

УДК 697.9

Алгоритм моделирования режимных параметров системы воздухоочистки

Д-р техн. наук., профессор Сулин А.Б. miconta@rambler.ru

Марченко А.С. miconta@rambler.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье приведен и подробно описан алгоритм имитационного моделирования режимных параметров системы воздухоочистки простейшей конфигурации, состоящей из центробежного вентилятора и «карманного» фильтра. Рассмотрен случай поддержания расхода воздуха в заданных пределах при реализации ступенчатого регулирования скорости вращения двигателя вентилятора в условиях сильно запыленной перемещаемой среды. Разработана и проанализирована подробная блок-схема работы данной системы. Предложена пошаговая реализация описанной концепции на базе инструмента имитационного моделирования AnyLogic. Приведены результаты проделанных экспериментов, графики, характеризующие режимные параметры рассматриваемой системы. Сделаны выводы об использовании предложенного метода при проектировании систем вентиляции воздуха.

Ключевые слова: системы вентиляции воздуха, системы очистки воздуха, имитационное моделирование, расходно-напорные характеристики вентилятора, засорение воздушного фильтра.

doi: 10.17586/2310-1148-2016-9-2-36-42

The algorithm for creating simulation models of air pollution control system

D.Sc., professor Sulin A.B. miconta@rambler.ru

Marchenko A.S. miconta@rambler.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov st., 9

The article presents and describes in detail the algorithm of simulation of mode parameters air cleaning system in its simplest configuration, consisting of a centrifugal fan and a "pocket" filter, in the case of step regulation of the fan motor speed when the filter is clogged. Developed the maintenance of the air flow within the prescribed limits during the implementation of the step control fan motor speed in a very dusty environment. Developed and analyzed a detailed block diagram of the system. Described "step by step" realization of the concept on the basis of simulation tools AnyLogic. Consider the results of the experiments, diagrams, characterizing operating parameters of the system. Made conclusions about use of the proposed method in the design of ventilation systems.

Keywords: air ventilation systems, air purification systems, simulation, consumables-pressure fan characteristics, clogged air filter.

В связи с постоянно увеличивающимся количеством вредных выбросов в атмосферу, ростом запыленности городов, а так же стремительно растущим количеством вредных производств, необходимость очистки воздуха, необходимого для нормальной жизнедеятельности человека, приобретает все более серьезные масштабы [1, 10–13].

Правильное проектирование систем воздухоочистки позволяет не только снизить затраты на оборудование, но и существенно сократить стоимость его эксплуатации.

В простейшей конфигурации система воздухоочистки состоит из двух элементов: вентилятор и фильтр. При сильно запыленной перемещаемой среде производительность вентилятора начинает снижаться вследствие засоряемости фильтра [2].

При известном значении параметра запыленности, выраженного в килограммах пыли на 1 кубический метр чистого воздуха, становится возможным проведение расчета, результатом которого

станут такие немаловажные данные о системе воздухоочистки как периодичность замены фильтра, возможность использования того или иного метода поддержания постоянного расхода воздуха и прочее. Наиболее простым является метод поддержания расхода воздуха в установленных пределах, основанный на ступенчатом регулировании производительности двигателя вентилятора [3]. В данной статье рассмотрен алгоритм моделирования системы воздухоочистки, состоящей из вентилятора и фильтра и его реализация при помощи инструмента имитационного моделирования Any Logic [4–7], проведен анализ результатов, полученных в результате данной работы.

Для построения математической модели принимается ряд допущений, основными из которых являются следующие: расход воздуха в системе должен поддерживаться в пределах от 1500 м³/ч до 2000 м³/ч, эффективность пылезадержания фильтра составляет 90 %, величина запыленности и на входе в систему постоянна и составляет 2,5 мг на 1 м³ воздуха. Для построения модели используются напорно - расходные характеристики центробежного вентилятора и канального «карманного» фильтра [14–15].

Блок-схема программы для расчета режима работы системы «вентилятор-фильтр» представлена на рис. 1.

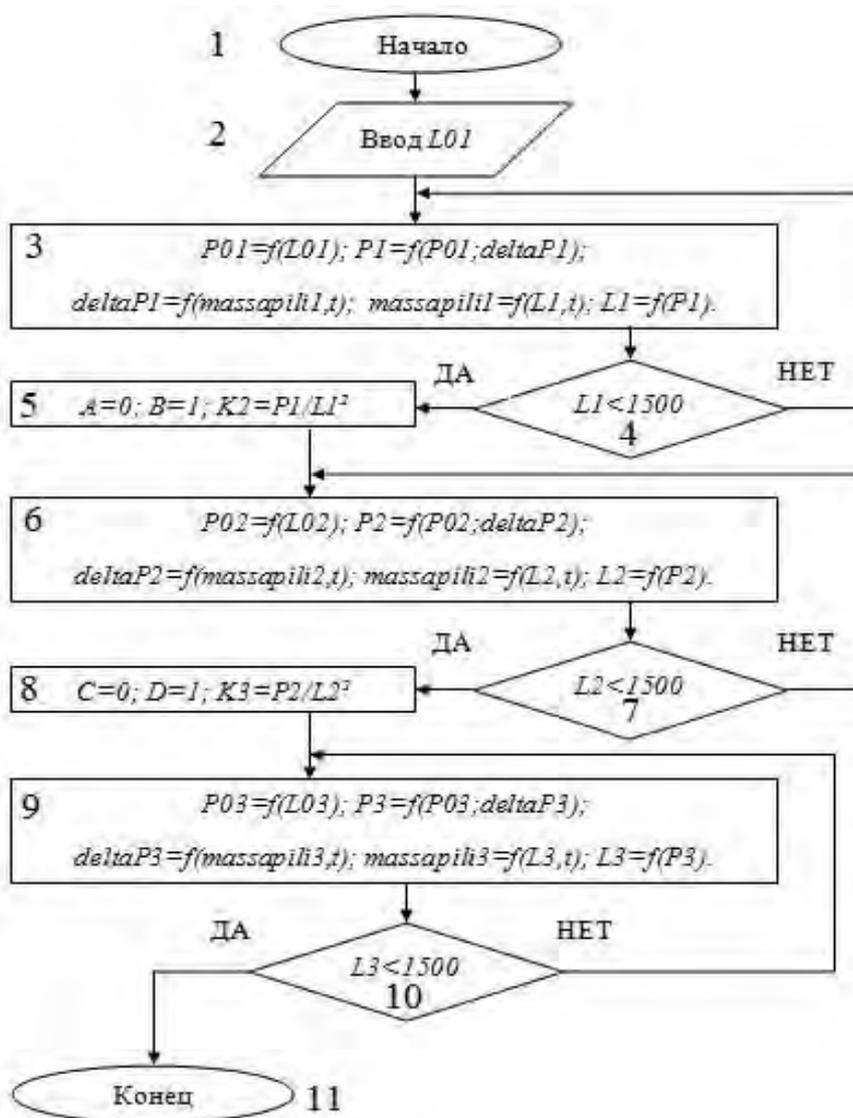


Рис. 1. Блок-схема программы расчета системы вентилятор-фильтр

Для реализации данного алгоритма можно воспользоваться различными инструментами, среди которых есть как классические языки программирования, так и современные программные продукты, использующие методологию имитационного моделирования.

Данные программы позволяют следить за поведением сложных систем в динамике, при необходимости меняя различные воздействующие на них факторы для достижения оптимального

результата. В статье рассмотрено решение данного алгоритма при помощи функционала программы Any Logic, разработанной российской компанией The AnyLogic company[5–9].

Логическая цепочка, разработанная в среде Any Logic для решения приведенного на рисунке алгоритма, изображена на рис. 2.

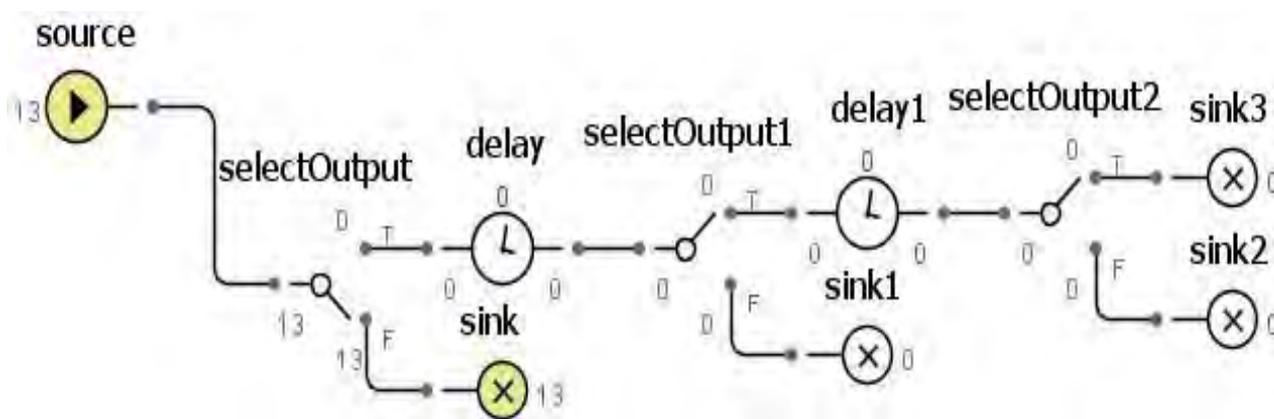


Рис. 2. Алгоритм работы программы

Блок *source* соответствует элементу 1 «начало», изображенному на блок-схеме (рис. 1). Через определенные промежутки времени он генерирует запросы.

При получении запроса блок *selectOutput* (соответствует элементу 4 блок-схемы) проводит проверку значения параметра $L1$ на соответствие условию $L1 < 1500$.

При отрицательном ответе запрос уничтожается в блоке *sink*, при положительном переходит в блок *delay* (соответствует элементу 5 блок-схемы), в котором происходит присвоение значений параметрам, отвечающим за переход от расчета системы на первой скорости вращения двигателя на вторую и расчет коэффициента характеристики сети.

Далее запрос переходит в блок *selectOutput1* (соответствует элементу 7 блок-схемы), в котором происходит проверка элемента $L2$ на соответствие условию $L2 < 1500$.

При отрицательном ответе запрос уничтожается, при положительном переходит в блок *delay1* (соответствует элементу 8 блок-схемы), в котором происходит присвоение значений параметрам, отвечающим за переход от расчета системы на второй скорости вращения двигателя на третью и расчет коэффициента характеристики сети.

Далее запрос переходит в блок *selectOutput2* (соответствует элементу 10 блок-схемы), в котором происходит проверка элемента $L3$ на соответствие условию $L3 < 1500$.

При отрицательном ответе запрос уничтожается, при положительном - расчет останавливается, что для реальной системы означает необходимость замены сильно засорившегося фильтра системы вентиляции.

В процессе выполнения расчета, описываемого приведенной выше блок-схемой, происходит динамическое построение графика зависимости напора от расхода для всех трех скоростей вращения двигателя вентилятора. График для законченного эксперимента представлен на рис. 3:

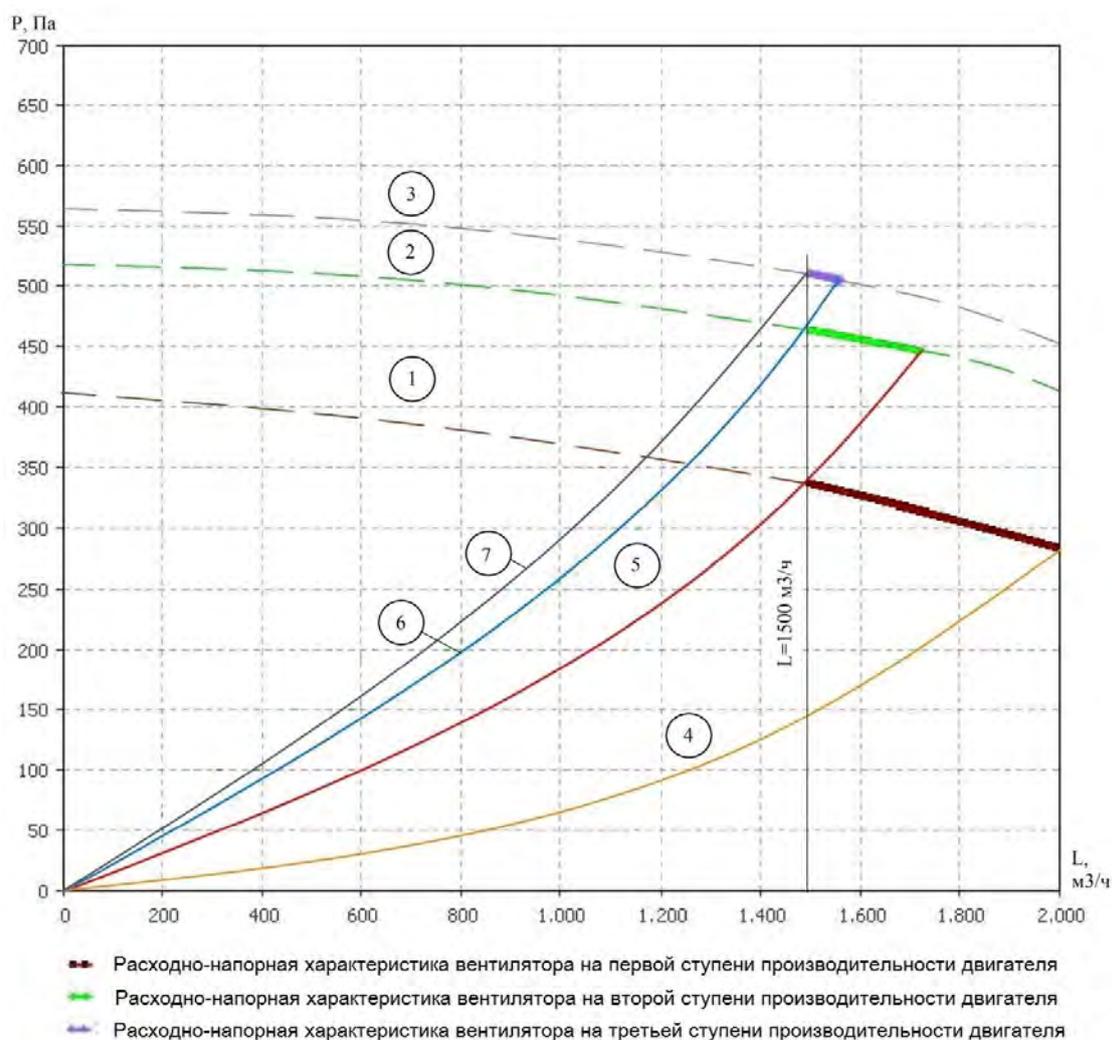


Рис. 3. График зависимости объемного расхода воздуха от давления, создаваемого вентилятором

Пунктирными линиями на графике показаны расходно-напорные характеристики вентилятора на трех разных скоростях вращения двигателя вентилятора (линии 1-3). Линии 4-7 являются характеристиками сети, соответствующими разной степени загрязненности фильтра. 4 – чистый фильтр, 7 – засоренный фильтр.

Все действия, описанные в элементах 3, 6 и 9 блок-схемы (рисунок 1) происходят в системе взаимосвязанных параметров и накопителей. Так как часть элементов зависима от времени, то в процессе эксперимента можно наблюдать за изменением их значений. Масса пыли, осевшей в фильтре в каждый момент времени, на первой скорости вращения двигателя рассчитывается в «накопителе» *massapili*:

$$massapili_j = massapili_{j-1} + \Delta massapili = massapili_{j-1} + Lj \times mp \times ef,$$

где: *j* – время эксперимента, с; *massapili_{j-1}* – масса пыли, осевшей в фильтре в предыдущий момент времени, кг; $\Delta massapili$ – масса пыли, осевшей в фильтре за 1 секунду, кг; *Lj* – фактический расход воздуха с учетом засоренности фильтра в момент времени *j* на первой скорости, м³/ч; *mp* – масса пыли, содержащейся в 1 м³ воздуха, кг; *ef* = 0,9 – эффективность фильтра.

В «накопителе» *deltaP1* в зависимости от массы пыли, задержанной в данный момент времени в фильтре, рассчитывается фактический прирост его аэродинамического сопротивления. При этом зависимость увеличения сопротивления фильтра от массы осевшей в нем пыли принимается линейной:

$$\Delta P1_j = \Delta P1_{j-1} + \Delta \Delta P1 = \Delta P1_{j-1} + r \times \text{massapili}_j,$$

где: j – время эксперимента, с; $\Delta P1_{j-1}$ – прирост аэродинамического сопротивления фильтра в предыдущий момент времени относительно сопротивления чистого фильтра, Па; $\Delta \Delta P1$ – прирост аэродинамического сопротивления фильтра за 1с; $\Delta P1_j$ – прирост аэродинамического сопротивления фильтра относительно сопротивления чистого фильтра в момент времени j на первой скорости вращения двигателя вентилятора, Па; massapili_j – масса пыли, осевшей в фильтре в момент времени j , кг; r – коэффициент, зависящий от типа фильтра.

Расчет фактического сопротивления «сети» в данный момент времени выполняется в динамической переменной P1:

$$P1_j = P01 + \Delta P1_j$$

Аналогичным образом рассчитываются параметры $\text{massapili}_2, \text{massapili}_3, \Delta P2, \Delta P3, P2, P3$.

На рисунке 4 представлен завершённый эксперимент имитационного моделирования для первой скорости вращения двигателя вентилятора. Как видно, расход воздуха изменялся от своего начального значения $L01=2000\text{ м}^3/\text{ч}$ до конечного $L1=1497,95\text{ м}^3/\text{ч}$, после чего эксперимент был остановлен и произошёл переход на расчет системы на второй скорости вращения двигателя.

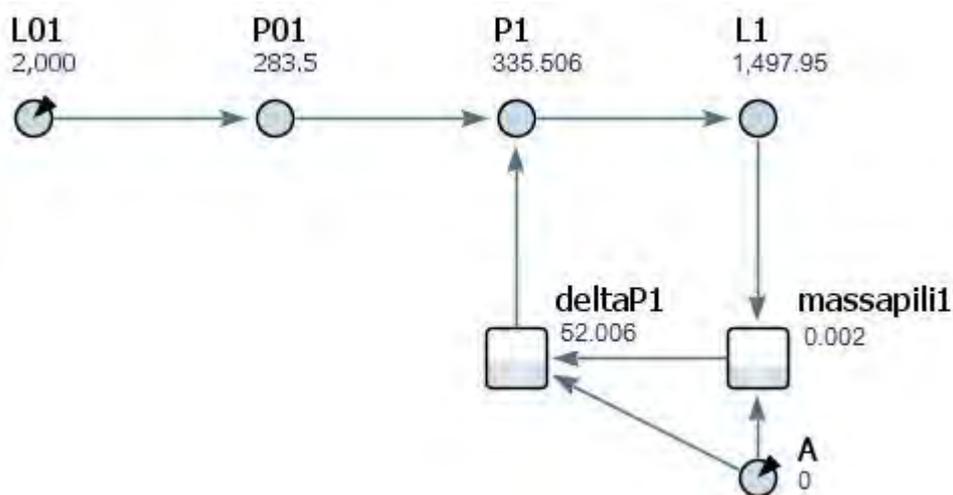


Рис. 4. Завершённый эксперимент имитационного моделирования для первой скорости вращения двигателя вентилятора

При переходе с первой скорости вращения двигателя вентилятора на вторую, последняя рабочая точка на первой скорости и первая рабочая точка на второй скоростях вращения двигателя лежат на кривой, описываемой уравнением [1]:

$$P = k \times L^2,$$

поэтому для поиска начальной рабочей точки на второй скорости вращения двигателя, происходит ее расчет. Дальнейшие расчеты аналогичны расчетам для первой ступени. Завершённые эксперименты имитационного моделирования для второй и третьей скоростей вращения двигателя вентилятора приведены на рисунках 5 и 6.

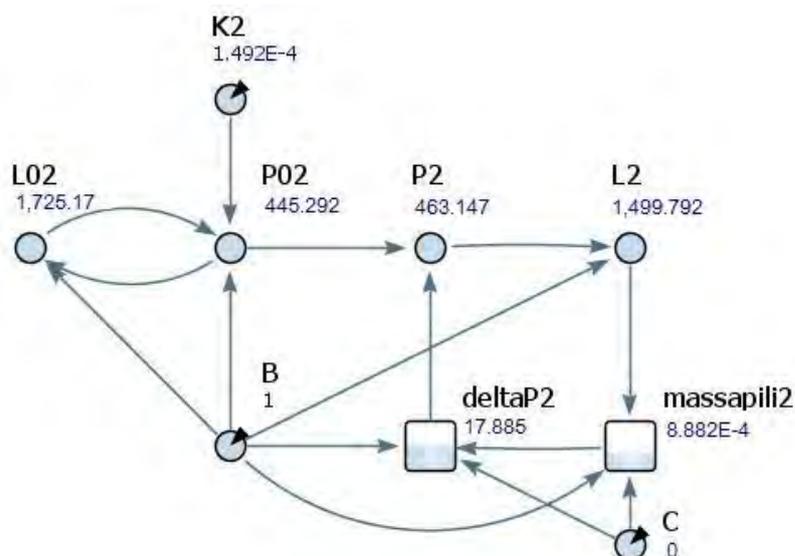


Рис. 5. Завершенный эксперимент имитационного моделирования для второй скорости вращения двигателя вентилятора

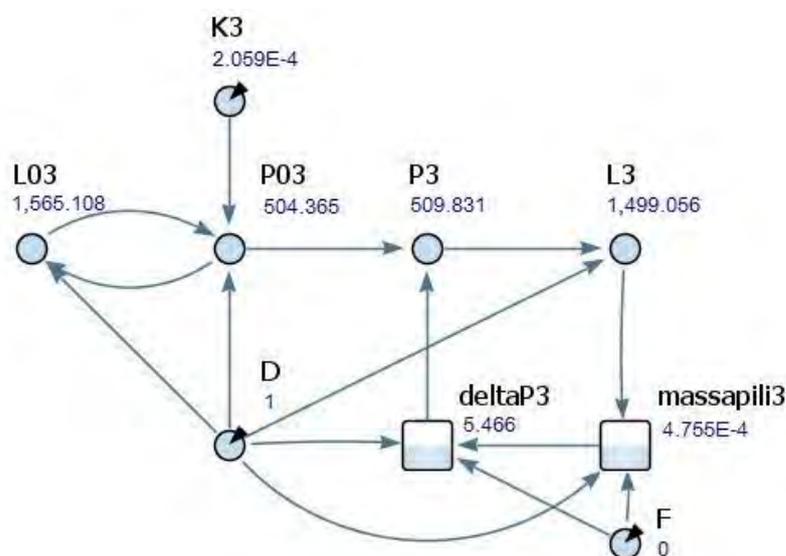


Рис. 6. Завершенный эксперимент имитационного моделирования для третьей скорости вращения двигателя вентилятора

Таким образом, на примере системы «вентилятор – фильтр» показано эффективное применение современного программного обеспечения для моделирования режимов работы системы жизнеобеспечения. Имитационная модель позволяет рассмотреть режим работы системы в динамике и на этапе проектирования оценить эффективность различных способов поддержания расхода воздуха при постоянно увеличивающемся сопротивлении фильтра.

Литература

1. Барикаева Н.С., Николенко Д.А. Исследование запыленности городской среды вблизи автомобильных дорог // журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 11 (133) 2013, с. 75-78.
2. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. СПб.: Авок Северо-запад, 2005.-399с.
3. Рымкевич А.А. Системный анализ общественной вентиляции и кондиционирования воздуха. СПб.: Авок Северо-запад, 2003.-271с.
4. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.-200с.
5. Маликов Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.

6. *Куприяшкин А.Г.* Основы моделирования систем: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.
7. *Каменский Д.П.* Имитационные модели автоматизации анализа и синтеза проектных решений систем жизнеобеспечения зданий. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – МГСУ, 2011.
8. *Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П.* Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
9. *Осоргин А.Е.* AnyLogic 6. Лабораторный практикум/ А.Е.Осоргин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Самара: ПГК, 2012.
10. *Пирумов А.И.* Обеспыливание воздуха. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с., ил. – (Охрана окружающей среды)
11. *Боровицкий А.А.* Современная промышленная вентиляция: учеб. пособие /А.А. Боровицкий, С. В. Угорова В.И. Тарасенко : Владим. гос.ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 59 с.
12. *Штокман Е.А.* Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. М. АСВ, 2001
13. *Родин А.К.* Вентиляция производственных зданий. Учебное пособие / Родин А.К. Саратов. гос. технич. унив-т. Саратов, 1997
14. *Черкасский В.М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. для теплоэнергетических специальностей вузов / В.М. Черкасский. М. : Энерго-атомиздат, 1984. 416 с.
15. *Шерстюк А.Н.* Насосы, вентиляторы и компрессоры : учеб. пособие для вузов / А.Н. Шерстюк. М.: Высш. шк., 1972. 344 с.

Статья поступила в редакцию 18.05.2016 г.