

УДК 62-784.43

DOI: 10.48612/vch/15nu-z94b-ep33

К РАСЧЕТУ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПЫЛИ В МЕЖЛОПАСТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ И ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

Т. Н. Акулова, Т. М. Григорьева, С. В. Мерлова
Чувашский государственный аграрный университет
428003, Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. Разнообразные коронные аэроионизаторы отличаются схемами применяемых высоковольтных выпрямителей и конструкциями коронирующих электродов. Известно устройство с коронирующими игольчатыми электродами, выполненными в виде сетки и скомбинированные с вентиляционной системой. Его недостаток заключается в том, что при заземлении кожуха вентиляционного воздуховода, значительная доля отрицательных ионов из воздушной струи втягивается электрическим полем обратно и нейтрализуется на кожухе. Известен ионизатор – озонатор воздуха, принцип действия которого основан на получении аэроионов и озона путем коронного или барьерного разряда, однако наличие озона может изменять газовый состав в воздухе и, являясь мощным окислителем, приводит к коррозии металла. Нами предлагается устройство для обеспыливания и ионизации воздуха производственных помещений, которое содержит коронирующий электрод в виде разрядной лампы, вспомогательный электрод в виде лопасти осевого вентилятора, вал вращения которого установлен коаксиально внутри рамы, также имеется отражатель с сепарирующей сеткой, высокочастотный генератор, резонатор. Движение заряженных частиц в межлопастном канале происходит за счет вращения лопастей, расположенных внутри корпуса устройства, чем обеспечивается постоянный вынос заряженных частиц из зоны ионизации, препятствуя установлению процесса динамического равновесия между частицами и коронирующим электродом. Весь поток воздуха внутри межлопастного пространства устройства вращается с угловой скоростью и состоит из одинаковых элементарных струек, совпадающих с очертанием лопастей. При этом частицы пыли участвуют в двух движениях: вращательном – вместе с корпусом устройства, и поступательном – вдоль поверхности лопаток относительно корпуса. Нами рассчитаны значения скорости движения частиц пыли на входе и выходе из устройства в зависимости от их диаметра при различной напряженности электрического поля.

Ключевые слова: обеспыливание воздуха, аэроионизатор, коронирующий электрод, разрядная лампа, скорость движения частиц пыли.

Введение. Разнообразные коронные аэроионизаторы отличаются схемами применяемых высоковольтных выпрямителей, выполняемых по схеме умножения напряжения и конструкциями коронирующих электродов. Известно устройство с коронирующими электродами, выполненными в виде сетки с игольчатыми электродами, скомбинированные с вентиляционной системой. Сетка электроизолирована от воздуховода вентилятора и установлена либо снаружи на выходном патрубке, либо внутри кожуха приточной вентиляционной системы. Недостаток такого вентиляционно-аэроионизационного устройства заключается в том, что при заземлении кожуха вентиляционного воздуховода, значительная доля отрицательных ионов из воздушной струи втягивается электрическим полем обратно и нейтрализуется на кожухе. Для выноса ионов из электрического поля необходимо, чтобы струя воздуха на выходе из вентилятора имела скорость более 10...20 м/с [6, 15].

Известен ионизатор - озонатор воздуха, принцип действия которого основан на получении аэроионов и озона путем коронного или барьерного разряда. Устройство имеет мощность 40 Вт, при напряжении питающей сети 220 В, и состоит из высоковольтного трансформатора, разрядной камеры для получения ионно-озонной воздушной смеси, вентилятора, блока управления, регулирующего концентрацию ионно-озонной смеси в разрядном промежутке. Его конструкция обеспечивает на выходе объемный заряд ионно-озонной смеси порядка 460-800 пКл/м³ и концентрацию по озону 2-4 мг/м³ [11, 14]. Недостатком данной конструкции является наличие озона, который может изменять газовый состав в воздухе, и являясь мощным окислителем, приводит к коррозии металла. Положительный эффект озона наблюдается только при воздействии небольших доз [12, 16].

Анализ работы электроаэроионизаторов, применяемых в производственных помещениях, позволил выявить их общие недостатки: нестабильность выхода ионов из-за отсутствия в аэроионизаторах устройств, осуществляющих стабилизацию разрядного тока; неоднородность распределения потока аэроионов вдоль поверхности разрядных устройств, обусловленная их малой плотностью; необходимость использования источников чрезмерно высоких напряжений и мощностей, что усложняет изоляцию разрядных устройств и применение стабилизирующих и защитных резисторов [4].

Материалы и методы исследования. Нами предлагается устройство для обеспыливания и ионизации воздуха производственных помещений, которое состоит из осевого вентилятора, коронирующего электрода в виде разрядной лампы, вспомогательного электрода в виде лопасти, вал вращения которого установлен

коаксиально внутри рамы. Также имеется отражатель с сепарирующей сеткой, высокочастотный генератор, резонатор. На коронирующий электрод подается напряжение, при пересечении лопасти вспомогательного электрода оси коронирующего электрода, между ними возникает коронный разряд, аэроионы, образовавшиеся в зоне коронного разряда, под действием сил со стороны основного электрического поля, вместе с потоком воздуха, создаваемым вентилятором, движутся к неподвижному основному заземленному электроду, заполняя все межэлектродное пространство [1].

Движение заряженных частиц в межлопастном канале происходит за счет вращения лопастей, расположенных внутри корпуса устройства, чем обеспечивается постоянный вынос заряженных частиц из зоны ионизации, препятствуя установлению процесса динамического равновесия между частицами и коронирующим электродом [3, 5].

Весь поток воздуха внутри межлопастного пространства устройства 1, вращается с угловой скоростью ω , и состоит из одинаковых элементарных струек, совпадающих с очертанием лопастей 2 (рис.1.). При этом частицы пыли участвуют в двух движениях: вращательном – вместе с корпусом устройства, и поступательном – вдоль поверхности лопаток относительно корпуса. Абсолютное движение частицы, представляющее сумму указанных движений, совершается по сложной траектории M_1M_2 [2,13].

При входе на лопасть устройства частица пыли обладает абсолютной скоростью $\overline{v_{y1}}$, вектор которой складывается из двух составляющих: вектора окружной скорости $\overline{w_{окр1}}$ направленного по касательной к данной точке окружности радиусом R_1 и вектора относительной скорости, направленного по касательной к лопасти в данной точке, и равно скорости движения заряженной частицы, выходящей из поля действия электрических сил $\overline{v_s} = \overline{v_{эл}}$. Векторы скоростей $\overline{v_{y1}}$, $\overline{w_{окр1}}$ и $\overline{v_{эл1}}$ образуют входной треугольник скоростей с углом наклона вектора $\overline{v_{y1}}$ к вектору $\overline{w_{окр1}}$ – α_1 и – углом наклона вектора $\overline{v_{эл1}}$ к продолжению вектора $\overline{w_{окр1}}$ – β_1 . На выходе частицы из устройства также имеют место, соответствующие скорости и углы наклона, обозначенные на схеме индексами 2.

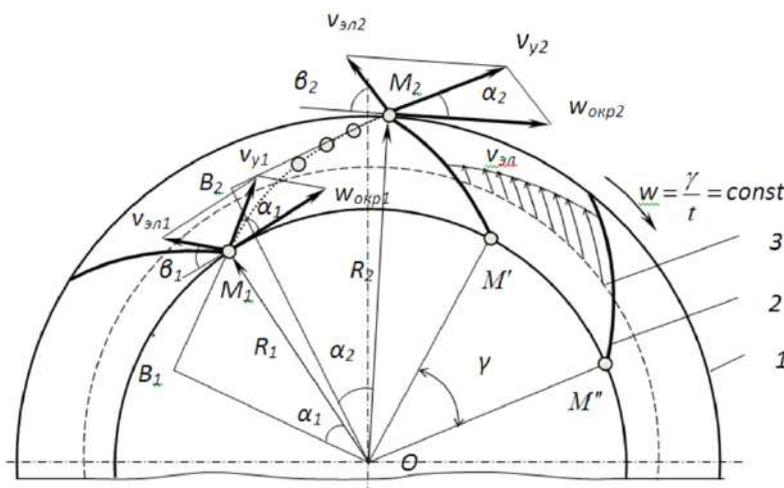


Рис. 1. Расчетная схема скорости движения частицы пыли в межлопастном пространстве устройства для обеспыливания и ионизации воздуха: 1 – корпус устройства; 2 – лопасть; 3 – эпюра скорости движения заряженной частицы $v_{эл}$ в межлопастном канале; $v_{эл1}$ и $v_{эл2}$ – скорость движения заряженной частицы на входе и выходе межлопастного канала; $w_{окр1}$ и $w_{окр2}$ – окружная скорость частицы на входе и выходе межлопастного канала; v_{y1} – скорость движения частицы на входе в межлопастной канал; v_{y2} – на выходе из устройства; β_1 и β_2 – угол между скоростью движения заряженной частицы и окружной скоростью частицы на входе и на выходе межлопастного канала; α_1 и α_2 – угол между скоростью движения частицы и окружной скоростью частицы на входе и на выходе в межлопастном канале; R_1 – меньший радиус вращения лопасти; R_2 – больший радиус вращения лопасти; ω – угловая скорость вращения лопасти устройства; γ – угол поворота лопасти за время t .

Результаты исследования и их обсуждение. При зарядке частицы пыли под действием электрического поля, ее движение определяется равенством электрической силы и силы гидродинамического сопротивления, тогда скорость дрейфа заряженных частиц [7]:

$$v_{эл} = \frac{q \cdot E}{6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r} \cdot C', \quad (1)$$

где q – заряд частицы, Кл; E – напряженность электрического поля электрофильтра, В/м; μ – вязкость среды, Па·с; r – радиус частицы, м; C' – поправочный коэффициент Каннингхема.

$$C' = 1 + A \cdot Kn \quad (2)$$

где A – коэффициент, величина которого для атмосферного воздуха составляет 0,86; Kn – число Кнудсена, характеризующее движение частиц.

$$Kn = \frac{\lambda}{r} \quad (3)$$

где λ – средняя длина пробега газовых молекул, равная 10^{-7} м [9]. Поправочный коэффициент Каннингхема C' применяют, если, $Kn \geq 1$.

Тогда [8],

$$v_{\text{эл}} = \frac{q \cdot E}{6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r} \cdot \left(1 + A \cdot \frac{\lambda}{r} \right) \quad (4)$$

Согласно известным тригонометрическим зависимостям скорость движения частицы находится как [10]:

$$v_{y1}^2 = v_{\text{эл}1}^2 + w_{\text{окр}1}^2 - 2 \cdot v_{\text{эл}1} \cdot w_{\text{окр}1} \cdot \cos \beta_1, \quad (5)$$

$$v_{y2}^2 = v_{\text{эл}2}^2 + w_{\text{окр}2}^2 - 2 \cdot v_{\text{эл}2} \cdot w_{\text{окр}2} \cdot \cos \beta_2,$$

В теории гидромеханического подобия определяющими критериями, входящими в условия однозначности, являются число Струхала (критерий гомохронности) $St = l/(t \cdot v)$, Рейнольдса $Re = v \cdot l/\nu$, Фруда $Fr = v^2/(g \cdot l)$ где l – линейный размер, м; t – время, с; v – скорость, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости среды, м²/с; $g = 9,81$ м/с².

При вращательном движении воздушной среды обеспечивается автомодельный режим работы, в связи с чем силы вязкости по сравнению с силами инерции малы, и критерий Re не налагает никаких условий на константы подобия, а силы гравитации не играют определяющей роли в формировании потока в межлопастном пространстве устройства. Поэтому критерий Рейнольдса и критерий Фруда можно исключить из расчетов. Критерий гомохронности является условием подобия неустановившихся процессов, определяет характер их протекания во времени, и поэтому входит в число определяющих при рассмотрении подобия вентиляционных установок.

Для установившегося процесса гидродинамическое подобие будет характеризоваться обеспечением геометрического и кинематического подобия натуры и модели, т. е.

$$St = \frac{l}{t \cdot v} = idem \quad (6)$$

где St – критерий гомохронности; l , t , v – соответственно характерные линейный размер, время и скорость.

Если за характерное время в критерии Струхала St принять время (период) одного оборота нашего устройства, $T = 60/n$, где n – частота вращения лопасти колеса, мин⁻¹, за характерную скорость – окружную составляющую скорости $w_{\text{окр}}$, за характерный линейный размер – диаметр лопасти D , тогда, согласно первой теореме подобия Ньютона, для идентичных режимов работы устройства можно обеспечить равенство критериев Струхала [10]:

$$St = \frac{w_{\text{окр}}}{n \cdot D} = idem, \quad (7)$$

а индикатор подобия выразится как

$$C = \frac{i_{w_{\text{окр}}}}{i_n \cdot i_D} = 1 \quad (8)$$

где $i_{w_{\text{окр}}}$, i_n , i_D – инварианты подобия соответственно окружной скорости, частоты вращения, линейных размеров.

Из уравнения (8) получаем:

$$\frac{w_{\text{окр}1}}{w_{\text{окр}2}} = \frac{v_{\text{эл}1}}{v_{\text{эл}2}} = i_n \cdot i_D \quad (9)$$

Выводы. Используя уравнения (4, 5, 9) нами рассчитаны значения скорости движения частицы пыли на входе и выходе из устройства для ионизации и обеспыливания воздуха в зависимости от их диаметра при различной напряженности электрического поля E (МВ/м), представленные на рисунке 2.

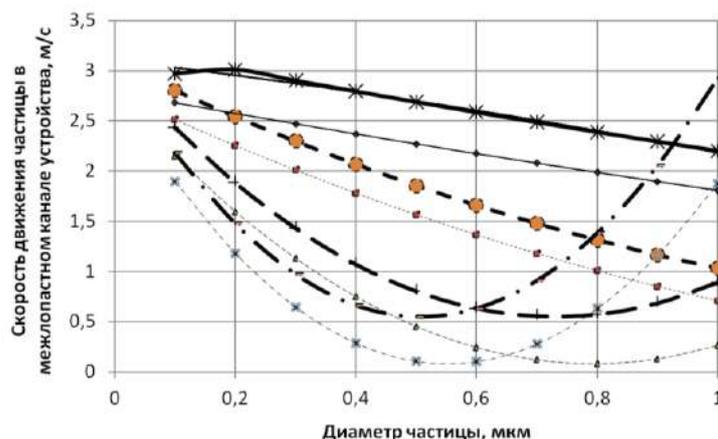


Рис. 2. Значения скорости движения частицы в межлопастном пространстве устройства в зависимости от диаметра при различной напряженности электрического поля E (МВ/м):
 — $E=1$ МВ/м; - - - $E=1,6$ МВ/м; - - - $E=2,5$ МВ/м; - - - $E=3$ МВ/м;
 (жирные линии обозначают значение скоростей на выходе из устройства, тонкие линии – на входе в межлопастной канал).

Уравнения функций зависимости скорости движения частицы от их диаметра на выходе из межлопастного пространства устройства:

$$(10) \begin{cases} E=1 \text{ МВ/м: } y = -0,217x^2 - 0,703x + 3,104; (R^2 = 0,988) \\ E=1,6 \text{ МВ/м: } y = 0,803x^2 - 2,853x + 3,083; (R^2 = 1) \\ E=2,5 \text{ МВ/м: } y = 4,732x^2 - 6,924x + 3,083; (R^2 = 1) \\ E=3 \text{ МВ/м: } y = 9,813x^2 - 9,971x + 3,083; (R^2 = 1) \end{cases}$$

Таким образом, использование устройства для ионизации и обеспыливания в процессах электрогазоочистки, обеспечивает высокое качество очистки воздуха за счет движения частиц пыли в межэлектродном промежутке системы электродов. Совмещение функций вентилятора и вспомогательного электрода позволяет устранить его экранирующее влияние при взаимодействии основного электрического поля и объемного заряда аэроионов, что позволяет осуществлять раздельное регулирование плотности объемного заряда и средней напряженности электрического поля.

Литература

1. Акулова, Т. Н. К расчету процесса обеспыливания, осуществляемого с помощью многослойного устройства для очистки воздуха / Т. Н. Акулова, А. В. Верещак, С. Н. Мардарьев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2(13). – С. 95-100. – DOI 10.17022/p1jz-md23. – EDN LYHYAU.
2. Акулова, Т. Н. Обоснование системы очистки воздуха птицеводческих помещений с применением устройства для ионизации и обеспыливания / Т. Н. Акулова, А. П. Петров // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 2(32). – С. 54. – EDN XTAMYN.
3. Акулова, Т. Н. Система требований при проектировании устройства для ионизации и обеспыливания воздуха / Т. Н. Акулова // Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 20–21 октября 2015 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – С. 541-546. – EDN WBVFEL.
4. Акулова, Т. Н. Технические устройства для обеспыливания воздуха / Т. Н. Акулова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – С. 174.
5. Алешина, К. А. Процесс движения ионизированной частицы пыли / К. А. Алешина, Т. М. Григорьева // Студенческая наука - первый шаг к цифровизации сельского хозяйства : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ, в 3 ч., Чебоксары, 15 октября 2021 года. – Чебоксары : Чувашский государственный аграрный университет, 2021. – С. 141-143. – EDN OMTQLT.
6. Баев, В. И. Ионизация воздуха в птичниках / В. И. Баев, М. Е. Бочаров, Е. В. Чекомасов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. – 2007. – № 4(8). – С. 123-129. – EDN NEBFJH.
7. Возмилов, А. Г. Теоретические и экспериментальные исследования эффективности очистки воздуха электростатическим фильтром / А. Г. Возмилов, Р. Ю. Илимбетов, Д. В. Астафьев // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE) : [сайт]. – 2016. – № 5-6. – С. 80-89. – URL: <https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.05-06.009>

8. Возмилов, А. Г. Электроочистка и электрообеззараживание воздуха в технологических процессах АПК / А. Г. Возмилов, О. В. Звездакова // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2013. – Т. 66. – С. 14-24. – EDN RSCPUR.
9. Гридел, Т. Е. Промышленная экология : пер. с англ. / Т. Е. Гридел, Б. Р. Алленби ; под. ред. Э.В. Гирусова. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 524 с.
10. Кафаров, В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. – Москва : Высшая школа, 1991. – 400 с.: ил.
11. Рудаков, В. В. Ионизация воздуха в животноводческих помещениях : монография / В. В. Рудаков, С.К. Александрова. – Ленинград : Агропромиздат, 1987.
12. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха: СанПиН 2.2.4.1294-03 от 16 июня 2003г. – Текст : электронный // НПФ Янтарь : [сайт]. – URL: (<http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>). (дата обращения: 15.02.2020).
13. Смолин, Н. И. Результаты исследований основных технических характеристик электрофильтра с повышенной объемной скоростью / Н. И. Смолин, С. М. Еськова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1(30). – С. 12-15. – EDN QBNKGD.
14. Сторчевой, В. Ф. Аэроионизация и электроозонирование атмосферы в клетках для кур-несушек: автореферат диссертации кандидата технических наук / В. Ф. Сторчевой. – Москва, 1994. EDN: ZLNFYB
15. Чижевский, А. Л. Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности, сельском хозяйстве и в медицине : методические указания при использовании аэроионификационными установками «Союзантехники» / А. Л. Чижевский. – Москва : Госпланиздат, 1959.
16. <http://kosmin.ru/ozon/>. Тышкевич Е. В. Озон - мирное оружие 21 века. [Электронный ресурс] - Режим доступа: (обращение 13.09.2022)

Сведения об авторах

1. **Акулова Татьяна Николаевна**, старший преподаватель кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: akulovata@yandex.ru, тел. 89053434779;
2. **Григорьева Татьяна Михайловна**, старший преподаватель кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: tmash@mail.ru, тел. 89625986657;
3. **Мерлова Светлана Вячеславовна**, магистрант, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: merlova.lana@mail.ru, тел. 89373963556.

ON THE CALCULATION OF DUST PARTICLES SPEED IN THE INTER-BLATED SPACE OF A DEVICE FOR DEDUSTING AND IONIZATION OF AIR

T. N. Akulova, T. M. Grigorieva, S. V. Merlova
Chuvash State Agrarian University
428003, Cheboksary, Russian Federation

Brief abstract. A variety of corona aeroionizers differ in the schemes of the high-voltage rectifiers used and the designs of the discharge electrodes. A device with corona needle electrodes made in the form of a grid and combined with a ventilation system is known. Its disadvantage is that when the casing of the ventilation duct is grounded, a significant proportion of negative ions from the air jet is drawn back by the electric field and neutralized on the casing. An ionizer – aeroionizers is known, the principle of which is based on the production of air ions and ozone by corona or barrier discharge, however, the presence of ozone can change the gas composition in the air and, being a powerful oxidizing agent, lead to metal corrosion. We propose a device for dedusting and ionizing the air of industrial premises, which contains a corona electrode in the form of a discharge lamp, an auxiliary electrode in the form of an axial fan blade, the rotation shaft of which is installed coaxially inside the frame, there is also a reflector with a separating grid, a high-frequency generator, a resonator. The movement of charged particles in the interblade channel occurs due to the rotation of the blades located inside the device body, which ensures the constant removal of charged particles from the ionization zone, preventing the establishment of a dynamic equilibrium process between the particles and the corona electrode. The entire air flow inside the interblade space of the device rotates at an angular velocity and consists of identical elementary streams that coincide with the outline of the blades. In this case, dust particles participate in two movements: rotational – together with the device body, and translational – along the surface of the blades relative to the body. We calculated the values of the speed of movement of dust particles at the inlet and outlet of the device, depending on their diameter at different electric field strengths.

Key words: *air dedusting, aeroionizers, corona electrode, discharge lamp, speed of movement of dust particles.*

References

1. Akulova, T. N. K raschetu processa obespylivaniya, osushchestvlyаемого s pomoshch'yu mnogoslujnogo ustrojstva dlya ochistki vozduha / T. N. Akulova, A. V. Vereshchak, S. N. Mardar'ev // Vestnik CHuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 2(13). – S. 95-100. – DOI 10.17022/pljz-md23. – EDN LYHYAU.
2. Akulova, T. N. Obosnovanie sistemy ochistki vozduha pticevodcheskih pomeshchenij s primeneniem ustrojstva dlya ionizacii i obespylivaniya / T. N. Akulova, A. P. Petrov // AgroEkoInfo. – 2018. – № 2(32). – S. 54. – EDN XTAMYH.
3. Akulova, T. N. Sistema trebovanij pri proektirovanii ustrojstva dlya ionizacii i obespylivaniya vozduha / T. N. Akulova // Prodovol'stvennaya bezopasnost' i ustojchivoe razvitie APK : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, CHEboksary, 20–21 oktyabrya 2015 goda. – CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2015. – S. 541-546. – EDN WBVFEL.
4. Akulova, T. N. Tekhnicheskie ustrojstva dlya obespylivaniya vozduha / T. N. Akulova // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – S. 174.
5. Aleshina, K. A. Process dvizheniya ionizirovannoj chasticy pyli / K. A. Aleshina, T. M. Grigor'eva // Studencheskaya nauka - pervyj shag k cifrovizacii sel'skogo hozyajstva : materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu FGBOU VO CHuvashskij GAU, v 3 ch., CHEboksary, 15 oktyabrya 2021 goda. – CHEboksary : CHuvashskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021. – S. 141-143. – EDN OMTQLT.
6. Baev, V. I. Ionizaciya vozduha v ptichnikah / V. I. Baev, M. E. Bocharov, E. V. CHEkomasov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa : Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2007. – № 4(8). – S. 123-129. – EDN NEBFJH.
7. Vozmilov, A. G. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya effektivnosti ochistki vozduha elektrostatičeskim fil'trom / A. G. Vozmilov, R. YU. Ilimbetov, D. V. Astaf'ev // Al'ternativnaya energetika i ekologiya (ISJAE) : [sajt]. – 2016. – № 5-6. – S. 80-89. – URL: <https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.05-06.009>
8. Vozmilov, A. G. Elektroochistka i elektroobezzarazhivanie vozduha v tekhnologičeskix processax APK / A. G. Vozmilov, O. V. Zvezdakova // Vestnik CHelyabinskogo gosudarstvennoj agrozhenennoj akademii. – 2013. – T. 66. – S. 14-24. – EDN RSCPUR.
9. Gridel, T. E. Promyshlennaya ekologiya : per. s angl. / T. E. Gridel, B. R. Allenbi ; pod. red. E.V. Girusova. – Moskva : YUNITI-DANA, 2004. – 524 s.
10. Kafarov, V. V. Matematicheskoe modelirovanie osnovnyh processov himičeskix proizvodstv / V. V. Kafarov, M. B. Glebov. – Moskva : Vysshaya shkola, 1991. – 400 s.: il.
11. Rudakov, V. V. Ionizaciya vozduha v zhivotnovodčeskix pomeshčeniyaх : monografiya / V. V. Rudakov, S.K. Aleksandrova. – Leningrad : Agropromizdat, 1987.
12. Sanitarno-gigienicheskie normy dopustimyh urovnej ionizacii vozduha: SanPiN 2.2.4.1294-03 ot 16 iyunya 2003g. – Tekst : elektronnyj // NPF YAntar' : [sajt]. – URL: (<http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>). (data obrashcheniya: 15.02.2020).
13. Smolin, N. I. Rezul'taty issledovanij osnovnyh tekhnicheskix harakteristik elektrofil'tra s povyshennoj ob'emnoj skorost'ju / N. I. Smolin, S. M. Es'kova // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2012. – № 1(30). – S. 12-15. – EDN QBNKGD.
14. Storchevoj, V. F. Aeroionizaciya i elektroozonirovanie atmosfery v kletkah dlya kur-nesushek: avtoreferat dissertacii kandidata tekhnicheskix nauk / V. F. Storchevoj. – Moskva, 1994. EDN: ZLNFYB
15. CHizhevskij, A. L. Rukovodstvo po primeneniyu ionizirovannogo vozduha v promyshlennosti, sel'skom hozyajstve i v medicine : metodicheskie ukazaniya pri ispol'zovanii aeroionifikacionnyimi ustanovkami «Soyuzsantekhniki» / A. L. CHizhevskij. – Moskva : Gosplanizdat, 1959.
16. <http://kosmin.ru/ozon/>. Tyshkevich E. V. Ozon - mirnoe oruzhie 21 veka. Elektronnyj resurs - Rezhim dostupa: (obrashchenie 13.09.2022).

Information about authors

1. **Akulova Tatiana Nikolaevna**, Senior lecturer of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agrarian University; 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, Str. K. Marx, 29; e-mail: akulova-ta@yandex.ru, tel. 89053434779;
2. **Grigorieva Tatiana Mikhailovna**, Senior Lecturer of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agrarian University; 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, Str. K. Marx, 29; e-mail: tmmash@mail.ru, tel. 89625986657;
3. **Merlova Svetlana Vyacheslavovna**, Master's student, Chuvash State Agrarian University; 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, Str. K. Marx, 29; e-mail: merlova.lana@mail.ru, tel. 89373963556.