

УДК 697.922

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ АЭРАЦИИ ЦЕХОВ С ТЕПЛОИЗБЫТКАМИ

Н.А. ВАСИЛЕВИЧ, К.Д. НИКИФОРОВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.И. ЛИПКО; О.Н. ШИРОКОВА)

Демонстрируется физическое и математическое моделирование естественной вентиляции производственных помещений с точечными теплоисточниками методом аэрации с учетом условий внешней аэродинамики зданий и теплового режима внутри помещений с организованным и регулируемым воздухообменом.

При исследовании аэродинамики вентиляции помещений с точечными источниками тепловыделений необходимо определить интенсивность восходящих конвективных воздушных потоков над перегретыми поверхностями ограниченных размеров, температура которых значительно отличается от температуры окружающего воздуха.

Аэрация, как метод естественной вентиляции, использующий для воздухообмена помещений ветровой напор с внешней стороны здания и разность температур наружного и внутреннего воздуха, осуществляется путем устройства в помещениях с теплоизбытками системы приточных и вытяжных отверстий, размещенных определенным образом в наружных ограждающих конструкциях здания.

Величина скорости, направление пульсации ветра являются величинами переменными, непостоянными, плохо регулируемые факторами и при моделировании аэрации могут быть исключены.

При естественной аэрации аэродинамические и термодинамические процессы формируются за счет разности температур наружного и внутреннего воздуха под действием гравитационного перепада давлений ΔP , величина которого определяется из выражения

$$\Delta P = g \cdot h \cdot (\rho - \rho_o) = g \cdot h \cdot \rho \cdot \beta \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; h – расстояние по вертикали между приточными и вытяжными отверстиями, м; ρ, ρ_o – плотность наружного и внутреннего воздуха соответственно, кг/м³;

$$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{273} \text{ – температурный коэффициент, } ^\circ\text{K}^{-1}.$$

$$\Delta T = T_n - T_e \text{ – разность температур наружного и внутреннего воздуха, } ^\circ\text{K}.$$

При моделировании аэрации применяется критерий Eu , определяющий отношение падения давления в воздушном потоке к его кинетической энергии из выражения

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \omega^2}, \quad (2)$$

где ω – скорость потока воздуха, м/с.

Кинетическая энергия восходящего потока на расстоянии Z , м, по высоте от теплоисточника как результат работы подъемной силы (1) запишем в виде

$$\frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = g \cdot \rho \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot Z, \quad (3)$$

из которого следует, что

$$\omega = \sqrt{2g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot Z}. \quad (4)$$

Из выражений (1) и (2) следует, что

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \omega^2} = \frac{g \cdot h}{\omega^2} \cdot \beta \cdot \Delta T = Ar. \quad (5)$$

Критерий Ar характеризует отношение между подъемной силой единицы объема $g(\rho - \rho_0)$ и инерционной силой, пропорциональной величине $\frac{\rho \cdot \omega^2}{2}$.

В случае естественной аэрации, когда приток и удаление воздуха сбалансированы между собой, побудителем движения приточного воздуха будет избыточное давление атмосферы со стороны притока, а критериальным уравнением подобия аэродинамических и термодинамических процессов является критерий Eu , для которого процесс будет автомодельным при турбулентном режиме при $Re > 2000$.

При моделировании аэрации помещений с теплоисточниками критерий Re используется для определения границ автомодельности и степени турбулентности процесса, а число Re при этом определится с учетом выражения (4)

$$Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \sqrt{Gr \cdot \frac{Z}{d}}, \quad (6)$$

где $Gr = \frac{g \cdot L^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta T$ – число Грасгофа; L – определяющий характерный линейный размер поверхности теплообмена, м.

Критерии Gr и Ar могут при моделировании использоваться равноправно в зависимости от того, какие величины условий однозначности, перепад температур ΔT или скорость восходящего конвективного потока ω , в данном процессе первоначально известны.

Под автомодельностью следует понимать приближенное моделирование, при котором не всегда возможно в большинстве случаев на практике выполнить численные равенства всех определяющих критериев подобия.

Согласно третьей теории подобия, по которой для подобия двух физически-сравнимых процессов необходимо и достаточно, чтобы условия однозначности были преобразованы подобно, а определяющие критерии этих процессов, составленные из величин, входящих в условия однозначности, имели одно и то же числовое значение [1].

Критерий Ar является определяющим при оценке степени перемешивания восходящего воздушного потока (факела) над нагретой поверхностью теплоисточника. Увеличение значения критерия Ar свидетельствует об интенсификации процессов перемешивания, которое приводит к увеличению расхода относительных температурных и скоростных полей.

Таким образом, следует отметить естественно ожидаемое преимущество метода моделирования аэрации помещений с тепловыделениями от точечных источников в условиях естественной конвекции, что критерий Ar является определяющим критерием подобия, так как он состоит из величин, входящих в условие однозначности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев, Е.В. Моделирование вентиляционных систем / Е.В. Кудрявцев. – М.: Стройиздат, 1950. – 192 с.
2. Липко, В.И. Энергоресурсосберегающие новационные технологии тепло-, газо- воздухообеспечения жилых зданий и использование возобновляемых вторичных и природных энергоресурсов в градостроительстве / В.И. Липко, О.Н. Широкова // Вестник Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф: Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 8. – С. 89–95.
3. Широкова, О.Н. Экспериментальный стенд и методика исследования эффективности действия экранно-шторной аэрации от теплового воздействия точечного теплоисточника / Широкова О.Н., В.И. Липко // Материалы докладов 50 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки : в 2 т., Витебск, 2017. – С. 322–324.
4. Широкова, О.Н. Методические разработки к расчету управляемой аэрации цехов с теплоизбытками для нормализации микроклимата / Широкова О.Н., В.И. Липко // Материалы докладов 49 Международной научно-практической конференции преподавателей и студентов : в 2 т., Витебск, 2016. С. 315–317.
5. Широкова, О.Н. Основы теории аэростатики, аэродинамики, тепломассообменных процессов и методики расчета аэрации цехов с теплоизбытками / Широкова О.Н., В.И. Липко // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : Междунар. науч.-практ., Брест, 2016. – С. 290–297.