

DOI: 10.12737/article\_5c73fc1b02c9a5.88217220

<sup>1,\*</sup>Уляшева В.М., <sup>1</sup>Анисимов С.М., <sup>1</sup>Михайлов Е.В.<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

\*E-mail: ulyashevavm@mail.ru

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

**Аннотация.** Обеспечение нормируемых параметров микроклимата в учреждениях здравоохранения, таких как фармацевтические предприятия, является актуальной задачей в области строительства. Создание чистых помещений и чистых зон помещений характеризуется значительными затратами, обусловленными высокой стоимостью современных систем кондиционирования воздуха (СКВ), включающими несколько ступеней фильтрации воздуха. При выборе типа фильтра учитывают стоимость фильтров, периодичность их замены, аэродинамические характеристики. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований зависимости сопротивления воздушных фильтров от степени их фильтрующей способности. В натурных условиях изучены особенности функционирования фильтров марки «Воздушные фильтры» и марки Camfil в системах подготовки воздуха для чистых помещений фармацевтического производства. Получены статистические данные по эффективности и аэродинамическому сопротивлению исследуемых фильтров. Определены жизненные циклы фильтров. Предложена зависимость для определения аэродинамического сопротивления фильтра F7 Camfil в зависимости от продолжительности работы. Поддержание стабильного расхода воздуха в СКВ чистых помещений осуществляется путем создания электронными регуляторами расхода воздуха переменного аэродинамического сопротивления. Такой процесс сопровождается созданием избыточного давления в системе и требует увеличения потребляемой мощности вентилятора, что противоречит современным требованиям по энергоэффективности инженерных систем зданий. На основе экспериментальных исследований предложена схема организации работы вентилятора кондиционера на основе современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом.

**Ключевые слова:** чистое помещение, воздушный фильтр, эффективность, сопротивление, жизненный цикл.

**Введение.** Эксплуатация чистых зон помещений и чистых помещений характеризуется значительной стоимостью, что обуславливает их использование в соответствующих отраслях. Чистые помещения входят в состав лечебно-профилактических учреждений, фармацевтических производств, предприятий электронной промышленности и т.п.

Требования к организации воздухообмена в чистых помещениях и способам очистки воздуха в установках вентиляции и кондиционирования воздуха для вышеуказанных помещений определяются согласно ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 и приказу Министерства промышленной торговли России от 14.06.2013 №916. Требования отечественных нормативных документов гармонизированы с зарубежными нормативными документами. Особенности устройства чистых помещений с точки зрения обеспечения санитарно-гигиенических требований представлены в нормативных документах ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002 и ГОСТ Р 56638-2015. Исследованиям систем кондиционирования микроклимата чистых помещений посвящены работы [1–11]. Особенности проектирования чистых помещений для фармацевтических производств рассмотрены в работе [12].

Поддержание баланса расходов и давлений является основным вопросом [13] при проектировании и эксплуатации чистых помещений согласно требованиям ФЗ N 261-ФЗ «Об энергосбережении» от 23.11.2009г. и нормативных документов, в частности, ГОСТ 31607-2012 и ГОСТ Р 56190-2014. Исходя из вышеизложенного, в работе представлены результаты исследований, посвященные обоснованию выбора энергоэффективных моделей фильтров и схем управления вентиляционным оборудованием.

**Методология.** Известно, что фильтры тонкой очистки, используемые в системах подготовки воздуха для чистых помещений, имеют высокий перепад давления, что ведет к их частой замене и дополнительной нагрузке на вентиляционный агрегат кондиционера. Выбор типа фильтра осуществляется на основе классификации, представленной в ГОСТ Р 51251-99.

Планирование экспериментальных исследований в работе основано на требованиях по эксплуатации чистых помещений ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005, методах испытаний систем обеспечения микроклимата чистых помещений ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007 и общей методике проведения

аэродинамических испытаний ГОСТ 12.3.018–79.

В процессе экспериментальных исследований рассмотрены 2 идентичные системы кондиционирования воздуха с фильтрами марки «Воздушные фильтры» и марки «Camfil». Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Производительность установки 7400–8900 м<sup>3</sup>/ч. Каждая секция фильтра оснащена штуцерами для отбора проб воздуха и измерений перепада давлений.

Для оценки эффективности очистки воздуха использованы счетчики частиц Aerotrak 9306 (6 каналов измерений). Счетчики Aerotrak 9306 применяются для определения концентрации частиц размерами 0,3–20,0 мкм. Для измерения сопротивления фильтра использован дифференциальный манометр Testo 510 с температурной компенсацией (диапазон измерения: от 0 до 100 гПа).

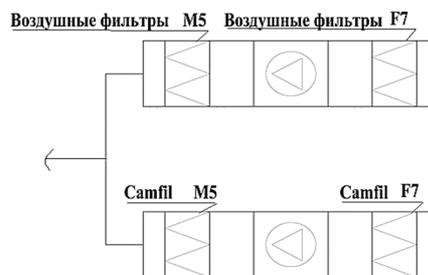


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

**Основная часть.** В системах подготовки воздуха важную роль играют воздушные фильтры, в процессе эксплуатации которых происходит накопление пыли и увеличение аэродинамического сопротивления фильтров и, соответственно всей системы подготовки воздуха. На рис. 2 представлены данные изменения аэродинамического сопротивления фильтров в процессе эксплуатации, полученные на основе экспериментальных исследований при участии авторов [14].

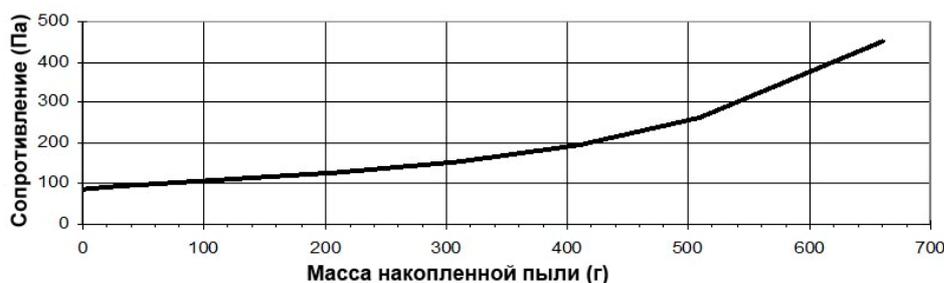


Рис. 2. Зависимость сопротивления воздушного фильтра от количества накопленной им пыли (расход воздуха 0,94 м<sup>3</sup>/с)

Для получения подробных статистических данных выполнен длительный эксперимент в течение 32 недель. На рис.3 приведены результаты эксперимента после 6 недель работы фильтров. Перепад давления на фильтрах M5 марки Camfil существенно ниже, чем на фильтрах M5 «Воздушные фильтры». Соответственно эффективность очистки воздуха (размер контрольных частиц 0,3 мкм) практически выше в два раза. Аналогичная тенденция наблюдается и на фильтрах F7.

На рис.3 представлена информация на 10 неделе работы фильтров. Перепад давления на фильтрах M5 марки Camfil более чем в 8 раз ниже перепада давления на фильтрах M5 «Воздушные фильтры», а перепад давления на фильтрах F7 марки Camfil на 25 % ниже перепада давления на фильтрах F7 «Воздушные фильтры». Потребовалась замена фильтра M5 «Воздушные фильтры» вследствие достижения предельного сопротивления.

Подобная картина имела место в течение всего времени эксперимента. Кроме того, в процессе дальнейшего эксперимента потребовалась

повторная замена фильтра M5 марки «Воздушные фильтры» и замена фильтра F7 марки «Воздушные фильтры» вследствие достижения предельного сопротивления. Таким образом, была установлена продолжительность жизненного цикла исследуемых фильтров марки «Воздушные фильтры», существенно меньше, чем фильтров марки Camfil.

На рис.5 представлены статистические данные после 32 недель эксплуатации фильтров. Несмотря на промежуточную замену фильтра F7 марки «Воздушные фильтры», его сопротивление вновь достигло предельного значения. Для дальнейшего функционирования системы вновь потребовалась замена фильтра.

На рис.6 представлены жизненные циклы фильтров F7 марки Camfil (HFGX-F7 и HFGS-F7 с глубиной кармана 520 мм и количеством карманов 10шт.) с максимальным допустимым значением перепада давления 300 Па. Так, например, жизненный цикл фильтра HFGS-F7 составляет 22000 ч (916 суток).

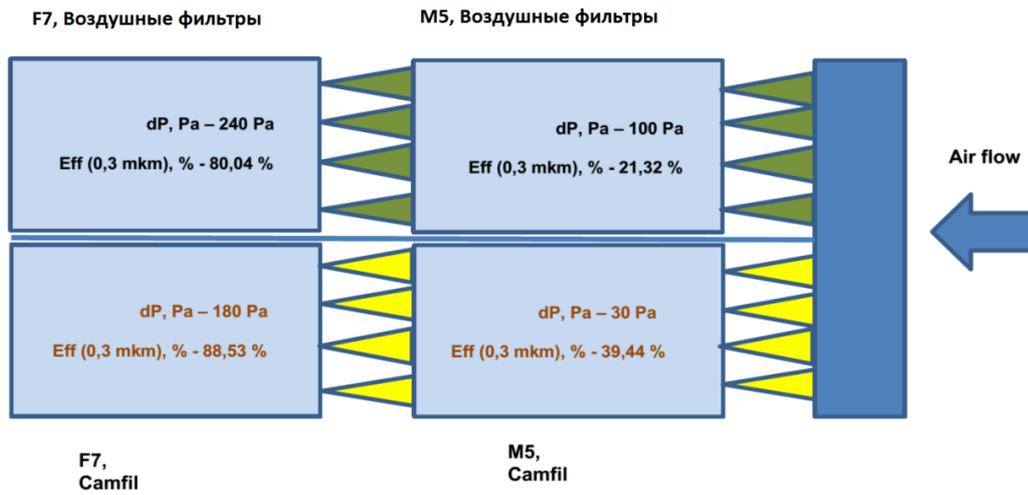


Рис. 3. Результаты эксперимента после 6 недель эксплуатации

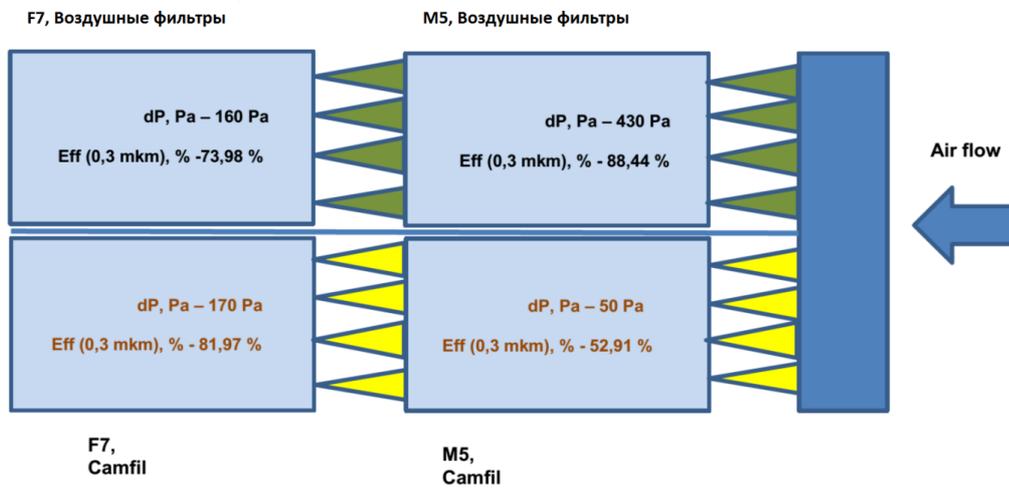


Рис. 4. Результаты эксперимента на 10 неделе эксплуатации

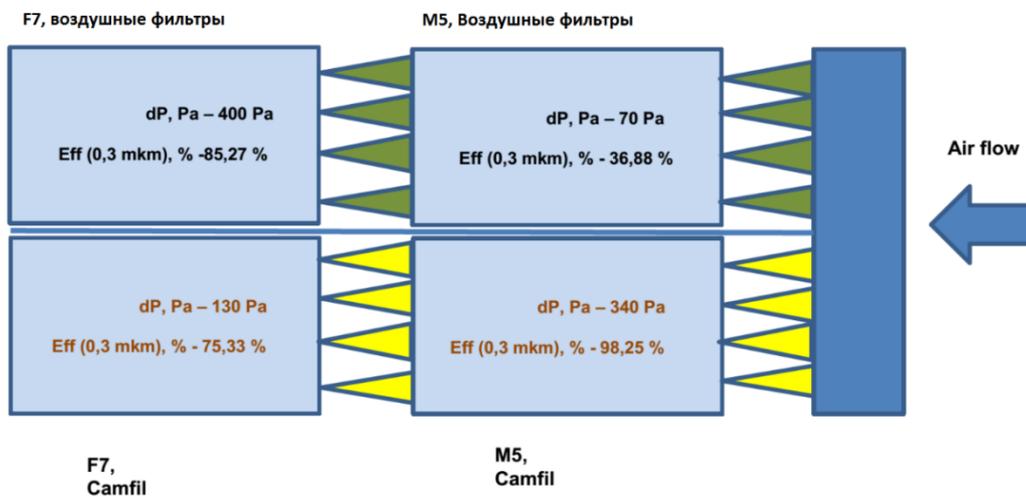


Рис. 5. Результаты эксперимента после 32 недель эксплуатации

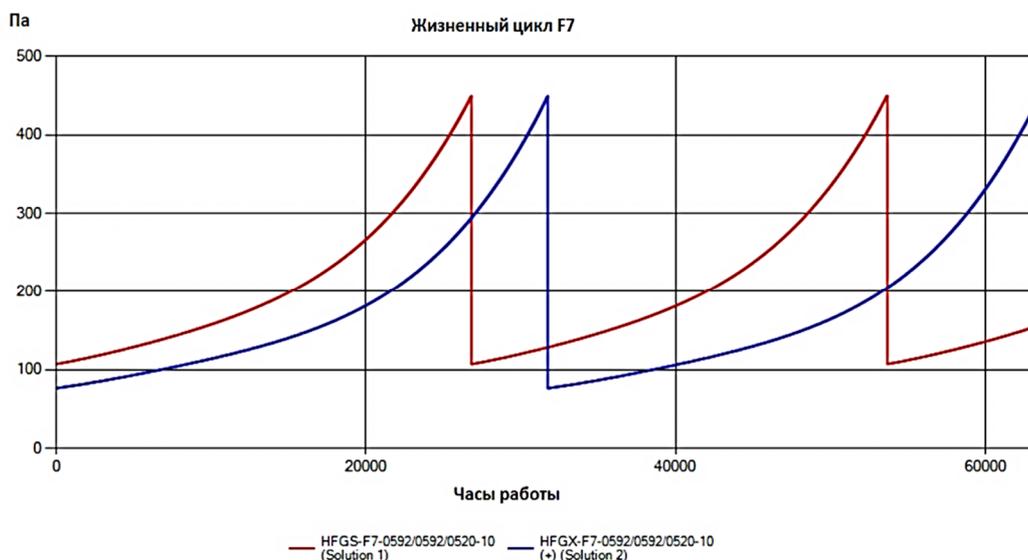


Рис. 6. Жизненный цикл фильтров марки Camfil

Результаты исследования функционирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха чистых зон фармацевтического предприятия показывают, что вентиляционные агрегаты потребляют избыточную мощность вне зависимости от степени фильтрующей способности фильтров и, соответственно, их аэродинамического сопротивления. Такой режим работы вентиляционного оборудования не соответствует современным требованиям по энергосбережению (ФЗ N 261-ФЗ «Об энергосбережении» от 23.11.2009г.) и энергоэффективности инженерных систем согласно ГОСТ Р 56190-2014, а также рекомендациям [15]. В работах [16, 17] рассмотрены основные направления энергосбережения и повышения энергоэффективности систем подготовки воздуха чистых помещений.

Проектирование и эксплуатация чистых помещений фармацевтического производства регулируется Стандартом GMP (Good Manufacturing Practic, Надлежащая производственная практика), а также рядом нормативных документов, в частности, ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005 и ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007. Учитывая значительное влияние сопротивления фильтров на аэродинамические характеристики системы подготовки воздуха для чистых помещений, для повышения энергоэффективности систем подготовки воздуха чистых помещений выполнен сравнительный анализ фильтров и предложена схема управления вентиляторами кондиционеров чистых помещений в зависимости от степени фильтрующей способности фильтров.

Для фильтра F7 увеличение перепада давления в зависимости от продолжительности работы может быть описано формулой:

$$\Delta P_{F7} = 80 + N^2 - N^{1.99997902}, \text{ Па} \quad (1)$$

где  $\Delta P_{F7}$  – значение перепада давления на фильтре F7 (Па), N – продолжительность работы фильтра (дней).

В системах кондиционирования воздуха чистых помещений для обеспечения стабильного расхода воздуха мощность вентилятора выбирается, исходя из условия поддержания проектного расхода воздуха при предельном сопротивлении фильтра, при котором необходима его замена. Постоянный расход воздуха в течение длительного периода времени поддерживается за счет дополнительного аэродинамического сопротивления, создаваемого электронными регуляторами расхода воздуха для компенсации переменного сопротивления фильтров. Выполненный в работе [14] при участии авторов анализ показывает, что такая схема не отвечает современным требованиям по энергоэффективности инженерных систем зданий, поскольку вентилятор практически всегда создает избыточное давление воздуха. В результате сопоставления существующей схемы с различными вариантами регулирования, например, с использованием датчика статического давления и современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом обоснован выбор последней схемы.

При установке датчика статического давления и соответствующей адаптации системы автоматики работа вентилятора кондиционера будет направлена на поддержание заданного статического давления воздуха. При отклонении фактического значения статического давления воздуха от заданного система управления вентиляцией будет изменять управляющий сигнал на частотный преобразователь электродвигателя вентилятора с целью изменения числа его оборотов. При снижении фильтрующей способности фильтров

тонкой очистки, расположенных в кондиционере, перепад давления на них будет увеличиваться, вследствие чего повысится сопротивление вентиляционной сети и уменьшится статическое давление, что приведет к увеличению потребляемой мощности вентилятора.

На основании анализа особенностей функционирования систем кондиционирования воздуха фармацевтического производства и различных схем обеспечения постоянного расхода предложена схема организации работы вентилятора кондиционера на основе современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом. К недостаткам данной системы возможно отнести большие затраты, связанные с заменой электронных регуляторов расхода на более современные. Для снижения стоимости затрат на модернизацию возможно подвергнуть замене всего один регулятор расхода воздуха на ответвлении с максимальным сопротивлением, в то время как электронные регуляторы других ответвлений будут функционировать в прежнем режиме.

#### Выводы.

На основе анализа экспериментальных исследований эффективности, аэродинамических сопротивлений и жизненных циклов фильтров тонкой очистки различных производителей определена целесообразность использования фильтров марки Camfil. Предложена схема организации работы вентилятора кондиционера на основе современных электронных регуляторов расхода по положению дроссельной заслонки с обратным сигналом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федотов А.Е. Чистые помещения. Второе издание, переработанное и дополненное М.: АСИНКОМ, 2003. 576 с.
2. Азембаев А.А. Основные критерии чистого помещения согласно требованиям стандарта GMP // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3 (45). Часть 2. С. 54–57.
3. Алексашина О.Ф., Власенко В.И., Калечиц В.И. и др. Чистые помещения. Под ред. А. Е. Федотова. [2-е изд.]. М.:Изд-е АСИНКОМ, 2003. 576 с.
4. Раймонд К. Шнейдер. Системы кондиционирования воздуха для чистых комнат // АВОК. 2002. № 5. С. 38–43.

#### Информация об авторах

**Уляшева Вера Михайловна**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

5. Борисоглебовская А.П. Лечебно-профилактические учреждения. Общие требования к проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М. АВОК-ПРЕСС, 2008. 146с.

6. Matsuki M. Energy saving system for air conditioning of clean room for semiconductor factory (Estimation of FMU System) // Oki Technical Review. 1998. P. 40–43.

7. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 1: System components // ASHRAE Trans. 96 (2). 1990. P. 620–625.

8. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 2: Total system components // ASHRAE Trans. 96 (2). 1990. P. 626–633.

9. Schneider R. Designing clean room HVAC systems // ASHRAE Journal Vol. 43 (8). August 2001. P. 39–46.

10. Xu T. Airflow design for cleanroom and its economic implication // To appear in the Proceeding of the 5th China International Academic Forum & Products Exposition on Contamination Control Technology, Construction Sub-Council of China for the Promotion of International Trade and Chinese Contamination Control Society. Beijing, China. November 27–29. 2002. P. 7.

11. Zaragoza S. Need for clean rooms growing rapidly // Dallas Business Journal 21(46). 2002.

12. Peter Maier, Bern Metzner. Чистые комнаты для фармацевтических изделий // АВОК. 2000. №2. С.24–30.

13. Бородкин А.А. Поддержание баланса расходов и давлений в чистых помещениях // АВОК. 2010. № 4. С. 42–51.

14. Михайлов Е.В. Повышение энергоэффективности вентиляции чистых помещений // Теоретические и практические аспекты развития научной мысли в современном мире: Сборник статей Международной научно-практической конференции (16 июня 2018 г., г. Оренбург). Уфа: ОМЕГА САЙНС. 2018. С.32–35.

15. СТО НП АВОК 2.2.4–2015. Рекомендации по повышению энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Введ. 2015–06–09. 24с.

16. Черняков Е. В. Сравнительный анализ систем вентиляции и кондиционирования воздуха в чистых помещениях и проблемы энергосбережения // Технология чистоты. 2012. №3. С.25–28.

17. Cohen R.M. Энергоэффективные системы климатизации чистых комнат промышленных предприятий // АВОК. 2004. №4. С. 52–58.

**Анисимов Сергей Михайлович**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4.

**Михайлов Егор Валерьевич**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4.

Поступила в январе 2019 г.

© Уляшева В.М., Анисимов С.М., Михайлов Е.В., 2019

<sup>1,\*</sup>*Ulyasheva V.M., <sup>1</sup>Anisimov S.M., <sup>1</sup>Mikhailov E.V.*  
<sup>1</sup>*Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*  
*Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4*  
*\*E-mail: ulyashevavm@mail.ru*

## IMPROVING AIR PURIFICATION IN CLEAN ZONES OF MICROCLIMATE SUPPORT SYSTEMS

**Abstract.** *Providing standardized microclimate parameters in the health care facilities, such as pharmaceutical companies, is an urgent task in construction. Creating clean rooms is characterized by significant expenses, due to the high cost of modern air conditioning systems (ACS), including several stages of air filtration. The cost of filters, the frequency of their replacement, the aerodynamic characteristics are taken into account when choosing a filter type. This paper presents the results of experimental studies on dependence of the resistance of air filters on the degree of filtering capacity. The “Air filters” and “Camfil” features of operation in air preparation systems for clean rooms in pharmaceutical production are studied. Statistical data on the efficiency and aerodynamic resistance of studied filters are obtained. Filters’ life cycles are defined. The relation for determining the aerodynamic resistance of the F7 Camfil filter depending on the duration of operation is proposed. Maintaining a stable air flow in the ACS of clean rooms is carried out by creating electronic regulators of air flow variable aerodynamic resistance. This process is accompanied by the creation of overpressure in the system and it requires the increase of power consumption, which contradicts the modern requirements for energy efficiency of building engineering systems. In the result of experimental studies, the scheme for organizing the operation of an air conditioner fan based on modern electronic flow regulators on the throttle position with a return signal is proposed.*

**Keywords:** *clean room, air filter, efficiency, aerodynamic resistance, life cycle.*

### REFERENCES

1. Fedotov A.E. Clean rooms. The second edition, revised and supplemented by M.: ASINKOM. 2003, 576 p.
2. Azembaev A.A. Main criteria of cleanroom according to the requirements of the GMP standard. International Scientific Research Journal, 2016, no. 3 (45), Part 2, pp. 54–57.
3. Aleksashina O.F., Vlasenko V.I., Kalechits V.I. etc. Clean rooms. By ed. A. E. Fedotova. [2nd ed.]. M.: Publishing House ASYNKOM. 2003, 576 p.
4. Raymond K. Schneider. Air conditioning systems for clean rooms. Schneider AVOK, 2002, no. 5, pp. 38–43.
5. Borisoglebovskaya A.P. Medical institutions. General requirements for the design of heating, ventilation and air conditioning systems. M. AVOK-PRESS, 2008, 146 p.
6. Matsuki M. Energy saving system for air conditioning of clean room for semiconductor factory (Estimation of FMU System). Oki Technical Review, 1998, pp. 40–43.
7. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 1: System components. ASHRAE Trans, 96 (2), 1990, pp. 620–625.
8. Naughton P. HVAC systems for semiconductor clean rooms – Part 2: Total system components. ASHRAE Trans, 96 (2), 1990, P. 626-633.
9. Schneider R. Designing clean room HVAC systems. ASHRAE Journal, vol. 43 (8), August 2001, pp. 39–46.
10. Xu T. Airflow design for cleanroom and its economic implication. To appear in the Proceeding of the 5th China International Academic Forum & Products Exposition on Contamination Control Technology, Construction Sub-Council of China for the Promotion of International Trade and Chinese Contamination Control Society. Beijing, China. November 27-29, 2002, pp. 7.

11. Zaragoza S. Need for clean rooms growing rapidly. *Dallas Business Journal*, 21(46), 2002.
12. Peter Maier, Bern Metzner. Clean rooms for pharmaceutical products. *AVOK*, 2000, №2, P.24-30.
13. Borodkin A.A. Keeping the balance of costs and pressures clean rooms. *AVOC*, 2010, no. 4, pp. 42–51.
14. Mikhailov E.V. improving energy efficiency of ventilation of clean rooms. Theoretical and practical aspects of the development of scientific thought in the modern world: Collection of articles of the International scientific-practical conference (June 16, 2018, Orenburg). Ufa: OMEGA SAINZ. 2018, pp. 32–35.
15. STO NP ABOK 2.2.4–2015. Recommendations for improving the energy efficiency of ventilation and air conditioning systems. *Enter*, 2015-06-09, 24P.
16. Chernyakov E.V. Comparative analysis of ventilation and air conditioning systems in clean rooms and problems of energy saving, 2012, no. 3, pp. 25–28
17. Cohen R.M. Energy-Efficient air-conditioning systems for clean rooms of industrial enterprises, 2004, no. 4, pp. 52–58.

*Information about the authors*

**Ulyasheva, Vera M.** DSc, Professor of heat and gas supply and ventilation chair. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4.

**Anisimov, Sergei M.** DSc, Professor of heat and gas supply and ventilation chair. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4.

**Mikhailov, Egor V.** Postgraduate student of heat and gas supply and ventilation chair. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4.

---

*Received in January 2019*

**Для цитирования:**

Уляшева В.М., Анисимов С.М., Михайлов Е.В. Совершенствование очистки воздуха в системах обеспечения микроклимата чистых помещений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 81–87. DOI: 10.12737/article\_5c73fc1b02c9a5.88217220

**For citation:**

Ulyasheva V.M., Anisimov S.M., Mikhailov E.V. Improving air purification in clean zones of microclimate support systems. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 81–87. DOI: 10.12737/article\_5c73fc1b02c9a5.88217220