

Математическое моделирование систем вентиляции и кондиционирования помещений для массовых культурных и спортивных мероприятий

К.С. Егоров¹, Б.Б. Новицкий¹, Н.С. Маластовский¹, М.А. Колосов¹, Л.В. Степанова¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская 5, стр. 1, Москва, Россия, 105005

Аннотация. Рассмотрены результаты математического моделирования вентиляции и кондиционирования нескольких уникальных объектов для массовых культурных мероприятий. Опыт проведенных исследований показывает, что при использовании численного моделирования имеется возможность выбрать оптимальный вариант проекта системы вентиляции и кондиционирования, а также выявить проблемы и наметить пути их устранения. Особое внимание при моделировании уделяется выполнению необходимых требований к показателям комфортности зрителей и артистов.

1. Введение

Реконструкция уникальных залов (таких, как например Большой зал Московской консерватории) или строительство современных помещений для массовых мероприятий (филармония парка “Зарядья”) требуют проектирования современных систем вентиляции и кондиционирования для обеспечения комфортного пребывания зрителей и артистов во время концертов.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана было выполнено несколько работ по математическому моделированию системы вентиляции и кондиционирования больших уникальных залов. Полученные результаты позволили проверить правильность выбранных инженерных решений, а также выявить проблемные места и выдать рекомендации по их устранению. Для моделирования использовался пакет ANSYS CFX.

2. Параметры микроклимата в помещениях

Параметры комфортности имеют довольно узкий диапазон. В соответствии с существующими нормативными документами [1], для зрителей диапазон комфортных летних температур воздуха для залов составляет $+ 23 \div + 25^{\circ}\text{C}$, скорость движения воздуха до 0,3 м/с (оптимально 0,2 м/с). Допускается локальный градиент температуры приблизительно равный 3°C по высоте зоны обитания (пребывания) зрителей, т.е. до высоты 1,3 метра от пола. Изменение скорости движения воздуха не более 0.1 м/с. При наружных температурах воздуха свыше $+ 30^{\circ}\text{C}$ комфортная температура в помещении может быть повышена, но не должна превышать $+ 28^{\circ}\text{C}$.

3. Локальное моделирование

Опыт проведенных авторами доклада работ по математическому моделированию показывает, что его целесообразно выполнять в 2-х вариантах: моделирование в общем объеме помещения и моделирование более детально некоторых локальных зонах.

Например, при локальном математическом моделировании в Государственном Кремлевском Дворце решался вопрос об оптимальной скорости подачи воздуха через вентиляционные решетки. Схема расчётной области и область зрителей (тепловыделений) показана на рисунках 1, 2.

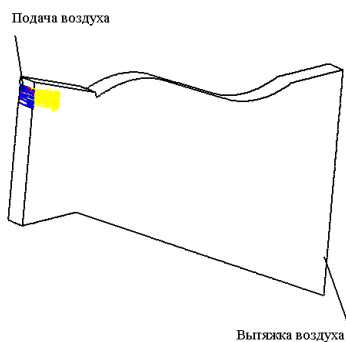


Рисунок 1. Схема подачи и вытяжки воздуха на балконе для локальной модели.

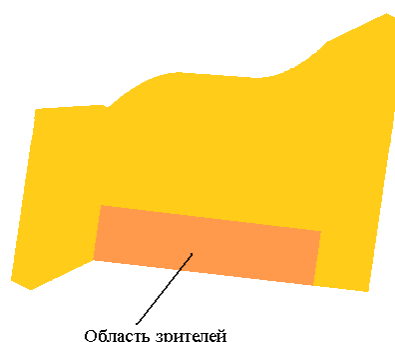


Рисунок 2. Область тепловой нагрузки на балконе для двумерной упрощенной модели.

Моделирование было выполнено для 3 вариантов: температура 20°C , скорость на выходе из решетки принята 1 м/с, 1.5 м/с и 2 м/с. Результаты расчетов полей скоростей и температур представлены на рисунке 3.

Как видно из представленных данных, вследствие конфигурации потолка, струя отклоняется вниз к зрителям и со скоростью – 0.5-0.9 м/с и доходит до них. При этом негативным фактором является то, что как раз в этом месте и начинается зрительский ряд. Видно, что струя отклоняется на $10 - 15^{\circ}$ вниз. Из общего поля скоростей видно, что вблизи стенки формируется вихрь, который служит дополнительным негативным фактором, т.к. он "засасывает" часть холодного воздуха вертикально вниз и направляет к зрителям. Распределение поля температур показывает, что к зрителям 2-3 рядов попадает мощный поток холодного воздуха и температура достигает 20 градусов, поэтому снижение температуры на выходе из решетки будет нецелесообразным. Поля скоростей для варианта расчета 1 м/с, показывают, что картина существенно меняется, энергии струи не хватает, и она отклоняется вертикально под влиянием уступа на 1-ый ряд зрителей.

Таким образом, в результате расчетов было выявлено, что снижение скорости до 1 м/с не может обеспечить необходимых значений по комфортности. Оптимальным вариант скорости выхода из решетки – 1.5 м/с. В этом случае струя доходит до 2-3 ряда зрителей, но с несколько меньшей скоростью. В целом, градиент температур по высоте не превосходит $2,5^{\circ}\text{C}$, что является вполне удовлетворительным значением.

4. Моделирование в общем объеме помещений

Математическое моделирование в общем объеме зала позволяет выявить проблемы с подачей или отсосом воздуха, а также зоны, где нарушены комфортные условия для пребывания зрителей или артистов в целом. Надо отметить, что модели достаточно сложные и их приходится дорабатывать из архитектурных с применением программ трехмерного геометрического моделирования (например, CATIA). На рисунках 4, 5, 6 показаны примеры некоторых геометрических моделей залов.

Большие модели легко выявляют проблемы при подаче воздуха. На рисунке 7 показано поле скоростей в зале Московской консерватории в вертикальном сечении по центру зала, на котором видно, что мощный поток воздуха со скоростью более 0.5 м/с идет со сцены в

зрительный зал (партер). На основании проведенного моделирования для устранения влияния подачи воздуха на сцене на зрителей в партере было принято решение об уменьшении расхода воздуха и установке вентиляционных решеток вместо сопел. На рисунке 8 показано поле скоростей с решетками на сцене. Как видно, ситуация значительно улучшилась и скорость в партере не превышает 0.5 м/с.

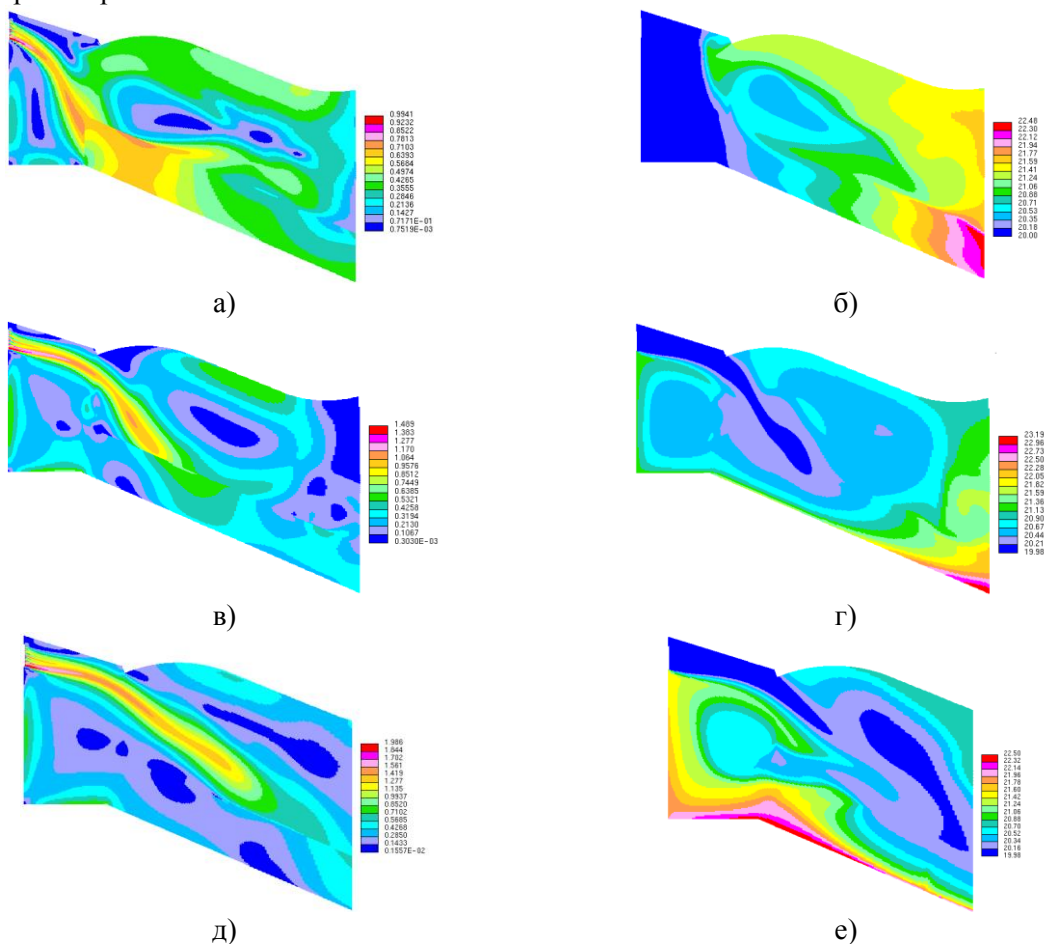


Рисунок 3. Поля скоростей и температур для локальной модели. а – поле скорости, м/с (скорость подачи 1 м/с), б – поле температуры, °С (скорость подачи 1 м/с), в – поле скорости, м/с (скорость подачи 1.5 м/с), г – поле температуры, °С (скорость подачи 1.5 м/с), д – поле скорости, м/с (скорость подачи 2 м/с), е – поле температуры, °С (скорость подачи 2 м/с).

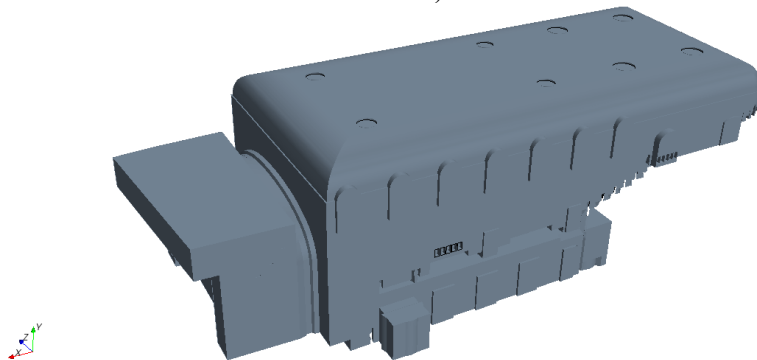


Рисунок 4. Внешний вид геометрической модели большого зала Московской консерватории.

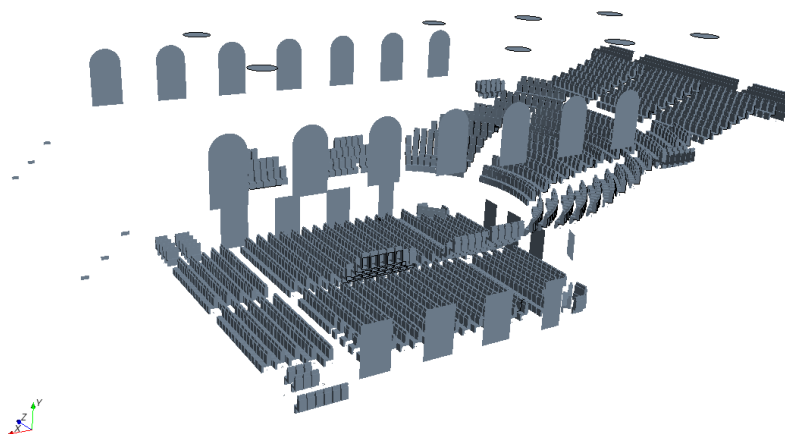


Рисунок 5. Внутренний вид геометрической модели большого зала Московской консерватории.

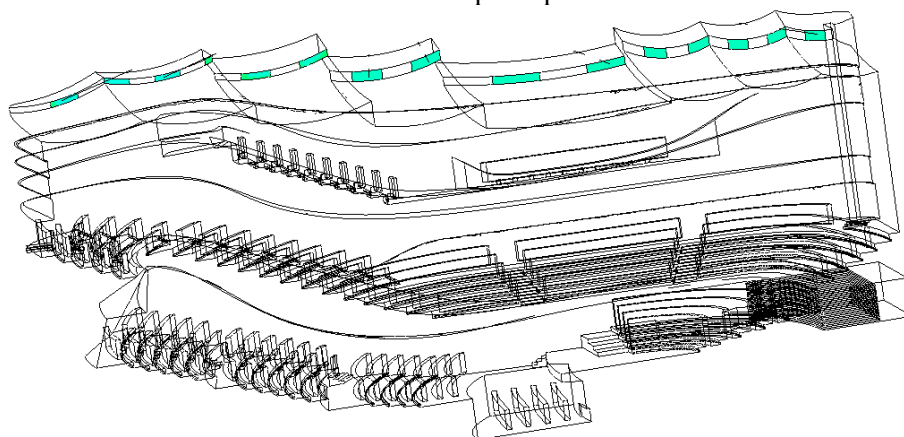


Рисунок 6. Геометрическая модель филармонии парка “Зарядье”.

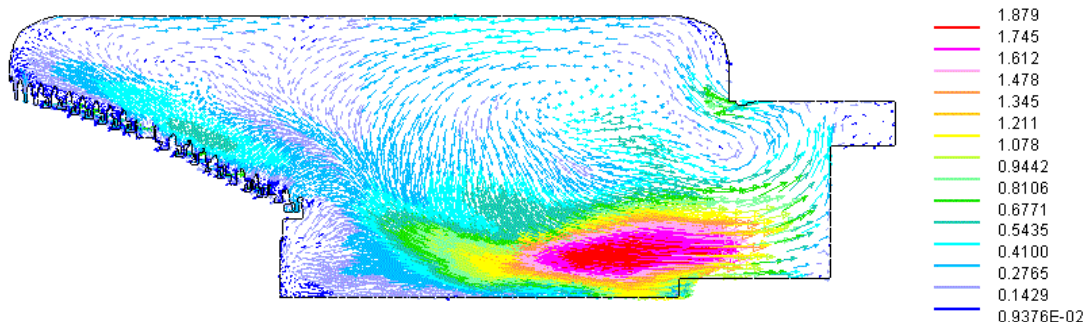


Рисунок 7. Поле скорости воздуха (м/с) в партере с соплами на сцене.

5. Заключение

Многолетний опыт коллектива авторов доклада в МГТУ им. Н.Э. Баумана показывает, что математическое моделирование с применением современных пакетов вычислительной гидродинамики и теплообмена дает возможность на этапе проектирования системы вентиляции и кондиционирования оценить правильность принятых технических решений и при необходимости их скорректировать, обеспечив комфортность во время массовых культурных и спортивных мероприятий [2, 3].

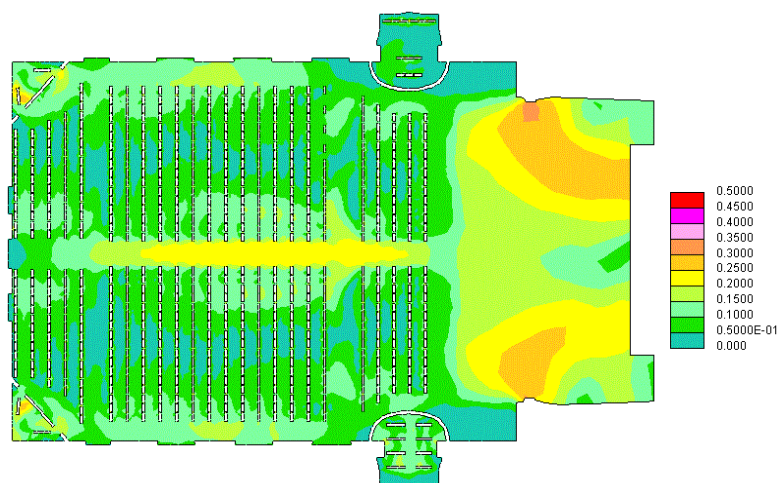


Рисунок 8. Поле скорости воздуха (м/с) в партере с решетками на сцене.

6. Литература

- [1] ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Издание официальное. – М.: ГУП ЦПП, 1996. – 17 с.
- [2] Кокорин, О.Я. Особенности системы вентиляции большого зала московской государственной консерватории им. П. И. Чайковского / О.Я. Кокорин, М.А. Колосов, К.С. Егоров // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2013. – № 2. – С. 50-57.
- [3] Колосов, М.А. Система вентиляции и кондиционирования большого зала московской консерватории им. П.И. Чайковского. Математическое моделирование / М.А. Колосов, К.С. Егоров // Холодильная техника. – 2012. – № 8. – С. 27-30.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (госзадание № 13.5521.2017/БЧ).

Numerical modeling of ventilation and air conditions systems of buildings for massive culture and sport activities

K.S. Egorov¹, B.B. Novitskiy¹, M.A. Kolosov¹, N.S. Malastowski¹, L.V. Stepanova¹

¹Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya 5, Moscow, Russia, 105005

Abstract. The numerical modelling results for ventilation and air conditions systems were considered. The experience of research is demonstrate, that numerical modeling allows to make optimal variant design of ventilation and air conditions system and also to find critical problem. Especial attention devote on requirements of spectator and artist comfortability by numerical modeling.