

Математическое моделирование теплового режима помещений

И.А. Саламатин, Т.И. Логойда, Т.А. Скорик, А.П. Пирожникова

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Выполнен обзор методов расчета параметров микроклимата. Рассмотрена возможность использования существующих математических моделей для описания аэродинамических характеристик вентиляционных клапанов и оптимизации их рабочих показателей: производительности, гидравлического сопротивления, плотности, времени отклика и других параметров, формирующих их КПД. С целью оценки соответствия полученных математических зависимостей проведен физический эксперимент. Выполнена проверка адекватности математической модели путем сравнения результатов расчета параметров внутренней среды в программно-вычислительном комплексе SolidWorks с данными эксперимента.

Ключевые слова: параметры микроклимата, тепломассообмен, математическое моделирование, сопротивление теплопередаче, экспериментальное исследование микроклимата, подвижность воздуха, клапан.

Условия внутренней среды помещений (микроклимата) определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения. Находящийся в здании человек испытывает воздействие ряда факторов, формирующих тепловой и воздушный режимы помещений. Следует учитывать, что к условиям теплового комфорта, ввиду биологических особенностей организма человека, относится его постоянство. Именно поэтому, оценка надежности обеспечения микроклимата так актуальна в настоящее время.

Создание и поддержание требуемых параметров микроклимата осуществляется инженерными системами, называемыми системами климатизации. Регулирующее воздействие этих систем – систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, состоит в обеспечении заданных оптимальных или допустимых (для производственных помещений) значений

температуры, относительной влажности, подвижности воздуха и его качества. При этом системы отопления формируют тепловой режим помещения, системы вентиляции обеспечивают требуемый воздухообмен, удаляя избытки теплоты, влаги, и других вредных веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне [1, 2].

Обеспеченность микроклимата является системой, описываемой многоцелевой функцией, состоящей из отдельных и связанных друг с другом частей, то есть представляет собой сложную техническую систему. Для исследования сложных технических систем, наиболее распространенным является системный анализ, описывающий отдельные элементы в их взаимосвязи с целью принятия решений в сложной технической системе [3, 4].

В вентиляционной технике принято рассматривать различные характеристики вентиляционных систем: технические, конструктивные, режимные, энергетические, экономические и т.д. Вентиляционная система, в зависимости от выполняемых ею задач, может конструктивно состоять из различных узлов и иметь в своем составе вентиляционные сети и вентиляционное оборудование различного назначения. Эффективность работы оборудования принято характеризовать коэффициентом полезного действия КПД – отношением затраченной работы и энергии к полезной, создаваемой данным оборудованием.

Объемные потери в системах вентиляции и кондиционирования воздуха обусловлены утечками воздуха и подсосами через неплотности элементов вентиляционной сети и вызывают дополнительные энергозатраты. Для повышения аэродинамической эффективности и комплексного энергетического параметра вентиляционной системы необходимо их устранение путем повышения надежности вентиляционного оборудования, в

частности, вентиляционных клапанов различного назначения. Однако, даже в нормативах, оговаривается возможность подсосов и отмечается, что для предотвращения излишних потерь энергии и поддержания необходимого расхода воздуха допустимая утечка в системе не должна превышать 6 % [5]. На практике аэродинамические потери от протечек и подсосов могут быть значительно выше, особенно через вентиляционные клапаны различного назначения, что может способствовать снижению технологической надежности вентиляционных систем и приводить к авариям.

Современные подходы и технологии позволяют широко использовать методы физического и математического моделирования для оценки и обоснованного воздействия на параметры микроклимата и обеспечение тепловоздушного режима помещения. Среди известных методов используют физическое и математическое моделирование, а также их синтез.

Основной целью исследования является уменьшение коэффициент местного сопротивления, который рассчитывается, как:

$$\xi = \frac{\Delta p}{p_d}, \quad (1)$$

где Δp – потери полного давления.

Потери полного давления Δp потока элемента сети рассчитывают по формуле:

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 – полные давления элемента сети в мерных сечениях 1 и 2, расположенных соответственно, на входе в элемент и на выходе из него.

p_d – динамическое давление, средней скорости движения воздуха определяют по измеренным в z точкам.

$$p_d = \left(\frac{\sum_{i=1}^z p_{di}^{0.5}}{z} \right)^2, \quad (3)$$

где p_{di} – динамическое давление в мерной точке;

z – количество точек замера.

Для разработки новых или оптимизации уже имеющихся вентиляционных клапанов, воспользуемся программой *SolidWorks*. Задачей компьютерного моделирования является построение трехмерной модели. Основной составляющей качества и надежности воздушного клапана или заслонки, является именно его плотность, определяющаяся конкретным значением объема протечки в закрытом состоянии при заданном перепаде давлений. Для исследования аэродинамических характеристик вентиляционных клапанов использовались методы компьютерного и физического моделирования. Таким образом можно наглядно увидеть проблемные места, где возникают зоны низкого и высокого давления, максимальные и минимальные скорости и даже проанализировать шумовую нагрузку, чтобы дать максимально точную оценку исследуемому клапану.

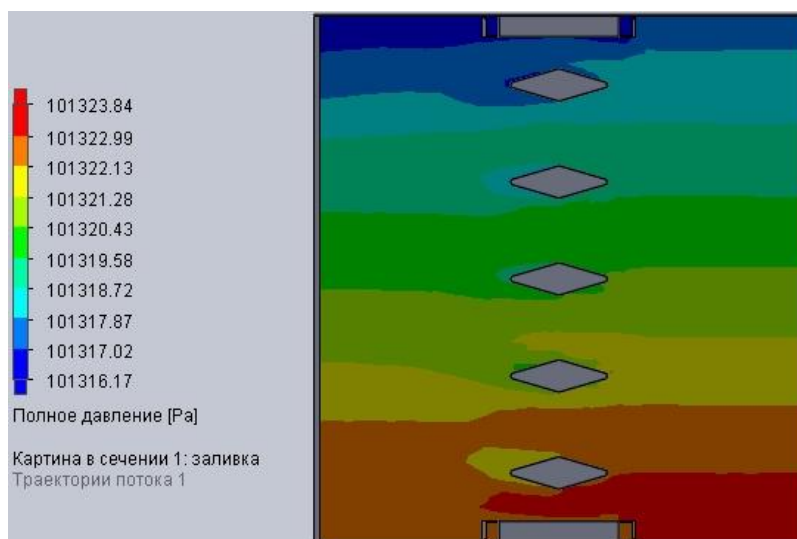


Рисунок 1. – Барограмма полного давления в сечении вентиляционного клапана (клапан полностью открыт)

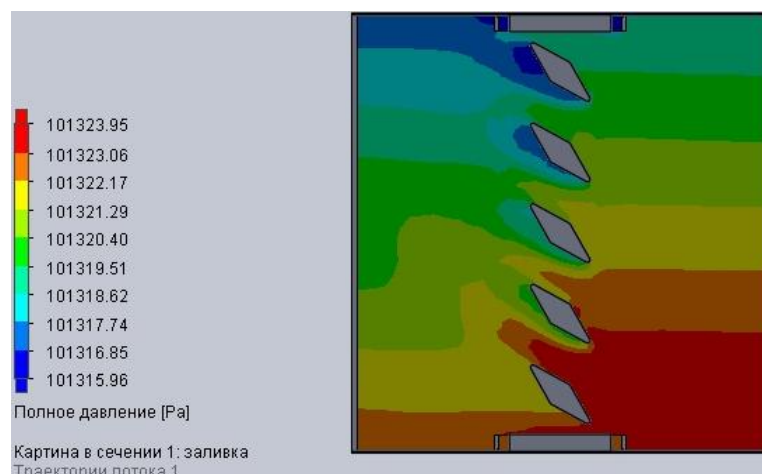


Рисунок 2. – Барограмма полного давления в сечении вентиляционного клапана (клапан открыт на 45 %)

На рисунках 1 и 2 наглядно изображено, как распределяется давление в полностью открытом клапане и проходя через лопасти клапана в положении 45°. Аналогично, с помощью методов компьютерного и физического моделирования проведем исследование для всех возможных положений клапана и построим диаграммы падения давления, рисунок 3, которые приводятся в каталогах для подбора канального оборудования.

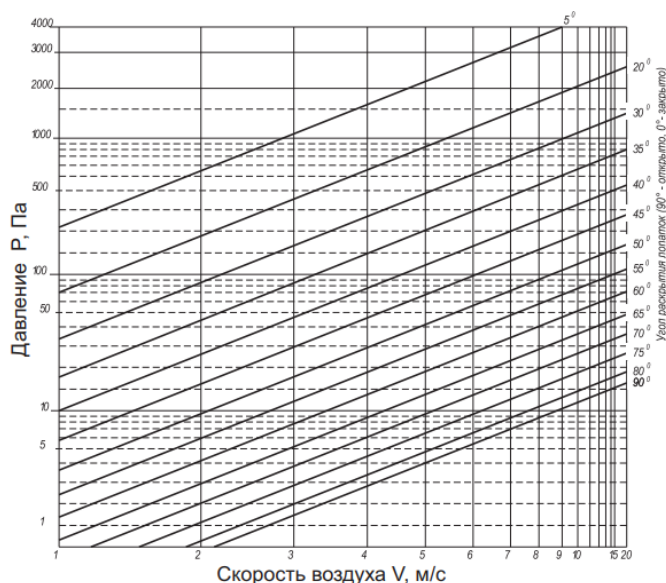


Рисунок 3. – Диаграмма падения давления

Подводя итоги по использованию компьютерного моделирования, можно отметить следующее: наглядное изображение различных вариантов исследуемых процессов является визуализацией результатов описания оцифрованного трехмерного течения в исследуемом объекте в его динамическом развитии. Применение компьютерного моделирования в программе *SolidWorks* позволило наглядно увидеть участки возникновения зон низкого и высокого давления, максимальные и минимальные скорости и, используя физическое и математическое моделирование при экспериментальных исследованиях струйных течений регулирующих устройств вентиляционных сетей, проанализировать и оптимизировать конструкцию устройства, чтобы дать ему максимально точную оценку.

Для подтверждения результатов компьютерного моделирования в рамках физического моделирования проведем аэродинамические испытания вентиляционных клапанов и определим их уровень герметичности [6, 7]. Натурное исследование проводилось в лаборатории компании РОВЕН на испытательном стенде (рисунок 4) [8, 9]. В качестве вентилятора для обеспечения работоспособности стенда был выбран вентилятор ВР 80-75-6,3.

При частоте вращения 1450 об/мин, этот вентилятор на режиме максимального значения КПД имеет расход 11 тыс. м³/ч, создает полное давление 1260 Па и статическое давление 1110 Па. В соответствии с ГОСТ 10921 (п. 2.3) [10], подсос в камере на этом режиме не должен превышать 0,5% от номинального объемного расхода вентилятора.



Рисунок 4. – Лабораторный стенд для испытания клапана на герметичность

Измерение утечки через створки дросселя или клапана в закрытом положении следует осуществлять в режиме фактической работы с дросселем или клапаном, которые закрываются при максимально рекомендованном статическом давлении. Поскольку на закрытых дросселях или клапанах наблюдают малый расход воздуха, метод, который используют для измерения этих малых расходов, создает высокую потерю давления в открытых дросселях или клапанах. Это препятствует высокому перепаду давления во входном воздуховоде до того, как дроссель или клапан не достигнут закрытого положения. Когда клапан будет закрыт и расход уменьшится, перепад статического давления на входе возрастет приблизительно до рекомендуемого значения давления на входе.

В начале каждого испытания (ранее, чем будет включен вентилятор системы подачи воздуха) необходимо перевести 10 раз в полностью открытое и полностью закрытое положение исполнительный механизм дросселя или клапана. Цикл должен завершиться переводом дросселя или клапана в полностью закрытое положение.

Последовательность испытания клапана на герметичность:

- Установить клапан в торцевой, входной, части камеры (рисунок 5).

Крепление клапана производится с помощью специализированных зажимов, которые затягиваются болтами для надежной фиксации стягивающего усилия.



Рисунок 5. – Установка испытуемого клапана на стенд

- Установить вентилятор отсоса в выходном заглушенном сечении камеры.

- Включить вентилятор и дать ему поработать 10-15 минут.

Регулирование частоты вращения вентилятора осуществляется с помощью частотного преобразователя компании РОВЕН.

- Постепенно увеличивать частоту вращения двигателя, при помощи частотного преобразователя. В нашем случае выбран шаг – 2 Гц. Это значение оптимально для получения достаточного количества точек с постепенным изменением аэродинамических характеристик.

- Повторить измерения статического p_s , $кПа$ и динамического давления p_d , $кПа$ при постепенном уменьшении частоты вращения вентилятора, с таким же шагом, как при увеличении частоты вращения. Это необходимо для получения усредненного значения уровня протечек при изменении давления.

- Рассчитать величину прососов через клапан при различной величине разрежения в камере по приведенным ниже формулам и нарисовать графическую зависимость величины протечек от перепада давлений.

Примечание: при необходимости выполнить корректировку величины протечек с учетом величины прососов в самой камере; оценить величину прососов и в случае необходимости выдать рекомендации по усовершенствованию конструкции клапана; оценить величину прососов и в случае необходимости выдать рекомендации по усовершенствованию конструкции клапана.

Выводы к работе

Проведенные исследования с помощью различных методов позволили глубоко проанализировать причины негерметичности вентиляционных клапанов, приводящей к снижению эффективности и технологической надежности вентиляционных сетей. В работе экспериментальным путем подтвержден факт максимального результата в достижении цели исследования путем комплексного использования методов математического, физического и компьютерного моделирования.

Сравнивая результаты численного математического моделирования спектров скоростей для одиночной ламели вентиляционного клапана и поле полного давления в сечении клапана (рисунок 6) видны зоны повышенного давления, совпадающие с визуализацией компьютерного моделирования, что может служить причиной протечек наряду с конструктивными неплотностями. Следовательно, для сокращения протечек, после набора статистики необходимо дорабатывать конструкцию в данном конкретном месте, что повысит эффективность принимаемых решений.

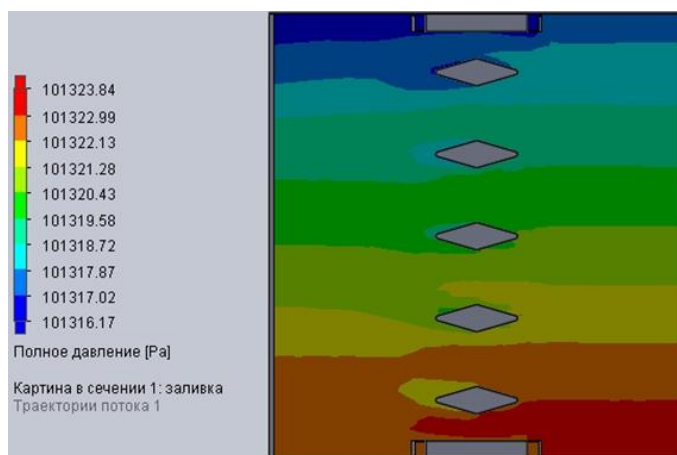


Рисунок 6 – Распределение полного давления

Результаты проведенных испытаний подтвердили адекватность математической модели и схожесть с результатами компьютерного моделирования [11, 12]. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности цифровых методов, позволяющих значительно сократить стоимость и трудозатраты и расширить область поиска при физическом эксперименте.

Литература

1. Рымаров А. Г. Прогнозирование параметров воздушного, теплового, газового и влажностного режимов помещений здания //Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №. 5. URL: cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-parametrov-vozdushnogo-teplovogo-gazovogo-i-vlazhnostnogo-rezhimov-pomescheniy-zdaniya
2. Дюпин А. В., Корепанов Е. В. Моделирование теплового режима помещения с учетом применения теплоаккумулирующих материалов // Вестник МГСУ. – 2011. – №. 7. URL: cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-teplovogo-rezhima-pomescheniya-s-uchetom-primeneniya-teploakkumuliruyuschih-materialov-1
3. Бурцев С.И., Денисихина Д.М. Математическое моделирование процессов турбулентного переноса в профессиональной практике техники



вентиляции и кондиционирования воздуха. // АВОК — 2006. — №5 — С. 40-49.

4. Емельянова С.В. Технология системного моделирования / — Москва: Машиностроение, 1988. — 520 с.

5. Очиров В.С. Пусконаладочные работы и паспортизация вентиляционных систем // Восточно-Сибирский государственный технологический университет. – 2009. – С. 39.

6. Качурин Н.М., Воробьев С. А., Качурин А. Н. Моделирование режимов работы систем вентиляции подготовительных выработок // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2016. – №. 1. URL: cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-rezhimov-raboty-sistem-ventilyatsii-podgotovitelnyh-vyrabotok.

7. Чеховской А.И., Скорик Т.А. Построение адекватной математической модели для исследования аэродинамических характеристик вентиляционных клапанов. Молодой исследователь Дона, 2019, №4. – с.72-79.

8. Галкина Н.И. Моделирование процесса прогноза и повышения надежности работы систем вентиляции //Инженерный вестник Дона. – 2013. –№. 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2086

9. Галкина Н.И. КПД систем вентиляции //Инженерный вестник Дона. – 2017. – №. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4106

10. Квашнин Л.И., Аверкин А.Г. Разработка аэродинамического стенда для испытаний вентиляторов //Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2020. – №. 6. – С. 156-161.

11. Jalali S.E., Forouhandeh S.F. Reliability estimation of auxiliary ventilation systems in long tunnels during construction //Safety science. – 2011. – Т. 49. – №. 5. – С. 664-669.

12. Petrov N.N., Butorina O.S. Reliability analysis of ventilation systems // Soviet Mining. – 1986. – Т. 22. – №. 6. – С. 491-496.

References

1. Rymarov A. G. Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2009. № 5. URL: cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-parametrov-vozdushnogo-teplovogo-gazovogo-i-vlazhnostnogo-rezhimov-pomescheniy-zdaniya
2. Dyupin A. V., Korepanov E. V. Vestnik MGSU. 2011. №. 7. URL: cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-teplovogo-rezhima-pomescheniya-s-uchetom-primeneniya-teploakkumuliruyuschih-materialov-1
3. Burcev S.I., Denisihina D.M. S.I. Burceva, D.M. Denisihana. AVOK 2006. №5. pp. 40-49.
4. Emel'yanova S.V. Tekhnologiya sistemnogo modelirovaniya [System modeling technology]. Moskva: Mashinostroenie, 1988. 520 p.
5. Ochirov V.S. Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2009. p. 39.
6. Kachurin N.M., Vorob'ev S. A., Kachurin A. N. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle. 2016. №. 1. URL: cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-rezhimov-raboty-sistem-ventilyatsii-podgotovitelnyh-vyrabotok
7. CHEkhovskoj A.I., Skorik T.A. Molodoj issledovatel' Dona, 2019, №4. Pp.72-79.
8. Galkina N.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №. 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2086
9. Galkina N.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4106
10. Kvashnin L.I. Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii. 2020. №. 6. pp. 156-161.



11. Jalali S.E., Forouhandeh S.F. Safety science. 2011. Т. 49. №. 5. pp. 664-669.
12. Petrov N.N., Butorina O.S. Soviet Mining. 1986. Т. 22. №. 6. pp. 491-496.