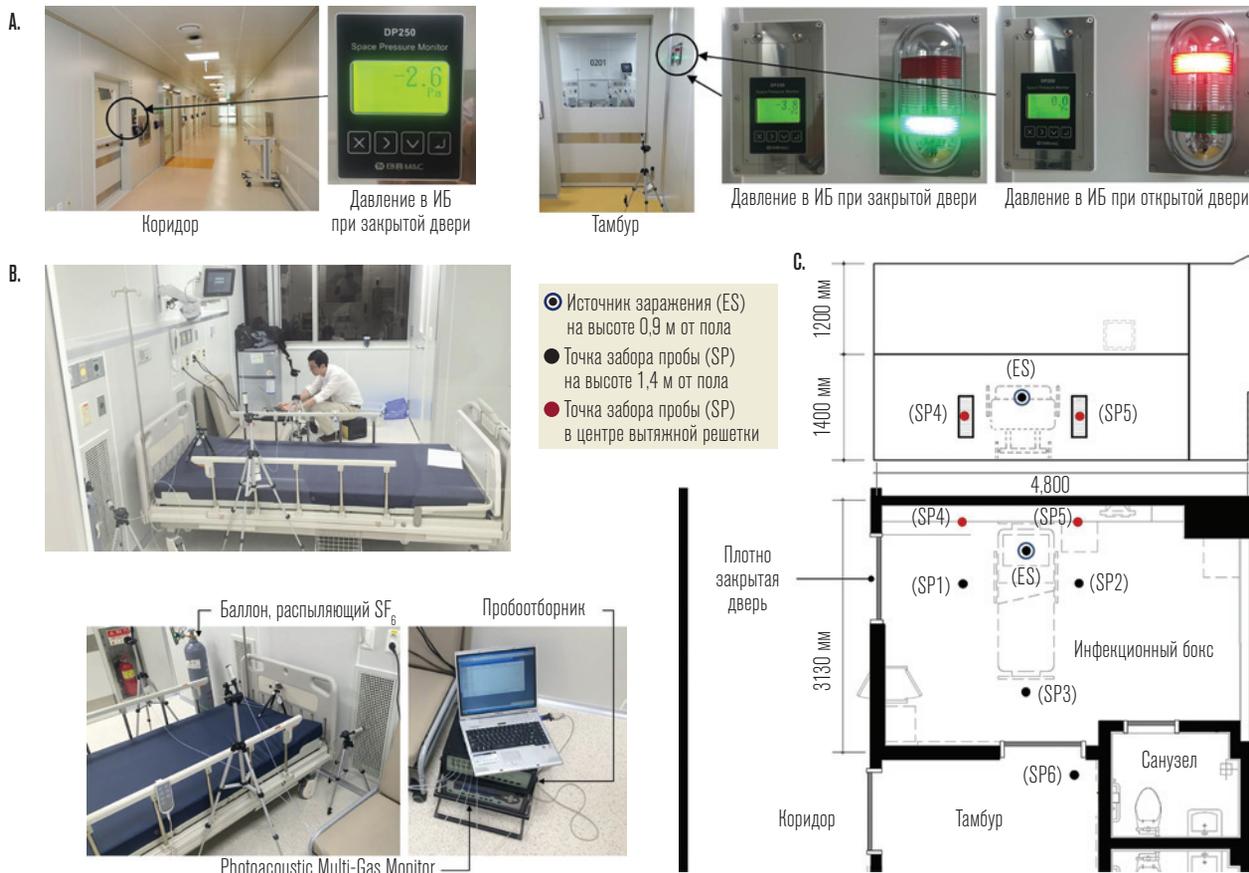
по сравнению с вариантами 1 и 2 эффективнее соответственно на 24,2 и 14,0 %. Средняя концентрация во всей комнате при варианте 2 ниже по сравнению с вариантом 1 на 22,7 %. Уровень концентрации в варианте 3 составляет 34,8 ppm, что ниже по сравнению с вариантами 1 (48,4 ppm) и 2 (37,4 ppm).

Система вентиляции, организованная по варианту 3, является лучшей для удаления загрязнений в воздухе из рассматриваемых и при любом раскладе улучшает эффективность

очистки воздуха, поскольку чистый воздух движется от медработника к пациенту. Использование схемы с одним проходом помогает снизить риск передачи инфекции от пациента медработнику.

Полученные результаты подтвердили, что местоположение вытяжных решеток непосредственно за головой пациента может обеспечить потенциально готовую траекторию для удаления загрязненного воздуха из инфекционного блока без эффекта

значительной рециркуляции и перетоков в поток приточного воздуха. Комбинация по местоположению и типам приточных диффузоров, а также уровню приточного и вытяжного воздуха в комнате может влиять на характер воздушного потока в ИБ, который в данном дизайн-проекте является довольно специфичным. Воздушный поток у кровати пациента скоростью ниже, чем 0,25 м/с, находится в рамках рекомендуемого порогового значения скорости движения воздуха.



SA – приточный воздух, EA – вытяжной воздух, TA – внутренний переток воздуха, АНУ – центральный кондиционер/приточная установка, ЕFУ – вытяжная вентиляционная установка

Рис. 5. а) разница давлений между комнатами; б) комната испытаний и предметы измерения; в) местоположение пробоотборников в ИБ

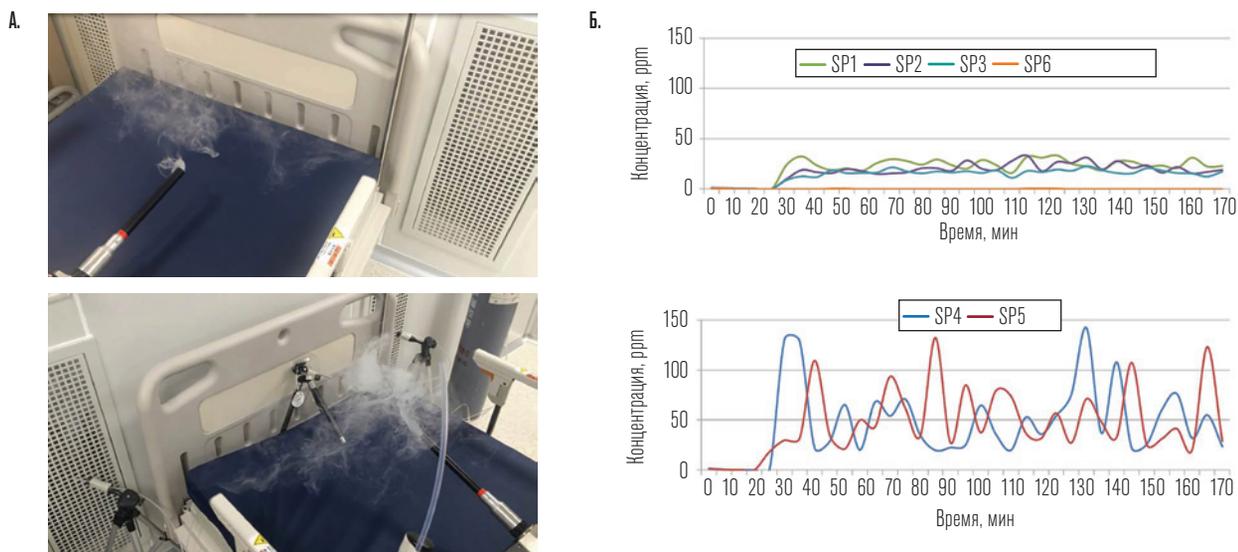


Рис. 6. Проведение исследований: а) визуализация движения потока воздуха в ИБ посредством портативного генератора тумана и б) концентрация гексафторида серы в точках забора проб (SP)

Комплексные измерения в эксплуатационных условиях

С учетом полученных результатов при исследовании и сравнении различных систем вентиляции, в медицинском центре S, расположенном в Сеуле (Южная Корея), было принято решение внедрить систему вентиляции по варианту 3 для создания отрицательного давления в инфекционном блоке (ИБ). Для проведения комплексных измерений в эксплуатационных условиях в рамках проекта в этой больнице в 2016 году установлено соответствующее оборудование.

Исследование было проведено в инфекционном блоке, расположенном на втором этаже в новой трехэтажной изолированной от основного здания медицинского центра пристройке (изоляторе) до ее официального открытия. Новый изолятор имеет шесть ИБ с отрицательным давлением и два блока интенсивной терапии (БИТ). На втором этаже расположено четыре ИБ с коридором. Изолятор имеет на каждом этаже отдельную систему вентиляции с постоянным расходом воздуха (CAV), которая обеспечивает 100-процентную подачу свежего воздуха. Необходимая фильтрация была достигнута благодаря использованию восьми фильтров с информативным показателем минимальной эффективности (ИПМЭ). В прихожей (тамбуре) сохранялось давление $-2,6$ Па по от-

ношению к коридору (рис. 5а), когда дверь между коридором и тамбуром была закрыта.

Таким же образом корректно функционирующий ИБ поддерживал давление $-3,8$ Па относительно тамбура при условии закрытой между ними двери. Каждые два ИБ имеют собственные санузлы, но общий тамбур. Воздух в ИБ удалялся через вытяжки санузлов. В ИБ также были установлены два приточных диффузора и одна вытяжная решетка на потолке и две вытяжные решетки на стене, расположенные за головой пациента на высоте $0,2$ м от пола.

В исследовании использовались уникальные свойства гексафторида серы (SF_6), делающие данный инертный газ наглядным индикатором при изучении воздушного потока, создаваемого вентиляционными системами. Это очень важно при определении области рассеивания выдыхаемого пациентом воздуха, являющегося источником загрязнения или патогена.

Общая кратность воздухообмена в инфекционном блоке составила 12 ч^{-1} . Места отбора проб и впрыскивания газа в ИБ показаны на рис. 5. Индикаторный газ при постоянном уровне подачи был распылен около кровати пациента на высоте $0,9$ м от пола. Уровень концентрации индикаторного газа постоянно фиксировался в шести различных точках. Три точки (SP-1, SP-2, SP-3) находились около кровати пациента на высоте $1,4$ м от пола и были предназначены для оценки уровня опасности заражения медработника при обслуживании пациента. Пробы воздуха забирались в двух точках (SP-4 и SP-5), расположенных рядом с двумя вытяжными решетками, и фиксировали уровень загрязнения при удалении воздуха из комнаты. Шестая точка отбора находилась в тамбуре (SP-6).

Результаты измерений

Для оценки эффективности удаления загрязнений и визуализации направления воздушного потока в ИБ

Таблица 6 Верификация прогнозных и фактических результатов измерений

Точки забора проб	Средняя концентрация SF_6 , ppm		Разница значений, % $(C_s - C_m) / C_m$
	Данные цифрового моделирования CFD (C_s)	Фактическое измерение (C_m)	
SP-1	23,0	21,5	7,0
SP-2	17,0	17,8	-4,7
SP-3	13,0	14,4	-9,7

использовалось дымовое тестирование, осуществленное посредством портативного генератора тумана. Результаты показали (рис. 6а), что воздух в помещении, не смешиваясь и не уходя внутрь ИБ, быстро выводится через две вытяжные решетки, установленные на стене в изголовье кровати с пациентом. Концентрация гексафторида серы, зафиксированная в шести контрольных точках, указана на рис. 6б.

Сразу после подачи индикаторного газа его концентрация в точках SP-1 и SP-5 быстро увеличилась. Через 20 мин концентрация SF₆ достигла равновесия в каждой точке забора проб и имела сходные показатели. Точка SP-6 показала только следы наличия SF₆. Это означает, что, когда дверь была закрыта, воздушного потока из ИБ в тамбур не возникало и в ИБ поддерживалось отрицательное давление. В точках SP-4 и SP-5 рядом с вытяжными решетками концентрация SF₆ была выше (соответственно 46,2 и 47,1 ppm), чем в других трех точках забора проб, и имела более широкий диапазон значений, которые с увеличением скорости потока возрастали по сравнению с концентрацией в других местах. Концентрация загрязнения в точках SP-4 и SP-5 оказалась более чем в 2,2–3,3 раза выше, чем в точках SP-1 (21,5 ppm), SP-2 (17,8 ppm) и SP-3 (14,4 ppm). Предполагаем, что настолько малые средние данные получены из-за движения воздушного потока, возникшего благодаря большому размеру вытяжных решеток. Максимальные показатели концентрации загрязнения в точках SP-4 и SP-5 составили соответственно 142 и 132 ppm, что в 4,2–5,8 раза выше, чем в точках SP-1, SP-2 и SP-3, поэтому было сделано заключение, что загрязнение было удалено с высоким уровнем эффективности.

Результаты моделирования

Для верификации данных моделирования с применением методов CFD-моделирования результаты, полученные для вентиляции инфекционного блока по варианту 3 (рис. 3с), сравнили с реальными данными измерений в точках забора проб в медицинском центре. В смоделированной схеме распространения загрязнения при условиях установившегося процесса, кроме определения условий границ потока, должны быть определены границы распространения и учитываться условия источника выброса в соседних помещениях. Помимо общей тепловой нагрузки и температуры приточного воздуха граничные условия для вентиляционной схемы варианта 3 и в медцентре сопоставимы. Сравнение проводили для условий частичной нагрузки, которые преобладают на практике, в отличие от пиковой нагрузки. Поскольку натурные измерения проводились ночью, то разницы между температурой внутреннего и наружного воздуха практически не было, и предполагалось, что окна и наружные стены комнаты не выделяют теплоты. Полная тепловая нагрузка составила примерно 11,95 Вт/м² (учитывалось только искусственное освещение). Воздух снаружи подавался при температуре 24,6 °С.

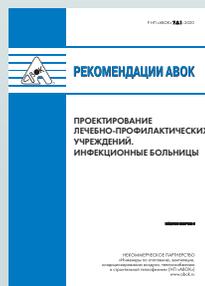
Схема распределения концентрации загрязнения в горизонтальной плоскости на высоте 1,4 м от пола, позволяющая оценить уровень опасности заражения медработника при обслуживании пациента, представлена на рис. 7а. Рассеивание загрязнения несимметрично, поскольку на него влияет воздушный поток. На уровне дыхания пациента (0,9 м от



РЕКОМЕНДАЦИИ НП «АВОК» 7.8.1-2020 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ.

ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЬНИЦЫ» и приложение «Практические рекомендации. Инновационные технологии и оборудование инженерных систем инфекционных больниц»

В рекомендациях будут сформулированы требования к эффективному предотвращению распространения инфекции инженерными методами при обеспечении надежной изоляции больного, приведены технологические требования к помещениям инфекционных больниц, санитарно-гигиенические и противоэпидемические требования к планировочным решениям и организации воздухообмена и вентиляции, архитектурно-планировочные требования к проектированию, требования к организации теплоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, требования к организации воздухообмена в основных структурных подразделениях, требования к оборудованию.



В приложение «Практические рекомендации. Инновационные технологии и оборудование инженерных систем инфекционных больниц» приглашаются компании, имеющие подтвержденный положительный опыт применения технических решений.

**Планируемый выход издания –
III–IV кв. 2020 г.**

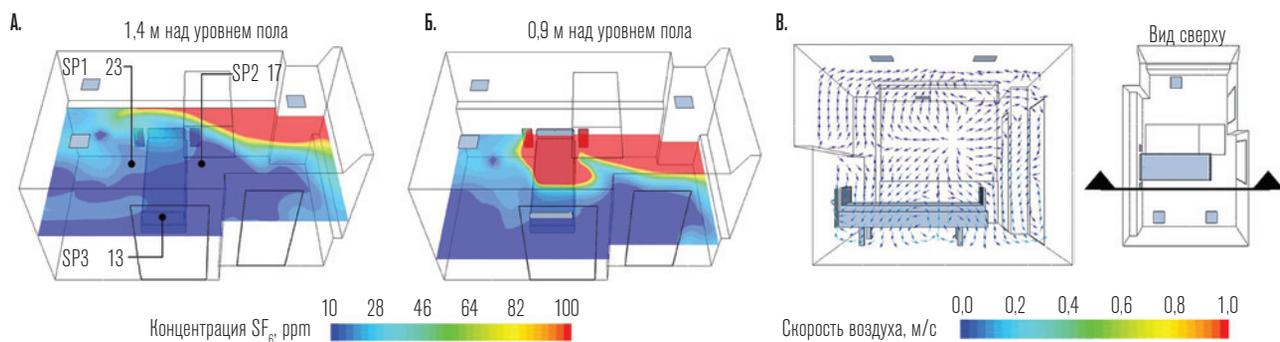


Рис. 7. Результаты моделирования с применением методов вычислительной газодинамики: а), б) концентрация гексафторида серы и график вектора скорости воздуха

пола) уровень концентрации загрязнения наивысший (рис. 7б). При удалении медработников от пациента концентрация гексафторида серы снижается. Рис. 7с иллюстрирует прогноз по распределению воздушного потока в вертикальной плоскости ИБ. Воздух движется по направлению к пациенту и выводится из помещения посредством двух настенных и одной потолочной вытяжных решеток. На пациента, лежащего в кровати, воздействует воздушный поток скоростью около 0,10 м/с, которая не превышает рекомендуемое значение 0,25 м/с.

Измеренная концентрация в точках SP-1, SP-2 и SP-3 хорошо коррелирует с прогнозируемой концентрацией (табл. 6), это уровень дыхания медработника. Разница между результатами моделирования и измеренными показаниями варьируется от -9,7 до 7,0 %, поэтому можно сделать вывод, что используемая цифровая модель довольно точно дает оценку уровня загрязнения в инфекционном блоке. Если результаты моделирования попадают в интервал значений, полученных при фактических измерениях, то метод моделирования, как правило, считается корректным, поэтому мы использовали этот же метод моделирования для проведения дополнительного анализа. Во время валидационной работы должно быть отмечено, что мультикомпонентный тип газа и интенсивность источника выбросов 1,09 л/мин. Перед проверкой результатов прогнозирования на соответствие результатам реальных измерений модель уже была изменена и представляла разные виды вентиляции.

Выводы

В исследовании проведена оценка исполнения систем вентиляции и кондиционирования воздуха в инфекционных блоках больниц в отношении распространения загрязнения воздушной среды от пациентов. Исследование проводилось в целях улучшения проектирования систем вентиляции, с использованием цифрового моделирования и экспериментальной работы.

Результаты показали, что траектории потока воздуха могут быть скорректированы посредством соответствующего расположения вытяжных решеток, что обеспечит эффективный контроль загрязнения. Оказалось, что правильное определение мест подачи приточного и удаления вытяжного воздуха очень важно и непосредственно влияет на рассеивание загрязнения в помещении. Таким образом, тщательный анализ конфигурации системы кондиционирования воздуха может помочь в достижении оптимизации траектории потоков воздуха для получения желаемой комбинации температурного комфорта и улучшить гигиенические условия в ИБ. В результате исследования:

- для снижения уровня загрязнения предложено устанавливать вытяжные решетки и приточные диффузоры так,

чтобы приточный воздух поступал из чистой в загрязненную зону (от медработника к пациенту), затем удаляясь из ИБ;

- отмечена колоссальная разница в уровне загрязнения для медработника при обслуживании пациента. На высоте 1,4 м среднее значение концентрации загрязнения в варианте 2 (подача приточного воздуха с потолка и удаление вытяжного воздуха у стены под кроватью пациента на уровне 0,2 м над полом) было на 11,9 % ниже, чем в варианте 1 (расположение приточных и вытяжных диффузоров на потолке). Наиболее эффективным при устранении загрязнения в комнате стал вариант 3 (подача приточного воздуха с потолка и два вытяжных диффузора, расположенных за головой пациента), по сравнению с вариантами 1 и 2 соответственно на 24,2 и 14,0 %.

Литература¹

1. Lim, T., J. Cho, B. S. Kim. 2011. "Predictions and measurements of the stack effect on indoor airborne virus transmission in a high-rise hospital building." *Build Environ.* 46: 2413–2424.
2. WHO. 2007. *International travel and health*. Geneva, Switzerland, World Health Organization.
3. Ha, K. "A lesson learned from the MERS outbreak in South Korea in 2015." *J Hosp Infect.* 2016; 92: 232–234. ■

Статья публикуется с разрешения редакции *ASHRAE Journal*.
 Оригинал статьи «Removal of Airborne Contamination in Airborne Infectious Isolation Rooms» опубликован в *ASHRAE Journal*, февраль 2019 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.

¹ Полный список литературы приведен в интернет-версии статьи https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7510.

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