

ультразвукового излучения 100 Вт, интенсивность 8,6 Вт/см<sup>2</sup>), температуре раствора 60 °С.

Список использованных источников

1. Кричевский, Г.Е. (2000) Химическая технология текстильных материалов, Москва, Т.2, 540 с.
2. Кульнев, А. О. (2017) Крашение текстильных материалов из полиэфирных волокон с использованием ультразвукового воздействия / А. О. Кульнев, С. В. Жерносек, Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – № 1(32). – С. 155.
3. Балашова, Т.Д. (1984) Краткий курс химической технологии волокнистых материалов, Москва, 200 с.
4. Кульнев, А. О. (2017) Перспективы применения акустических колебаний ультразвукового диапазона в строительстве / А. О. Кульнев, С. В. Жерносек, Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган // В сборнике: Строительство и землеустройство: проблемы и перспективы развития сборник трудов II Международной заочной научно-практической конференции. – С. 3-6.
5. Сафонов, В. В. (2006) Интенсификация химико-текстильных процессов отделочного производства, Москва, 405 с.

УДК 697.922

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХОВ  
С ТОЧЕЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ  
ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ**

*Липко В.И., к.т.н., доц., Широкова О.Н., ст. преп.  
Полоцкий государственный университет,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Ключевые слова: естественная и вынужденная конвекция, аэродинамика, аэрация, тепловое моделирование.

Реферат. *Производственные процессы, выполняемые в производственных цехах, сопровождаются выделением в воздух помещений вредных паров, газов, пыли и тепла. В результате ухудшения состояния воздушной среды помещений могут создаваться неблагоприятные условия труда, влияющие на самочувствие работающих в цехе, снижаться производительность труда. Основными путями борьбы с выделением вредных веществ являются: совершенствование технологических процессов, создание безотходных производств или малоотходных технологических циклов. Для поддержания в производственных помещениях чистоты воздуха и метеорологических условий, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим требованиям, устраивается вентиляция. В общем случае процесс аэрации как один из способов естественной вентиляции производственных помещений с теплоизбытками зависит от условий внешней аэродинамики здания и теплового режима внутри помещений. Для обеспечения активного воздухообмена при аэрации используется ветровой напор и разность температур наружного и внутреннего воздуха. Следует принять к сведению, что метод аэрации для удаления из помещений избытков теплоты будет эффективным только при низких температурах наружного воздуха, а при сближении температур наружного и внутреннего воздуха действие аэрации сводится к нулю, что требует устройства принудительной вентиляции, работающей дополнительно по параллельной схеме.*

Наиболее часто применяемые в вентиляционной практике приемы расчета аэрации методами «нейтральной зоны» и «уровня нулевых давлений» в большинстве случаев оказываются неточными из-за неравномерности температур внутри помещений по причине изменяю-

щихся параметров внешних воздействий (ветрового давления, направления ветра, температуры наружного воздуха, разрегулировки площади приточных и вытяжных отверстий, инфильтрации и т.д.).

Для определения естественного перепада давлений используется формула

$$\Delta P = h \cdot g \cdot (\rho - \rho_0) = h \cdot g \cdot \rho \cdot \beta \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где  $h$  - расстояние по вертикали между приточными и вытяжными отверстиями, м;

$g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;

$\rho, \rho_0$  - плотность наружного и внутреннего воздуха соответственно,  $\text{кг/м}^3$ ;

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

$\Delta T$  - разность температур внутреннего и наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

При моделировании аэрации применимо следующее критериальное уравнение

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

где  $\Delta P$  - перепад давления в потоке, Па,

$\frac{\rho \cdot \omega^2}{2}$  - кинетическая энергия потока, Па.

После преобразования получим критериальное уравнение Архимеда

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot \omega^2} = \frac{h \cdot g \cdot \rho}{\rho \cdot \omega^2} \cdot \beta \cdot \Delta T = Ar.$$

Таким образом, критерий Архимеда является определяющим при рассмотрении процессов аэрации зданий, так как он составлен из величин, входящих в условие однозначности.

При исследовании качества воздушной среды внутри промышленных помещений с тепловыделениями от точечных источников наиболее эффективным является метод аэрации помещений.

Аэрацию следует рассматривать как процесс естественной конвекции, состоящую из двух групп явлений: внешняя и внутренняя естественная конвекция. Под внешней конвекцией подразумевается явление теплоотдачи от нагретой поверхности теплоисточника в окружающую среду, а под внутренней конвекцией следует рассматривать явление теплоотдачи в замкнутом воздушном пространстве через ограничивающие стенки (например, экранно-шторного укрытия) с фиксацией полей температур и скоростей аэродинамики воздушных восходящих конвективных потоков.

При больших сосредоточенных восходящих потоках над точечными источниками за счет естественной конвекции математическое моделирование осуществляется с использованием равенства

$$Re^2 = Gr / Ar, \quad (3)$$

где  $Re^2 = \frac{\omega \cdot d}{\nu}$  - критерий Рейнольдса;

$Gr = \frac{g \cdot L^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta T$  - число Грасгофа;

$g$  - то же, что в формуле (1);

$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{273 + t_0}$  - температурный коэффициент,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

$L$  - определяющий характерный линейный размер поверхности теплообмена, м;

$\Delta T = (t_c - t_o)$  - соответственно разность температур поверхности теплообмена и окружающей среды, °С

$\nu$  - коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с.

$Ar = 1$  - критерий Архимеда.

Соотношение (3) подтверждает то обстоятельство, что единственным результатом работы подъемной силы является кинетическая энергия восходящего воздушного потока, величина скорости которого определится по уравнению

$$\frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = g \cdot \rho \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot Z, \quad (4)$$

из которого следует, что

$$\omega = \sqrt{2g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot Z}.$$

Тогда значение критерия Re примет вид

$$Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \sqrt{Gr \cdot \frac{Z}{d}}, \quad (5)$$

где  $Z$  - расстояние по высоте от источника, м;

$d$  - диаметр восходящего потока, м.

Таким образом, теплообмен при естественной и вынужденной конвекции будет происходить в соответствии с критериальными уравнениями подобия (3) и (5) при соизмеримых скоростях воздушного потока.

При аэрации цехов с теплоизбытками на формирование воздушных потоков совместное влияние оказывают силы гравитации с направленным движением «снизу-вверх» и горизонтально направленные перемещения воздушных масс под действием ветрового давления, а тепловое воздействие на работающих от нагретых поверхностей происходит как за счет лучеиспускания, так и конвекции, что вызывает дискомфорт в рабочей зоне.

#### Список использованных источников

1. Липко В.И., Широкова О.Н. Энергоресурсосберегающие новационные технологии тепло-, газо-, воздухоснабжения жилых зданий и использование возобновляемых вторичных и природных энергоресурсов в градостроительстве//Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. № 8 / ПГУ – Новополоцк, 2016. С. [89-95].
2. Королёва Т.И., Широкова О.Н. Управление конвективными потоками для удаления вредностей от источников теплоты// Вестник Витебского государственного технологического университета. № 1 (18)/ ВГТУ – Витебск, 2010. С. [119-124].
3. Широкова О.Н., Липко В.И. Экспериментальный стенд и методика исследования эффективности действия экранно-шторной аэрации от теплового воздействия точечного теплоисточника // Материалы докладов 50 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки в 2-х томах. /ВГТУ – Витебск, 2017. – С.[322-324].
4. Широкова О.Н., Липко В.И. Методические разработки к расчету управляемой аэрации цехов с теплоизбытками для нормализации микроклимата // Материалы докладов 49 Международной научно-практической конференции преподавателей и студентов. В 2 томах / ВГТУ – Витебск, 2016. С. [315-317].
5. Широкова О.Н, Липко В.И. Основы теории аэростатики, аэродинамики, тепломассообменных процессов и методики расчета аэрации цехов с теплоизбытками // Международная научно-практическая конференция «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания»/ БрГТУ – Брест, 2016. С. [290-297].

6. Королёва Т.И., Широкова О.Н. Моделирование свободных конвективных потоков от линейных источников теплоты // Материалы докладов Международной научно-практической конференции «Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности» / ВГТУ – Витебск, 2015. С. [277-278].
7. Бромлей, М.Ф. Проектирование отопления и вентиляции/М.Ф. Бромлей, А.П. Щеглов. - М.: Издательство литературы по строительству, 1965. – 260 с.
8. Отопление и вентиляция: Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч.2 Вентиляция/ Под ред. В.Н.Богословского. М.: Стройиздат, 1976 . – 440 с.

УДК 677.46.494:536.46

## ОГНЕЗАЩИТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ГОРЕНИЯ EXFLAM И ANTIFLAME

Микрюкова О.В.<sup>1</sup>, асп., Бесианошникова В.И.<sup>1</sup>, проф., Загоруйко М.В.<sup>2</sup>, доц.,  
Штейнле В.А.<sup>1</sup>, асп., Лебедева Т.С.<sup>1</sup>, маг.

<sup>1</sup> Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина,  
г. Саратов, Российская Федерация

**Ключевые слова:** текстильные материалы, замедлители горения, огнезащита, свойства.

**Реферат.** В статье приведены результаты исследований огнезащитной модификации текстильных материалов из различных волокон полифосфатами аммония разного строения и содержания фосфора и азота. Установлена высокая эффективность снижения горючести тканей модифицированных полифосфатом аммония EXFLAM APP-201, которая позволяет получать трудновоспламеняемые материалы с высокими физико-механическими свойствами.

Текстильные материалы широко применяются не только в быту, но и в различных сферах производства, таких как строительство, автомобиле и самолетостроении и других, которые предъявляют высокие требования к огнестойкости материалов и изделий из них. Химическая промышленность производит мало- и среднетоннажные термостойкие и устойчивые к действию огня ароматические волокна и нити, такие как тогилен, тверлан, арселон, фенилон, ариמיד и другие, которые имеют высокую стоимость, поэтому их применение не всегда целесообразно и ограничено. Текстильные материалы на основе многотоннажных волоконобразующих полимеров полиэтилентерефталата (ПЭф), полиакрилонитрила (ПАН) и поликапроамида (ПА) сравнительно дешевые, однако, относятся к категории легковоспламеняемых, характеризуются высокой скоростью горения и токсичностью продуктов пиролиза, что ограничивает их применение в производстве спецодежды, декоративных отделочных и обивочных полотен и других изделий бытового и технического назначения. Проблемой снижения горючести текстильных материалов занимаются во всем мире [1-5], однако она и по сей день является актуальной.

Наличие в волокнообразующем полимере функциональных групп позволяет проводить модификацию волокон и полотен, обеспечивающую снижение пожарной опасности полимерных волокнистых материалов за счет усиления при пиролизе процессов структурирования, приводящих к увеличению выхода негорючей газообразной составляющей, коксового остатка (КО) и подавлению горения. Для этого необходимо подобрать эффективные замедлители горения (ЗГ). Поэтому исследование эффективности огнезащиты и влияния фосфорсодержащих ЗГ на структуру и свойства модифицированных полимерных волокнистых материалов, является актуальным.

Для оценки возможности использования ЗГ одной химической природы для различных синтетических волокон исследовали полифосфаты аммония разного строения и содержания