

УДК635.472.001

**В.А. Минко**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**Н.С. Кобелев**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**В.М. Кретьева**, канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: 325573@mail.ru)

**В.Н. Кобелев**, канд. техн. наук, доцент, Курский государственный политехнический колледж (Россия, 305018, Курск, ул. Народная, 8) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**В.Ю. Амелин**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: amelin-46@yandex.ru)

**А.Д. Соловьев**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

### **ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ТЕРМОКАМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ**

**Цель исследования:** дать научное обоснование энергосберегающего устройства для поддержания нормированных параметров рециркуляционного воздуха в специальных-«чистых» помещениях, вывести формулы для расчета адсорбционного материала в ходе эксплуатации установки. Новизна конструктивного решения защищена и подтверждена патентами РФ на изобретение.

**Методы.** Определенный по данной методике объем адсорбента размещается в емкости с рециркуляционным контуром, включающей в себя: сопло очистительного узла, внутренняя поверхность которого подпружинена сеткой, размещенной со стороны движущегося потока воздуха, и сетку по всему выходному сечению расширяющегося сопла. Подпружиненная сетка, размещенная со стороны движущегося потока воздуха, выполнена по профилю эпюры скоростей движущихся потоков воздуха, что обуславливается многообразным скоростным воздействием на зерна адсорбента, горизонтально расположенных его слоев с целью выравнивания поглощающей способности силикагеля КСМ-5 по всему объему осушающего устройства и использование в системе рециркуляции воздуха подаваемого вентилятором, приводит к вероятностному поступлению в очищаемый поток парообразной массы масла, а анализ научно-технической литературы показал отсутствие данных по характеру таких загрязнений зернистого фильтрующего материала, что привело к необходимости исследования процесса проникновения масла по объему адсорбента за цикл электрических испытаний электронных изделий в термокамере.

**Результаты.** На основании проведенного анализ известных зарубежных и отечественных теоретических и экспериментальных исследований выявлено отсутствие разработок, связанных с вибрационными воздействиями на эффективность адсорбционной осушки рециркуляционного воздуха для электрических термических испытаний электронных изделий. Разработана адсорбционная установка с горизонтальным расположением адсорбирующего вещества для обработки воздуха в условиях вибрационных воздействий.

**Заключение.** Разработанная авторами установка прошла лабораторно-промышленные испытания на заводе Маяк г. Курска и рекомендована к внедрению как ресурсосберегающее конструктивное решение, защищенное патентами Российской Федерации на изобретение.

**Ключевые слова:** специальные помещения; электрические испытания электронных изделий; рециркуляционный контур; термокамера; адсорбционная осушка; масляные загрязнения; адсорбционная установка.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-103-110

**Ссылка для цитирования:** Инновационные решения адсорбционной очистки рециркуляционного воздуха для термокамер электрических испытаний изделий / В.А. Минко, Н.С. Кобелев, В.М. Кретьева, В.Н. Кобелев, В.Ю. Амелин, А.Д. Соловьев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 103-110.

\*\*\*

Условием надежной эксплуатации несущих элементов конструкции является устранение воздействия температурно-влажностных параметров воздушной среды, которые отрицательно влияют на прочностные параметры здания в целом, особенно в зоне контакта с остеклением.

Это может быть достигнуто в результате обработки атмосферного воздуха, поступающего в специальные помещения, что способствует увеличению энергоемкости производства воздуха избыточного давления к 10-20-кратному увеличению, по сравнению с системами вентиляции офисных и жилых помещений [1, 2, 3]. Проведенные патентно-технические и теоретические исследования условий тепломассообмена позволили автором решить проблему очистки вентиляционного атмосферного воздуха направляемого в специальные помещения в качестве рециркуляционного, в устройствах электрических испытаний электронных изделий. Для подтверждения теоретических положений тепломассооб-

менных процессов проведены экспериментальные исследования, которые показали высокую степень сходимости результатов [4,5]. При этом экспериментальная установка состоит (рис. 1) из горизонтально расположенного на выходе расширяющегося сопла 2 и последовательно соединенного с ним суживающегося диффузора 1[6].

В связи с вибрационным воздействием на слои адсорбента в установке 3 по осушке рециркуляционного воздуха рассмотрена возможность её горизонтального расположения в отличие от известных, используемых в вертикальном положении. Для этого осуществлено размещение адсорбирующего вещества в осушивающей установке в виде емкости, выходное отверстие которой закрыто сеткой, а профиль имеет конструктивное исполнение по контуру эпюра скоростей обрабатываемого воздуха, перемещающегося во внутреннем объеме расширяющейся части осушивающего устройства.

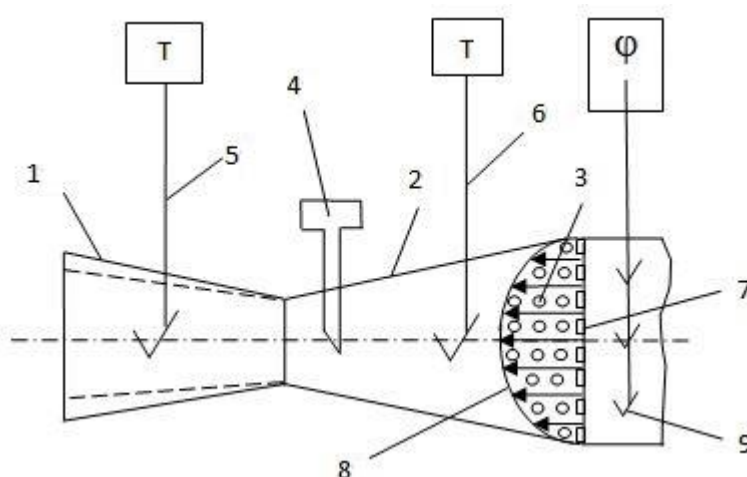


Рис. 1. Экспериментальный узел очистки рециркуляционного воздуха с осушивающей емкостью, заполненной адсорбентом: 1 – суживающийся диффузор; 2 – расширяющееся сопло; 3 – осушивающее устройство, заполненное силикагелем КСМ-5; 4 – влагораспределитель; 5 и 6 – датчики температуры осевого потока в суживающемся диффузоре и расширяющемся сопле; 7 – выход расширяющегося сопла; 8 – контурная сетка емкости осушивающего устройства, заполненная адсорбентом; 9 – датчики влажности  $\phi$ , размещенные по выходному сечению в трёх точках: одна в центре и две по периферии

Конструктивные особенности адсорбционной установки выполнены в следующих соотношениях: внутренний диаметр выхода расширяющегося сопла 120 мм, активная длина адсорбирующего слоя 370 мм, степень поглощения паровоздушной влаги-осушки  $-40^{\circ}\text{C}$ , т.е. до проскока паровоздушной влаги при максимальной насыщенности атмосферного воздуха  $\varphi = 90\text{--}100\%$  в течение 18 часов.

В связи с особенностью эксплуатации «чистых помещений» по производству и электрическому испытанию электронных осуществлены изменения размеров адсорбционно-осушивающей установки, которые должны соответствовать возможности её расположения в помещении. Это стало основой создания конструкции осушивающей адсорбционной установки для проведения экспериментальных исследований с учетом уравнения материального баланса и изменяющихся аэродинамических условий перемещения атмосферного воздуха в качестве рециркуляционного, поступающего на обработку для достижения нормированных параметров по влажности и температуре. Известные теоретические положения отечественных и зарубежных исследователей не учитывали интенсивность износа адсорбционного вещества под действием вибрационных воздействий.

Авторами на основании известных теоретических положений и с учетом специфики эксплуатации термокамер для испытаний электронных изделий в условиях вибрационных воздействий предложен новый метод определения активной массы адсорбирующего вещества в зависимости от количества электронных изделий, подвергающихся термическому испытанию с изменяющимся объемом рециркуляционного воздуха:

$$G_a = \frac{\tau_{\text{адс}} G (d_n - d_k)}{Z_a}, \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{адс}}$  – время адсорбционной очистки рециркуляционного воздуха;

$G$  – расход рециркуляционного воздуха, проходящего через осушивающее устройство;

$d_n$  и  $d_k$  – влагосодержание воздуха до и после емкости с адсорбентом;

$Z_a$  – влагоемкость адсорбента.

В настоящее время сложность в использовании уравнения (1) связана с вычислением  $Z_a$ . Следующая формула была выведена на основании информации, взятой из технических изданий, и экспериментальных исследований  $Z_a$ :

$$Z_a = Z_{a.n} (\eta_c - \eta_{i.c}) \eta_p \eta_{об}, \quad (2)$$

где  $Z_{a.n}$  – влагоемкость свежего, не бывшего в работе адсорбента;

$\eta_c$  – коэффициент, учитывающий разрушение или «старение» адсорбента, вызываемое адсорбционно-десорбционным процессом, и равный 0,7;

$\eta_{i.c}$  – коэффициент, учитывающий интенсивность «старения» адсорбента в зависимости от вибрационного воздействия при эксплуатации термокамеры для испытания электронных изделий, потери экспериментального  $\eta_{i.c} = 0,05\text{--}0,15$ ;

$\eta_p$  – коэффициент, предусматривающий снижение поглощающих способностей адсорбента в связи с нагревом слоя в процессе адсорбции;

$\eta_{об}$  – коэффициент, предусматривающий понижение активности в результате неполной обработки слоя (понижение конечной скорости массообменных процессов).

Можно принять, что  $\eta_p \eta_{об} = 0,4\text{--}0,6$ , тогда влагоемкость адсорбента определяется после решения уравнения (2) как  $Z_a = Z_{a.n} (0,39\text{--}0,22)$ .

Рассчитанный в результате теоретических исследований объем адсорбента располагается в устройстве подготовки рециркуляционного воздуха, который расположен между соплом очистительного узла и подпружиненной сеткой. Подпружиненная сетка выполнена по профилю эпюр скоростей движущегося потока воздуха, что обуславливается многообразным скоростным воздействием на зерна адсорбента горизонтально расположенных его слоев с целью выравнивания поглощающей способности силикагеля по всему объему осушающего устройства.

Наличие вентилятора в качестве агрегата по перемещению рециркуляционного воздуха в устройстве электрических испытаний электронных изделий способствует вероятности поступления в обрабатываемый поток атмосферного воздуха парообразной массы масла.

Проведенный анализ научно-технической документации выявил отсутствие данных по степени загрязнения парами масла зернистого адсорбирующего вещества, что потребовало проведения исследования процесса проникновения их паров по объему адсорбента за цикл обработки электронных изделий в термокамере.

Количество масла, поступающего с 1 кг обрабатываемого воздуха, определили по формуле [7]

$$d_{\text{м.к}} = \frac{0,035 P_{\text{н.м}}}{P_1 - P_{\text{н.м}}} + d_{\text{д.м}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{н.м}}$  – парциальное давление насыщенного пара масла;

0,035 – значение, показывающее отношение произведения массы и газовой постоянной парообразного масла к массе и газовой постоянной влажного воздуха;

$d_{\text{д.м}}$  – количество масла в дисперсном состоянии.

Экспериментальные исследования проводились на основании разработанной авторами методики. В прозрачный корпус адсорбционной установки при её горизонтальном расположении и теоретически обоснованных параметрах, расположения узла очистки нагнетательной камеры патрубка, засыпается предварительно высушенное и взвешенное адсорбирующее вещество (КСМ-5). После чего определяется расход и температура рециркуляционного обрабатываемого воздуха, его влагосодержание путём использования психрометра с автоматизированной системой контроля скорости движущегося потока. Количество адсорбирующего вещества определялось с использованием точного взвешивания в соответствии с нормами по ТУ 104-93. Насыщенность адсорбирующего вещества с течением времени проведения электрических испытаний электронных изделий определялась с промежутком в один час. При этом исследовалось изменение параметров рециркуляционного воздуха на выходе из устройства осушки и визуально по длине прозрачного корпуса, в результате чего рассчитывалась глубина «проскока» масляных загрязнений. После проведения экспериментальных исследований, заключающихся в измерении глубины проскока, т.е. замасливания адсорбента, замерялась масса гранул, загрязненных маслом, которая убиралась из цилиндрического стеклянного корпуса для визуального определения «неработающего» адсорбирующего вещества и проводилось взвешивание отработанной массы силикагеля. При этом визуально в осушающем устройстве определялась длина замасленных слоев адсорбирующего вещества в корпусе осушителя. Для устранения случайных погрешностей по ин-

тервалам каждого из температурных изменений, было выполнено по 3 опыта, средние значения которых были нанесе-

ны на график проникновения паров масла по длине адсорбента (рис. 2).

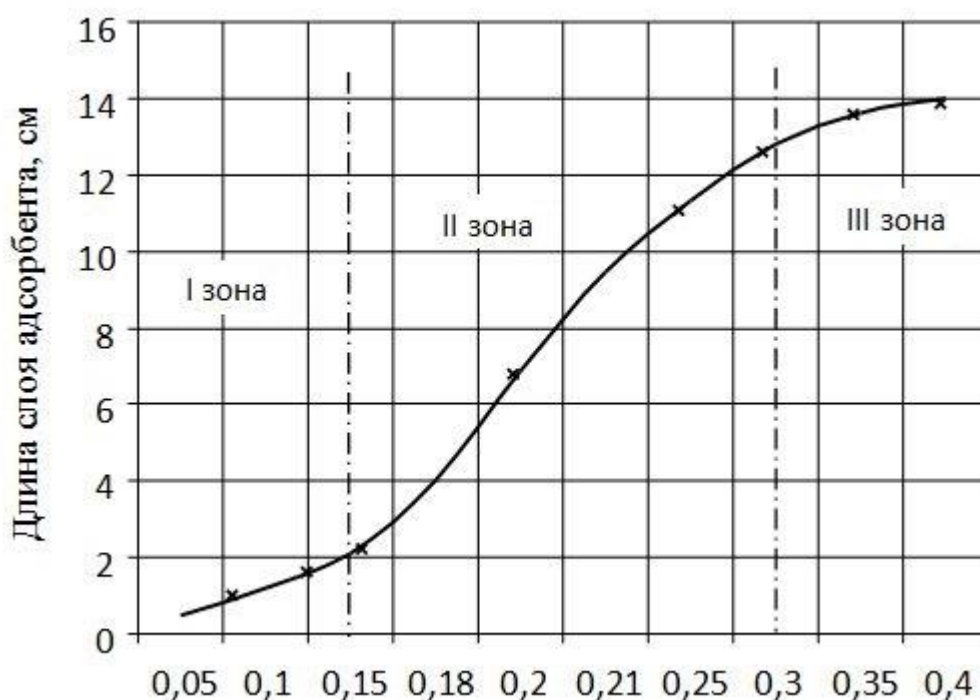


Рис. 2. Характер проникновения паров масла и замасливание зёрен адсорбента по длине очищающего устройства

Экспериментальные исследования подтвердили высокую сходимость результатов с теоретически выявленной закономерностью появления масляного загрязнения, которая графически изображается в виде кривой и характеризуется множественными зонами активности.

В начале процесса обработки рециркуляционного воздуха наблюдаются плавные изменения кривой интенсивности поглощения паров влаги адсорбирующим веществом (см. рис.2.), которая осуществляется в пределах от значений 0,13 до 0,17, относительной длины поглощающего слоя (первая стадия).

На второй стадии резкое возрастание, поглощающая способность обусловлена изменением скоростного напора и наблюдается до значений от 0,27 до 0,33 (вторая стадия).

Последующее насыщение гранул адсорбирующего вещества (КСМ-5) приводит к плавному процессу остаточного поглощения парообразной влаги. Кривая имеет выпуклый характер (третья стадия).

## Выводы

На основании проведенного анализа известных зарубежных и отечественных теоретических и экспериментальных исследований выявлено отсутствие разработок, связанных с вибрационными воздействиями на эффективность адсорбционной осушки рециркуляционного воздуха для электрических термических испытаний электронных изделий.

Разработана адсорбционная установка с горизонтальным расположением адсорбирующего вещества для обработки

воздуха в условиях вибрационных воздействий.

Созданная на основании теоретических исследований и экспериментально проверенная лабораторно-промышленная установка показала удовлетворительную сходимость результатов. Установка прошла промышленные испытания на заводе Маяк г. Курска и рекомендована к внедрению как ресурсосберегающее конструктивное решение, защищенное патентами Российской Федерации на изобретение [8, 9, 10, 11].

### Список литературы

1. Чистые помещения: [пер. с япон.] / под ред. И. Хаякавы. М.: Мир, 1990. 456 с.
2. Кобелев Н.С. Тепловлажностной режим вентилируемой воздушной прослойки // Известия Курского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 73–77.
3. Бабаянц В.А. Расчет параметров воздушной среды в чистых производственных помещениях // Обзоры по электронной технике. Серия 7: Технология, организация производства и оборудование. Вып. 1(146). М.: ЦНИИ «Электроника», 1988. С. 59–63.
4. Батурин В.В., Акинчев Н.В. Моделирование механической и естественной вентиляции // Сб. науч. тр. Института охраны труда ВЦСПС. 1961. №3. С. 18–21.
5. Ильичев В.А. Биосферная совместимость: Технология внедрения инноваций. Города, развивающие человека. М.: Книжный дом «Либроком», 2011. 240 с.
6. Карпис Е.Е. Повышение эффективности работы систем кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1977. 191 с.
7. Кобелев В.Н. Аэродинамика вентилируем. воздуха в устройствах для очистки от мелкодисперсной влаги // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». 2009. № 1. С. 15–21.
8. Пат. 2437864 Пат. 87831 Российская Федерация: МПК7 Н 01 L 21/66. Термокамера для испытания электронных изделий / Емельянов С.Г., Кобелев В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. №2009114608/22; заявл. 17.04.2009; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29.
9. Пат. 2134781 Российская Федерация: МПК7 Н 01 L 21/66. Термокамера для испытания электронных изделий / Кобелев В.Н., Емельянов С.Г., Кобелев В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. №2009114608/22; заявл. 17.04.2009; опубл. 20.10.2010, Бюл. № 9.
10. Пат. 2384794 Российская Федерация: МПК7 F 24 F 7/06, F 24 F 1/01. Устройство для вентиляции помещения / Кобелев В.Н. Н.С. Кобелев.[и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. № 2008138479/06; заявл. 26.09.2008; опубл. 20.03.2010, Бюл. №8.
11. Пат. 95831 Российская Федерация: МПК7 Н 01 L 21/66. Термокамера для испытания электронных изделий / Емельянов С.Г., Кобелев В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. №2009114608/22; заявл. 17.04.2009; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 8.

*Поступила в редакцию 24.11.18*

UDC 635.472.001

**V.A. Minko**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**N.S. Kobelev**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Honored Inventor of Russian Federation, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**V.M. Kretova**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: 325573@mail.ru)

**V.N. Kobelev**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kursk State Polytechnic College (Russia, 305040, Kursk, Narodnaya str., 8) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**V.Yu. Amelin**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: amelin-46@yandex.ru)

**A.D. Soloviev**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

# **INNOVATIVE SOLUTIONS OF ADSORPTION CLEANING RECIRCULATING AIR FOR ELECTRIC TESTS OF ELECTRIC PRODUCT TESTS**

*The purpose of the study of this work: to provide a scientific justification for the energy-saving device to maintain the normalized parameters of the recirculated air in special "clean" rooms, to derive formulas for calculating the adsorption material during the operation of the installation. The novelty of the constructive solution is protected and confirmed by patents of the Russian Federation for the invention.*

*Methods. The volume of adsorbent determined by this method is placed in a tank with a recirculation loop, which includes: a cleaning unit nozzle, the inner surface of which is spring-loaded with a grid placed on the side of a moving air flow and a grid around the entire outlet section of the expanding nozzle. Spring-loaded mesh, placed on the side of a moving air flow, is made according to the profile of the velocity profile of the moving air flow, which is caused by the manifold speed impact on the adsorbent grains, horizontally arranged layers in order to level the absorbing capacity of silica gel KSM-5 throughout the drying device and use in the system recirculation of the air supplied by the fan leads to a probable entry of the vaporous mass of oil into the stream being cleaned, and the analysis of scientific and technical oh showed no literature data on the nature of such contaminants granular filter material, resulting in the need to study the penetration of the oil by volume adsorbent per cycle electrical testing of electronic devices in a heat chamber.*

*Results. Based on the analysis of well-known foreign and domestic theoretical and experimental studies, there was no development related to vibration effects on the efficiency of adsorption drying of recirculated air for electrical thermal testing of electronic products. An adsorption unit has been developed with a horizontal arrangement of an adsorbing substance for treating air under conditions of vibration effects.*

*Conclusion The installation developed by the authors passed laboratory and industrial tests at the Mayak plant of Kursk and was recommended for implementation as a resource-saving constructive solution protected by patents of the Russian Federation for invention. Keywords: special premises electrical testing of electronic products, recirculation circuit in the chamber for temperature testing - heat chamber, adsorption drying, transparent body of the drying device, oil contamination.*

**Key words:** special rooms; electrical testing of electronic products; recirculation circuit; thermal chamber; adsorption drying; oil pollution; adsorption installation.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-103-110

**For citation:** Minko V.A., Kobelev N.S., Kretova V.M., Kobelev V.N., Amelin V.Yu., Soloviev A.D. Innovative Solutions of Adsorption Cleaning Recirculating Air for Electric Tests of Electric Product Tests. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 103-110 (in Russ.).

\*\*\*

**Reference**

1. Chistye pomeshhenija: [perevod s japon]; ed. by Hajakavy I. Moscow, Mir Publ., 1990, 456 p.
2. Kobelev N.S. Teplovlazhnostnoj rezhim ventiliruemoj vozduшной proslojki. *Izvestija Kurskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2010, no. 1, pp. 73–77.
3. Babajanc V.A. Raschet parametrov vozduшной sredy v chistyh proizvodstvennyh pomeshhenijah. *Obzory po jelektronnoj tehnike. Serija 7: Tehnologija, organizacija proizvodstva i oborudovanie*. Is. 1(146). Moscow, Jelektronika Publ., 1988, pp. 59-63.
4. Baturin V.V., Akinchev N.V. Modelirovanie mehanicheskoj i estestvennoj ventiljacii. Sb. nauch. tr. Instituta ohrany truda VCSPS, 1961. no.3, pp. 18-21.
5. Il'ichev V.A. Biosfernaja sovmestimost': Tehnologija vnedrenija innovacij. Goroda, razvivajushhie cheloveka. Moscow, Knizhnyj dom «Librokom» Publ., 2011, 240 p.
6. Karpis E.E. Povyshenie jeffektivnosti raboty sistem kondicionirovanija vozduha. Moscow, Strojizdat Publ., 1977, 191 p.
7. Kobelev V.N. Ajerodinamika ventiliruem. vozduha v ustrvah dlja ochistki ot melkodispersnoj vlagi. *Nauchyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura»*, 2009, no. 1, pp. 15-21.
8. Pat. 2437864 Pat. 87831 Rossijskaja Federacija: MPK7 H 01 L 21/66. Termokamera dlja ispytaniya jelektronnyh izdelij. Emel'janov S.G., Kobelev V.N. [i dr.]; zajaavitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009114608/22; zajavl. 17.04.2009; opubl. 20.10.2009, Bjul. no. 29.
9. Pat. 2134781 Rossijskaja Federacija: MPK7 H 01 L 21/66. Termokamera dlja ispytaniya jelektronnyh izdelij. Kobelev V.N., Emel'janov S.G., Kobelev V.N. [i dr.]; zajaavitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009114608/22; zajavl. 17.04.2009; opubl. 20.10.2010, Bjul. no. 9.
10. Pat. 2384794 Rossijskaja Federacija: MPK7 F 24 F 7/06, F 24 F 1/01. Us-vo dlja ventiljacii pomeshhenija. Kobelev V.N., Kobelev N.S. [i dr.]; zajaavitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. no. 2008138479/06; zajavl. 26.09.2008; opubl. 20.03.2010, Bjul. no. 8.
11. Pat. 95831 Rossijskaja Federacija: MPK7 H 01 L 21/66. Termokamera dlja ispytaniya jelektronnyh izdelij. Emel'janov S.G., Kobelev V.N. [i dr.]; zajaavitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009114608/22; zajavl. 17.04.2009; opubl. 20.10.2012, Bjul. no. 8.