

УДК 62-784.4

DOI: 10.17022/zhvf-wn38

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИОНИЗАЦИИ И ОБЕСПЫЛИВАНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ****Т.Н. Акулова, Е.Л. Белов, Т.В. Шаронова***Чувашская государственная сельскохозяйственная академия  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** Целью исследований является разработка устройства для ионизации и обеспыливания воздуха, которое устанавливается в рециркуляционном воздуховоде производственных помещений. Процесс обеспыливания воздуха происходит следующим образом: наружный воздух через фильтр приточного воздуха подается в цех, где происходит выделение пыли от технологического оборудования. Загрязненный воздух удаляется из помещения через фильтр вытяжного воздуха, однако некоторая часть воздуха в процессе общего воздухообмена возвращается по рециркуляционному воздуховоду и направляется на вход ячеистого фильтра воздуховода типа ФЯВБ, а остальной воздух выбрасывается в атмосферу. При этом воздух, подаваемый на рециркуляцию, содержит значительное количество пыли и имеет низкую концентрацию отрицательных аэроионов, поэтому после фильтрации с помощью ФЯВБ его необходимо подвергать дополнительной очистке и ионизации, для чего мы предлагаем использовать разработанное устройство для многоуровневого обеспыливания и ионизации воздуха, которое устанавливается в рециркуляционном воздуховоде. Многослойный фильтр для ионизации и обеспыливания воздуха состоит из цилиндрического корпуса, воздухоотражателей, положительного и отрицательного электрода и корзин с фильтрующими зернистыми материалами. Подвод напряжения к электродам осуществляется через межтрубное пространство, питание устройства осуществляется от отдельного высоковольтного блока. Частицы пыли, содержащиеся в воздухе, последовательно проходя через электроды, ионизируются за счет коронного разряда. Мелкая фракция пыли получает отрицательный заряд от корпуса и притягивается положительным электродом. Далее воздух попадает на последнюю ступень очистки, где оставшиеся мелкие частицы пыли удерживаются на последней ступени очистки с помощью фильтрующего зернистого материала.

**Ключевые слова:** процесс обеспыливания, ионизация воздуха, электрофильтр, фильтрующие зернистые материалы, устройство для очистки воздуха.

**Введение.** Процесс обеспыливания воздуха производственного помещения в основном происходит следующим образом: наружный воздух через фильтр приточного воздуха подается в цех, где происходит выделение пыли от технологического оборудования. Загрязненный воздух удаляется из помещения через фильтр вытяжного воздуха, однако некоторая часть воздуха в процессе общего воздухообмена возвращается по рециркуляционному воздуховоду и направляется на вход ячеистого фильтра воздуховода типа ФЯВБ, а остальной воздух выбрасывается в атмосферу [2].

При этом воздух, подаваемый на рециркуляцию, содержит значительное количество пыли и имеет низкую концентрацию отрицательных аэроионов, поэтому после фильтрации с помощью ФЯВБ его необходимо подвергать дополнительной очистке и ионизации, для чего мы предлагаем использовать разработанное устройство для многоуровневого обеспыливания и ионизации воздуха, которое устанавливается в рециркуляционном воздуховоде [3].

**Материалы и методы.** Многослойный фильтр для ионизации и обеспыливания воздуха состоит из цилиндрического корпуса 1 (рис.), внутри которого расположены коаксиальные трубы 2 и 3. На них закреплены два комплекта, каждый из которых содержит воздухоотражатели 4 и 5 и металлизированные изнутри положительно заряженные электроды в виде усеченного конуса 6, 7. Между комплектами установлен отрицательный электрод 8, выполненный из углеродного войлока, с расположенными внутри него плоскими спиральными направляющими. На входе цилиндрического корпуса расположена полусферическая сетка 9 из упругой проволоки, а на выходе из него – две корзины 10 и 11 с фильтрационными зернистыми материалами различной фракции. Подвод напряжения к электродам осуществляется через межтрубное пространство, питание устройства – от отдельного высоковольтного блока [7], [5].

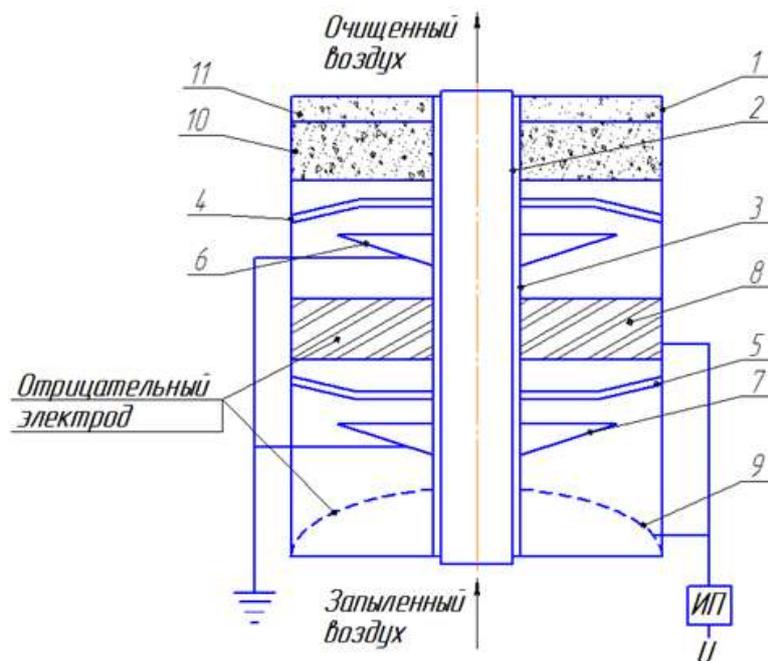


Рис. Схема многослойного фильтра для ионизации и обеспыливания воздуха: 1 – цилиндрический корпус; 2, 3 – труба; 4, 5 – воздухоотражатель; 6, 7 – положительный электрод; 8 – отрицательный электрод; 9 – сетка; 10, 11 – корзина с ФЗМ

В качестве фильтрующей загрузки для данного многослойного фильтра используются фильтрующие зернистые материалы (ФЗМ), основой которых является среднезернистый песок, перерабатываемый в соответствии с технологией мокрого грохочения [9].

Расчет основных параметров конструкции устройства для ионизации и обеспыливания воздуха проводился по следующей методике [1]:

$$\text{Удельная сила тока коронного разряда, приходящаяся на единицу объема помещения, мкА/м}^3$$

$$I_V = 0,44 \cdot 10^{-12} \cdot n_u^2, \quad (1)$$

где  $n_u$  – концентрация отрицательных ионов внутри помещения,  $n_u = (2...5) \cdot 10^4$  ион/см<sup>3</sup>.

Общая сила тока электродов, А:

$$I = I_V \cdot V_{II} \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где  $V_{II}$  – внутренний объем производственного помещения,  $V_{II} = 5320$  м<sup>3</sup>.

Удельная сила тока, приходящаяся на единицу длины коронирующего электрода, А/м:

$$I_l = \frac{I}{l}, \quad (3)$$

где  $l$  – общая длина коронирующих электродов установки, м.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) при  $U \geq U_0$

$$I_l = \varepsilon_0 \cdot k \cdot G, \quad (4)$$

где  $U$  – напряжение, подаваемое на коронирующие электроды, В;  $U_0$  – начальное напряжение коронного разряда, В;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ , Ф/м [8];  $k$  – отношение средней скорости направленного движения ионов к напряженности электрического поля – подвижность ионов, м<sup>2</sup>/Вс.

Функция напряжения от геометрических параметров данной системы электродов, В<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>:

$$G = \frac{I_l}{\varepsilon_0 \cdot k} \quad (5)$$

Начальное напряжение коронного разряда, В

$$U_0 = E_0 \cdot r_0 \cdot A, \quad (6)$$

где  $E_0$  – начальная напряженность коронного разряда, В/м;  $r_0$  – радиус короны, м;  $A$  – функция геометрических параметров данной системы электродов.

Начальная напряженность коронного разряда, В/м:

$$E_0 = 30,3 \cdot 10^5 \cdot \delta \left( 1 + \frac{0,0298}{\sqrt{\delta \cdot r_0}} \right), \quad (7)$$

где  $\delta$  – относительная плотность воздуха

$$\delta = 289 \cdot 10^{-5} \frac{p}{T}, \quad (8)$$

где  $p$  – атмосферное давление, Па;  $T$  – температура, К.

$\delta = 1,0$  при  $p = 1,0131 \cdot 10^5$  Па и  $T = 293$  К.

Функция геометрических параметров данной системы электродов:

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot h}{d} - \ln \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot r_0}{d} \right), \quad (9)$$

где  $h$  – расстояние до осадительного электрода, м;  $d$  – расстояние между электродами, м.

Функция напряжения от геометрических параметров данной системы электродов, В<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>

$$G = \frac{2 \cdot \pi \cdot B}{d^2 \cdot A} \left( \frac{U_0}{A} \right)^{2-C} \cdot (U - U_0)^C, \quad (10)$$

где  $B$  – функция геометрических параметров данной системы электродов – рассчитывается по формуле:

$$\lg B = 0,55 \cdot \left( 0,8 - \frac{h}{d} \right) \text{ при } 0,75 \leq \frac{h}{d} \leq 5,$$

коэффициент  $C = 1,7$  при  $0,75 \leq \frac{h}{d} \leq 2$ ,  $C = 1,8$  при  $2 \leq \frac{h}{d} \leq 14$

**Результаты исследования и их обсуждение.** Конструкция предлагаемого устройства обеспечивает следующий механизм процесса обеспыливания. Воздух, содержащий пыль, проходит через полусферическую металлическую сетку, заряженную отрицательно, которая используется одновременно и для предварительной очистки. Мелкая фракция пыли, проникшая через сетку, получает отрицательный заряд от корпуса, с которым контактирует сетка, притягивается положительным электродом, попадает внутрь его конуса, отражаясь от воздухоотражателя, рекомбинирует заряды на слое металлизации и осыпается через перфорации по внутренней поверхности трубы в зазор между трубами. Оставшиеся в воздухе частицы пыли, которые получили слабый уровень электризации и не задержались на положительном электроде, проходят выше на отрицательный электрод, где поток воздуха движется по плоским спиральным направляющим, которые удлиняют путь прохождения воздуха, увеличивают время его нахождения в электрическом поле электрода. Одновременно углеродный войлок интенсивно электризует пыль, за счет чего происходит образование отрицательных ионов [6].

Далее воздух попадает на последнюю ступень очистки, где удерживаются оставшиеся мелкие частицы содержащейся в нем пыли. Фильтрующий зернистый материал (ФЗМ) имеет фракцию размером в 1,2...0,8 мм на первой ступени и менее 0,8 мм – на второй. Шероховатая и округлая форма фильтрующего материала создает развитую удельную поверхность и высокую межзерновую пористость [4].

Основные параметры конструкции устройства для ионизации и обеспыливания рециркуляционного воздуха производственных помещений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры конструкции устройства для ионизации и обеспыливания воздуха

| $I \cdot 10^{-5}, \text{A}$ | $I_l \cdot 10^{-5}, \text{A/м}$ | $G \cdot 10^9, \text{В}^2/\text{м}^2$ | A     | B     | $U_0, \text{kВ}$ | U, kВ |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|------------------|-------|
| 1,498                       | 13,620                          | 76,950                                | 3,043 | 0,194 | 6,653            | 6,771 |

$I$  – общая сила тока всех коронирующих электродов в данном помещении, А;  $I_l$  – удельная сила тока короны на единицу длины коронирующего электрода, А/м;  $G$  – функция напряжения от геометрических параметров данной системы электродов, В<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $A, B$  – функции геометрических параметров данной системы электродов;  $U_0$  – начальное напряжение коронного разряда, кВ,  $U$  – напряжение, подаваемое на коронирующие электроды, кВ.

**Выводы.** Таким образом, при применении устройства для ионизации и обеспыливания воздуха, устанавливаемого в рециркуляционном воздуховоде производственного помещения, происходит ионизация запыленного воздуха за счет коронного разряда и его фильтрация через фильтрующие зернистые материалы, что дополнительно способствует улучшению параметров микроклимата производственных помещений, уменьшая при этом его бактериальную и пылевую загрязненность.

Преимущество предлагаемого устройства перед другими электрофильтрами заключается в том, что с его помощью происходит многоступенчатая очистка воздуха и одновременно его ионизация, обеспыливание и озонирование.

## Литература

1. Акулова, Т. Н. Определение концентрации пыли с использованием устройства для ионизации и обеспыливания воздуха птицеводческих помещений / Т. Н. Акулова, Е. Л. Белов, Т. В. Шаронова // Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса и социальной инфраструктуры села: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Чувашской ГСХА. – Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2016. – С. 339-343.
2. Акулова, Т. Н. Электрическая очистка воздуха производственных помещений / Т. Н. Акулова, Е. Л. Белов, Т. В. Шаронова // Мобильная энергетика в сельском хозяйстве: состояние и перспективы развития: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора, доктора технических наук Медведева Владимира Ивановича, Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР. – Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2018. – С. 406-411.
3. Алдеркина, И. В. Применение электрофизических факторов при обеспыливании воздуха птицеводческих помещений / И. В. Алдеркина, А. Л. Наумова, Т. Н. Акулова // Студенческая наука – первый шаг в академическую науку: материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11-х классов: в 2 ч. Ч 2. – Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2017. – С. 318-320.
4. Андреев, Л. Н. Разработка и исследование мокрого однозонного электрофильтра для очистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Л. Н. Андреев. – Челябинск, 2010. – 142 с.
5. Верещак, А. В. Использование предохранителей в сельскохозяйственных электроустановках / А. В. Верещак // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2019. – С. 61-65.
6. Возмилов, А. Г. Применение озона в технологических процессах птицеводства и критерии сравнительной оценки озонаторов / А. Г. Возмилов, Д. В. Астафьев, С. Д. Матвеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 3. – С. 13-16.
7. Иванова, О. П. Использование фильтрационных зернистых материалов при обеспыливании воздуха производственных помещений / О. П. Иванова, И. С. Матвеева, Т. Н. Акулова // Студенческая наука – первый шаг в академическую науку: материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11-х классов: в 2 ч. Ч 2. – Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2020. – С. 88-91.
8. Мардарьев, В. А. Повышение безопасности движения в автотранспортном комплексе / С. Н. Мардарьев, В. А. Алексеев // Техногенная и природная безопасность: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, 2017. – С. 274-278.
9. Нерудные строительные материалы: официальный сайт. – г. Москва. – URL: <https://nerudstrom.inni.info/> (дата обращения 31.03.2020). – Текст: электронный.

## Сведения об авторах

1. **Акулова Татьяна Николаевна**, старший преподаватель кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: akulovata@yandex.ru, тел. 8-937-390-27-85;
2. **Белов Евгений Леонидович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: belovevg2008@yandex.ru, тел. 8-927-853-36-28;
3. **Шаронова Татьяна Вячеславовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: sharonova.2017@mail.ru, тел. 8-927-850-07-85.

## JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE DEVICE FOR IONIZATION AND DEDUSTING OF RECIRCULATING AIR OF INDUSTRIAL PREMISES

**T.N. Akulova, E.L. Belov, T.V. Sharonova**  
*Chuvash State Agricultural Academy*  
 428003, Cheboksary, Russian Federation

**Abstract.** The purpose of the research is to develop a device for ionization and dedusting of air installed in the recirculating air duct of industrial premises. The process of dedusting air consists in the fact that the outside air is fed through the supply air filter to the shop, where dust is released from the process equipment. Contaminated air is

removed from the room through the exhaust air filter, however, some of the air during the general air exchange is returned through the recirculation air duct and directed to the inlet of the cellular filter of the air duct of the type FAWB, and the rest of the air is released into the atmosphere. At the same time, the air supplied to the recirculation contains a significant amount of dust and has a low concentration of negative aero ions, therefore, after filtration with the use of the FEVB filter, it must be subjected to additional purification and ionization, for which we propose using the developed device for multilevel dedusting and ionization of air, which is installed in the recirculating air duct. Multi-layer filter for ionization and dedusting of air consists of a cylindrical body, air reflectors; positive and negative electrode and baskets with filter granular materials. Voltage supply to the electrodes is carried out through the inter-tube space, the device is powered from a separate high-voltage unit. Dust particles contained in the air, passing through the electrodes in series, are ionized by a corona discharge. A fine fraction of dust receives a negative charge from the housing and is attracted by a positive electrode. Next, the air enters the last stage of cleaning, where the remaining fine dust particles are held at the last stage of cleaning using a filter granular material.

**Key words:** the process of dedusting, air ionization, electrostatic precipitator, filtering granular materials, air purification device.

### References

1. Akulova, T. N. Opredelenie koncentracii pyli s ispol'zovaniem ustrojstva dlya ionizacii i obespylivanii vozduha pticevodcheskih pomeshchenij / T. N. Akulova, E. L. Belov, T. V. SHaronova // Nauchno-obrazovatel'naya sreda kak osnova razvitiya agropromyshlennogo kompleksa i social'noj infrastruktury sela: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 85-letiyu CHuvashskoj GSKHA. – CHEboksary: FGBOU VO CHuvashskaya GSKHA, 2016. – S. 339-343.
2. Akulova, T. N. Elektricheskaya ochistka vozduha proizvodstvennyh pomeshchenij / T. N. Akulova, E. L. Belov, T. V. SHaronova // Mobil'naya energetika v sel'skom hozyajstve: sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu so dnya rozhdeniya professora, doktora tekhnicheskikh nauk Medvedeva Vladimira Ivanovicha, Zasluzhennogo deyatelya nauki i tekhniki RSFSR. – CHEboksary: FGBOU VO CHuvashskaya GSKHA, 2018. – S. 406-411.
3. Alderkina, I. V. Primenenie elektrofizicheskikh faktorov pri obespylivanii vozduha pticevodcheskih pomeshchenij / I. V. Alderkina, A. L. Naumova, T. N. Akulova // Studencheskaya nauka – pervyj shag v akademicheskuyu nauku: materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem shkol'nikov 10-11-h klassov: v 2 ch. CH 2. – CHEboksary: FGBOU VO CHuvashskaya GSKHA, 2017. – S. 318-320.
4. Andreev, L. N. Razrabotka i issledovanie mokrogo odnozonnogo elektrofil'tra dlya ochistki recirkulyacionnogo vozduha zhivotnovodcheskih pomeshchenij: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / L. N. Andreev. – CHelyabinsk, 2010. – 142 s.
5. Vereshchak, A. V. Ispol'zovanie predohranitelej v sel'skohozyajstvennyh elektroustanovkah / A. V. Vereshchak // Perspektivy razvitiya mekhanizacii, elektrifikacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – CHEboksary: FGBOU VO CHuvashskaya GSKHA, 2019. – S. 61-65.
6. Voymilov, A. G. Primenenie ozona v tekhnologicheskikh processah pticevodstva i kriterii sravnitel'noj ocenki ozonatorov / A. G. Voymilov, D. V. Astaf'ev, S. D. Matveev // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 2007. – № 3. – S. 13-16.
7. Ivanova, O. P. Ispol'zovanie fil'tracionnyh zernistykh materialov pri obespylivanii vozduha proizvodstvennyh pomeshchenij / O. P. Ivanova, I. S. Matveeva, T. N. Akulova // Studencheskaya nauka – pervyj shag v akademicheskuyu nauku: materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem shkol'nikov 10-11-h klassov: v 2 ch. CH 2. – CHEboksary: FGBOU VO CHuvashskaya GSKHA, 2020. – S. 88-91.
8. Mardar'ev, S. N. Povysenie bezopasnosti dvizheniya v avtotransportnom komplekse / S. N. Mardar'ev, V. A. Alekseev // Tekhnogennaya i prirodnyaya bezopasnost': materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Saratov: Saratovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni N. I. Vavilova, 2017. – S. 274-278.
9. Nerudnye stroitel'nye materialy: oficial'nyj sayt. – g. Moskva. – URL: <https://nerudstrom.inni.info/> (data obrashcheniya 31.03.2020). – Tekst: elektronnyj.

### Information about the authors

**Akulova Tatyana Nikolaevna**, Senior Lecturer of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: akulovata@yandex.ru, tel. 8-937-390-27-85;

**Belov Evgeny Leonidovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: belovevg2008@yandex.ru 8-927-853-36-28;

**Sharonova Tatyana Vyacheslavovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: sharonova.2017@mail.ru, tel. 8-927-850-07-85.