

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук,
доцента Уляшевой Веры Михайловны на диссертационную работу
Чернякова Евгения Вадимовича «Повышение энергоэффективности
систем подготовки и распределения воздуха чистых помещений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Диссертационная работа состоит из введения, 6-ти глав и общих выводов, содержит 165 страниц машинописного текста, в том числе 55 рисунков, 15 таблиц и 5 приложений. Библиография включает 114 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Актуальность темы

Диссертация посвящена разработке энергоэффективных систем вентиляции и кондиционирования воздуха для помещений с наиболее высокими требованиями к параметрам воздушной среды. Во многих отраслях производства в настоящее время происходит качественное изменение технологических процессов, связанное с повышением уровня промышленной чистоты объектов. Эта тенденция сопровождается значительными капитальными и эксплуатационными затратами, в частности увеличением затрат на системы вентиляции и кондиционирования воздуха. В некоторых случаях эти затраты становятся соизмеримы с затратами на производство продукции. Таким образом, исследования в области совершенствования систем обеспечения микроклимата чистых помещений являются актуальными.

Краткое содержание работы

В основу работы заложены экспериментально-аналитические исследования, всесторонне характеризующие проблему для оценки достоверности окончательных выводов, полученных путем комплексных теоретических, лабораторных и натурных исследований процессов тепловоздухообмена, включая построение численных моделей. Проведено обобщение и классификация полученных результатов и их сопоставление с имеющимися данными других отечественных и зарубежных исследователей.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследований; определяются цель и задачи исследований; обозначаются объект и предмет исследований; излагаются основные положения научной

новизны, теоретическая и практическая значимость результатов; приводятся сведения об апробации работы и публикациях.

Проведенный *в первой главе* детальный анализ научных и технических достижений в области создания и поддержания нормируемых условий воздушной среды в чистых помещениях показал, что наибольшее распространение получили системы кондиционирования, основанные на применении рециркуляции воздуха. Однако в чистых помещениях при работе с веществами, представляющими опасность химического или бактериологического загрязнения, такие системы во многих случаях недопустимы. Одновременно указывается, что прямоточные системы требуют значительных эксплуатационных затрат, что обуславливает своевременность исследований, связанных с повышением энергоэффективности прямоточных систем кондиционирования воздуха. Важным является обзор работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных организации воздухообмена в чистых помещениях. Автором достаточно корректно обоснованы достоинства и недостатки известных систем подготовки и распределения воздуха в чистых помещениях, на основании чего выявлена необходимость дальнейших исследований для совершенствования принципов организации воздушного режима в рассматриваемых помещениях.

Во второй главе представлены предложенные автором энергоэффективные схемы установок кондиционирования воздуха (УКВ) для теплого и холодного периодов года, отличающиеся включением стандартных теплообменников УКВ в единый гидравлический контур парокомпрессионной холодильной машины. Приведена инженерная методика расчета основных показателей авторской схемы. Детально проанализированы достоинства и недостатки предлагаемой автором схемы установки кондиционирования в сравнении с техническими решениями на основе аппаратов утилизации теплоты и переохлаждения хладагента. В настоящее время заявка автора на выдачу патента на изобретение находится в стадии экспертизы по существу.

В третьей главе представлен анализ численных методов расчета турбулентных течений и целесообразности применения современных методов вычислительной гидродинамики для расчета воздухораспределения в чистых помещениях. На основании подробного анализа моделей

турбулентности обосновано использование для расчета воздушного режима в чистых помещениях двухпараметрической модели турбулентности $k-\varepsilon$.

В четвертой главе автором проведены численные исследования для установления связи скорости движения воздуха и перемещения аэрозольных частиц. В работе использованы программные комплексы Ansys ICEM-CFD, Ansys GAMBIT и Ansys FLUENT. Созданная математическая модель чистого помещения соответствует реальным объектам - лаборатории наноцентра Венского технического университета (ZMNS - TUW), чистым помещениям Гонконгского университета науки и технологии (NFF - HKUST) и Швейцарской высшей технической школе Цюриха (FIRST - ETH Zurich), экспериментальному чистому помещению компании Cleanroom Technology Austria GmbH, в которых автор участвовал в проведении исследований. Учитывая особенности влияния перемещения оператора на состояние воздушной среды, автором предложено выделить 6 характерных зон, для которых созданы отдельные расчетные сетки с использованием метода граничной коррекции. Для создания динамической сетки автором разработана специальная функция, описывающая характер движений оператора. Данные о поступлении индикаторных аэрозольных частицах вводятся специальными файлами. Результаты численного моделирования позволили выявить характер влияния аэродинамического режима чистого помещения на эффективность удаления индикаторных частиц.

В пятой главе обоснованность результатов, выдвинутых автором в рамках численного моделирования, доказана сопоставлением с данными натурального эксперимента, проведенного в экспериментальном чистом помещении. Для имитации движений оператора использован механический манекен. Достоверность экспериментальных данных обеспечена использованием современных средств и методик проведения исследований. Приведена подробная методика обработки результатов измерений. Следует особо отметить сложность, в первую очередь в организационном плане, проведенных автором натурных исследований аэродинамики чистого помещения.

В шестой главе экономически обосновано применение предложенной автором схемы кондиционирования. Оценены экономические показатели оптимизации скорости приточного воздуха.

Заканчивая общий анализ диссертационной работы, можно отметить, что по содержанию, объему теоретических, лабораторных и натурных

исследований, по актуальности поставленных и решенных новых инженерных задач, по достоверности полученных результатов она является законченным квалификационным научным исследованием. Все поставленные задачи исследований решены и обоснованы в полном объеме.

**Степень обоснованности научных положений,
выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена тем, что в диссертации использованы общепринятые современные научные подходы к математическому моделированию процессов тепло-воздухообмена в помещениях; для разработки численной модели использованы данные первичных собственных натурных исследований и опытных данных других авторов; экспериментальные исследования выполнены с применением современных средств измерений, а также апробацией и практическим использованием предложенной автором схемы энергоэкономичной прямоточной установки подготовки воздуха для чистых помещений при работе с веществами, представляющими опасность химического и биологического загрязнения.

**Достоверность и новизна научных положений,
выводов и рекомендаций**

Достоверность проведенных исследований подтверждена принятыми автором достаточно надежными и проверенными методиками. Проведенные испытания выполнены с помощью приборной базы Венского технического университета и Гонконгского университета науки, а полученные результаты, в основном, не вызывают сомнений в их достоверности. На основании реализации средствами вычислительной гидродинамики (CFD) разработанной автором численной модели чистого помещения получены новые результаты, отражающие влияние скорости распределения приточного воздуха и характера движения оператора на перенос аэрозольных загрязнителей и время стабилизации воздушного потока в исследуемом помещении. Научно обоснована и предложена новая аналитическая зависимость между скоростью воздушного потока и временем его стабилизации в чистом помещении. Разработана принципиально новая схема энергоэкономичной прямоточной установки подготовки воздуха для чистых помещений, включающая тепловой насос с возможностью регулирования тепло-холодопроизводительности теплообменников.

Значимость для практики результатов диссертационной работы

Результаты исследований могут быть использованы при разработке соответствующих стандартов качества воздушной среды чистых помещений. Предложены и реализованы на практике энергоэффективные мероприятия по совершенствованию систем кондиционирования воздуха, предназначенных для чистых помещений.

Соответствие диссертации и автореферата

Содержание автореферата соответствует тексту диссертационной работы и является ее кратким изложением. Объем диссертационной работы достаточен. Диссертация написана в логической последовательности четким, технически грамотным языком.

Личный вклад соискателя

Автором обобщены и систематизированы результаты теоретических и экспериментальных исследований; разработана и апробирована предложенная численная модель чистого помещения; самостоятельно разработана новая схема установки кондиционирования воздуха.

Публикации

Основное содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 10 опубликованных работах, 2 из которых опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также 1 публикация, включенная в базу цитирования Scopus; доложено на заседаниях научно-технических конференций различного уровня. Диссертационная работа является завершенной и содержит все основные разделы.

Замечания по диссертации и автореферату:

1. Таблица 2.1 - не обоснован выбор нормативного документа СанПиН 2.1.13.1375-03 (Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров) и категории тяжести работ – IIа.
2. Расчет по формуле 2.1 – неясно, чему равна скорость. Неясно, каким образом определены остальные теплоступления. С какой целью определены влагонепоступления? Поскольку на рис.2.3 и 2.4 не показаны процессы изменения состояния воздуха в помещении, неясно, каким образом будет обеспечена в рабочей зоне относительная влажность 45%.
3. Глава 5 и текст автореферата - практически отсутствует информация о примененных средствах измерений.
4. Некоторые редакционные замечания:

- таблица 2.1 диссертации – параметру «абсолютная влажность» не соответствует указанная размерность;
- расчеты в р.2.3 диссертации следовало оформить в виде таблиц;
- таблицы 2.2 и 2.3 диссертации – неясно, что означает понятие «мощность»;
- раздел 2.3 (с.65) – не указано, каким образом определяется максимальная годовая нагрузка, по которой предполагается осуществлять подбор теплообменников.

Общее заключение по диссертационной работе

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы, теоретической и практической ценности выполненных исследований.

Диссертационная работа **Чернякова Евгения Вадимовича** «Повышение энергоэффективности систем подготовки и распределения воздуха чистых помещений», в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития технической отрасли в направлении кондиционирования воздуха, в целом отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Черняков Е.В.** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Д.т.н., доцент, ФГБОУ ВПО
«Санкт-Петербургский
государственный
архитектурно-строительный
университет», профессор
кафедры теплогазоснабжения
и вентиляции

190005, г. Санкт-Петербург,
2-я Красноармейская ул., д. 4
Тел.: (812) 316-42-13, 575-05-34
Факс: (812) 316-58-72.
E-mail: rector@spbgasu.ru.

Уляшева Вера Михайловна

