

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ В СОТОВОМ УВЛАЖНИТЕЛЕ

Канев М.А.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4), e-mail: mikl436ukhta@mail.ru

Представлены результаты численного эксперимента процесса испарения влаги в кассете сотового увлажнителя. При проведении численного моделирования процессов тепло- и массообмена использована k - ε модель турбулентности. В процессе расчета выполнен мониторинг параметров для оценки сходимости численного метода. Получены поля распределения параметров в кассете сотового увлажнителя – влагосодержания, интенсивности испарения, температуры и толщины пленки жидкости. Изменение толщины пленки показывает, что имеет место нестационарный режим процесса испарения движущейся пленки, что подтверждает необходимость численных исследований рассматриваемых процессов. Анализ результатов численного моделирования тепломассообменных процессов при испарении жидкой пленки с поверхности изогнутой пластины подтверждает сложный нестационарный характер увлажнения воздуха в сотовых увлажнителях. Данные исследований могут быть использованы для оценки количественных характеристик параметров в аппаратах реальных размеров.

Ключевые слова: сотовый увлажнитель, численный эксперимент, модель турбулентности.

NUMERICAL SIMULATION OF EVAPORATION PROCESS IN EVAPORATIVE HUMIDIFIER

Kanev M.A.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia (190005, 2-ya Krasnoarmeiskaya st., 4), e-mail: mikl436ukhta@mail.ru

The results of the numerical experiment of evaporation of moisture in the cassette of evaporative humidifier. During the numerical simulation of heat and mass transfer processes used k - ε turbulence model. In the process of calculating the monitoring of the parameters carried out to evaluate the convergence of the numerical method. The fields of distribution parameters in the cassette of evaporative humidifier - the moisture content, the evaporation rate, the temperature and the thickness of the fluid film. Changing the thickness of the film shows that there is a nonstationary mode of the evaporation process of the moving film that confirms the need for numerical studies of these processes. Analysis of the results of numerical simulation of heat and mass transfer processes during evaporation of the liquid film from the surface of the curved plate proves difficult nonstationary nature of the humidification in the evaporative humidifiers. These studies can be used to assess the quantitative characteristics of parameters in real size devices.

Keywords: evaporative humidifier, numerical experiment, turbulence model.

Исследованиям сотовых увлажнителей, применяемых в системах кондиционирования воздуха, посвящено значительное количество работ, в частности [1-6]. В связи со сложностью аналитического решения процессов тепломассообмена данных аппаратов в инженерной практике для подбора увлажнителей используются результаты многочисленных экспериментальных исследований. В настоящее время для численных исследований тепло- и гидроаэродинамических процессов в различных отраслях широко применяются программные комплексы. Таким образом, проведение численного эксперимента для исследования процесса испарения влаги в кассете сотового увлажнителя является актуальной задачей.

Кассета сотового увлажнителя размерами 500x500 мм и глубиной 100 мм установлена в центре прямого участка канала размерами 500x500 мм и длиной 2 м. Кассета представляет собой набор волнистых листов с длиной волны около 17 мм, установленных поочередно под углом 45 и 15 градусов к горизонту. Это позволяет равномерно смачивать всю кассету и предотвращать отрыв капель при довольно больших скоростях воздуха. При этом листы, установленные под углом 45 градусов, направлены вверх по направлению движения воздуха, а листы, установленные под углом 15 градусов – вниз. Такая схема обеспечивает плавное стекание воды по направлению потока воздуха и более резкое против направления движения потока воздуха, что предотвращает отрыв капель.

Рассматриваемая задача решалась с использованием программы StarCCM+. Данная программа позволяет решать различные задачи, в том числе связанные с моделированием процессов вентиляции и кондиционирования воздуха. Для того чтобы смоделировать процесс испарения жидкой пленки, необходимо рассмотреть нестационарную задачу, т.к. в стационарной задаче невозможно подключить модели испарения и конденсации жидкой пленки. Шаг по времени составил 0,01 с. На каждый шаг физического времени приходилось по 5 итераций. Для перехода от дифференциальных уравнений к дискретным применен метод конечных объемов.

На рис.1 приведена расчетная сетка модели канала с кассетой. Сетка существенно сгущается вблизи испаряющих поверхностей увлажнителя.

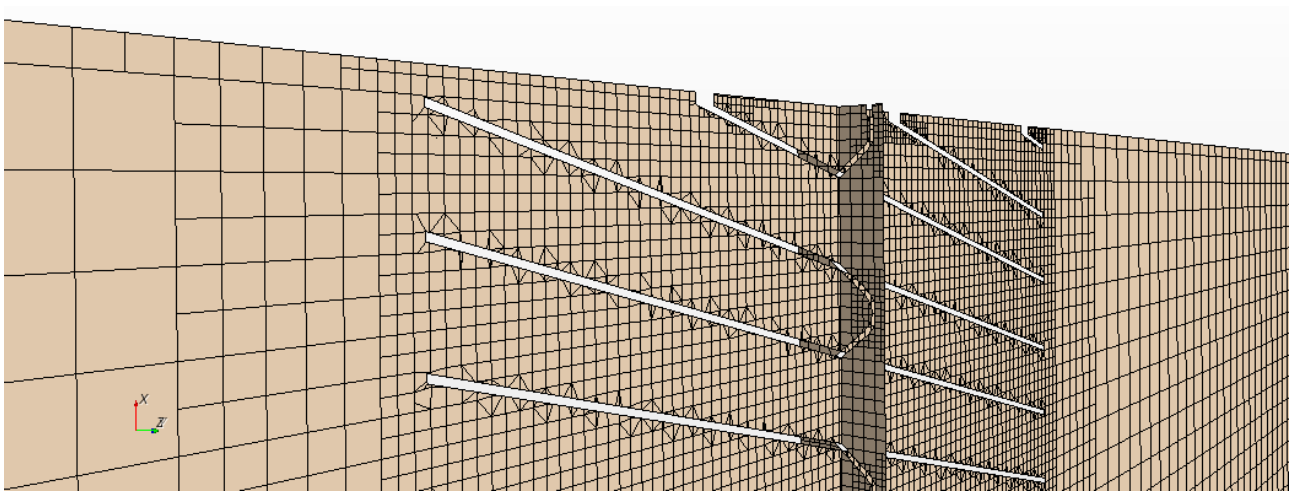


Рис.1. Расчетная сетка модели канала с кассетой для увлажнения

На развитой поверхности насадки задана жидкая пленка толщиной 1 мм, которая стекает под действием силы тяжести. Пленка поддерживается за счет потока массы на верхней кромке волнистых листов 0,00055 кг/с. На нижней кромке потоки воды и воздуха разделяются: воздух идет дальше по каналу, а вода уходит за пределы рассматриваемой области.

При решении задачи используется k - ε модель турбулентности. Смесь воздуха и водяных паров считается идеальным несжимаемым газом. Давление насыщения водяных паров рассчитывается по уравнению Антуана. Интенсивность испарения составляет около $0,0005 \text{ кг/м}^2\text{с}$, что соответствует данным производителя и экспериментальным исследованиям.

Скорость воздуха принимается равной $2,5 \text{ м/с}$, что является нормальной скоростью для работы увлажнителей данного типа (допустимый диапазон $1,5 - 4,5 \text{ м/с}$). В качестве граничных приняты следующие условия: температура воздуха на входе в канал $21 \text{ }^\circ\text{C}$, влагосодержание $4,16 \text{ г/кг с. в.}$. Температура потока воды, подаваемого на верхнюю часть увлажнителя, равна $16 \text{ }^\circ\text{C}$, что примерно соответствует температуре воздуха по мокрому термометру при заданных условиях (в реальных аппаратах вода из поддона постоянно циркулирует и поэтому принимает температуру воздуха по мокрому термометру).

В качестве начальных условий приняты следующие: параметры воздуха в объеме канала имеют те же параметры, что и поток воздуха на входе, температура $21 \text{ }^\circ\text{C}$, влагосодержание $4,16 \text{ г/кг с. в.}$, температура жидкой пленки на развитой поверхности кассеты также $16 \text{ }^\circ\text{C}$.

При моделировании процесса увлажнения в целой кассете получается очень большое количество ячеек либо слишком грубая сетка. В связи с этим принято решение смоделировать процесс испарения одной волнистой пластиной увлажнителя. В полной кассете таких пластин насчитывается 68.

На рис. 2–5 приведены результаты численного эксперимента. Как известно, при проведении численного эксперимента выполняется оценка сходимости, которая означает уменьшение до нуля ошибки численного решения по мере того, как размеры контрольных объемов расчетной области стремятся к нулю. В силу ограниченности вычислительных ресурсов расчет считался законченным, когда поведение отслеживаемых параметров становилось стационарным (либо значение изменялось не более чем на $2-3 \%$, либо наблюдался стационарный колебательный режим). Результаты мониторинга некоторых из исследуемых параметров приведены на рис. 6 и 7.

Одним из наиболее важных параметров в процессе увлажнения является влагосодержание. Как показывают результаты численных исследований (рис. 2), использование только одного ряда пластин обеспечивает увеличение влагосодержания на $0,07 \text{ г/кг с.в.}$ Это соответствует необходимой степени увлажнения воздуха в реальных условиях.

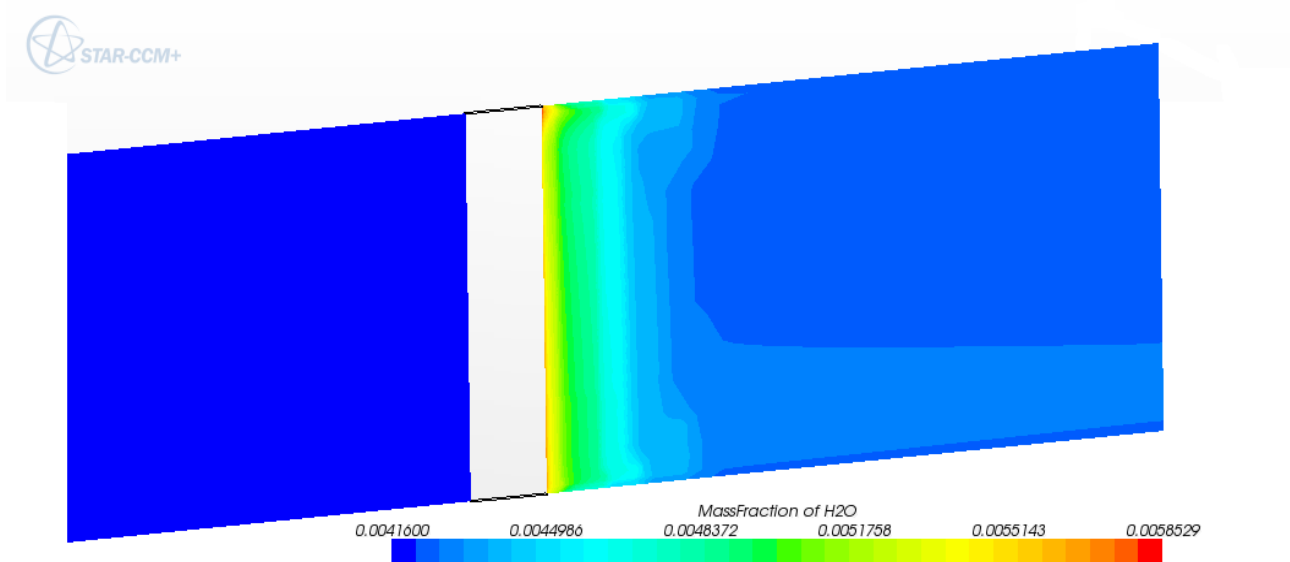


Рис.2. Распределение влагосодержания, кг/кг с.в.

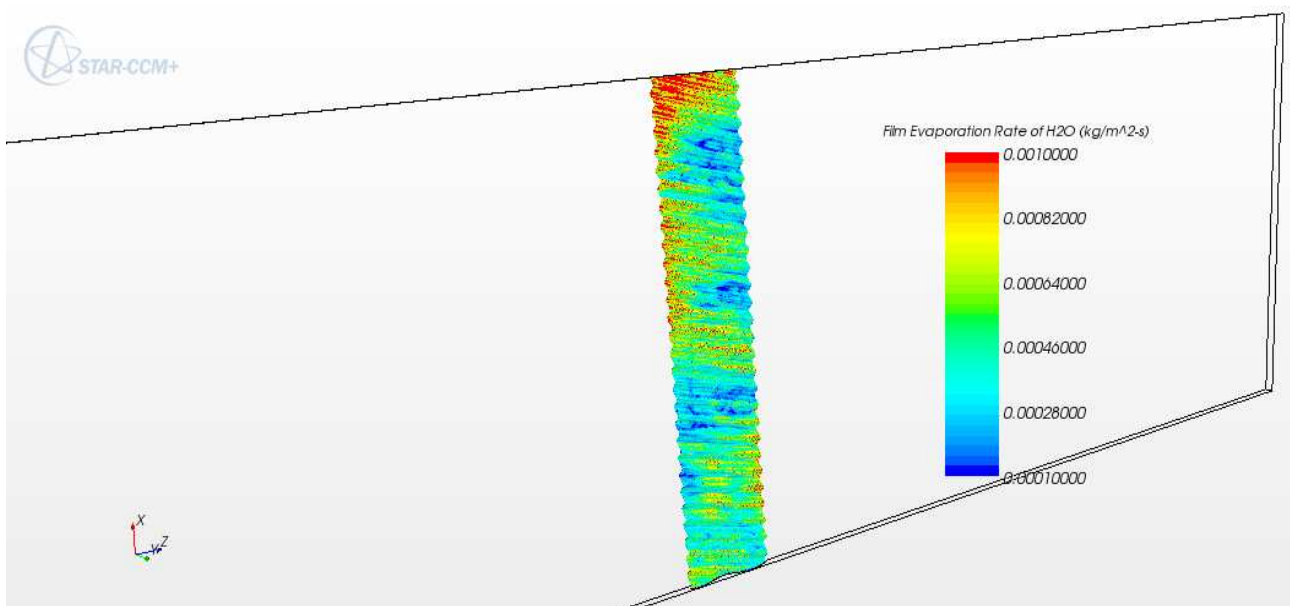


Рис.3. Распределение интенсивности испарения

Рис. 3 удовлетворительно характеризует процесс выравнивания интенсивности испарения по высоте пластины, что позволяет прогнозировать равномерность распределения этого параметра в кассетах реальных размеров.

Как известно, в сотовых увлажнителях реализуются процессы, близкие к адиабатическому увлажнению, т.е. с понижением температуры обрабатываемого воздуха, что наглядно видно на рис. 4.

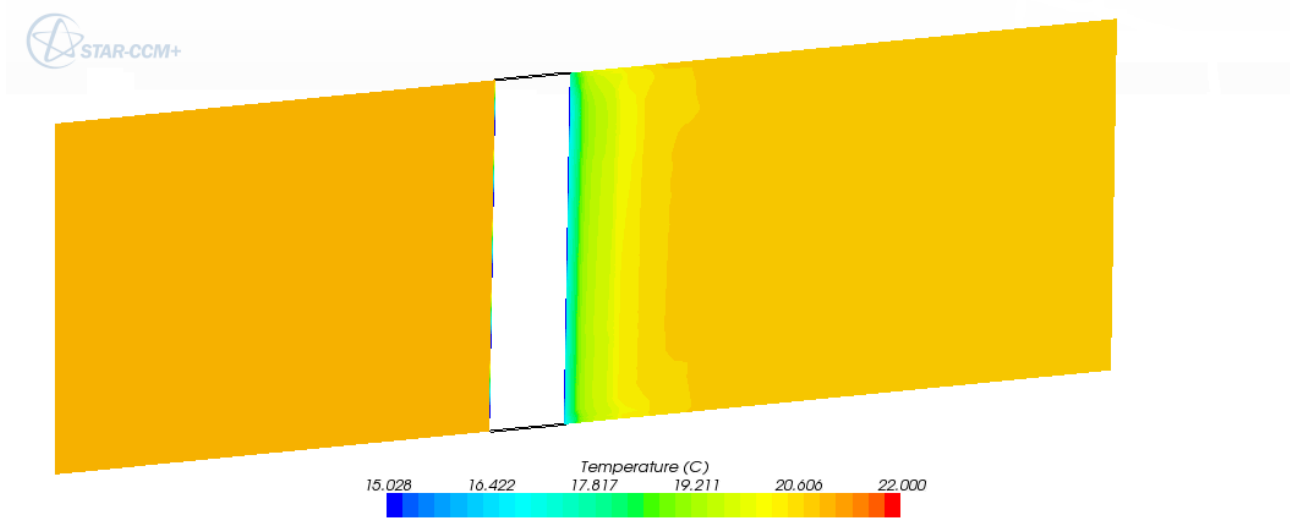


Рис.4. Распределение температуры воздуха

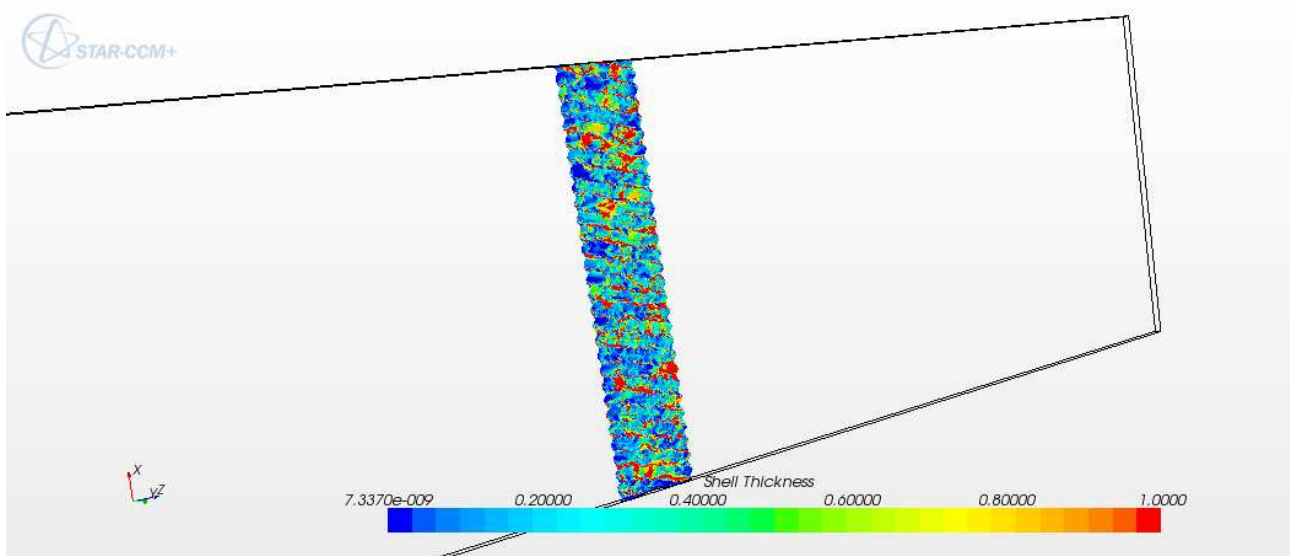


Рис.5. Изменение толщины пленки

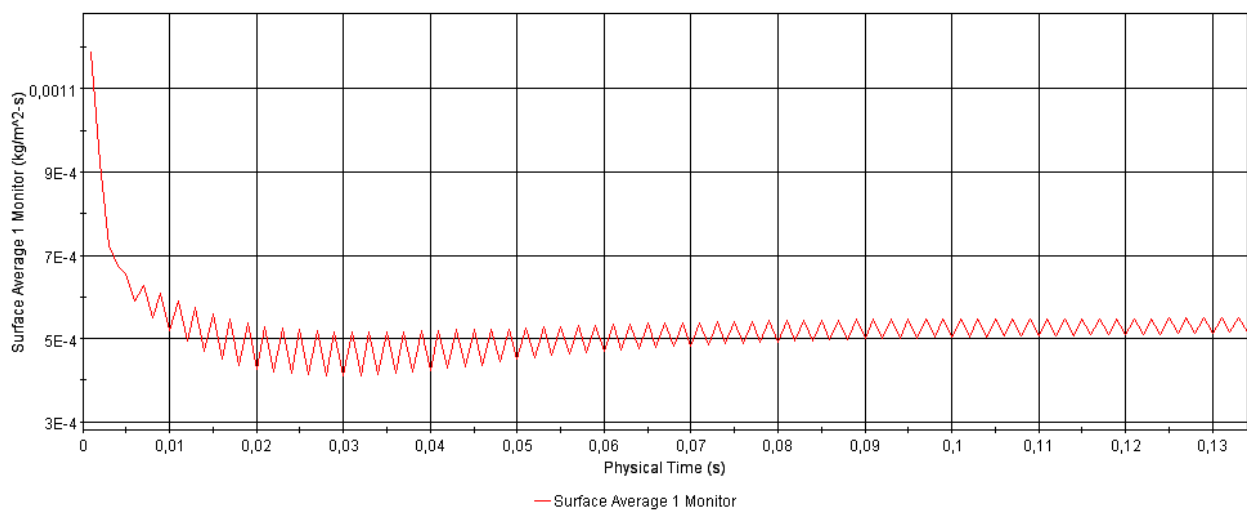


Рис. 6. Сходимость интенсивности испарения

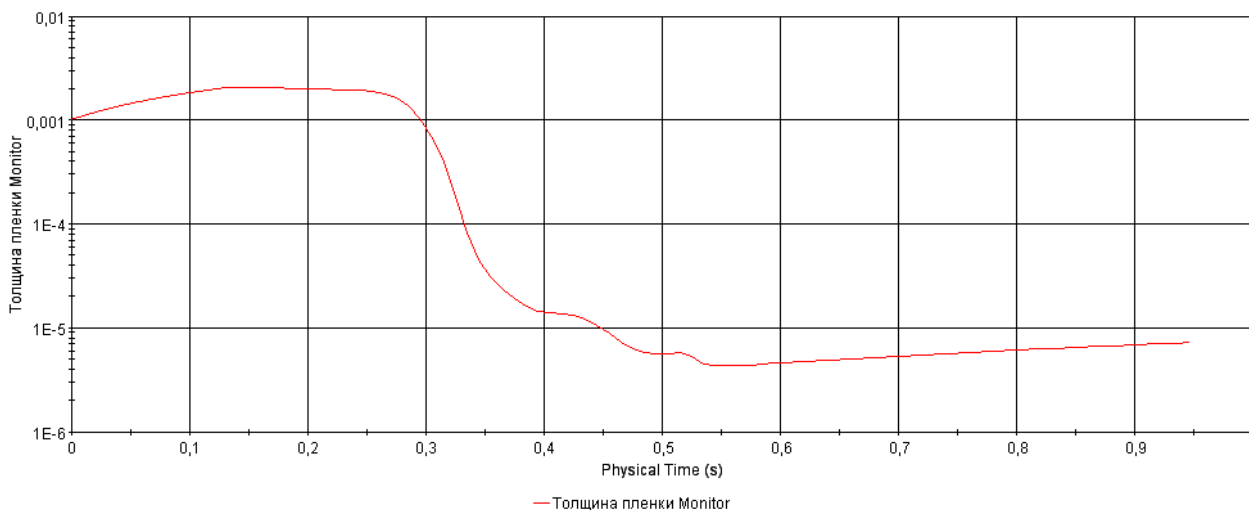


Рис.7. Сходимость толщины пленки

Изменение толщины пленки (рис.5) показывает, что имеет место нестационарный режим процесса испарения движущейся пленки, что подтверждает необходимость численных исследований рассматриваемых процессов. При этом толщина пленки приведена в долях от 1.

Выводы

Анализ результатов численного моделирования тепломассообменных процессов при испарении жидкой пленки с поверхности изогнутой пластины подтверждает сложный нестационарный характер увлажнения воздуха в сотовых увлажнителях. Данные исследований позволяют спрогнозировать количественные характеристики параметров в аппаратах реальных размеров.

Список литературы

1. Анисимов С.М. Тепломассообмен в аппаратах с пористой насадкой систем кондиционирования воздуха: дис. ... д-ра техн. наук спец. 05.23.03, 1998. – 385с.
2. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2003. – 272 с.
3. Майсоценко В.С. Тепломассообмен в косвенно-испарительных воздухоохладителях регенеративного типа // Пром. теплотехника. – 1987. – Т. 9. – № 2. – С.84-87.
4. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции // Том II, ч. 1. – СПб.: 2006. – 416 с.
5. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб.: Изд-во АВОК Северо-запад, 2005. – 402 с.

6. Тарабанов М. Г. Увлажнение воздуха в системах вентиляции и кондиционирования // Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. – 2009. – № 3 (41).

Рецензенты:

Дацюк Т.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой строительной физики и химии, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург;

Уляшева В.М., д.т.н., доцент, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.