

УДК 628.84

## Методика подбора фильтров для чистых помещений

Д-р техн. наук А. В. ЦЫГАНКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук В. И. ЛЫСЕВ<sup>2</sup>,  
О. В. ДОЛГОВСКАЯ<sup>3</sup>, А. ХИЛДАЯТИ

<sup>1</sup>pallada-ltd@infopro.spb.ru, <sup>2</sup>vilysev@corp.ifmo.ru, <sup>3</sup>ovdolgovskaia@corp.ifmo.ru  
Университет ИТМО

*Рассмотрена обобщенная схема фильтрации и сформулирована оптимизационная задача проектирования фильтров для чистых помещений, представлен анализ механизма удерживания пылевых частиц. Предложена модель фильтра, состоящая из множества цилиндрических эллиптических каналов, по которым движется запыленный воздух. Геометрические размеры каналов определяются из решения задачи линейного программирования минимизирующей погрешность между результатами моделирования и предусмотренных действующими стандартами натурных испытаний фильтров. В качестве целевой функции оптимизационной задачи принят взвешенный аддитивный критерий, представляющий собой свертку комплекса технико-экономических параметров, заданных техническим заданием на проектирование системы фильтрации. Вектор варьируемых параметров представлен совокупностью воздушных фильтров с известными технико-экономическими параметрами. В качестве внутренних ограничений области допустимого решения выступают массогабаритные характеристики, количество ступеней фильтрации, количество потоков фильтрации, требования по акустике и т. п. Внешние ограничения — это параметры приточного и рециркуляционного воздуха (температура, влажность), дисперсионный состав пыли и ее физико-технические характеристики.*

**Ключевые слова:** чистые помещения, фильтрация, эквивалентный канал, дисперсионный состав пыли, ламинарное течение, оптимизационная задача, приточный и рециркуляционный воздух.

---

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 14.01.2019, принята к печати 28.02.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-11-16

Язык статьи — русский

### Ссылка для цитирования:

Цыганков А. В., Лысев В. И., Долговская О. В., Хилдаяти А. Методика подбора фильтров для чистых помещений. // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 11–16.

---

## The selection of a filter for cleanrooms

D. Sc. A. V. TSYGANKOV<sup>1</sup>, Ph. D. V. I. LYSEV<sup>2</sup>, O. V. DOLGOVSKAIA<sup>3</sup>,  
A. HILDAYATI

<sup>1</sup>pallada-ltd@infopro.spb.ru, <sup>2</sup>vilysev@corp.ifmo.ru, <sup>3</sup>ovdolgovskaia@corp.ifmo.ru  
ITMO University

*General chart of filtration is analyzed and an optimization task of filter design for cleanrooms is formulated. An analysis of dust particles retention process is presented. A filter model of consisted of numerous cylindrical elliptical channels in which dust-loaded air is moved is proposed. Geometrical dimensions of the channels are defined from a linear programming task which is to minimize the divergence between the simulation results and the standardized results of field tests for the filters. As an objective function for the task of optimization weighted additive criterion is taken, which is a convolution of technico-economical parameters set by design specification for a ventilation system. Vector of varying parameters is represented by complex of air filters with known technico-economical parameters. Internal constrains for acceptable solution are physical data, the number of filtration stages, the number of filtration flows, acoustic requirements etc. External constraints are the parameters of intake and recirculation air (temperature, humidity), dispersive composition of dust and its physicochemical characteristics.*

**Keywords:** cleanroom, filtration, equivalent channel, dispersive composition of dust, laminar flow, optimization task, intake and recirculation air.

---

### Article info:

Received 14/01/2019, accepted 28/02/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-11-16

Article in Russian

### For citation:

Tsygankov A. V., Lysev V. I., Dolgovskaia O. V., Hildayati A. The selection of a filter for cleanrooms. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 1. p. 11–16.

---

## Введение

Чистые помещения (ЧП) широко используются в современных производствах, которые предъявляют особые требования к качеству внутренней воздушной среды. Основными требованиями производства биологических, медицинских материалов и микроэлектроники является безусловное соблюдение нормативов чистоты воздушной среды и поддержание технологических или комфортных параметров микроклимата в заданных пределах [1]. Опыт эксплуатации ЧП показывает, что качество продукции существенно зависит от эффективности воздухоподготовки и во многом определяет энергозатраты на единицу выпускаемой продукции. Стандарты международной организацией стандартизации ИСО регламентируют всю технологическую последовательность проектирования, испытания и эксплуатации чистых помещений [2]. Эти нормативные документы ориентированы, прежде всего, на формирование задач проектирования и организации мониторинга качества воздушной среды в процессе эксплуатации. Задачи повышения энергетической эффективности и сокращения затрат на воздухоподготовку решаются как правило на основе рекомендаций, сформулированных на основе опыта эксплуатации ЧП существующих производств. Такой подход вполне оправдан при проектировании типовых объектов и использовании апробированных технических решений, но не эффективен при использовании новых технологий, материалов и специфических параметрах приточного воздуха. В настоящее время разработаны высокопроизводительные эффективные технологии фильтрации воздуха, которые становятся приемниками традиционных фильтров классической конструкции [3–6]. Поэтому разработка оптимальной, с позиции энергоэффективности, системы воздухоподготовки, фильтрации и методов ее проектирования является актуальной задачей.

## Постановка задачи исследования

Внедрение новых технологических процессов в производство товаров и услуг требует создания высокоэффективных систем кондиционирования воздуха. Системы воздухоподготовки в таких производствах являются основными потребителями энергии. Проектирование систем фильтрации воздуха, обеспечивающих оптимальное техническое решение, требует разработки обобщенной модели фильтрации, позволяющей решать комбинаторные задачи выбора технического решения с учетом разнообразия технологий, материалов, внешних и внутренних ограничений.

## Методика проектирования системы фильтрации

Выбор фильтров для систем кондиционирования воздуха может быть сформулирован в виде стандартной оптимизационной задачи, поиска глобального или локального экстремума целевой функции при заданных ограничениях [7].

$$\text{extr}=F(X), \quad (1)$$

где  $F(X)$  — целевая функция;  $X$  — вектор варьируемых параметров.

В общем случае, при проектировании системы фильтрации целевая функция состоит из комплекса технико-экономических параметров:

$K_1$  — капитальные затраты на систему фильтрации, включающие стоимость оборудования, его монтаж и наладку;

$K_2$  — эксплуатационные затраты, включающие замену и (или) регенерацию фильтрующего материала, стоимость энергии для привода вентиляторов, сервисное обслуживание;

$K_3$  — размер частиц с максимальной проникающей способностью;

$K_4$  — допустимый перепад давления в системе фильтрации;

$K_5$  — пылеемкость системы фильтрации;

$K_6$  — эффективность фильтрации частиц определенного диапазона размеров.

Перечисленный комплекс параметров не является исчерпывающим и может быть дополнен в зависимости от назначения, особенностей и требований к системе.

В качестве целевой функции принят взвешенный аддитивный критерий [7]

$$F(X) = \sum_{i=1}^{i=m} \mp a_i \frac{K_i}{K_i^0}; \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где  $a_i$  — весовые коэффициенты, лежащие в диапазоне 0–1 и определяющие значимость конкретного параметра в целевой функции;

$K_i^0$  — нормирующие величины, которые выбираются из прототипа проектируемой системы или из диапазона параметров определяемого техническим заданием;

$m$  — количество параметров, входящих в целевую функцию.

Знак в формуле (2) выбирается в зависимости от того, следует уменьшать или увеличивать параметр. Так при поиске минимума целевой функции параметры  $K_1$ – $K_3$  имеют знак плюс, а  $K_4$ – $K_6$  — знак минус.

Вектор варьируемых параметров  $X$  представляет собой совокупность воздушных фильтров с известными технико-экономическими параметрами, которые могут быть установлены в проектируемой системе фильтрации.

Вектор варьируемых параметров должен находиться в допустимой области внутренних и внешних ограничений задаваемых в форме равенств и неравенств. В качестве внутренних ограничений могут выступать массогабаритные характеристики, количество ступеней фильтрации, количество потоков фильтрации, требования по акустике и т. п. Внешние параметры (ограничения) — это, прежде всего, параметры воздуха (температура, влажность) и дисперсионный состав пыли и ее физико-технические характеристики.

На рис. 1 приведена обобщенная структурная схема системы фильтрации чистых помещений, состоящая из параллельных потоков приточного и рециркуляционного воздуха и фильтров грубой (G1-G4), средней (M5-M6), тонкой (F7-F9) и сверхтонкой (E10-E12) очистки.

Количество параллельных потоков приточного воздуха и места входа в приточный поток рециркуляционного воздуха и его расход определяются требованиями к качеству фильтрации, габаритными размерами системы, акустической нагрузкой и т. д.

При разработке систем фильтрации техническим заданием должны быть определены:

$q_{in}$  — расход наружного приточного воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$q_p$  — расход рециркуляционного воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$m_{in}^{(j)}$  — удельная масса пыли наружного воздуха  $j$ -го размера, г/м<sup>3</sup>;

$m_p^{(i)}$  — удельная масса пыли рециркуляционного воздуха  $i$ -го размера, г/м<sup>3</sup>;

$m_{out}^{(i)}$  — удельная масса пыли после фильтрации воздуха  $i$ -го размера, г/м<sup>3</sup>.

На рис. 2 показана характерная гистограмма распределения массы пыли в воздухе. Очевидно, что гистограмма изменяется после прохождения каждой ступени фильтрации и смешения приточного и рециркуляционного воздуха. Место смешения потоков зависит от качества рециркуляционного воздуха.

Общая пылевая нагрузка приточного и рециркуляционного воздуха вычисляется по формулам:

$$m_{in} = q_{in} \tau \sum_{j=1}^n m_{in}^{(j)};$$

$$m_p = q_p \tau \sum_{i=1}^n m_p^{(i)},$$

где  $\tau$  — время движения воздуха через фильтры.

Время движения воздуха через фильтр — это то время, которое проходит от установки нового или регенерированного фильтра до достижения им рекомендуемой пылеемкости, которая контролируется по перепаду давления на фильтрующем материале.

Таким образом, при проектировании системы фильтрации необходимо определить время  $\tau$  для каждой ступени очистки при заданной пылевой нагрузке.

Самым распространенным типом материалов воздушных фильтров являются материалы, изготовленные из волокон различной толщины, формы и плотности переплетения или прессования. При прохождении запыленного воздуха через фильтрующий материал аэрозольные частицы осаждаются в теле материала, что очищает воздух и увеличивает аэродинамическое сопротивление фильтра.

В работах [8–10] рассматриваются четыре механизма удерживания пылевых частиц.

Механизм сита действует, если проходное сечение воздушных каналов на поверхности материала меньше размеров частиц. В этом случае пыль оседает не в теле фильтра, а на его поверхности блокируя движение воздуха и увеличивая перепад давления при фиксируемом расходе воздуха.

Механизм зацепления (адгезии) действует, если частица пыли попадает в тупиковый канал внутри фильтрующего материала или силы молекулярного взаимодействия частицы и поверхности фильтрующего материала больше силы аэродинамического давления на осевшую частицу.

Механизм инерционного взаимодействия проявляется, если происходит столкновение частиц в воздушном потоке. В этом случае траектория движения частиц не совпадает с линией тока, а, следовательно, возрастает вероятность контакта частицы с фильтрующим материалом. С другой стороны, столкновение с частицей, ранее осевшей на фильтре, может приводить к ее отрыву и возвращению в воздушный поток.

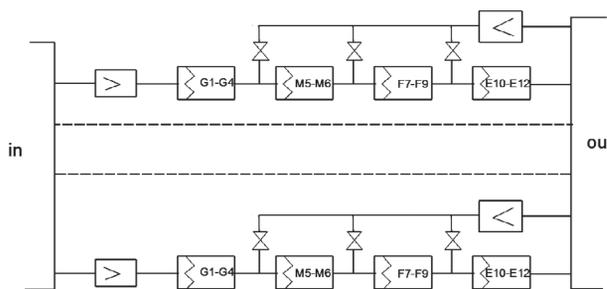


Рис. 1. Структурная схема системы фильтрации  
Fig. 1. Structure chart of filtration system

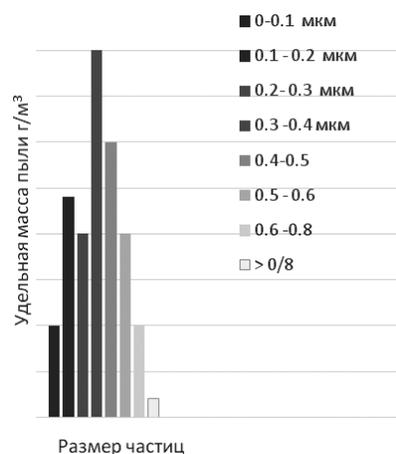


Рис. 2. Зависимость удельной массы пыли от размеров частиц  
Fig. 2. Dependence of dust specific gravity on particle size

Механизм молекулярного течения проявляется, если броуновское движение молекул газа оказывает влияние на траекторию движения частиц. В этом случае движение воздуха должно описываться уравнениями молекулярного взаимодействия в газовой смеси.

Для некоторых фильтрующих материалов необходимо учитывать электростатический эффект. Вследствие трения частиц о воздух, на поверхности аэрозолей возникает электростатический заряд. Если фильтрующий материал является электропроводящим, то можно во всем его объеме поддерживать электрический заряд. Электростатический эффект приводит к появлению силы притяжения между частицей и поверхностью фильтра и увеличению сил адгезии.

Многообразие типов фильтров и сложность сопряженных физических процессов, проходящих в них, стали причиной того, что проектирование систем фильтрации базируется на рекомендациях, сформулированных в процессе эксплуатации систем очистки воздуха. Многочисленные экспериментальные исследования позволили получить только качественные оценки эффективности фильтрации. Необходимо отметить, что даже в стандартах [11–12], где приводятся результаты и методики экспериментальных исследований, специально оговаривается, что полученные результаты не могут применяться

для прогнозирования эффективности при эксплуатации и срока службы фильтров.

Решение оптимизационных задач может проводиться на основе сравнения нескольких вариантов технического решения, которые сводятся к единой компаративной модели, сформированной на основе обобщенных характеристик проектируемого объекта.

В качестве модели фильтра рассматривается множество цилиндрических эллиптических каналов, расход воздуха через которые эквивалентен расходу через реальный фильтр [13–14]:

$n_k$  — количество каналов;

$l_k$  — длина канала;

$a_k$  — размер большой полуоси эллиптического сечения;

$b_k$  — размер малой полуоси эллиптического сечения.

В ГОСТе [11], формулирующем требования к фильтрам очистки воздуха общего назначения, приведена методика испытаний фильтров. Эффективность фильтров определяется по отношению концентрации частиц в воздухе до фильтра и отношению концентрации частиц после него. В приложении D этого стандарта приведены результаты испытаний фильтра, которые использовались в дальнейшем при разработке модели. При испытании фильтров получают зависимости:

$$\Delta P = f(q); \quad (3)$$

$$\Delta P_i = f(M_i), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (4)$$

$$E_i = f(M_i), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (5)$$

где  $\Delta P$  — перепад давления при подаче на фильтр чистого (без пыли) воздух, Па;

$q$  — расход чистого воздуха в диапазоне 0,25÷1,25 от номинального расхода;

$\Delta P_i$  — перепад давления на фильтре при подаче кварцевой пыли  $i$ -го размера и контрольном расходе воздуха;

$M_i$  — масса пыли  $i$ -го размера, поданной на фильтр, г;

$E_i$  — эффективность фильтрации для частиц  $i$ -го размера и контрольном расходе воздуха;

$i$  — количество диапазонов размера кварцевой пыли, поданной на фильтр.

Испытания фильтра проводились для десяти диапазонов размеров частиц пыли. Оценка эффективности проводилась последовательно, после подачи определенной порции пыли. Пыль подавалась на фильтр до достижения конечного давления  $\Delta P_f$ .

Зависимость (4) удобно представить в виде  $\Delta P_z = f(\tilde{M}_z, q)$ .  $\tilde{M}_z = f(M, E)$  — общая масса пыли, находящейся в фильтре после подачи  $z$ -ой порции пыли, определяется из выражения  $\tilde{M}_z = \int_0^{M_z} E(M) dM$ .

При численном интегрировании методом трапеций, вычисление можно проводить по рекуррентной формуле

$$\begin{aligned} \tilde{M}_1 &= \frac{1}{2} M_1 E(M_1); \\ \tilde{M}_2 &= \tilde{M}_1 + [E(M_1) + E(M_2)] \frac{M_2 - M_1}{2}; \\ \tilde{M}_3 &= \tilde{M}_1 + [E(M_1) + E(M_2)] \frac{M_2 - M_1}{2}; \\ \tilde{M}_z &= \tilde{M}_{z-1} + [E(M_{z-1}) + E(M_z)] \frac{M_z - M_{z-1}}{2}. \end{aligned} \quad (6)$$

При ламинарном движении расход воздуха в эллиптическом канале модели вычисляется по формуле [15]

$$q_k = \frac{\pi \tilde{a}_k^3 \tilde{b}_k \Delta P_k}{8(1 + e^2) \mu l_k}, \quad (7)$$

где  $\Delta P_k$  — перепад давления в канале;

$\mu$  — динамический коэффициент вязкости воздуха;

$e = \frac{a_k}{b_k}$  — эксцентриситет эллиптического канала ( $a_k \geq b_k$ );

$\tilde{a}_k$  — размер большой полуоси эллиптического модельного канала с учетом изменения проходного сечения, вследствие адгезии частиц пыли, осевших в фильтре;

$\tilde{b}_k$  — размер малой полуоси эллиптического модельного канала.

Примем ряд допущений:

— каналы идентичны, в них оседает одинаковое количество пыли;

— частицы пыли равномерно оседают на всей внутренней поверхности канала;

— эксцентриситет проходного сечения канала — величина постоянная;

— плотность пыли, осевшей в фильтре, величина постоянная, не зависящая от дисперсионного состава пыли.

С учетом допущений, формулы для вычисления  $\tilde{a}_k$  и  $\tilde{b}_k$  примут вид

$$\begin{aligned} \tilde{a}_k &= a_k - t_z; \\ \tilde{b}_k &= b_k - t_z. \end{aligned} \quad (8)$$

Толщина слоя  $t_z$  после  $z$ -ой порции пыли вычисляется из квадратичного уравнения

$$\frac{\tilde{M}_z}{n_k \rho_f} = \pi l_k [a_k b_k - (a_k - t_z)(b_k - t_z)], \quad (9)$$

где  $t_z$  — толщина слоя пыли в канале;

$\rho_f$  — плотность пыли, осевшей в канале.

Решение системы уравнений (6)–(9) позволяет найти расход воздуха через модельный канал, в зависимости от массы пыли, поданной в канал, эффективности фильтра и перепада давления на фильтре. Если расход воздуха известен, то вычисляется перепад давления.

Параметры модельного канала  $n_k, l_k, a_k, b_k$  определяются из решения задачи линейного программирования, которая заключается в нахождении параметров, обеспечивающих минимальную погрешность между экспериментальными данными, полученными при испытании фильтра, и результатами моделирования. Среднеквадратичная погрешность определяется функционалом

$$\Phi = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[ \sqrt{(\Delta P_k)^2 - (\Delta P_i)^2} \right]_j,$$

где  $N$  — количество экспериментальных точек.

Решение этой задачи может быть проведено в приложении «Solver» программы Excel, по эволюционному алгоритму.

Формулы (6)–(9) позволяют определить зависимость изменения перепада давления на фильтре от времени  $\tau$  при известном расходе воздуха  $q_{in}$  и удельной массе пыли в воздухе  $m_{in}^{(j)}$ . Значения  $M_i$ , входящие в уравнение (6), вычисляются по формуле  $M_i = q_{in} m_{in}^{(j)} \tau$ , т. е. интегрирова-

ние по массе пыли, поданной на фильтр, заменяется на интегрирование по времени.

### Заключение

Необходимо отметить, что предлагаемая расчетная модель не ориентирована на вычисление дисперсионного состава аэрозольных загрязнений, прошедших

систему фильтрации и изменения аэродинамического сопротивления фильтров в процессе эксплуатации реального технического объекта. Модель позволяет оценить влияние варьируемых параметров, технических и технологических ограничений на процесс фильтрации на начальных этапах проектирования чистых помещений.

### Литература

- ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
- ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц.
- Alexandrescu L., Syverud K., Nicosia A., Santachiara G., Fabrizi A., Belosi F. Airborne nanoparticles filtration by means of cellulose nanofibril based materials // *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 2015. V. 7. P. 29–36.
- Kim S. J., Chase G., Jana S. C. The role of mesopores in achieving high efficiency airborne nanoparticle filtration using aerogel monoliths // *Separation and Purification Technology*. 2016. V. 166. P. 48–54.
- Araji M. T., Ray S. D., Leung L. Pilot-study on airborne PM2.5 filtration with particle accelerated // *Sustainable Cities and Society*. 2016. V. 28. P. 101–107.
- Yuna K. M., Hogan Jr. C. J., Matsubayashi Y., Kawabe M., Iskandar F., Okuyama K. Nanoparticle filtration by electrospun polymer fibers // *Chemical Engineering Science*. 2007. V. 62. P. 4751–4759.
- Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Т. 1. М.: Мир, 1986, 349 с.
- Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Т. 2. СПб.: ООО «АТ», 2006. 416 с.
- Вальдберг А. Ю. Технология пылеулавливания. Л.: Машиностроение, 1985. р. 192.
- Самсонов В. Т. Обеспыливание воздуха в промышленности. Методы и средства, М.: ИНФА-М, 2016. р. 233.
- ГОСТ Р EN 779–2014. Фильтры очистки воздуха общего назначения. — М.: Стандартиформ, 2014.
- ГОСТ Р EN 14799–2013. Фильтры воздушные для общей очистки воздуха. М.: Стандартиформ, 2013.
- Цыганков А. В., Аleshин А. Е. Моделирование процессов конденсации и испарения в канале регенеративного теплоутилизатора // *Вестник Международной академии холода*. 2016. № 1. с. 82–85. DOI: 10.21047/1606-4313-2016-15-1-82-85
- Цыганков А. В., Пронин В. А., Шпилин Д. Н., Аleshин А. Е. Гидродинамический расчет орошаемой колонны с пористыми насадочными телами. // *Вестник Международной академии холода*. 2014. № 2. с. 34–36.
- Luitsyansky L. H. *Mechanics of fluid and gas*. New York: Wiley, 1961.

### References

- State standard 30494–2011. Residential and public buildings. The parameters of the microclimate in the premises. (in Russian)
- State standard R ISO 14644-1-2017. Clean rooms and associated controlled environments. Part 1. Classification of air cleanliness by concentration of particles. (in Russian)
- Alexandrescu L., Syverud K., Nicosia A., Santachiara G., Fabrizi A., Belosi F. Airborne nanoparticles filtration by means of cellulose nanofibril based materials. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 2015. V. 7. P. 29–36.
- Kim S. J., Chase G., Jana S. C. The role of mesopores in achieving high efficiency airborne nanoparticle filtration using aerogel monoliths. *Separation and Purification Technology*. 2016. V. 166. P. 48–54.
- Araji M. T., Ray S. D., Leung L. Pilot-study on airborne PM2.5 filtration with particle accelerated. *Sustainable Cities and Society*. 2016. V. 28. P. 101–107.
- Yuna K. M., Hogan Jr. C. J., Matsubayashi Y., Kawabe M., Iskandar F., Okuyama K. Nanoparticle filtration by electrospun polymer fibers. *Chemical Engineering Science*. 2007. V. 62. P. 4751–4759.
- Reklatis G., Ravindran A., Ragsdell K. Optimization techniques. Vol. 1. Moscow: Mir, 1986, 349 p. (in Russian)
- Sotnikov A. G. Processes, devices and systems of air conditioning and ventilation. Vol. 2. — SPb.: AT LLC, 2006. 416 p. (in Russian)
- Valdberg A. Y. Technology of dust collectors. Leningrad: Mechanical Engineering, 1985. p. 192. (in Russian)
- Samsonov V. T. Dust removal in industry. Methods and means. Moscow: INFA-M, 2016. p. 233. (in Russian)
- State standard R EN 779–2014. General-purpose air filters. Moscow: Standartinform, 2014.. (in Russian)
- State standard R EN 14799–2013. Air filters for General air purification. Moscow: Standartinform, 2013.. (in Russian)
- Tsygankov A. V., Aleshin A. E. Simulation of evaporation and condensation processes into the channels of regenerative heat exchangers. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda*. 2016. No 1. pp. 82–85. DOI: 10.21047/1606-4313-2016-15-1-82-85. (in Russian)
- Tsygankov A. V., Pronin V. A., Shpilina D. N., Aleshin A. E. Calculation of hydrodynamics for spray tower with porous packing. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda*. 2014. No 2. p. 34–36.. (in Russian)
- Luitsyansky L. H. *Mechanics of fluid and gas*. New York: Wiley, 1961.

**Сведения об авторах****Цыганков Александр Васильевич**

д. т. н., профессор факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, pallada-ltd@infopro.spb.ru, РИНЦ SPIN-код 6394–8045, Scopus ID 57192671898

**Лысев Владимир Иванович**

к. т. н., старший научный сотрудник, старший преподаватель факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, vilysev@corp.ifmo.ru, РИНЦ SPIN-код 6287–7848

**Долговская Ольга Владимировна**

аспирант факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ovdolgovskaia@corp.ifmo.ru, РИНЦ SPIN-код 9181–9946

**Хилдаяти Анниса**

аспирант факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, pallada-ltd@infopro.spb.ru

**Information about authors****Tsygankov Aleksander Vasilyevich**

D. Sc., Professor of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, pallada-ltd@infopro.spb.ru, Scopus ID 57192671898

**Lysev Vladimir Ivanovich**

Ph. D., senior researcher, senior lecturer of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, vilysev@corp.ifmo.ru

**Dolgovskaia Olga Vladimirovna**

Postgraduate Student of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, ovdolgovskaia@corp.ifmo.ru

**Hildayati Annisa**

Postgraduate Student of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, pallada-ltd@infopro.spb.ru

**V Международная научно-техническая конференция****Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ****с 23 по 24 мая 2019 г.**

Организаторы:  
Университет ИТМО  
Международная академия холода

**Основные научные направления конференции:**

- Состояние теплофизических измерений в области низких и умеренных температур (методы и приборы).
- Результаты исследований теплофизических свойств.
- Вопросы автоматизации теплофизических измерений.
- Состояние метрологии теплофизических измерений.

Срок подачи заявок на участие в конференции до **21 апреля 2019 г.**

Срок сдачи докладов до **15 мая 2019 г.**

Конференция проводится на базе мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО

**Место проведения:** Ленинградская обл., Приозерский район, поселок Ягодное



Телефон для справок: (812) 315-52-34, +7 (903) 092-69-33, Тамбулатова Екатерина Викторовна  
E-mail: mitfp.spb@gmail.com

Подробная информация на сайте:  
**www.tfi.ifmo.ru**