ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 14644-16— 2023

ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ СРЕДЫ

Часть 16

Энергоэффективность чистых помещений и устройств очистки воздуха

(ISO 14644-16:2019, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН ООО «ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 184 «Обеспечение промышленной чистоты»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 апреля 2023 г. № 224-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 14644-16:2019 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 16. Энергоэффективность чистых помещений и устройств очистки воздуха» (ISO 14644-16:2019 «Cleanrooms and associated controlled environments — Part 16: Energy efficiency in cleanrooms and clean air devices», IDT).

Международный стандарт подготовлен Техническим комитетом ИСО/ТК 209 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды».

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

Содержание

Введение

Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды широко используются во многих отраслях, таких как здравоохранение (включая фармацевтическую и промышленность и производство медицинских изделий) микроэлектронику, авиацию и космонавтику, пищевую и атомную промышленность и больницы. Размеры чистых помещений могут быть от десятков до тысяч квадратных метров. Большинство из них имеют уникальные конструкции и эксплуатационные характеристики, исходя из их назначения. Их развитие связано с быстрым прогрессом в течение нескольких десятилетий и потребовало роста расхода энергии. Данный стандарт отражает суммарный опыт и практические достижения при проектировании чистых помещений, их эксплуатации и техническом обслуживании с учетом задачи снижения потребления энергии в условиях резкого роста расхода энергии в мировом масштабе.

Пользователи могут также обращаться к ИСО 50001 по экономии энергии.

Несмотря на значительные различия в функциях и размерах, энергопотребление чистых помещений может быть более чем в 10 раз превышать потребление в офисах аналогичного размера. Значительное количество энергии требуется для подачи большого количества прошедшего фильтры и кондиционированного воздуха для достижения определенного уровня чистоты. На вентиляторы может приходиться от 35 % до 50 % потребления систем вентиляции и кондиционирования в чистых помещениях для преодоления высоких перепадов давления, необходимых для работы высокоэффективных фильтров и других компонентов циркуляции в системе чистых помещений. Производство этого типа высококачественного воздуха может потреблять до 80 % всей энергии, используемой на типичном производственном объекте.

Дополнительная энергия также используется для регулирования температуры и относительной влажности для процессов в чистом помещении, для комфорта персонала и достижения необходимого давления в воздухе чистого помещения. Таким образом, существует значительный потенциал для экономии энергии за счет тщательного проектирования новых чистых помещений, а также путем модернизации существующих помещений. В данном стандарте приводятся меры, которые могут быть приняты для внедрения этих методов, и он применяется ко всему спектру «технологий чистых помещений», от чистых помещений до устройств очистки воздуха, включая изоляторы, перчаточные боксы и миниокружения по ИСО 14644-7 [1]. Стандарт основан на реальном опыте, практике и испытаниях, подкрепленных теоретическими расчетами с целью четкого и научного описания методов энергосбережения.

Методы энергосбережения, приведенные в данном стандарте, являются общими и могут применяться к различным средам и ситуациям. Они не привязаны к конкретным технологиям и не включают связанные с ними производственные процессы, такие как водоподготовка, а также операции в печах, автоклавах и стрессовых циклических операциях. Их конкретное применение зависит от реальных условий эксплуатации чистых помещений по согласованию между заказчиком, поставщиком и монтажниками.

На каждом этапе жизненного цикла чистых помещений существуют возможности для оптимизации производительности системы и снижения энергопотребления. Меры по энергосбережению, реализованные на этапе проектирования, дают наиболее эффективные результаты для новых чистых помещений, но аналогичная экономия энергии может быть достигнута и для тех, которые в настоящее время эксплуатируются. Чистые помещения можно использовать по отдельности или в группе, в зависимости от практических условий на месте.

При проектировании, когда информация о готовом здании и процессе сведена к минимуму, консервативный подход может привести к слишком большим системам и очень жестким требованиям. На этом этапе важно учитывать требования и проектные решения для достижения экономии энергии.

При пуске системы и ее испытаниях существует возможность регулирования системы и ее приспособления к реальным условиям для оптимизации ее характеристики и сведения расхода энергии к минимуму.

В процессе эксплуатации чистых помещений следует анализировать данные текущего контроля для дальнейшей оптимизации работы по сокращению расхода энергии.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ СРЕДЫ

Часть 16

Энергоэффективность чистых помещений и устройств очистки воздуха

Cleanrooms and associated controlled environments. Part 16.
Energy efficiency in cleanrooms and clean air devices

Дата введения — 2024—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит руководство и рекомендации по оптимизации использования энергии и поддержанию энергоэффективности в новых и существующих чистых помещениях, чистых зонах и изолирующих устройствах. Он дает рекомендации по проектированию, строительству, вводу в эксплуатацию и эксплуатации чистых помещений.

Стандарт включает все особенности, характерные для чистых помещений, и может использоваться в различных областях для оптимизации использования энергии в электронной, аэрокосмической, ядерной, фармацевтической, медицинской, пищевой промышленности, в больницах и других областях применения чистых помещений.

Даны также рекомендации по критериям оценки и сравнения энергоэффективности чистых помещений с учетом выполнения требований ИСО 14644 ([2], [3]).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт [для датированной ссылки применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированной — последнее издание (включая все изменения)].

ISO 50001, Системы энергетического менеджмента (Energy management systems. Requirements with guidance for use)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 Общие термины

3.1.1 **кондиционер** (air-handling unit, AHU): Установка, включающая вентилятор, фильтры, секции нагрева, охлаждения и смешивания наружного и рециркуляционного воздуха, которая подает кондиционированный воздух в помещение.

3.1.2 **классификация** (classification): Метод оценки уровня загрязнений, задаваемого для чистого помещения или чистой зоны.

Примечание 1 — Уровни должны быть выражены как классы ИСО, которые дают максимально допустимую концентрацию частиц в единице объема воздуха.

[ИСО 14644-1:2015, 3.1.4 модифицировано в определении, добавлена часть после «чистая зона»]

Издание официальное

3.1.3 **установка чистого воздуха** (clean air device): Оборудование для подготовки и распределения чистого воздуха с целью достижения определенных параметров окружающей среды.

Примечание 1 — К установкам очистки воздуха относятся определенные изолирующие устройства (3.1.7) по ИСО 14644-7 [1], например, устройства с чистым воздухом, герметичные устройства, перчаточные боксы, изоляторы и мини-окружения.

[ИСО 14644-4:2001, 3.2, модифицировано — добавлено примечание 1]

3.1.4 **чистое помещение** (cleanroom): Помещение, в котором контролируется концентрация аэрозольных частиц и которое спроектировано, построено и эксплуатируется так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц в нем.

Примечания

1 Следует задать класс чистоты по концентрации аэрозольных частиц.

2 Могут также задаваться и контролироваться другие параметры, например, концентрации химических, биологических загрязнений и загрязнений с размерами в нанодиапазоне в воздухе, а также чистота поверхностей по частицам, химическим, биологическим загрязнениям и загрязнениям с размерами в нанодиапазоне.

3 При необходимости могут задаваться и другие физические параметры, например, температура, влажность, давление, уровень вибрации и электростатические характеристики.

[ИСО 14644-1:2015, 3.1.1]

3 .1.5 **чистая зона** (clean zone): Определенное пространство, в котором контролируется концентрация аэрозольных частиц и которое построено и эксплуатируется так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц в нем.

Примечания

1 Следует задать класс чистоты по концентрации аэрозольных частиц.

2 Могут также задаваться и контролироваться другие параметры, например, концентрации химических, биологических загрязнений и загрязнений с размерами в нанодиапазоне в воздухе, а также чистота поверхностей по частицам, химическим, биологическим загрязнениям и загрязнениям с размерами в нанодиапазоне.

3 Чистая зона может находиться внутри чистого помещения или представлять собой изолирующее устройство. Такое устройство может быть установлено как в чистом помещении, так и вне его.

4 При необходимости могут задаваться и другие физические параметры, например, температура, влажность, давление, уровень вибрации и электростатические характеристики.

3 .1.6 **предфильтр** (pre-filter): Воздушный фильтр, установленный перед другим фильтром с целью уменьшения загрязнения этого фильтра.

[ИСО 14644-4:2001, 3.8]

3 .1.7 **изолирующее устройство** (separative device): Устройство, имеющее конструктивные и динамические средства для создания надежного разделения между внутренним и внешним пространствами по отношению к определенному объему.

Примечание 1 — Это устройство может использоваться в качестве чистой зоны (3.1.5).

Примечание 2 — Примерами некоторых промышленных изолирующих устройств являются устройства с чистым воздухом, герметичные устройства, боксы перчаточные, изоляторы и миниокружения.

[ИСО 14644-7:2004, 3.17 модифицировано — примечание 1 заменено и изменена прежняя нумерация примечания 1]

3.2 Термины, относящиеся к чистому помещению

3.2.1 **адаптивное регулирование** (adaptive control): Способность системы автоматически изменять свои эксплуатационные параметры для достижения наилучших из возможных эксплуатационных характеристик в различных режимах в течение года.

3.2.2 **кратность воздухообмена** (air change rate): Интенсивность обмена воздуха, определяемая как число обменов воздуха в единицу времени, равная отношению объема воздуха, подаваемого в единицу времени, к объему чистого помещения (3.1.4) или чистой зоны (3.1.5).

[ИСО 14644-3:2005, 3.4.1, модифицированное определение, в нем слово «пространство» заменено на «чистое помещение» или «чистая зона»]

3.2.3 **диффузор** (diffuser): Устройство, устанавливаемое на выходе воздуха в последней части системы вентиляции для улучшения смешивания приточного воздуха с воздухом помещения.

Примечание — Сетчатая или перфорированная не рассматриваются как диффузоры.

3.2.4 **неоднонаправленный поток воздуха** (non-unidirectional airflow; non-UDAF): Распределение воздуха, при котором поступающий в чистую зону воздух смешивается с внутренним воздухом посредством подачи струи приточного воздуха.

[ИСО 14644-4:2001, 3.6]

3.2.5 **эффективность по удалению загрязнений** (contaminant removal effectiveness; CRE): Отношение концентрации частиц, определенное в вытяжном (возвратном) воздухе к средней концентрации частиц в помещении, в предположении, что частицы в приточном воздухе отсутствуют.

[Руководство REHVA No. 2]

3.2.6 **общий расход воздуха** (total air volume flow rate): Объем воздуха, который проходит через чистое помещение или чистую зону от финишных фильтров или воздуховодов в единицу времени.

[ИСО 14644-3:2005, 3.4.5, модифицировано — «расход воздуха» добавлен в основные термины]

3.2.7 **эффективность воздухообмена** (air change effectiveness; ACE): Отношение между скоростью восстановления в точке или в точках чистого помещения (3.1.4) к общей интенсивности восстановления в чистом помещении после внесения загрязнения.

Примечание 1 — Интенсивность восстановления определяется по ИСО 14644-3.

3.2.8 **нерабочий режим** (turn-down): Управляемое снижение скорости однонаправленного потока воздуха (3.2.9) в чистых помещениях (3.1.4) или установках чистого воздуха (3.1.3) или в чистых помещениях с неоднонаправленным потоком воздуха (3.2.4) для экономии энергии в периоды, когда чистое помещение не эксплуатируется.

3.2.9 **Однонаправленный поток воздуха** (unidirectional airflow; UDAF): Контролируемый поток воздуха с постоянной скоростью и примерно параллельными линиями тока по всему поперечному сечению чистой зоны.

Примечание — Поток воздуха такого типа непосредственно уносит частицы из чистой зоны к выходу.

[ИСО 14644-4:2001,3.11, модифицировано — в конце примечания 1 добавлено «к выходу»]

3.2.10 **эмиссия** (emission): Количество загрязнений, выделяемое объектом в воздух чистого помещения (3.1.4).

3.2.11 **интенсивность источника** (source strength): Интенсивность, выражаемая числом частиц или колониеобразующих единиц, выделяемых объектом в единицу времени.

Примечание — Источником может быть человек, оборудование или другой объект.

3.2.12 **частица, несущая микроорганизм** (microbe-carrying particle): Частица, которая переносит микроорганизм, обычно вносимая в помещение частицами кожи персонала или фрагментами этих частиц, на которых находятся кожные микробы.

3.3 Термины, относящиеся к энергоэффективности

3.3.1 **критерий сравнения** (benchmarking): Сравнительная оценка и/или анализ аналогичных случаев.

3.3.2 **стоимость энергии** (energy cost): Общая стоимость потребляемой энергии в денежной форме, отнесенная к рассматриваемой стоимости.

3.3.3 **мощность** (power): Работа или расход энергии в единицу времени.

Примечание 1 — В единицах СИ мощность выражается в ваттах (W) или джоулях в секунду (J/s).

[ИСО 14644-7:2004, 3.17, модифицировано — примечание 1 заменено и соответственно, изменен номер примечания 1]

3.5 Сокращения

CFD — вычислительная гидродинамика (computational fluid dynamics);

EMS — система управления окружающей средой (environmental management system);

FFU — фильтровентиляционный модуль (fan filter unit);

HSE — здоровье, безопасность и окружающая среда (health, safety and environment);

HVAC — отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (heating, ventilation and air conditioning);

RH — относительная влажность (relative humidity);

SFP — удельная мощность вентилятора (specific fan power);

URS — спецификация требований заказчика (user requirement specification)

VE — эффективность вентиляции (ventilation effectiveness)

4 Оценка возможности снижения расхода энергии и принимаемые меры

4.1 Общие положения

Потребление энергии в чистых помещениях чистых зонах и изолирующих устройствах может быть снижено в соответствии с 4.2 и 4.3, следуя схеме, показанной на рисунке 1.

Рисунок 1 обобщает процесс, который можно использовать для типичного чистого помещения, включая систему воздушного потока, показанную на рисунке 2. Он распространяется на существующие чистые помещения в эксплуатации, подлежащие реконструкции чистые помещения и новые чистые помещения, на этапе проектирования.

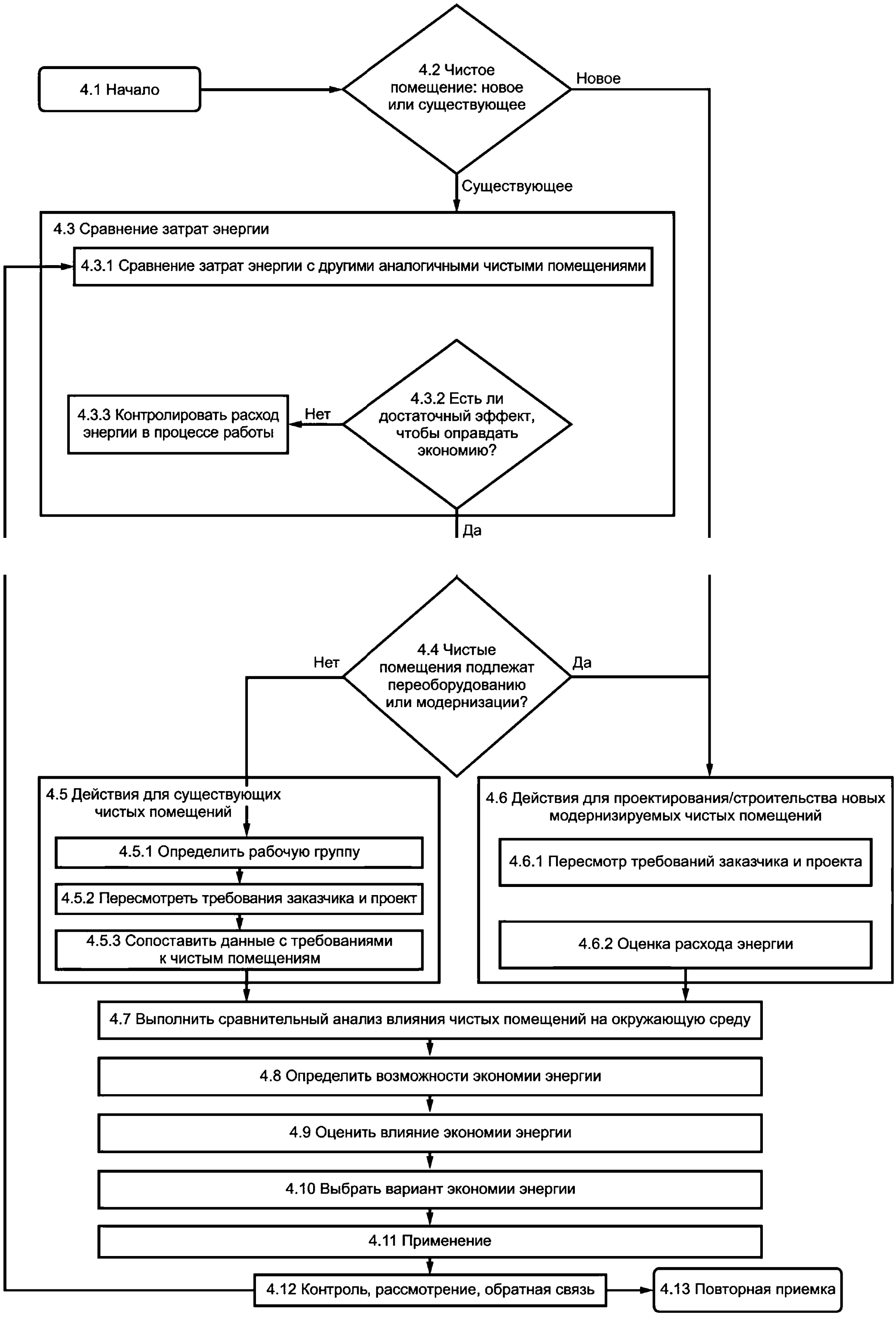


Рисунок 1 — Системный подход к энергоснабжению — процесс проектирования

4.2 Новые или существующие чистые помещения

Процесс снижения энергопотребления новых и существующих чистых помещений различается, поскольку исходная точка и доступные данные различны.

Рекомендации 4.5 и 4.6 следует соблюдать, если проектируется новое чистое помещение или оценивается существующее с целью снижения энергопотребления. Если существующее чистое помещение планируется реконструировать, то могут быть и другие возможности для снижения энергопотребления, которые можно учесть при реконструкции.

4.3 Обеспечение энергоэффективности

4.3.1 Общие положения

Процесс снижения энергопотребления в существующих чистых помещениях может потребовать временного вовлечения многих ресурсов, что требует затрат. По этой причине важно установить основных потребителей энергии в чистых помещениях, начиная с которых можно определять меры по сокращению расхода (ИСО 50001).

4.3.2 Сравнение энергоэффективности

Следует оценить текущие энергетические характеристики чистого помещения и сравнить их с подходящим объектом сравнения или эталоном. Примеры объектов сравнения могут включать в себя другое аналогичное чистое помещение, данные о предыдущем вводе в эксплуатацию, где ранее были оптимизированы энергетические характеристики, или объект, рассчитанный на основе предыдущего опыта. Руководство по сравнительному анализу энергоэффективности приведено в приложении D.

4.3.3 Определение целесообразности мероприятий

Следует установить, является ли разница между текущим энергопотреблением чистых помещений и возможными затратами при экономии значительной и оправдывает ли это дальнейшую работу.

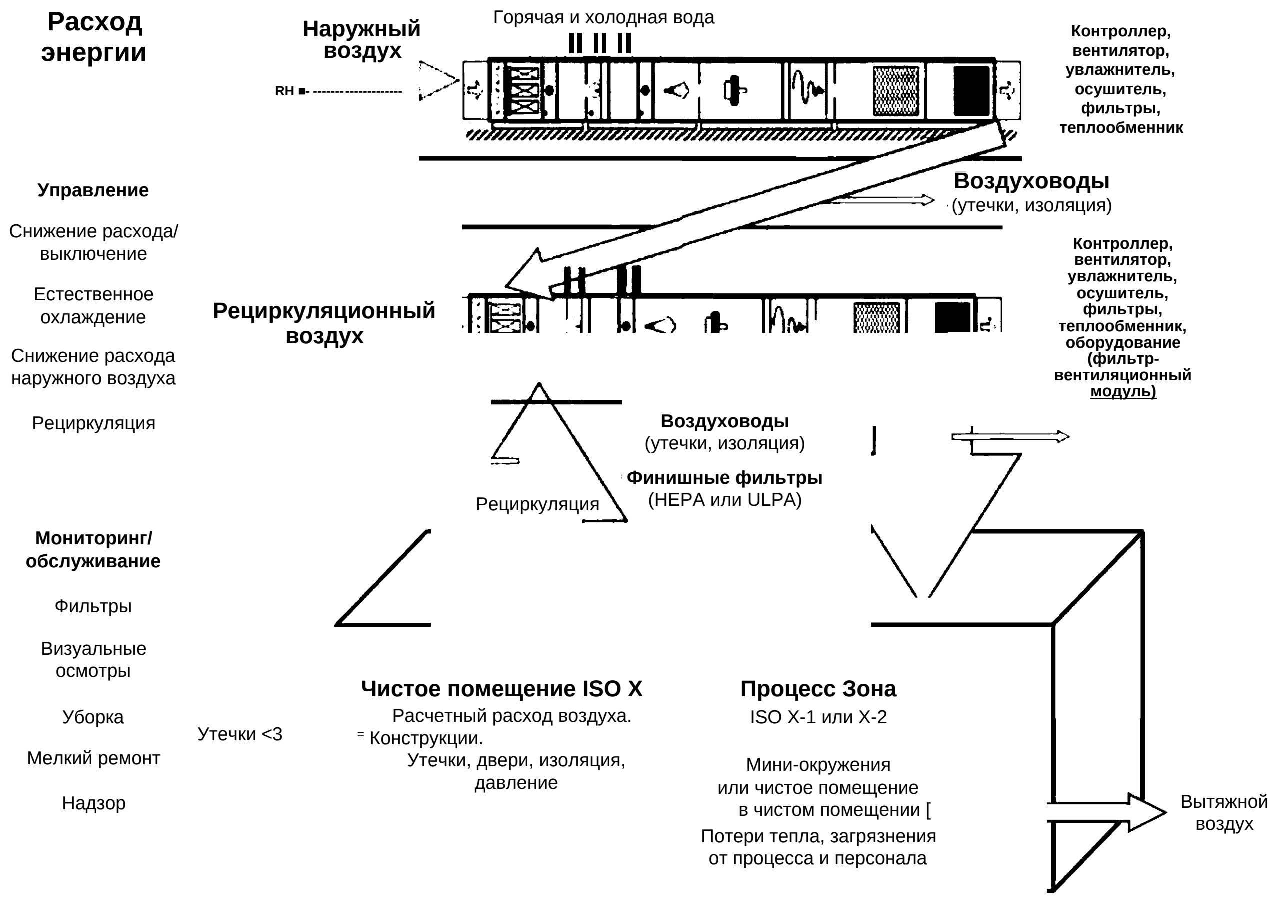
4.3.4 Контроль и оценка

Если на текущий момент обоснование отсутствует, то следует продолжить регулярный контроль энергоэффективности и оценивать ее по критерию сравнения. Со временем может измениться ряд переменных, которые могут оказать влияние на эту оценку:

- энергетические характеристики и эффективность чистых помещений могут ухудшиться;
- стоимость единицы энергии и затраты на реализацию проекта могут измениться, что изменит экономику проекта и
- новые технологии могут стать доступными или более эффективными.

4.4 Модернизация и реконструкция

Следует пересматривать проект чистых помещений, подлежащих модернизации и реконструкции, чтобы учесть энергоэффективность при проектировании. Система подготовки воздуха для типичного помещения показана ниже.



Источник: ASPEC-ADEME-EDF «Экономия энергии в чистых зонах (чистых помещениях, контролируемых пространствах, изолированных зонах)» [5], воспроизведено с разрешения ASPEC, Франция.

Рисунок 2 — Пример типового кондиционера чистого помещения и распределения воздуха

Проект должен позволять в будущем регулировать и оптимизировать энергоэффективность чистых помещений, например, устанавливать приводы с регулируемой скоростью для двигателей вентиляторов.

4.5 Существующие чистые помещения

4.5.1 Определение состава разработчиков проекта

Лица, включенные в проектную группу, должны обладать достаточными знаниями по следующим аспектам: разработка и техническое обслуживание оборудования и коммуникаций чистых помещений, энергопотребление чистых помещений, качество продукции, испытания оборудования и процессов, производственные операции, здоровье и безопасность.

Группа может состоять из любого количества участников.

4.5.2 Требования пользователей и основные характеристики

Разработчики проекта должны понимать работу чистых помещений и документировать работы по снижению энергопотребления. Это может включать:

- назначение чистого помещения;
- критические параметры процесса, которые необходимо поддерживать в чистом помещении.

ПРИМЕР — Диапазоны температуры и относительной влажности, требования к чистоте помещения, время восстановления и перепады давления между соседними помещениями различных классов.

4.5.3 Сбор информации о критериях эффективности чистых помещений

При разработке документов, включая чертежи и спецификации, а также информации, определяющей критерии эффективности чистых помещений, следует:

a) определить критерии, влияющие на производительность, и рассмотреть прямое и косвенное влияние возможных действий по снижению энергопотребления;

Ь) определить критерии эффективности чистых помещений, отвечающие требованиям технологического процесса, продукции, безопасности персонала и комфорта;

c) определить потребителей энергии, включая освещение, кондиционирование воздуха, комфортное отопление, охлаждение и любое другое значительное потребление энергии, или, где это невозможно, использовать профессиональные оценки;

d) определить текущие показатели чистоты (по классификации и мониторингу: частицы, химические вещества и микроорганизмы);

e) установить расход воздушного потока, скорость воздушного потока и давление;

f) определить практические вопросы, связанные с реальной работой, например, надежность и методы контроля, компоновка, срок службы с начала эксплуатации, состояние, функции, техническое обслуживание;

д) учесть результаты любого сравнительного анализа существующего проекта с передовой практикой использования энергии и стоимости и

h) определить стоимость жизненного цикла и оптимизационные исследования, если это возможно.

4.6 Проектирование и строительство новых или модернизации чистых помещений

4.6.1 Анализ требований пользователей и содержание проекта

Должны быть определены критерии эффективности чистых помещений, отвечающие требованиям процесса, продукции и комфорта персонала.

Примечание — См. раздел 5.

4.6.2 Анализ энергоэффективности

Следует рассмотреть проект чистого помещения, чтобы убедиться в учете аспектов экономии энергии:

a) проектные характеристики (в терминах классификации: концентрация частиц и другие показатели чистоты);

Ь) результаты любого сравнительного анализа, который должен подтвердить, что новый проект соответствует передовой практике использования энергии в отношении энергопотребления и стоимости.

Анализ проекта должен быть сконцентрирован на энергетических характеристиках чистого помещения и наилучших оценках прогнозируемого энергопотребления, включая освещение, подготовку воздуха, отопление, охлаждение и любое другое значительное использование энергии, особенно для небольших сред.

4.7 Сравнительная оценка требований к окружающей среде в чистых помещениях

Следует провести сравнительную оценку характеристик окружающей среды в проектируем (новом) или модернизируемом (существующем) чистом помещении с требованиями процесса, продукта и комфорта персонала, чтобы избежать задания чрезмерных характеристик, например, класса чистоты, более жесткого, чем необходимо, или излишне большие чистые помещения.

4.8 Определение возможности снижения энергопотребления

Проектная группа должна оценить результаты сравнительного анализа, определить потенциальные возможности снижения энергопотребления и провести предварительный выбор. Это можно сделать с помощью контрольного перечня по Приложению В.

После того, как предварительный выбор сделан, он должен быть оценен и оформлен документально как часть процесса принятия решения с указанием причины, по которым данный вариант выбран или отклонен.

При проведении анализа следует оценить и учесть стоимость жизненного цикла вариантов снижения энергопотребления.

4.9 Оценка влияния вариантов снижения энергопотребления

После определения потенциальных вариантов энергосбережения (например, с помощью таблицы в приложении В), следует провести предварительный отбор. Следует подготовить подробный отчет об оценке воздействия, охватывающий все выявленные потенциальные варианты и учитывающий любые рекомендации приложения В, а также следующие требования:

- осуществимость;
- совместимость процессов и требования к качеству продукции;
- безопасность и правила;
- стоимость;
- прибыль от инвестиций;
- стимулы (например, правительственные инициативы);
- график/программа реализации;
- ресурсы реализации и
- непрерывность бизнеса.

4.10 Выбор варианта снижения энергопотребления для реализации

Менее жизнеспособные или более сложные варианты снижения энергопотребления в отчете об оценке воздействия (4.9) должны быть помещены после тех, которые могут быть реализованы просто и эффективно. Затем следует подготовить окончательную программу определения приоритетов и реализации.

Для вариантов, подлежащих реализации, следует дать спецификации и объемы работ. В тех случаях, когда в промышленности существуют стандарты или правила, устанавливающие требования к рабочим характеристикам, следует выявить все ситуации, в которых одно или несколько требований к рабочим характеристикам противоречат конкретным предлагаемым мерам по снижению энергопотребления.

Примечание — Такие эксплуатационные требования могут включать качество воздуха (по частицам и другим показателям чистоты), эффективность фильтров, скорость однонаправленного потока воздуха, расход приточного воздуха, время восстановления, температуру, влажность и перепады давления между соседними помещениями разных классов.

После определения таких факторов следует подготовить подробное обоснование и показать, что предлагаемая мера не влияет на качество продукции. Решение должно быть согласовано с заказчиком до его реализации.

4.11 Реализация

Следует разработать подробный план реализации, который должен включать ожидаемые результаты для всех выбранных элементов.

4.12 Контроль, рассмотрение и обратная связь

По завершении разработки проекта, а затем через регулярные промежутки времени для каждого выбранного элемента следует отслеживать и анализировать ожидаемый результат, определенный в плане реализации, чтобы убедиться, что изменения остаются в силе. Связанное с этим снижение энергопотребления следует контролировать, регистрировать и анализировать. Собранная информация должна использоваться в качестве обратной связи для постоянного совершенствования.

4.13 Вывод из эксплуатации

После завершения срока службы чистого помещения следует определить, нужно ли его перевести в нерабочий режим, чтобы свести к минимуму потребляемую энергию. Следует оценить воздействие на соседние или связанные с ними помещения.

5 Влияние требований пользователя на энергопотребление

5.1 Общие положения

Спецификация требований пользователя (техническое задание) является исходными данными для проекта чистого помещения. В ней устанавливаются основные требования к новому или реконструируемому объекту на самой ранней стадии. Включаемая спецификацию информация должна быть обоснована.

Прогресс науки и развитие техники чистых помещений позволяют не ограничиваться заданием кратности воздухообмена для определенного класса чистоты.

В спецификации требований пользователя должны быть указаны обычная и максимальная численность персонала, который может одновременно находиться в чистом помещении, а также ожидаемая тепловая нагрузка от технологического оборудования. Приемлемый диапазон требований к температуре и влажности воздуха с учетом ожидаемых внешних параметров, особенно в определенное время года, оказывает значительное влияние на общее энергопотребление объекта. Их следует обосновать, принимая во внимание потребности и комфорт персонала. Указание ожидаемого диапазона внешних температур и уровней влажности также должно быть исследовано для района, где это возможно, с учетом последствий будущего изменения климата.

Следует также учитывать общую площадь объекта. Если планы помещений еще не разработаны или площадка еще не определена, в качестве требований следует включить запрос на минимизацию общей площади объекта с учетом стандартных требований к площадям или намерение использовать барьерную технологию, где это уместно.

Могут быть включены дополнительные требования, в том числе ожидаемая мощность источника, требования к изоляции, минимальная эффективность вентилятора или другое конкретное оборудование или методы энергосбережения.

Должна быть обеспечена гибкость конструкции, чтобы в будущем можно было вносить изменения для дальнейшего повышения энергоэффективности либо для улучшения качества продукции.

Приложения A—F дают дополнительные возможности снижения энергопотребления, которые можно включить в спецификацию требований.

5.2 Требования к одежде

В спецификации следует также указать предельно допустимые значения выделения частиц одеждой для чистых помещений, поскольку они играют важную роль в контроле загрязнения твердыми частицами. Выделение частиц персоналом существенно зависит от типа одежды с учетом ее состава, материалов, использования масок для лица, бахил и типа перчаток. Если необходимо рассмотреть вопрос о снижении расхода воздуха, эти характеристики одежды должны быть критически пересмотрены вместе с порядком, качеством и периодичностью стирки одежды, которая будет использоваться. Снижению расходов воздуха способствует применение более эффективных типов одежды (приложение А). При этом следует обеспечить выполнение комфортных условий на рабочем месте, включая температуру и влажность.

6 Расход воздуха и компенсирующие факторы

6.1 Подготовка наружного воздуха

Подготовка наружного воздуха осуществляется средствами кондиционирования. На кондиционирование наружного воздуха могут потребоваться более высокие затраты, чем на подготовку рециркуляционного воздуха. Следует также учитывать уровень загрязнения наружного воздуха.

6.2 Расход воздуха

Энергопотребление чистого помещения зависит от расхода воздуха. Высокие расходы воздуха для неоднонаправленного потока и скорости для однонаправленного потока позволяют снизить уровень загрязнений воздуха [см. перечисления а) и б) ниже]. Расходы воздуха для однонаправленного потока воздуха значительно превышают расходы для неоднонаправленного потока в помещении тех же размеров. В правилах и на практике для обоих типов чистых помещений указаны расходы воздуха, которые в некоторых случаях являются завышенными. Более глубокое понимание конструкции чистых помещений и причин образования загрязнений в чистом помещении позволяет снизить расход воздуха, сохраняя приемлемую концентрацию частиц.

a) Вытеснение частиц

Благодаря однонаправленному потоку воздуха от фильтров частицы вытесняются из критических зон класса 5 ИСО и более высоких в зависимости от скорости потока. Воздух поступает от потолочных НЕРА или LILPA фильтров, занимающих всю площадь потолка. Удаление воздуха из помещения осуществляется через перфорированные панели фальшпола или боковых решеток в нижней части стен.

Поток воздуха может быть направлен вертикально вниз или горизонтально.

Ь) Разбавление частиц

Частицы разбавляются с помощью турбулентного перемешивания прошедшим фильтры воздухом и удаляются из критической зоны зон класса 6 ИСО и менее чистых. Во многих случаях воздух удаляется через боковые решетки в нижней части стен для повышения эффективности воздухообмена. Для таких чистых помещений расход приточного воздуха и, соответственно, кратность воздухообмена должны быть достаточными для эффективного разбавления выделенных источником частиц до приемлемой концентрации.

Как для моделей с вытеснением, так и с разбавлением следует учитывать требования к притоку воздуха в эксплуатируемом и оснащенном состояниях чистого помещения. Значительная экономия энергии может быть достигнута за счет отключения чистых помещений в нерабочие периоды (раздел 7).

6.3 Расчет интенсивности выделения частиц и расхода воздуха для помещений с неоднонаправленным потоком

6.3.1 Определение расхода воздуха

Могут использоваться данные по выделению частиц *D,* приведенные в [7], [8], [9] с учетом численности персонала, типа одежды и технологического оборудования. Минимальный расход приточного воздуха может быть определен по формуле А.1. Результаты вычислений могут использоваться только для оценки и должны учитывать любые компенсирующие факторы. Разработчик проекта должен учесть известные данные об уровне аэрозольных загрязнений в чистых помещениях и оценить источники загрязнений, которые могут нанести ущерб процессу в новом чистом помещении. Проектом должна быть предусмотрена возможность регулирования расходов, как показано на рисунке 3.

Полученные данные не должны служить для изменения расходов воздуха по заданию заказчика.

Примечание — Формула А.2 дает расчет кратности воздухообмена, если это требуется по договору. Не существует прямой зависимости между кратностью воздухообмена *(ACR)* и классом чистоты по ИСО 14644-1 [2]. Необходимый расход воздуха для конкретного чистого помещения определяется не его объемом. Он в большей степени зависит от вида выполняемых в помещении работ и системы распределения воздуха. Кратность воздухообмена является важным и полезным показателем, но лишь одним из многих.

Не следует использовать кратность воздухообмена в качестве основного критерия для чистых помещений, поскольку он не учитывает интенсивность выделения частиц и другие важные факторы. Например, в двух помещениях, различающихся высотой в два раза, но с одинаковой численностью персонала, эмиссия частиц будет одинаковой. Следовательно, расход воздуха в обоих помещениях будет одним и тем же, не зависимо от объема помещения.

6.3.2 Коэффициент эффективности вентиляции

Расчеты расхода приточного воздуха должны учитывать коэффициент эффективности вентиляции (удаления загрязняющих веществ — CRE) или эффективность воздухообмена *(ACE),* чтобы обеспечить поддержание в чистом помещении требований к концентрации частиц для большинства ожидаемых изменений интенсивности выделения загрязнений (приложение А, пример на рисунке 3 и обозначаются как s в *формуле А.1).*

Методы вычислительной гидродинамики (CFD) являются средством для оценки этого коэффициента при рассмотрении эффективности различных конструкций чистых помещений. При использовании он должен быть дополнением к стандартным расчетам. Следует учитывать пригодность используемой компьютерной модели.

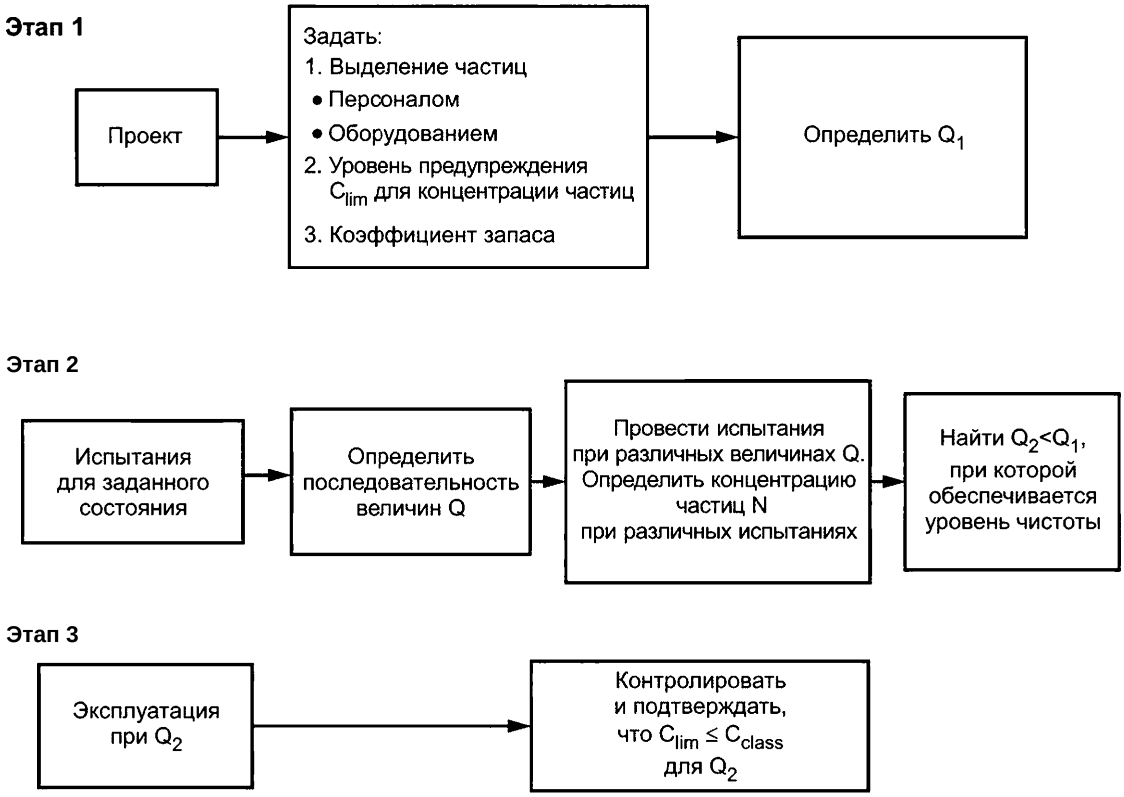
6.3.3 Коэффициенты компенсации *(Cf)*

Коэффициенты компенсации позволяют предусмотреть запас в расчетном расходе воздуха на этапе проектирования. Они служат вспомогательным инструментом только для расчетов. Коэффициенты являются субъективными и должны оцениваться для каждого применения инженером по чистым помещениям.

Как правило, коэффициенты компенсации могут быть определены следующим образом для учета неопределенности данных:

а) предельно допустимая концентрация частиц для класса 7 ИСО составляет 352 000 частиц/м^3 для частиц с размерами > 0,5 мкм, но по условиям технологии уровень предупреждения $C_{Цт}$ можно выбрать равным 100 000 частиц/м ^{3} или даже 50 000 частиц/м^3 и

Ь) в качестве запаса эффективности удаления частиц могут быть приняты значения *CRE* или *ACE* менее 1,0, если распределение воздуха считается недостаточно хорошим.



Примечание-Q - расход воздуха в кубических метрах в секунду.

Рисунок 3 — Последовательность действий при определении расхода воздуха
для обеспечения чистоты по концентрации частиц на этапах: проект — испытания — эксплуатация

6.4 Гибкий метод оценки расхода воздуха в помещениях с неоднонаправленным потоком воздуха

6.4.1 Общие положения

Метод, рекомендованный в 6.4.2—6.4.3 следует применять на основе принципов, разработанных А. Федотовым в его работе, подробно изложенной в библиографической ссылке [10].

Метод по 6.4 для расчета расхода воздуха является гибким, поскольку на этапе проектирования известны только приблизительные данные о выделении частиц. Метод позволяет постепенно повышать точность оценки от этапа к этапу в последовательности, показанной на рисунке 3. Данные уточняются по мере завершения каждого этапа.

6.4.2 Этап проектирования

Следует задать уровень предупреждения $C_{Нт}$ для концентрации частиц, меньший предела класса чистых помещений $C_{C|ass}$, исходя из спецификации требований пользователя, в котором указывают:

а) заданный класс чистоты;

Ь) объем чистого помещения (если заказчиком задана кратность воздухообмена);

с) численность персонала, тип оборудования и тип одежды для чистых помещений.

По этим данным следует оценить интенсивность выделения частиц в чистом помещении *D,* частиц в секунду (6.3.1).

Следует использовать коэффициент эффективности CRE или *ACE* из предыдущих данных, е (6.3.2).

Далее следует рассчитать расход воздуха Q_1 по формуле А.1 в кубических метрах в секунду и проверить расход воздуха в проекте по 6.4.3.

6.4.3 Этап испытаний

Цель испытаний на энергосбережение состоит в подтверждении правильности определения Q_1 и определении более точного значения расхода воздуха, где Q_2 меньше, чем

Это испытание следует проводить в дополнение к испытаниям в соответствии с ИСО 14644-1, ИСО 14644-2 и ИСО 14644-3 ([2], [3], [6]), чтобы подтвердить способность чистого помещения обеспечивать требуемый класс чистоты при сниженном расходе воздуха O_2 при условии $C_{Нт} < C_C|_{ass}$.

Испытания с различными расходами воздуха могут быть выполнены для оснащенного и эксплуатируемого состояний. Для подтверждения результатов следует выполнить более одного испытания.

Уменьшение расхода воздуха не должно нарушать требований к чистому помещению: концентрации частиц, давлению, температуре и влажности и другим параметрам.

6.4.4 Этап эксплуатации

На данном этапе следует предусмотреть работу чистого помещения при сниженном расходе воздуха Q_2 ^{c} учетом обучения персонала, эксплуатации и технического обслуживания по разделам 12—14.

Типовой пример практического применения этого метода дан в приложении А. Он показывает порядок использования этих формул для количественной оценки эффективности и оптимизации расхода воздуха. См. также библиографическую ссылку [10].

Для подтверждения расхода воздуха могут использоваться статистические методы контроля загрязнения, такие как анализ возможностей процесса.

6.5 Снижение скорости воздуха в системах с однонаправленным потоком воздуха

Методы расчета по 6.4 не применимы к системам с однонаправленным потоком воздуха. Оценку возможностей экономии энергии следует выполнить с учетом А.5. При принятии решения об экономии энергии следует тщательно рассмотреть требования к скорости потока воздуха и связанные с этим вопросы (А.5).

Известно из практики, что скорость потока воздуха на уровне 0,35 м/с (где это допускается нормами) обеспечивает низкую концентрацию частиц в воздухе при нормальной эксплуатации этого типа помещения.

7 Управление расходом энергии (снижение, выключение и включение)

7.1 Снижение расхода энергии

Эффективными методами энергосбережения являются снижение расхода воздуха и расширение диапазона температуры и относительной влажности, когда чистое помещение или устройство очистки воздуха находятся в оснащенном состоянии или персонал отсутствует. Там, где это возможно, следует использовать вентиляторы с регулируемой частотой вращения для снижения расхода воздуха и снижения затрат энергии.

Примечание 1 — Обычно мощность вентилятора пропорциональна кубу расхода воздуха, т. е. снижение расхода воздуха в два раза может снизить расход энергии на вентиляцию в восемь раз (эту величину следует уточнять в зависимости от размеров воздуховодов).

Во всех новых чистых помещениях с однонаправленным потоком следует предусмотреть регулирование скорости воздуха, а с неоднонаправленным потоком — расходов воздуха до заранее установленного уровня в нерабочие периоды. Следует предусматривать управляемые заслонки в основных воздуховодах и их совместную работу с инверторами вентиляторов для снижения расхода энергии в нерабочие часы, когда персонал в помещениях отсутствует.

Примечание 2 — В условиях сниженного расхода энергии, т. е. без присутствия персонала и в нерабочем состоянии, интенсивность выделения загрязнений и тепловые потоки в контролируемом помещении существенно меньше, чем при эксплуатации. Эти условия можно оценить на этапе проектирования и подтвердить во время ввода в эксплуатацию или испытаний.

В периоды снижения расхода энергии следует поддерживать условия разделения, включая физические барьеры, или поддержание избыточного давления в чистом помещении, чтобы предотвратить попадание загрязнений из окружающей среды в него или в чистую зону. Следует предусмотреть хорошо различимые средства наглядного оповещения в периоды сниженной работы. Весь персонал, включая занятый обслуживанием и уборкой, должен пройти обучение работе и поведению в эти периоды.

В периоды сниженной нагрузки доступ в чистые помещения должен быть закрыт, чтобы предотвратить несанкционированный вход, который может привести к загрязнению. Фильтр-вентиляционные модули не следует сразу включать на максимум при повторном включении зоны. Мощность следует увеличивать постепенно. После завершения периода сниженной работы системы кондиционирования следует включать плавно по инструкции.

Заданные условия работы должны быть восстановлены до начала или возобновления нормальной эксплуатации. Следует контролировать и регистрировать длительность периодов сниженной работы в порядке, определенном и подтвержденном при вводе в эксплуатацию.

В дополнение ко всем стандартным испытаниям, включая счет частиц, может оказаться полезной визуализация потоков воздуха.

7.2 Выключение

Следует оценить влияние выключения на процесс и оформить это документально. Порядок выключения должен быть определен в инструкции и входить в перечень мер по управлению потреблением энергии.

Примечание — На отключаемые системы большое влияние оказывает конфигурация чистого помещения. Примером служит отключение устройства очистки воздуха с однонаправленным потоком воздуха, расположенного в менее чистом помещении, или отключение некоторых фильтр-вентиляционных модулей в большом чистом помещении с использованием нескольких модулей. Может потребоваться учет систем отопления и охлаждения при сохранении нормального или пониженного воздушного потока.

Чтобы оценить допустимость выключения систем для качества продукции, следует принять во внимание следующие риски:

а) попадание аэрозольных загрязнений из-за разгерметизации классифицируемого помещения;

б) оседание загрязнений, унесенных с чистой стороны финишных высокоэффективных воздушных фильтров и

с) возможность восстановления требуемых условий чистоты при повторном включении системы в течение определенного времени восстановления, что связано с риском выделения частиц и временем нахождения в выключенном состоянии.

На время этого периода точки доступа и входа должны быть опломбированы.

8 Адаптивное регулирование

Регулирование расходов воздуха в чистом помещении и/или наружного воздуха основано на обратной связи от сенсоров или аналитических приборов в чистом помещении в реальном времени. Этот подход является одной из наиболее эффективных схем экономии энергии и предусматривает регулирование расхода воздуха в помещении в зависимости от концентрации частиц в реальном времени.

Для получения данных приемлемой стабильности может потребоваться исключение и усреднение данных о счете частиц. Уровень экономии зависит от разброса данных о счете частиц. Этот подход наиболее эффективен, если для чистого помещения характерен резкий рост концентрации частиц в течение короткого промежутка времени.

Типовые схемы адаптивного регулирования используют в качестве обратной связи данные о количестве частиц из представительных мест в чистом помещении. Возможны и другие схемы, в которых учитываются температура, влажность, газообразные загрязнения или другие контролируемые параметры.

В фармацевтической и медицинской промышленности и здравоохранении возможность применения этого метода зависит от нормативных ограничений на количество частиц, несущих микроорганизмы, и общее количество твердых частиц в воздухе. Условием применения этого подхода является проверка обеспечения надежного и воспроизводимого управления.

9 Нагрузки от нагрева и охлаждения

Требования к температуре и относительной влажности в чистом помещении служат для обеспечения комфорта персонала, предупреждения накопления электростатического заряда и выполнения требований технологии.

При отсутствии требований технологии температура должна определяться условиями комфорта персонала. Относительная влажность должна находиться в пределах от 30 % до 70 % в зависимости от условий окружающей среды с учетом комфорта оператора.

В приложении Е приведены примеры ограничения потерь или экономии при нагреве и охлаждении.

10 Выбор вентиляторов и фильтров

10.1 Вентиляторы

Вентилятор следует выбирать с условием достижения наилучшего баланса между затратами энергии и расходом воздуха, принимая во внимание его эффективность и эффективность привода, а также другие характеристики вентилятора, чтобы обеспечить повышенную нагрузку на фильтр. КПД вентиляторов находится в широком диапазоне значений. Выбор вентилятора с высокой эффективностью, должны относиться к основным средствам снижения энергопотребления.

Вентиляторы с прямым приводом и встроенным двигателем являются наиболее энергоэффективными, а последнее поколение вентиляторов с прямым приводом может достигать КПД более 80 %. Следует учитывать время окупаемости таких вентиляторов.

При модернизации существующих систем вентиляторов с двигателем, отдельным от вентилятора, следует установить более совершенный ремень или заменить его на вентилятор с прямым приводом и высокоэффективным двигателем, поскольку ременный привод между двигателем и вентилятором может потреблять от 10 % до 15 % энергии двигателя до того, как она достигнет вентилятора.

Использование ремней с низким коэффициентом трения и зубчатых ремней может минимизировать потери энергии там, где необходимо использовать ремни. Вентиляторы с прямым приводом и встроенным двигателем следует рассматривать для всех новых систем.

Как правило, следует предусматривать инверторы, позволяющие приводу с регулируемой скоростью *(VSD)* обеспечивать эффективное управление и гибкость. Следует проконсультироваться с производителем вентилятора, чтобы выбрать вентилятор с низким уровнем шума при требуемом статическом давлении в рабочей точке и с наименьшим потреблением энергии.

10.2 Выбор фильтров очистки воздуха

Эффективность удаления твердых частиц фильтрами тонкой очистки должна быть не более, чем требуется для обеспечения заданного класса чистоты в чистом помещении. Конструкция системы фильтрации должна быть такой, чтобы не допускать перегрузки двигателя и чрезмерных перепадов давления в системе. Финишные фильтры должны иметь минимальный перепад давления при требуемой эффективности удаления частиц. Фильтры с большим объемом фильтрующей среды имеют меньший перепад давления, чем фильтры с малым ее объемом. Например, увеличение толщины фильтровальной гофрированной плиты (гофрированного материала) высокоэффективного фильтра с 66 мм до 110 мм позволяет уменьшить перепад давления примерно на 40% и увеличить срок службы фильтра в 2,5 раза.

Для защиты финишных фильтров и увеличения их срока службы следует предусматривать предварительные фильтры (предфильтры). Следует предусматривать четкий порядок замены и очистки предфильтров в системах с рециркуляцией воздуха для защиты от их чрезмерного загрязнения, приводящего к слишком большому перепаду давления и риску выделения частиц в помещение.

Энергосберегающие предварительные фильтры следует выбирать с помощью метода энергетической классификации, такого как указанный в Eurovent 4/11 [11] и другие схемы. На этапе проектирования следует использовать модель стоимости жизненного цикла (LCC) для обоснованного выбора фильтров, их приобретения, снижения энергопотребления, стоимости оборудования, обслуживания и утилизации с помощью, например, диаграммы Eurovent [11].

11 Уровни освещенности

Освещение в чистом помещении должно находиться под контролем оператора или регулироваться устройствами контроля потребности для выключения освещения в помещении при отсутствии персонала. Для сложных работ следует рассмотреть местное светодиодное освещение, позволяющее уменьшить освещение в окружающем помещении. Освещение рабочего места должно быть таким, чтобы облегчить работу и снизить утомляемость.

12 Обучение

Персонал должен пройти подготовку по определению способов снижения расхода энергии, при необходимости. Следует определить и понять ограничения, действующие на предприятии. Подготовка персонала должна включать изучение:

a) действующих стандартов, правил, руководств и сводов правил для чистых помещений, относящиеся к предприятию;

Ь) специального и энергоемкого оборудования и процессов;

c) систем отопления и вентиляции как специфических потребителях энергии в чистых помещениях;

d) данных об источниках частиц в чистых помещениях;

e) расходов приточного воздуха и их влияния на энергопотребление чистых помещений.

Следует уделить особое внимание тому, что экономия энергии не должна приводить к нарушению общих требований к гигиене, поведению, здоровью и безопасности. Следует провести специальное обучение тому, как эксплуатировать объект в различных режимах работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, как контролировать чистое помещение в различных состояниях и что делать в случае отклонения от требований. Программа общей подготовки по чистым помещениям должна включать раздел по энергосбережению в чистых помещениях.

13 Эксплуатация

13.1 Следует подтвердить возможность работы при сниженных расходах воздуха в реальном масштабе времени при заданной численности персонала. Должно быть обеспечено правильное ношение предусмотренной одежды и выполнение порядка ее обработки с анализом и совершенствованием процессов обработки (ИСО 14644-5 [12]).

13.2 Поиск методов сбережения энергии должен быть направлен на определение реальных значений расходов воздуха или кратностей воздухообмена, времени восстановления чистых помещений и надежную работу. Для достижения этой цели следует решить три задачи:

- поддерживать проектный запас расходов воздуха;
- выполнить требования к персоналу, уборке и техническому обслуживанию;
- определить дополнительные способы экономии энергии, если возможно.

13.3 Следует утвердить инструкции по эксплуатации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, испытаниям и текущему контролю чистых помещений и регистрации данных.

13.4 В случае превышения заданных уровней концентрации частиц и других параметров, например, температуры и влажности, следует оформить документацию, в которой приведены:

- обозначение чистого помещения;
- число кондиционеров, обеспечивающих работу чистого помещения;
- данные о том, что проектный расход воздуха подтвержден испытаниями и принят для эксплуатации, где это требование является обязательным;
- данные периодического или непрерывного контроля концентрации частиц;
- результаты проверки уровней тревоги и предупреждения для всех параметров;
- таблица или диаграмма записи расходов воздуха и скоростей и
- случаи превышения концентрацией частиц уровней тревоги или предупреждения.

13.5 Для случая превышения концентрации частиц заданного уровня следует предусмотреть:

- порядок оповещения (кто кому докладывает), при необходимости;
- предпринимаемые действия для выяснения причины отклонения и ответственности за них;
- решения: улучшить уборку, увеличить расход воздуха или продолжать наблюдение.

14 Техническое обслуживание

Чистые помещения подлежат техническому обслуживанию по ИСО 14644-5 [12] с периодичностью, определяемой истекшим сроком эксплуатации системы.

Сокращение расходов воздуха в целях энергосбережения может потребовать следующих дополнительных мер для предупреждения роста концентрации частиц:

- текущего контроля по ИСО 14644-2 [3] и
- дополнительного технического обслуживания в соответствии с инструкциями производителя для обеспечения надежной работы систем вентиляции и кондиционирования.

Более жесткие требования могут быть указаны в инструкциях по техническому обслуживанию объекта, которые должны включать регулярный осмотр на предмет проскальзывания приводного ремня и засорения фильтра предварительной очистки. Как правило, более частый контроль нужен для обнаружения влияние уменьшенного объема воздушного потока.

Требования к техническому обслуживанию могут быть упрощены, если чистое помещение интенсивно эксплуатируется в течение длительного времени, например, можно увеличить периодичность контроля. Если используется интерактивная система управления зданием (BMS), частота проверок вручную может быть снижена. Следует учитывать влияние сезонных факторов (зима/лето) или внешних факторов, таких как выделение пыльцы весной.

15 Вывод из эксплуатации

Если планируется не использовать чистое помещение в течение очень длительного периода, или оно устарело и/или имеет низкую эффективность, следует рассмотреть вывод его из эксплуатации. Следует оценить возможное неблагоприятное воздействие на соседние помещения, например, трудности с поддержанием требуемых параметров окружающей среды, и применить методы снижения риска.

Приложение А
(справочное)

Интенсивность выделения частиц: расход воздуха и рабочий пример

А.1 Расчет расхода воздуха в чистых помещениях с неоднонаправленным потоком

Наибольшее влияние на концентрацию частиц в чистых помещениях с неоднонаправленным потоком воздуха оказывает расход воздуха и интенсивность выделения частиц персоналом и оборудованием. Фильтры очистки воздуха также оказывают влияние, но при использовании фильтров, обычно устанавливаемых в чистых помещениях, проскоком частиц через них можно пренебречь и для оценки концентрации частиц можно использовать формулу:

$$Q = \frac{D}{£ \cdot C}, \tag{А.1}$$

где С — заданная концентрация частиц в воздухе (частиц/м^3) в данном месте;

D — суммарная эмиссия частиц от персонала и оборудования (частиц/с);

Q — расход приточного воздуха (расход) (м^3 /с);

£ — коэффициент эффективности вентиляции (безразмерная величина).

Примечание — Формула А.1 основана на допущении «идеального смешивания» частиц с воздухом помещения, что в реальных чистых помещениях происходит редко. Для учета фактической картины перемешивания воздуха и эффективности различных схем потоков воздуха служит коэффициент эффективности вентиляции *г.* Коэффициент эффективности вентиляции можно определить с точки зрения эффективности воздухообмена *(АСЕ)* или эффективности удаления загрязнений *(CRE).* Выбор зависит от области применения и имеющихся данных. См. также библиографические ссылки [7], [8], [9], [13] и [14].

Величины С и *D* должны относиться к одному и тому же состоянию чистого помещения размеру частиц. В действующем чистом помещении можно измерить ряд параметров и определить интенсивность выделения частиц из источников загрязнения. Полученные данные можно использовать для оптимизации расхода приточного воздуха.

При использовании кратности воздухообмена ее можно рассчитать исходя из объема чистого помещения по формуле:

$$ACR = \frac{3600 \cdot D}{г \cdot C \cdot V} \tag{А.2}$$

где *ACR* — кратность воздухообмена в час, ч$^{-1}$;

С — заданная концентрация частиц в воздухе (частиц/м^3) в данном месте;

D — суммарная эмиссия частиц от персонала и оборудования (частиц/с);

V — объем чистого помещения (м^3).

Примечание 2 — Концентрация частиц в воздухе чистого помещения зависит от расхода воздуха, а не от кратности воздухообмена.

А.2 Эффективность вентиляции

А.2.1 Коэффициенты эффективности вентиляции

В формуле А.1 могут быть использованы два типа коэффициентов эффективности вентиляции Е. Это эффективность воздухообмена *АСЕ* и эффективность удаления загрязнений *CRE* [4]. Традиционно эффективность вентиляции определяется с помощью газов-индикаторов. Но в чистых помещениях на концентрацию газов-индикаторов влияет повторное попадание газа в помещение и целесообразно выполнять оценку по концентрации частиц с помощью счетчиков частиц. Кроме того, широко используются счетчики частиц, можно использовать частицы. См. также работу, выполненную Уайтом и его коллегами [18].

А.2.2 Эффективность воздухообмен (АСЕ)

Коэффициент эффективности воздухообмена АСЕ определен в документе ANSI/ASHRAE 129-1997 (RA2002) [15] как отношение номинальной постоянной времени к времени нахождения воздуха в данном месте. Однако Уайт и др. [18] показали, что когда загрязнение и воздух полностью смешиваются в начале теста на восстановление чистого помещения, то общая скорость восстановления чистого помещения будет равна кратности воздухообмена.

Таким образом, для чистых помещений *ACE* можно рассчитать по формуле, которая показывает, сколько чистого воздуха поступает в данное место по сравнению со средним значением для чистого помещения

$$ACE = \frac{ACR_m}{ACR_{tot}} \tag{A3}$$

где ACR_m — кратность воздухообмена вблизи данного места в чистом помещении, $ч^{-1}$;

$ACR_{[0{}}$ — кратность воздухообмена во всем чистом помещении, $ч^{-1}$.

Скорость восстановления в данном месте чистого помещения определяется по снижению концентрации загрязнений в этом месте по аналогии с чистым помещением по ИСО 14644-3. Общая кратность воздухообмена может быть получена из расхода воздуха и объема чистого помещения по формуле А.2.

Если смешивание воздуха в чистом помещении идеально, то индекс *ACE* равен 1. Если в место измерения поступает меньше чистого воздуха, чем в среднем в помещение, то индекс *ACE* ниже 1, а если больше, то он выше 1. При плохой вентиляции в качестве компенсации может использоваться низкое значение *ACE.*

На величину индекса *ACE* в существующих чистых помещениях влияет приток и вытяжка воздуха. При эффективных диффузорах, обеспечивающих хорошее смешивание приточного воздуха с воздухом помещения, правильным определением расхода воздуха в проекте и низких интенсивностях выделения загрязнений, индекс *ACE,* вероятно, будет между 0,7 и 1,3 (см. Lenegan [16]).

Следует отметить, что индекс *ACE* можно определять в одном или нескольких местах. Использование одного места является удовлетворительным, если источник аэрозольных загрязнений находится в этом месте, но если источники загрязнений находятся в разных местах, то следует найти наименьше значение *ACE.*

В большинстве чистых помещений основная проблема с загрязнением воздуха связана с персоналом, который перемещается по чистому помещению. В этом случае следует убедиться, что в критическое место поступает достаточное количество чистого воздуха, чтобы обеспечить выполнение требований к концентрации загрязнений.

А.2.3 Эффективность удаления загрязнений *(CRE)*

Альтернативную оценку эффективности вентиляции дает показатель эффективности удаления загрязнений *(CRE).* Этот показатель характеризует эффективность удаления частиц

$$CRE = \frac{C}{p_{avg}} \tag{A.4}$$

где C — общая концентрация частиц с размерами ом > 0,5 мкм в вытяжном воздуховоде чистого помещения, частиц/м^3;

C_{avg} — средняя концентрация частиц с размерами > 0,5 мкм в чистом помещении, частиц/м^3.

Величина *CRE* представляет собой эффективность притока воздуха в чистое помещение для разбавления загрязнений в нем и может использоваться для расчета дополнительного воздуха для помещений с неудовлетворительным притоком [4]. Эта величина находится в диапазоне от 0,3 до 1,0 в зависимости от области применения.

А.3 Эмиссия частиц в чистых помещениях

А.3.1 Общие положения

Для расчета расхода приточного воздуха следует задать концентрацию частиц в чистом помещении. Источниками частиц обычно являются персонал и оборудование. Интенсивность выбросов от этих двух источников следует суммировать.

А.3.2 Эмиссия от персонала

Персонал, как правило, является основным источником частиц. Определить интенсивность выделения частиц точно трудно, так как она зависит от индивидуальных особенностей человека, конструкции одежды для чистых помещений, природы тканей, используемых для изготовления одежды, и деятельности персонала. Одежда для чистых помещений является воздушным фильтром, который удерживает загрязнения, выделяемые кожей и одеждой человека. Лучшая одежда, например, из плотного полиэфирного материала, полностью закрывает персонал, выделяет минимум частиц и препятствует прониканию частиц через нее. Халаты менее эффективны, чем комбинезоны, поскольку частицы от персонала могут проходить под ними. При высокой активности персонала интенсивность выделения загрязнений повышается.

Типичные значения интенсивности выделения загрязнений приведены в [7], [8]. Однако реальные значения могут отличаться от этих чисел, поэтому, по возможности, следует определять фактические значения интенсивностей по методу приложения А.4.

А.3.3 Эмиссия частиц от оборудования

Эмиссия выделения частиц оборудованием варьируется в зависимости от его типа. Лучшим вариантом является получить информацию от изготовителя оборудования. В качестве альтернативы, общее значение интенсивности выделения частиц можно получить экспериментально по ИСО 14644-14 [17].

Для приближенного определения интенсивности выделения частиц используется формула:

$$E = C \bullet Q, \tag{A.5}$$

где E — интенсивность выделения частиц в секунду, части/с;

С — средняя концентрация частиц в помещении, частиц/м^3;

О — расход приточного воздуха, м^3/с.

Этот метод также может быть использован для учета персонала, работающего с оборудованием, и получения общей интенсивности выделения частиц от всех источников в чистом помещении.

А.4 Пример базового расчета расхода воздуха в чистом помещении с неоднонаправленным потоком

Рассматривается чистое помещение с неоднонаправленным потоком воздуха размерами 10 х 10 м и высотой 3 м (объем 300 м^3) классом 7 ИСО в эксплуатируемом состоянии, размеры частиц > 0,5 мкм и > 5,0 мкм.

Чистое помещение имеет высокий расход приточного воздуха 3,3 м^3/с (кратность воздухообмена 40 ч$^{-1}$). В нем регулярно превышаются требования заданного класса чистоты, и оно очень дорого в эксплуатации. В чистом помещении работают не более четырех человек и действует технологическое оборудование.

После моделирования и анализа методов вычислительной гидродинамики CFD опытный инженер по чистым помещениям рекомендовал следующие изменения:

- установить вихревые диффузоры на приточные фильтры вместо перфорированных;
- улучшить порядок ношения одежды: персонал должен носить полный комбинезон, капюшон, маску для лица и перчатки; и
- улучшить методы уборки.

После реализации этих изменений чистое помещение было испытано со значительно улучшенными результатами. В течение двух недель был реализован план мониторинга с использованием данных CFD (типичный пример применения для оценки расхожа энергии в чистых зонах (чистых помещениях, контролируемых средах, изолированных зонах) показан на рисунке 5.1 [5].

Был проведен анализ данных мониторинга для оценки интенсивности выделения частиц персоналом и оборудования в чистом помещении.

Получены следующие данные:

- 150 000 частиц/с для частиц с размерами > 0,5 мкм и
- 3 000 частиц/с для частиц с размерами > 5,0 мкм.

Эти числа характеризуют максимальную интенсивность выделения частиц при нормальной эксплуатации, но они должны быть увеличены с учетом коэффициента запаса, чтобы выполнить регулирование при испытаниях, как показано на рисунке Зив 6.4.

Основываясь на изменениях, внесенных в чистое помещение, и прогнозах CFD, в формуле (А.1), используется значение £, основанное на АСЕ, равном 0,7 и принят коэффициент запаса 1,5.

Применив формулу А.1 к интенсивности частиц каждого размера для С = 352 000 частиц/м^3 (частицы > 0,5 мкм) и С = 2 930 частиц/м^3 (частицы > 5,0 мкм), получаем:

- Q = 0,61 для частиц > 0,5 мкм и 1,46 для частиц > 5 мкм.

Умножение этих значений на коэффициент запаса 1,5 указывает на то, что при испытаниях можно использовать следующие значения расхода воздуха:

- 0,93 м^3/с (кратность воздухообмена 11 ч$^{-1}$) для частиц > 0,5 мкм и
- 2,2 м^3/с (кратность воздухообмена 26 ч$^{-1}$) для частиц > 5,0 мкм.

Исходя из худшего случая, расход воздуха для чистого помещения может быть уменьшен с 3,3 м^3/с до 2,2 м^3/с (сокращение на 1,1 м^3/с для первой корректировки по методу 6.4). Корректировка коэффициента запаса выполнена для оптимизации результата и оценки последствий до принятия окончательного решения.

А .5 Расчет потока воздуха для чистого помещения с однонаправленным потоком

Чистота чистого помещения с однонаправленным потоком воздуха зависит от скорости потока, а не от расхода воздуха или кратности воздухообмена. Чтобы уменьшить расход приточного воздуха и, следовательно, потребление энергии, следует оценить, действительно ли требуются низкие концентрации загрязнения, достигаемые системами с однонаправленным потоком воздуха, или достаточно системы с неоднонаправленным потоком. Там, где требуется однонаправленный поток воздуха, размер зоны с однонаправленным потоком должен быть сведен к минимуму, чтобы накрывать только критические области (ядро процесса). Этого можно достичь, используя устройства очистки воздуха. Скорость потока воздуха должна быть снижена при одновременном соблюдении требований к концентрации частиц или частиц, несущих микроорганизмы. Как правило, чем выше скорость потока воздуха, тем ниже концентрация аэрозольных загрязнений.

Следует учитывать следующие переменные:

a) количество загрязняющих веществ, выделяемых персоналом;

Ь) выделения от оборудования;

c) другие источники загрязнения воздуха.

При поиске более низкой скорости потока воздуха нужно учесть следующие требования к персоналу:

a) свести к минимуму его численность в помещении;

Ь) свести к минимуму часть их тел, находящихся в однонаправленном потоком воздуха;

c) свести к минимуму долю времени, в течение которого они находятся в однонаправленном воздушном потоке и

d) увеличить расстояние от персонала до открытого продукта и обеспечить защиту продукта во время его перемещения.

Нарушение воздушного потока персоналом и оборудованием увеличивает концентрацию загрязнения в критической зоне и также должно оцениваться. Следует учитывать передвижения персонала, а также перемещение оборудования, тепловое излучение и препятствия для воздушного потока.

В периоды малой активности или ее отсутствия скорость потока воздуха может быть снижена до 0,2 м/с — 0,3 м/с по предварительному согласованию с отделом контроля качества. Контроль и устранение проникания частиц должны подтверждаться счетом частиц во время работы и визуализацией потока воздуха (ИСО 14644-3) [6].

Приложение В
(справочное)

Возможности экономии энергии

Таблица В.1 — Возможности экономии энергии. Контрольный лист

Этап реализации	Элемент	Возможность	Действия	Возможный отрицательный эффект	Методы снижения риска	Ссылка
Оценка интенсивности выделения	Источник загрязнения	Избегать ненужных сложных решений в проекте	Определить все источники загрязнения и оценить их силу для оптимизации потока воздуха	Ошибки в оценке источников и/или интенсивности выделения загрязнений	Анализ процесса; литература, планирование экспериментов	Приложение А
Спецификация заказчика	Эксплуатационные требования	Не задавать ненужных требований	Указать требования к процессу (класс чистоты, время восстановления, перепад давления, температуру и относительную влажность, освещенность, персонал и ДР-)	Потеря гибкости при возможных изменениях в процессе	Установить небольшой разумный запас, дифференцировать параметры с учетом их критичности	5.1.6.9
	Требования к размерам объекта	Не задавать ненужных больших размеров	Указать размеры производственных зон, численность персонала и ДР-	Потеря гибкости при возможных изменениях в процессе	Установить небольшой разумный запас, учесть расширение площадей и систем вентиляции	5.2.6 Приложение F
	Наличие персонала	Оптимизировать требования к персоналу	Оптимизировать число людей для экономии места и уменьшения загрязнения частицами и микроорганизмами	Более высокая сложность операций	Более детальные инструкции и контроль	5.2.13
	Требования к одежде	Минимизировать выделения от людей	Задать вид одежды на основе технологических требований	Более высокая стоимость и — дискомфорт персонала		5.2
	Нагрузки от технологического оборудования	Снизить выделение тепла и влаги от оборудования	Учесть снижение выделения тепла и влаги при выборе оборудования	Нет	—	5.1.9
	Пригодность технологического оборудования	Снизить загрязнения от оборудования	Учесть пригодность оборудования к работе в чистых помещениях (ИСО 14644-14 [17])	Нет	—	

Продолжение таблицы В. 1

Этап реализации	Элемент	Возможность	Действия	Возможный отрицательный эффект	Методы снижения риска	Ссылка
Спецификация заказчика	Барьерные технологии	Свести к минимуму зоны с высокими классами чистоты	Рассмотреть барьерные технологии в спецификации, чтобы свести к минимуму зоны с высокими классами чистоты	Потеря гибкости, возможное усложнение процесса		5.1 Приложение F
Проект, пересмотр проекта, строительство	Однонаправленный поток воздуха	Снизить скорость потока воздуха	Снизить скорость при сохранении эффективности однонаправленного потока	Увеличение проникания частиц, уменьшение удаления частиц	Учет CFD в проекте. Небольшой разумный запас. Испытания дымом и контроль загрязнений и данных об окружающей среде	6.7.8 Приложение А
	Неоднонаправленный поток воздуха	Уменьшить расход воздуха	Рассмотреть уменьшение расхода воздуха, оценив источники загрязнения, эффективность вентиляции и тепловые нагрузки	Недостаточное разбавление частиц, наличие мертвых зон и плохой контроль температуры в помещении. Большое время восстановления	Учет CFD в проекте. Небольшой разумный запас. Испытания и контроль загрязнений и данных об окружающей среде	6.7.1
	Наружный воздух	Сокращение использования наружного воздуха	Рассмотреть оптимизацию наружного воздуха с учетом требований охраны труда, пожарной безопасности, охраны окружающей среды, технологии (вытяжки), утечек воздуха из помещения	Ухудшение условий охраны труда, охраны окружающей среды и контроля давления	Небольшой разумный запас. Испытания и контроль загрязнений и указанных факторов	6.10
	Расход вытяжного воздуха	Уменьшить вытяжку воздуха от технологического оборудования	Рассмотреть оптимизацию вытяжек за счет конструкции со снижением потребности в наружном воздухе	Ухудшение условий охраны труда, охраны окружающей среды		6.10
	Системы освещения	Выбор высокоэффективных систем освещения	Применять светодиодные, высокочастотные люминесцентные системы, датчики присутствия, компенсации дневного света	Нет		11
	Центральные кондиционеры вместо фильтр-вентиляционных	Максимальная эффективность вентиляции	С учетом применения выбрать систему рециркуляции воздуха для снижения потребления энергии вентиляцией	Максимизировать энергию вентилятора и/или минимизировать ее потребление		6, Приложение А и F

£ Продолжение таблицы В. 1

Этап реализации	Элемент	Возможность	Действия	Возможный отрицательный эффект	Методы снижения риска	Ссылка
Проект, пересмотр проекта, строительство	Возможность выключения и снижения мощности	Уменьшить расход воздуха в нерабочий период	Рассмотреть выключение и снижение мощности в конструкции кондиционера для работы в нерабочий период	Сложность системы вентиляции и кондиционирования, повышенный риск отказов	Учет CFD в проекте. Небольшой разумный запас. Испытания и контроль загрязнений и данных об окружающей среде	6.7.1
	Кондиционеры и вентиляционные установки	Использовать высокоэффективные компоненты и оптимизировать производительность	Оптимизировать кондиционеры и вентустановки для снижения энергопотребления: выбрать высокоэффективные вентиляторы, электродвигатели и приводы с регулируемой скоростью; указать низкие потери давления в фильтры и секциях. Указать целевые значения SFP	Увеличение стоимости строительства, размеров оборудования. Изменение производительности чиллера	Оптимизация размеров с учетом данных по КПД вентилятора. Пример: руководство по соблюдению требований по обслуживанию нежилых зданий и помещений (NBS)	10
	Фильтры очистки воздуха	Меньший начальный перепад давления	Предусмотреть предфильтры и финишные фильтры согласно «модели стоимости жизненного цикла фильтров очистки воздуха»	Нет	Правильный выбор фильтров; следование рекомендациям производителя по монтажу	10
	Воздуховоды и арматура	Оптимизация падения давления за счет конструкции	Предусмотреть воздуховоды с низким перепадом давления и автоматическим контролем, чтобы снизить потери энергии на всех участках	Нет	Проверить калибровку приборов	10.14
	Система управления зданием (BMS)	Улучшение управления энергопотреблением	Указать правильную схему BMS, чтобы избежать конфликтов между обогревом/охлаждением, увлажнением/осушителем	Нет	Проверить калибровку приборов и наладку систем	14
	Системы охраны окружающей среды	Контроль параметров для сокращения энергопотребления	Предусмотреть контроль температуры, влажности, давления, концентрации частиц и микроорганизмов в воздухе	Стоимость строительства	Оптимизировать число и расположение датчиков с помощью оценки рисков и CFD	13 14
	Активное управление	Сокращение расхода воздуха с учетом контроля загрязнений	Рассмотреть использование адаптивных систем управления для снижения энергопотребления	Недостатки в контроле загрязнения и параметров окружающей среды	Выбрать число и расположение датчиков с помощью оценки риска	8

Продолжение таблицы В. 1

Этап реализации	Элемент	Возможность	Действия	Возможный отрицательный эффект	Методы снижения риска	Ссылка
Испытания	Приемка, проверка	Проверка мер по снижению энергопотребления путем испытания	Использовать результаты испытаний для проверки эффективности мер по снижению энергопотребления	Нет	—	12.6
	Периодический контроль	Проверка мер по снижению энергопотребления	Использовать результаты контроля в течение длительного времени для проверки эффективности мер по снижению энергопотребления и оценки возможного остаточного запаса	Нет	—	12.4.12
Эксплуатация и техническое обслуживание	Компетентность операто-ра-обучение)	Улучшить обучение для снижения выделения загрязнений	Компетентность персонала способствует снижению концентрации аэрозольных частиц в чистых помещениях	Нет	—	12
	Текущий контроль	Предусмотреть контроль параметров окружающей среды для проверки мер по снижению энергозатрат	Непрерывный или частый контроль окружающей среды: температуры, влажности, давления, концентрации частиц и микроорганизмов в воздухе позволяет проверять эффективность мер по снижению энергопотребления	Нет	—	13.14
	Сниженный режим работы	Предусмотреть сниженный режим работы систем вентиляции в нерабочие периоды	Системы вентиляции могут работать при сниженном расходе воздуха в нерабочий период	Несанкционированный вход в чистое помещение	Повысить квалификацию персонала, особенно занятого техническим обслуживанием и очисткой. Предусмотреть системы контроля доступа и тревоги	7.1
	Отключение	Документированное отключение систем вентиляции в нерабочие периоды	Системы вентиляции могут быть отключены в нерабочие периоды при отсутствии людей	Несанкционированный вход в помещение. Риск общего загрязнения и выделения твердых частиц из фильтров при повторном включении и повышении точки росы	Повысить уровень подготовки персонала, особенно занятого техническим обслуживанием и уборкой. Предусмотреть системы контроля доступа тревоги. Требуется оценка риска	7.2

Окончание таблицы В. 1

Этап реализации	Элемент	Возможность	Действия	Возможный отрицательный эффект	Методы снижения риска	Ссылка
Эксплуатация и техническое обслуживание	Утечка в чистом помещении	Обеспечить герметичность в течение эксплуатации	Обеспечение герметичности с течением времени позволяет избежать увеличение расхода наружного воздуха	Нестабильность регулирования давления при минимальном расходе воздуха на утечки	Обеспечить контроль минимального расхода воздуха на утечки, например, за счет регулируемых заслонок	14
	Техническое обслуживание	Сохранить энергоэффективность систем вентиляции	Правильное техническое обслуживание позволяет свести к минимуму падение давления на фильтрах и максимально повысить эффективность систем вентиляции	Нет	—	14
	Уборка и эксплуатация	Снизить загрязнения в помещениях за счет уборки и эксплуатации	Правильные уборка и эксплуатация позволяют снизить уровень загрязнений и поддерживать снижение энергопотребления	Нет	—	14
Утилизация чистых помещений (вывод из эксплуатации)	Вывод из эксплуатации	Прекратить эксплуатацию устаревшего чистого помещения и/или чистого помещения с низкой эффективностью	Энергосбережение за счет вывода из эксплуатации морально устаревшего и/или малоэффективного чистого помещения. Необходимо оценить влияние на соседние или связанные помещения	Сложности с поддержанием требуемых параметров (температура, влажность, давление) в смежных помещениях	Выполнить проект или внесение изменений	15

Приложение С
(справочное)

Оценка воздействия

В приложении В приведен контрольный перечень факторов, которые следует рассматривать как средства оптимизации расхода энергии с возможным отрицательным эффектом и методы сведения к минимуму влияния любых изменений. К таким изменениям могут относится модернизация системы вентиляции и кондиционирования воздуха, изменение планировочных решений и технологических потоков, режимов эксплуатации, методов уборки и технического обслуживания.

Следует выполнить тщательную оценку воздействия любых предложений по оптимизации энергии и последствий в плане соблюдения фундаментальных принципов установления контроля и подтверждения контроля.

При оценке воздействия требуется учесть следующие факторы:

1) загрязнения;
2) изменения в персонале и неопределенность, учитывая, что персонал — сильный источник загрязнений:
- люди являются исключительно изменчивым источником загрязнений и
- следует учитывать такие важные факторы как плотность нахождения людей, одежда и методы уборки;
3) изменения в процессе.

Методы определения критических точек контроля загрязнений в чистом помещении приведены в [19], [20] и [28].

Любые изменения должны быть согласованы заранее.

Приложение D
(справочное)

Сравнительный анализ показателей эффективности

D.1 Общие положения

Чистые помещения относятся к наиболее энергоемким типам помещений из-за высоких расходов воздуха, требований к фильтрам и необходимости поддерживать перепад давления воздуха.

Существует много методов обеспечения энергоэффективности чистых помещений в пределах одной отрасли и в различных отраслях. Вполне возможно, что руководители объектов с низкой эффективностью не располагают средствами для оценки расходов энергии на удаление загрязнений в чистых помещениях, точнее для определения расходов энергии на удаление загрязнений с помощью систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

В приложении D приведен порядок сравнения эксплуатационных характеристик чистого помещения в течение времени с другими чистыми помещениями с такими же требованиями к чистоте. Приложение дает шкалу для сравнения энергопотребления систем вентиляции и кондиционирования воздуха в чистых средах с аналогичными требованиями. Показатели энергоэффективности (EnPI) предназначены для сравнения одного объекта с другим, а также для оценки, контроля и управления уровнем энергоэффективности данного объекта с течением времени; или установления цели для нового строительства. В приложении рассматриваются только вопросы, специфические для чистых помещений (удаление загрязнений). Общие решения по нагреву, охлаждению, увлажнению и осушению воздуха рассматриваются в стандартах отоплению, вентиляции и кондиционированию, включая EnPI. Предложенные значения EnPI основаны на данных Национальной лабораторией Лоуренса Беркли, опубликованных в журнале ASHRAE, том 53, выпуск 10 [21], VDI 2083-4.2 [22], BS 8568 [23] и приведенных в ИСО 50006 [24].

D.2 Область применения

Показатели предназначены для применения во всех производственных зонах, к которым установлены требования стандартами серии ИСО 14644. К таким зонам относятся чистые помещения, зоны и внутренний объем оборудования, чистые рабочие места (изоляторы, RABS, боксы с нисходящим потоком, шкафы с однонаправленным потоком и др.). Исключениями являются офисы, туалеты, другие коммунальные удобства, склады, мастерские, общие коридоры и другие не относящиеся к чистым производственные и исследовательские зоны, даже если они расположены внутри классифицированных зон.

D.3 Контролируемые показатели и руководства

Существуют три основных показателя энергоэффективности (EnPI):

1) Мощность на удаление загрязнений *(PICR):* потребление энергии системой вентиляции и кондиционирования в данный момент времени на один квадратный метр площади пола. Это является долей мощности на работу вентиляторов в эксплуатируемом состоянии (включая потери энергии в электрических установках), разделенные на площадь пола чистого помещения. Этот показатель разделяется на два вспомогательных показателя: коэффициент полезного действия (КПД вентилятора) и нормализованный расход воздуха (D.4). Может рассматриваться общее значение *PICR,* включающее *PICR* для всех систем, или части систем для рассматриваемых зон.

2) Удельная мощность по удалению загрязнений *(EICR)* — расход энергии системами вентиляции и кондиционирования на удаление загрязнений на один квадратный метр площади в год. Этот показатель учитывает регулировки, выключения, применение прогрессивных методов регулирования (D.4).

3) Удельная мощность, потребляемая чистыми помещениями (EI): расход энергии на один квадратный метр пола в год, включая нагрев, охлаждение, увлажнение, осушение, освещение и др. Этот показатель включает эффективность системы получения энергии, экономию энергии, влияние конструкции здания, его расположения и внешнюю подготовку воздуха. Этот показатель рассмотрен в ИСО 50006 [24] для всех помещений. В данном случае показатель учитывает только энергию, необходимую для чистых помещений. При его определении следует руководство, по которому он определяется (EnB). Этот показатель является величиной EnPI в данной точке времени в прошлом периоде эксплуатации чистого помещения. По этому значению EnB можно выполнять периодические проверки и установить новые цели в экономии энергии.

D.4 Удельная мощность на удаление загрязнений *(PICR)*

Значение *PICR* следует определять для всех кондиционеров, обслуживающих чистые помещения, чистых зон, оборудования с чистыми зонами и др. Это относится к установкам подготовки наружного воздуха, рециркуляционным кондиционерам и вытяжным установкам, но не ограничивается ими.

Чтобы определить этот показатель для конкретной системы потребления энергии вентиляторами, следует знать площадь пола чистого помещения. Деление общей потребляемой вентиляторами мощности на площадь пола дает удельную мощность на удаление загрязнений

$$PICR = \frac{Z^{p}_{e}}{A} \qquad (D.1)$$

где A — площадь пола чистого помещения, м^2;

$PICR$ — электрическая мощность вентиляторов, кВт/м^2;

XP_e — сумма электрических мощностей вентиляторов кВт.

Этот показатель также можно определить по двум вспомогательным показателям: удельной мощности вентилятора *SFP* и нормализованному потоку воздуха Q_N. Преимуществом этих двух показателей является то, что они дают раздельно:

- эффективность как потребление энергии для движения 1 м^3 воздуха через систему вентиляции и кондиционирования и
- эффективность как количество воздуха, необходимое для удаления загрязнений с 1 м^2 чистого помещения.

Для обоих показателей меньшее значение показывает меньшее потребление энергии.

а) Удельная мощность вентиляторов *(SFP)*

Следует определить величину *SFP* для всех кондиционеров, обслуживающих чистое помещение, чистую зону, оборудование с чистой зоной и др. Это включает установки подготовки наружного воздуха, рециркуляционные кондиционеры и вытяжные установки, не ограничивается ими. *SFP* определяется по расходу воздуха и расходу электроэнергии каждой установкой в эксплуатируемом состоянии. Расход воздуха следует определять воспроизводимым общепринятым методом для получения сравнимых результатов, например, трубками Пито и датчиками дифференциального давления, термоанемометрами или датчиками дифференциального давления на вентиляторе с использованием коэффициента К, определенного по специальной кривой вентиляции.

Потребление энергии может быть определено амперметром или вольтметром. Следует учесть отношение активной и реактивной мощности, cos q>, которое указано на маркировке двигателя. При нагрузке двигателя менее 70—80 % от номинальной мощности следует специально измерить cos ср. Если вентилятор имеет частотное управление, то мощность можно увидеть на дисплее блока управления или эти данные могут быть внесены в систему управления энергией здания.

После того, как расход воздуха и мощность определены, можно рассчитать *SFP* делением мощности в кВт на расход воздуха в м^3/с

$$SFP = \frac{P_e}{Q}, \qquad (D.2)$$

где P_e — электрическая мощность вентиляторов в кВт;

Q — расход воздуха в м^3/с;

SFP — удельная мощность вентилятора в кДж/м^3.

Величина «ватты на литр в секунду» может заменить кДж/м^3, если мощность выражены в ваттах, а расход воздуха в литрах/с.

Примечание — Показатель *SFP* дает описание расхода всей энергии, потребляемой вентиляторами системы в терминах перепадов давления. Несмотря на то, что вторичный показатель может быть выражен в паскалях (давление), нельзя измерять только давление на вентиляторах для определения *SFP.* Измерение только дифференциального давления на вентиляторах не учитывает потерь в приводе, например, в подшипниках, ременной передаче и VSD.

Ь) Удельный расход воздуха

SEP отражает, насколько эффективным является движение воздуха, но не учитывает расход воздуха на разбавление и вытеснение загрязнений в чистом помещении. Поэтому нужна удельная картина, показывающая расход воздуха, требуемого для чистого помещения. Для получения полной картины используется показатель, равный делению расхода воздуха на площадь помещения. Это может быть определено первичным измерением на всех местах притока воздуха в эксплуатируемом состоянии, разграничением чистых помещений по классам чистоты и делением общего расхода воздуха для каждого класса на площадь пола. Альтернативным методом являются данные баланса воздуха при испытаниях. Это дает удельный расход воздуха Q_N

$$Q_N = \frac{Q}{A}, \tag{D.3}$$

где A — площадь пола чистого помещения, м^2;

Q — расход воздуха, м^3/с;

Q_N — удельный расход воздуха, (м^3/с)/м^2.

D.5 Удельная мощность вентилятора на удаление загрязнений *(EICR)*

PICR позволяет проектировать эффективные системы вентиляции и кондиционирования, благодаря чему расход энергии в эксплуатации низок. Показатель *PICR* позволяет сравнивать чистые помещения в эксплуатируемом состоянии. Однако он не учитывает возможности снижения энергии, когда чистое помещение находится в нерабочем состоянии или когда применяется адаптивный контроль в зависимости от выделения частиц в чистом помещении. Снижение расходов воздуха, когда разбавление загрязнений не требуется, существенно сокращает расход энергии. Этот подход может применяться в оснащенном состоянии чистого помещения и является основным принципом адаптивного контроля. Подход, аналогичный применяемому для показателя *PICR,* используется для показателя *EICR.* Этот показатель определяется суммированием расхода энергии на все системы вентиляции, обслуживающие чистое помещение, чистую зону или оборудование за год и делением этой величины на площадь чистого помещения, зоны или оборудования. Потребление энергии вентиляторами может быть определено разными способами. Вентиляторы с визуализацией скорости вращения дают информацию о расходе энергии визуально, либо через систему мониторинга. При отсутствии такого контроля, расход энергии в год составит величину, равную произведению 8 760 (часов/год) на *SFP.* В режиме работы, когда вентиляторы периодически отключаются и они не оборудованы системой учета расхода энергии, следует вести учет рабочих часов. При переменном режиме работы вентиляторов и управлении расходом воздуха в зависимости от условий, ведется учет расхода энергии для определения показателя *EICR.* Этот показатель следует определять не реже одного раза в год, но рекомендуется это делать чаще для получения более точных данных. Независимо от метода, следует рассчитывать этот показатель делением общего расхода энергии на удаление загрязнений на площадь пола классифицируемой зоны.

Используя удельный расход Q_N по D.4, перечисление Ь), можно определить величину *EICR.* Но вместо удельной мощности вентилятора, используется удельное потребление энергии

$$SFE = \frac{E_e}{Q} \tag{D.4}$$

где E_e — электрическая энергия, потребляемая вентиляторами в год, кВт ч;

Q — расход воздуха в эксплуатируемом состоянии, м^3/с;

SFE — удельное потребление энергии вентилятором в год, кВт ч/(м^3/с).

Замена величины *SFP* для показателя *SFE* в формуле D.1 дает величину *EICR*

$$EICR = SFE \cdot Q_N, \tag{D.5}$$

где *EICR* — удельное потребление энергии вентилятором для удаления загрязнений, кВт ч/м^2;

Q_N — удельный расход воздуха, (м^3/с)/м^2;

SFE — удельное потребление энергии вентилятором в год, кВт-ч/(м^3/с).

На практике применяется величина *EICR* для каждой системы вентиляции и кондиционирования отдельной зоны, например, *EICRp,nn* системы подготовки наружного воздуха, системы с рециркуляцией и вытяжной системы (систем). Если система работает 24 ч в сутки семь суток в неделю, то величина *EICR* может быть определена умножением величины *PICR* на 8 760 ч/год. Аналогично этому следует учесть класс чистоты ИСО и характер процесса. Например, общее потребление энергии в кВт на 1 м^2 площади чистого помещения класса 6 ИСО полупроводникового производства может быть обозначена как $E/C/?_{semicon}@|_{SO6}$. Неклассифицированным зонам, обслуживаемым той же системой вентиляции и кондиционирования, например, офисам, складам и другим помещениям, следует присваивать отдельные обозначения.

D.6 Удельный расход энергии — Energy intensity (EI)

Этот основной показатель проекта определяется делением общего потребления энергии чистым помещением, чистой зоны или установки очистки воздуха на обслуживаемую площадь. Эти данные затем сортируются в зависимости от класса чистоты и особенностей чистого помещения. Это позволяет обмениваться информацией между различными отраслями, использующими чистые помещения классов 3 ИСО — 9 ИСО в эксплуатируемом состоянии. Если нет данных об общем потреблении энергии чистым помещением, то могут использоваться данные из общепринятых источников, например, счетов на оплату электроэнергии (см. методическое руководство ASPEC-ADEME-EDF [5]) для предлагаемых подходов оценки удельного расхода энергии EI чистыми помещениями.

Этот показатель учитывает все факторы без детализации, на что расходуется энергия. Он обращает внимание инженера и лица, ответственного за эксплуатацию чистого помещения, находить места с наибольшим потреблением энергии для обеспечения эффективности в этих зонах (что относится к основным обязанностям инженера). Весь анализ должен выполняться для всего года — 8 760 ч.

Для сравнения с основными показателями энергопотребления следует учитывать погодные условия. При необходимости данные по расходу энергии могут быть приведены к погодным условиям (например, времени работы системы отопления и охлаждения), если они оказывают существенное влияние на подготовку наружного воздуха и расход воздуха. При отсутствии другой информации могут использоваться данные за прошлые годы.

Приложение Е
(справочное)

Методы минимизации потерь на избыточное отопление или охлаждение

Е.1 Отопление

Следует:

a) использовать энергоэффективную систему вентиляции и кондиционирования чистых помещений с рециркуляцией воздуха;

Ь) минимизировать удаление избытков теплоты от технологического оборудования средствами вентиляции и кондиционирования;

c) контролировать число людей в помещении;

d) сократить поступление тепла в чистое помещение:

- от конструкции чистых помещений (полы, перегородки и потолки),
- солнечного тепла через окна в наружных стенах здания (прямо или косвенно),
- тепловыделение от оборудования и любых предметов внутри чистого помещения,
- приток тепла от освещения в чистых помещениях,
- явные и скрытые тепловыделения от операторов, работающих в чистом помещении и
- нагрузки от наружного воздуха.

e) изолировать конструкцию чистого помещения, при необходимости;

f) использовать светоотражающие пленки на стеклах или внешнем солнцезащитном остеклении;

д) размещать горячее или холодное технологическое оборудование за пределами чистого помещения (полностью или частично);

h) вентилировать оборудование, находящееся в помещении [26];

i) сократить расход наружного воздуха в зависимости от внешних условий и требуемого давления в помещении.

Е.2 Охлаждение

Следует:

a) сократить расход захоложенной воды за пределами часов пикового потребления;

Ь) использовать эффективные системы охлаждения или системы с непосредственным испарением хладоагента (эти системы обеспечивают значительную экономию энергии в небольших чистых помещениях и в больницах [27];

c) применять современные винтовые компрессоры с частотным управлением, которые обеспечивают низкое потребление энергии в периоды малой нагрузки и хороший контроль;

d) при использовании чиллеров с воздушным охлаждением предусматривать двойной теплообменник для свободного охлаждения, чтобы наружный воздух шел в обход при низкой температуре наружного воздуха;

e) предусматривать разделение контура охлаждения (отвод явного тепла) от охлаждения по скрытой теплоте при регулировании влажности в больших помещениях.

Примечание 1 — Контур охлаждения с отводом явного тепла работает при более высоких расходах потока и обратной температуры воды, чем контур охлаждения по скрытой теплоте. Осушение с помощью контура по скрытой теплоте обычно применяется при подготовке наружного воздуха. В охладителях должна быть достигнута точка росы для конденсации влаги из наружного воздуха. С этой целью температуры воды на входе охладителя должна быть, например, 6 °С на входе охладителя и 12 °С на выходе.

Охлаждение по явной теплоте обычно применяется в системах с рециркуляцией, поскольку воздух уже подготовлен и нет необходимости конденсации влаги. Поэтому охладители могут работать при более высоких температурах, например 12 °С на входе и 16 °С на выходе. Чем выше температура в охладителе, тем сильнее конденсация и температура испарения и выше эффективность охлаждения. Таким образом, можно оптимизировать коэффициент производительности СоР системы охлаждения и сократить расход энергии за счет минимизации скрытого охлаждения и максимизации явного охлаждения

Примечание 2 — Рекуперация тепла от систем с конденсированной водой может использоваться в системах кондиционирования, подогрева, отопления помещений или предварительного нагрева в бытовых системах водоснабжения.

Примечание 3 — Система с непосредственным теплообменом (DX system) состоит из четырех элементов: испарителя, компрессора, конденсатора и устройства контроля теплового расширения. Испаритель располагается в приточном воздуховоде и поглощает тепло в процессе испарения хладоагента, протекающего в нем. Затем хладоагент поступает в компрессор, который сжимает его, вызывая конденсацию в конденсаторе и выделение тепла, полученного от приточного воздуха. Конденсированный жидкий хладоагент затем перетекает через устройство контроля теплового расширения, которое управляет потоком и давлением хладоагента, направляемого снова в испаритель.

Приложение F
(справочное)

Уменьшение площади критической зоны

Перерасход энергии, вызванный ненужным увеличением размеров чистых помещений, может быть сокращен за счет сведения к минимуму размеров критической зоны с очень высокими требованиями к чистоте. В этом случае расход ультрачистого воздуха существенно уменьшается. Это относится как к проектам новых чистых помещений, так и анализу существующих.

Данный пример относится к фармацевтическому производству. Обычно чистое помещение имеет зону для наиболее ответственных операций. Воздушный шлюз служит для разделения зон A, B, C и D. Принцип работы этих воздушных шлюзов предусматривает изолирование персонала и материалов, что требует больших площадей для каждого воздушного шлюза.

Может быть использовано более эффективное решение, когда размеры материала, перемещаемого из неклассифицированной зоны в зону B, уменьшены. Показанное на рисунке F.1 решение сочетает вентилируемый бокс класса C с воздушным шлюзом C/B.

Для сравнения на рисунке F.2 показано обычное чистое помещение.

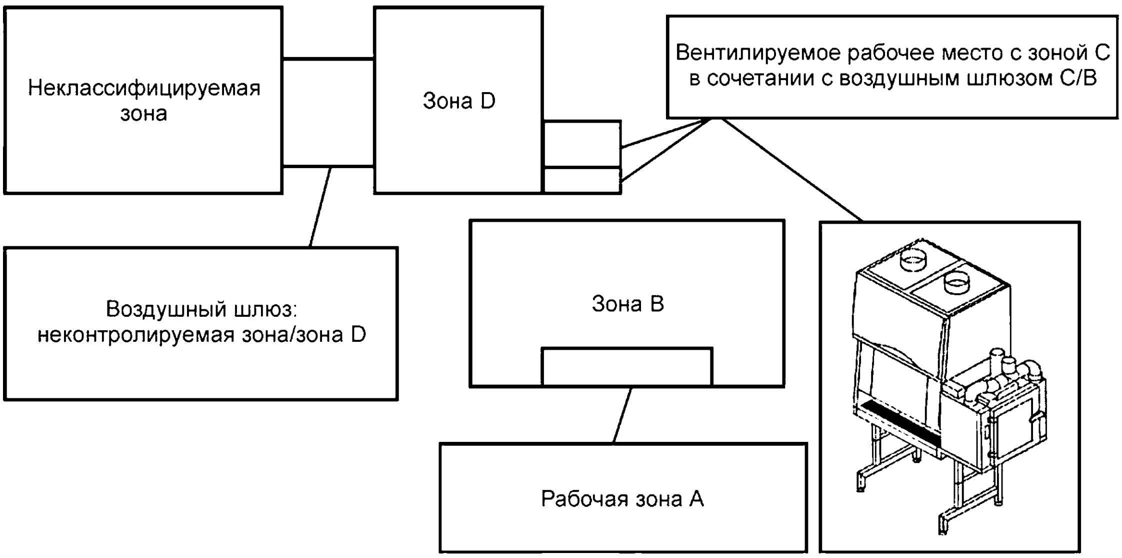


Рисунок F.1 — Вентилируемый бокс класса C в сочетании с воздушными шлюзами

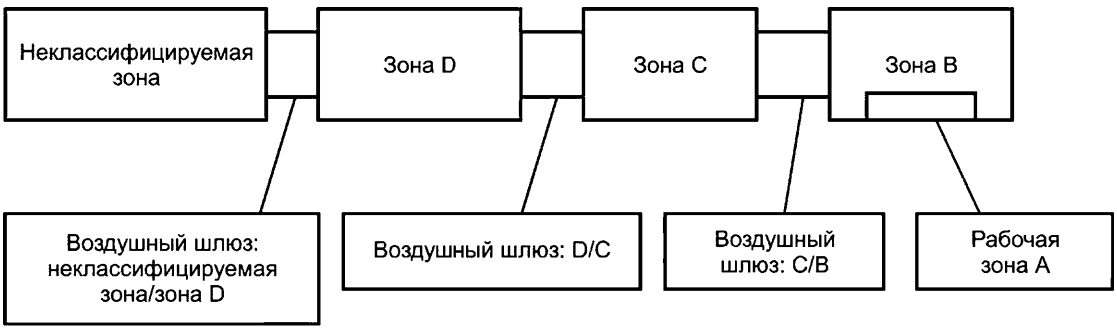


Рисунок F.2 — Обычное чистое помещение

Примечание — Данное приложение дает основное направление, которое требует полной инженерной оценки до внесения изменений, см. также ASHRAE Journal 2008 [25] и ЕН 13053 [26].

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 50001	IDT	ГОСТ Р ИСО 50001—2012 «Система энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] ISO 14644-7:2004, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part* 7: *Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and mini-environments)*

[2] ISO 14644-1:2015, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*

[3] ISO 14644-2, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration*

[4] Mundt E., Mathisen H. M., Nielsen P.V., Moser A. REHVA Guidebook No 2: Ventilation Effectiveness, Brussels: Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations (REHVA). 2004

[5] ASPEC-ADEME-EDF Guide. Energy performance in clean zones (cleanrooms, Controlled environments, contained areas), France: ASPEC-ADEME-EDF, December 2016

[6] ISO 14644-3, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 3: Test methods*

[7] Ljungqvist B. & Reinmuller B. People as contamination Source, Dispersal Chamber Evaluations of Clothing Systems for Cleanrooms & Ultraclean Operating rooms, Gothenburg Sweden: Department of Energy and Environment Chalmers University of Technology, 2014 ref D2014:01

[8] Romano F., Lungqvist B., Reinmuller B., Gusten J., Joppolo C. M. Performance test of technical cleanroom clothing systems, Milan: Dipartamento di Energia, Politechnico di Milano, and Gothenburg Chalmers University of Technology. 2016

[9] CAMFIL FARR. Clean Room Design Standards and Energy Optimization. Stockholm, Sweden: Camfil Farr, 2012

[10] Fedotov A. (2016). Air change rates for cleanrooms with non-unidirectional airflow. Clean Air and Containment Review, April Issue 26, and 34, pp. 12—20

[11] EUROVENT. Eurovent 4/11: Energy Efficiency Classification of Air Filters for General Ventilation Purposes, Brussels: Eurovent, 2014

[12] ISO 14644-5, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 5: Operation*

[13] Sun W. ed. Development of Cleanroom Required Airflow Rate Model Based on Establishment of Theoretical Basis and Lab Validation. ASHRAE Transactions. Atlanta, GA: ASHRAE. 2010

[14] White W., Eaton T, Whyte W.M., Lenegan N., Ward S., Agricola K. (2017). Calculation of air supply rates and concentrations of airborne contamination in non-UDAF cleanrooms. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 22(4), pp. 126—138, http://eprints.gla.ac.Uk/157532/1/157532.pdf

[15] ANSI/ASHRAE Standard 129—1997(RA2022). Measuring air-change effectiveness. American National Standards Institute, USA

[16] Lenegan N. (2014). Diffuser performance in cleanrooms. Clean Air and Containment Review, Issue 18, pp. 8—14

[17] ISO 14644-14, Cleanrooms and associated controlled environments — Part 14: Assessment of suitability for use of equipment by airborne particle concentration

[18] White W., Ward S., Whyte W.M., Eaton T. (2014). Decay of airborne contamination and ventilation effectiveness of cleanrooms. International Journal Ventilation, 13(3) pp. 1—10. Availableat http://eprints.gla.ac.Uk/100819/1/1000819i.pdf

[19] INTERNATIONAL CONFERENCE OF HARMONIZATION OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR REGISTRATION OF PHARMACEUTICALS FOR HUMAN USE (ICH). *Quality Guidelines: Q9 Quality Risk Management.* ICH. 2010

[20] ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines

[21] Mattew P., Tschudi W., Sartor D., Beasley J. Cleanroom energy efficiency: Metrics and Benchmarking. Published in ASHRAE Journal, v. 53, issue 10, 2010

[22] DIN, VDI 2083-4-2-2011, Cleanroom Technology — Energy Efficiency

[23] BS 8586:2013, Cleanroom Energy — Code of practice for improving energy efficiency in cleanrooms and clean air devices

[24] ISO 5006, Energy management systems — Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) — General principles and guidelines

[25] Sun W. Conserving Fan Energy in Cleanrooms. ASHRAE Journal. Atlanta, GA: ASHRAE. 2008

[26] EN 13053-A1:2011, Ventilation for buildings — Air handling units — Rating and performance for units, components and sections

[27] AMECICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS INC. (ASHRAE) Handbook — HVAC Applications. Chapter 18. Atlanta, Georgia, USA. 2015

[28] INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (IEST). RPCC0112.3: Considerations in Cleanroom Design. Schaumburg, Illinois, USA:IEST. 2015

УДК 620.2:006.354 ОКС 13.040.01
19.020
07.030

Ключевые слова: чистые помещения, контролируемые среды, оборудование, классификация чистоты, счетчик частиц, концентрация частиц, пригодность к использованию

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *С.В. Смирнова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 13.04.2023. Подписано в печать 10.05.2023. Формат 60x84$^1/_8$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru