

# ВОЗДУХООБМЕН В КРЫТОЙ ЧАШЕ СТАДИОНА

Д. М. Денисихина, Д. В. Зузо

Существующие нормы и методики по определению количества подаваемого в помещения наружного воздуха не учитывают специфики воздухораспределения в спортивных сооружениях большого объема. Для определения необходимого воздухообмена для крытого футбольного стадиона было проведено исследование с помощью методов математического моделирования. В результате исследования получено, что подача изначально заложенного в проекте расхода наружного воздуха является избыточной и, соответственно, приведет к неоправданному удорожанию проекта. Как показали расчеты, при пониженном в два раза расходе наружного воздуха обеспечивается допустимое значение содержания углекислого газа в объеме чаши стадиона.

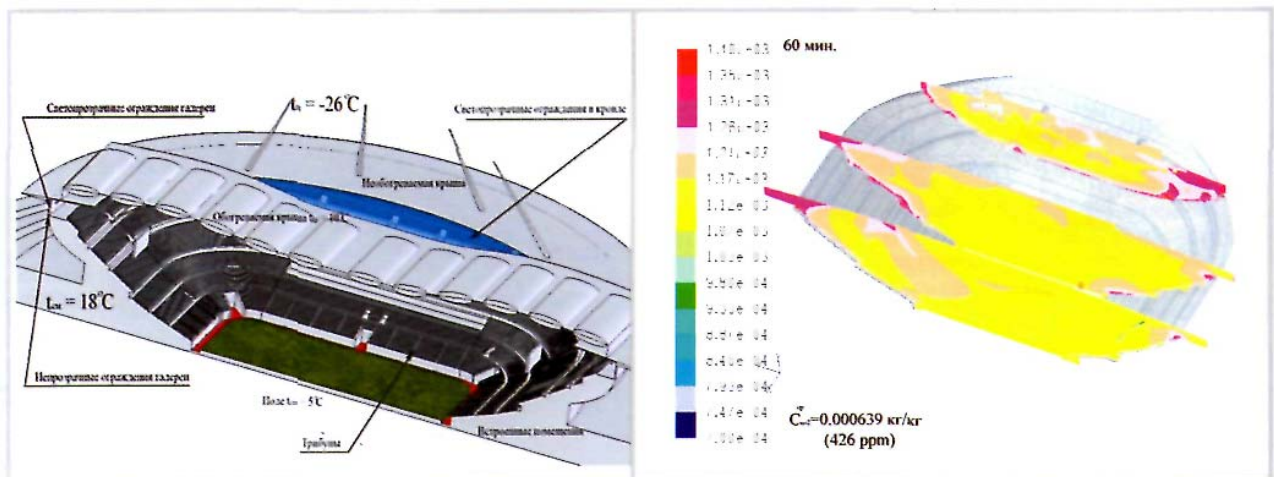


Рис. 1а. Модель стадиона, используемая при проведении моделирования

Рис. 1б. Распределение концентрации CO<sub>2</sub> в объеме чаши стадиона при L = 1 240 000 м<sup>3</sup>/ч

Новый стадион, проектируемый в Санкт-Петербурге на Крестовском острове, будет первым в России стадионом, оснащенным раздвижной кровлей. Автором проекта является японский архитектор Кисе Куросава (1937-2007 гг.). Генеральный проектировщик - ЦНИИСК им. Кучеренко. Стадион рассчитан на 62 тыс. зрителей. Габариты стадиона - 278 x 257м, высота стадиона - 60м.

В холодный период года кровля стадиона закрыта, работает механическая система вентиляции. В теплый период года кровля открыта, механическая вентиляция чаши стадиона отключена.

Основываясь на характере турбулентного переноса углекислого газа, авторы попытались достоверно определить величину требуемого воздухообмена. В настоящей работе представлено математическое моделирование течений, формирующихся в объеме чаши стадиона в холодный период года.

Особенность объекта - резко выраженная динамика всех технологических процессов. Существующие нормы и методики по определению количества подаваемого в помещения наружного воздуха нацелены на стационарные процессы, протекающие более 2 часов. Их применение для новых технологических процессов не оправдано ни с точки зрения физического смысла, ни с точки зрения достоверности эффектов вентилирования.

Поэтому для сложных объектов целесообразно проведение отдельного исследования, направленного на определение требуемого количества подаваемого наружного воздуха в таком объеме, чтобы в результате процессов ассимиляции углекислого газа выполнялись бы требования санитарных норм.

Расчеты проведены с помощью гидродинамического пакета FLUENT, сертифицированного согласно ISO 9001 и разработанного компанией Fluent Incorporated.

В ходе численного моделирования на основе решения нестационарных трехмерных уравнений Навье — Стокса (осредненных по Рейнольдсу) получены пространственные распределения полей скорости, температуры и массовой концентрации CO<sub>2</sub>.

Первым этапом в постановке задачи численного моделирования является построение твердотельной модели, описывающей трехмерную геометрию объекта. Трехмерная модель стадиона (рис. 1а) была выполнена в программе твердотельного моделирования Solid-Works.

Вторым этапом является создание расчетной сетки. Данный этап является самым трудоемким и одним из самых главных. Это связано с тем, что разрешение тех или иных структур течения непосредственно связано с используемой расчетной сеткой. В настоящей работе общее количество ячеек составило 5,5 млн.

В ходе численного математического исследования нами были получены поля распределения CO<sub>2</sub> при различных расходах наружного воздуха. В работе исследовались два режима функционирования чаши стадиона в холодный период года:

1. **Вентиляция включена.** Полное заполнение зрительских мест; люди выделяют тепло, CO<sub>2</sub> и влагу. Общий расход воздуха в чаше стадиона составляет 1 240 000 м<sup>3</sup>/ч (20 м<sup>3</sup>/ч на 1 человека). Общее количество воздухораспределителей -134. Температура приточного воздуха 5 °С, относительная влажность - 5%, концентрация CO<sub>2</sub> в наружном воздухе - 350 ppm ( $5,25 \times 10^{-4}$  кг/кг). От людей в чашу стадиона поступает 2191 кг/ч углекислого газа.

**2. Вентиляция включена.** Полное заполнение зрительских мест; люди выделяют тепло, CO<sub>2</sub> и влагу. Общий расход воздуха в чаше стадиона понижен до 600 000 м<sup>3</sup>/ч (9,68 м<sup>3</sup>/ч на 1 человека). Остальные параметры принимаются такие же, как и для расхода 1 240 000 м<sup>3</sup>/ч.

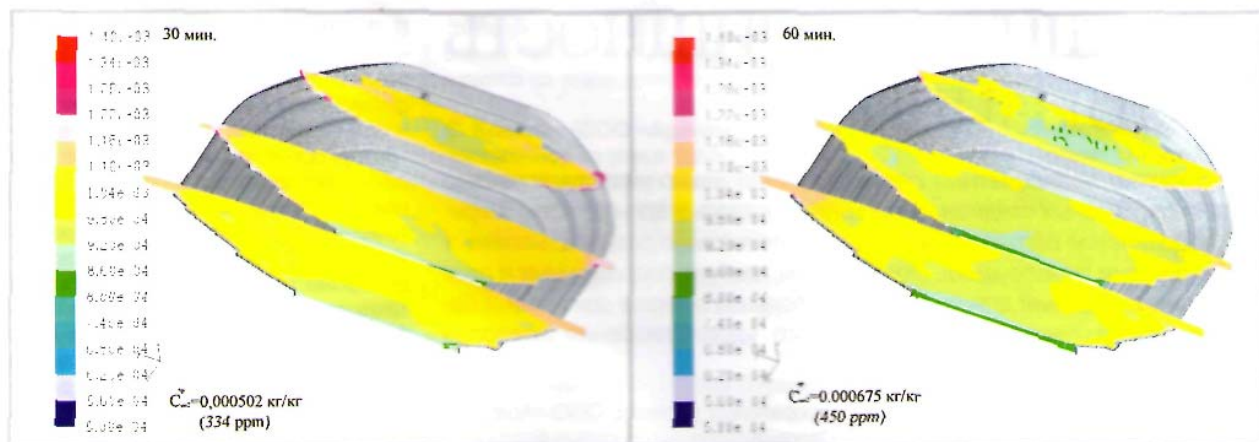


Рис. 2. Распределение концентрации CO<sub>2</sub> в объеме чаши стадиона при L = 600 000 м<sup>3</sup>/ч

Воздухораспределители приточной системы вентиляции расположены в верхней части стадиона по периметру поля и направлены вниз к центру стадиона под углом 45° к горизонту. Удаление воздуха осуществляется через две группы воздухозаборных решеток: первая группа расположена в верхней части стадиона и забирает 90% воздуха от общего расхода, вторая группа расположена в нижней части стадиона по периметру поля и осуществляет удаление оставшихся 10% воздуха.

**1. Расход наружного воздуха в чаше стадиона составляет 1 240 000 м<sup>3</sup>/ч.**

Результаты расчетов представлены в виде полей распределения массовой концентрации CO<sub>2</sub> (относительно уровня в наружном воздухе) по объему чаши стадиона для моментов времени 60 минут (рис.1б).

Проведенные исследования показали, что максимальные значения CO<sub>2</sub> наблюдаются в объеме галерей чаши стадиона. Углекислый газ не опускается вниз, а вместе с восходящими теплыми потоками от зрителей уходит на галереи. При этом средняя концентрация CO<sub>2</sub> в воздухе спустя 2 часа (стандартная продолжительность мероприятия) после заполнения зрителями чаши стадиона составляет 671 ppm. Как показали расчеты, после двух часов пребывания людей обеспечивается, согласно европейскому стандарту, среднее качество воздуха помещения.

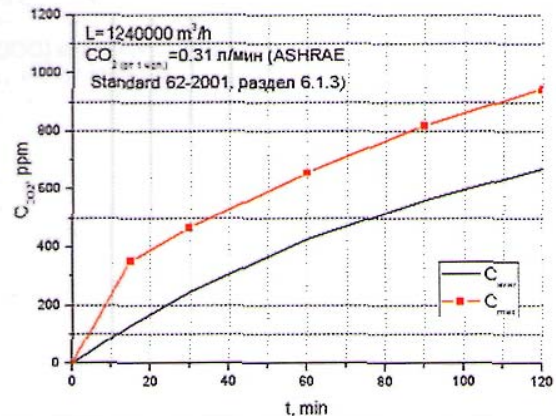
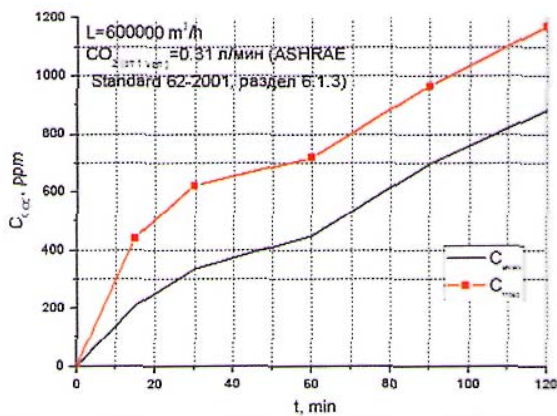


Рис. 3. Графики изменений средней и максимальной концентрации  $\text{CO}_2$  (относительно уровня в наружном воздухе) от времени в объеме чаши стадиона

## 2. Расход наружного воздуха в чаше стадиона составляет $600\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Результаты расчетов представлены в виде полей распределения массовой концентрации  $\text{CO}_2$  (относительно уровня в наружном воздухе) по объему чаши стадиона для моментов времени 30 и 60 минут (рис. 2).

Как видно из представленных результатов, закономерность распределения концентрации  $\text{CO}_2$  принципиально осталась такой же, как и при расходе в  $1\,240\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , максимальные значения  $\text{CO}_2$  наблюдаются в объеме галерей чаши стадиона. При этом средняя концентрация  $\text{CO}_2$  в воздухе спустя 2 часа после заполнения зрителями чаши стадиона составляет 883 ppm. То есть при уменьшении расхода в 2 раза после 2 часов пребывания людей также обеспечивается среднее качество воздуха помещения.

Графики зависимости средней по объему и максимальной массовой концентрации  $\text{CO}_2$  показаны на рис. 3.

На основе результатов, полученных в ходе математического моделирования, проект вентиляции чаши стадиона был откорректирован на максимальный расход воздуха в  $800\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а эксплуатационный - в  $600\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Данное решение прошло успешное согласование в ФГУН СЗНЦ гигиены и общественного здоровья Роспотребнадзора. Благодаря инновационным подходам использования методов математического моделирования удастся сэкономить инвестиционные затраты в размере 1,7 млн евро.

Производительность приточно-вытяжных систем должна быть переменна во времени, а сами системы - управляться по сигналам датчиков  $\text{CO}_2$ . Датчики  $\text{CO}_2$  следует размещать в галерее верхних уровней, т.е. там, где наблюдаются наибольшие концентрации углекислого газа и где размещены воздухораспределительные устройства вытяжных систем.