9. *Казаков Ю.Б.* Зависимость потерь в асинхронных двигателях от параметров широтно-импульсного регулирования напряжения [Текст] / Ю.Б. Казаков, А.А. Шумин, В.А. Андреев // Вестник ИГЭУ. – 2007. – Выпуск 3. – С. 1–4.

References

1. *Shabanov V.A.* Analiz puska jelektroprivodov avtomaticheskogo ohlazhdenija gaza v rezhime protivovkljuchenija [Tekst] / V.A. Shabanov, V.V. Pashkin // Neftegazovoe delo. – № 1. – 2013. – S. 27–36.

2. *Ivashkin O.N.* Modelirovanie processa puska jelektroprivoda AVO v rezhime protivovkljuchenija [Tekst] / O.N. Ivashkin, V.V. Pashkin, V.A. Shabanov// Sbornik nauchnyh trudov I Mezhdunarodnoj (IV Vserossijskoj) nauchno-tehnicheskoj konferencii «Jelektroprivod, jelektrotehnologii i jelektrooborudovanie predprijatij». – Ufa: Neftegazovoe delo, 2013. – S. 127–133.

3. *Vol'dek A.I.* Jelektricheskie mashiny. Mashiny peremennogo toka: uchebnik dlja vuzov [Tekst] / A.I. Vol'dek, V.V. Popov. – Spb.: Piter, 2008. – S. 359.

4. *Malinovskij A.K.* Avtomatizirovannyj jelektroprivod mashin i ustanovok shaht i rudnikov: uchebnik dlja vuzov [Tekst] / A.K. Malinovskij – M.: Nedra, 1987. – S. 275.

5. *Braslavskij I.Ja.* Ispol'zovanie prilozhenija Simulink dlja ocenki potreblenija jelektrojenergii asinhronnym jelektroprivodom [Tekst] / I.Ja. Braslavskij, Z.Sh. Ishmatov, Ju.V. Plotnikov // Trudy Vtoroj Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Proektirovanie inzhenernyh i nauchnyh prilozhenij v srede MATLAB». – M.: IPU RAN, 2004. – S. 1387–1394.

6. *Firago B.I.* Reguliruemye jelektroprivody peremennogo toka [Tekst] / B.I. Firago, L.B. Pavljachik. – Minsk: Tehnopersnektiva, 2006. – S. 585.

7. *Apparaty* vozdushnogo ohlazhdenija prirodnogo gaza tipa AVG – 75S: instrukcija po montazhu i jekspluatacii 712.1 IJe. Ekaterinburg, OAO «UralHimMash», 1994. – S. 16.

8. *Shabanov V.A.* Algoritm ocenki jeffektivnosti chastotno-reguliruemogo jelektroprivoda magistral'nyh nasosov jekspluatiruemyh nefteprovodov po kriteriju snizhenija rashoda jelektrojenergii [Tekst] / V.A. Shabanov, Je.F. Hakimov, S.F. Sharipova // Jelektrotehnicheskie i informacionnye kompleksy i sistemy. – 2013. – № 2 (9). – S. 34–42.

9. *Kazakov Yu.B.* Zavisimost' poter' v asinhronnyh dvigateljah ot parametrov shirotno-impul'snogo regulirovanija naprjazhenija [Tekst] / Yu.B. Kazakov, A.A. Shumin, V.A. Andreev // Vestnik IGJeU. – 2007. – Vypusk 3. – S. 1–4.



Возмилов А.Г.
Vozmilov A.G.
доктор технических наук, профессор кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень



Андреев Л.Н.
Andreev L.N.
кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень



Дмитриев А.А.
Dmitriev A.A.
аспирант кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень



Жеребцов Б.В.
Zherebtsov B.V.
преподаватель кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень

УДК 621.356.48:622.794.7

ОБ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧАХ, РЕШАЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОКРЫХ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

В статье описаны задачи, решаемые при проектировании мокрых электрофильтров: расчет эффективности очистки воздуха по исходным параметрам существующей установки и наоборот; расчет параметров электрофильтра при известности эффективности очистки. Для решения задачи первого типа в данной статье приведены методики расчета основных конструктивных и технологических параметров мокрого электро-

фильтра, таких как активная длина осадительных электродов, скорость воздушного потока, межэлектродное расстояние, напряженность поля коронного разряда, напряжение питания при известной эффективности очистки. Приведены формулы, используемые при решении задачи второго типа. На основании данных предыдущих исследований определена зависимость между активной длиной и радиусом осадительных электродов мокрого электрофильтра. Получена зависимость скорости воздушного потока и количества каналов мокрого электрофильтра от заданной эффективности системы очистки рециркуляционного воздуха.

Ключевые слова: мокрый электрофильтр, эмпирическое выражение, активная длина, межэлектродное расстояние, скорость воздуха.

ABOUT MAIN PROBLEM SOLVED IN DESIGN WET ELECTROSTATIC FILTERS

The article describes the tasks involved in designing wet electrostatic filters: calculation of the efficiency of air purification, according to the initial parameters of the existing installation and vice versa: calculation of the electrostatic filter at the notoriety of the efficiency of treatment. To solve the problems of the first type of this article are methods of calculating the basic structural and technological parameters of wet electrostatic filter, such as active length collecting electrodes, air flow velocity, interelectrode distance, the field strength of a corona discharge power supply and the known efficacy of the treatment. The formulas used in solving the problem of the second type. On the basis of the data of previous studies determined the dependence between the active length and radius of collecting electrodes wet electrostatic filter. Dependence of the speed of the air flow and the number of channels wet electrostatic filter from certain efficiency of the system of the purification of recirculating air.

Key words: wet electrostatic filter, the empirical expression, active length, electrode spacing, the air velocity.

При проектировании систем электрофильтрации воздуха, как правило, решаются задачи двух типов. Задача первого типа состоит в следующем: при наличии конкретной установки по электрофильтрации воздуха и исходных параметров по загрязнениям в воздушной среде необходимо определить эффективность данной установки по очистке воздушной среды от соответствующих вредностей.

Задача второго типа состоит в том, чтобы при известных параметрах загрязнителей воздушной среды (концентрация пыли, микроорганизмов, вредных газов и т. д.) рассчитать основные геометрические и технологические параметры фильтра, который бы очищал воздушную среду от вредностей с заданной эффективностью.

Рассмотрим задачу первого типа: исходные данные воздушной среды содержат значения концентраций пыли ($C_{пыль}$), микроорганизмов ($C_{мкр}$) и вредных газов ($C_{газ}$). Также известны конструктивные и технологические параметры мокрого электрофильтра (рис. 1), такие как активная длина электрофильтра l, межэлектродное расстояние h, рекомендуемая скорость воздушного потока u, напряженность поля коронного разряда E и напряжение питания U. Общий вид мокрого электрофильтра представлен на рис. 1.

Требуется определить эффективность мокрого электрофильтра по очистке от фиксированного размера пылевых частиц, микроорганизмов и i-го газа.

Эффективность очистки воздуха от пыли определяется по формуле Дейча:

$$\eta = 1 - e^{\left(-\frac{wl}{hu}\right)}, \qquad (1)$$

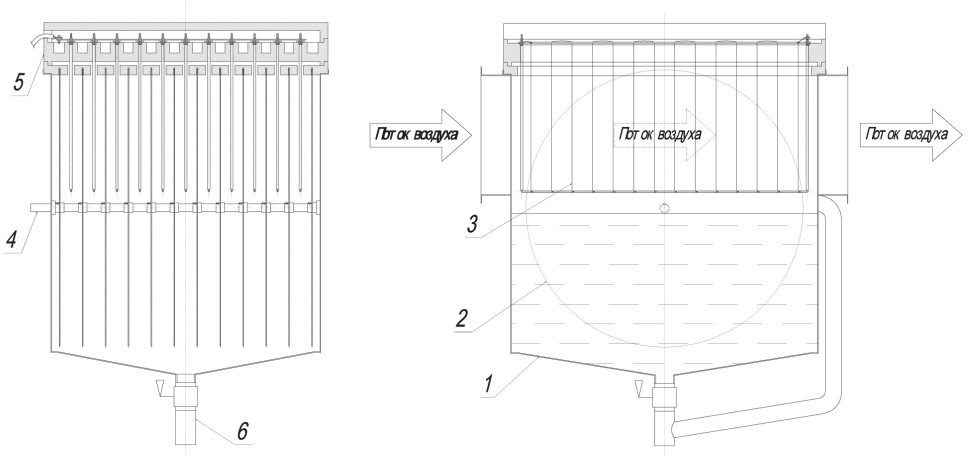


Рис. 1. Конструкция мокрого электрофильтра: *1* – корпус; *2* – осадительные электроды; *3* – коронирующие электроды; *4* – вал электрофильтра; *5* – изоляционная плита; *6* – сливной клапан

где w – скорость дрейфа частиц, м/с; l – длина активной части электрофильтра, м; h – межэлектродное расстояние, м; u – скорость воздуха, м/с.

В требованиях к системам очистки рециркуляционного воздуха [1] указано, что очистка должна производиться от пылевых частиц размером 1 мкм и более, для которых скорость дрейфа рассчитывается по формуле:

$$w = 0{,}118 \cdot 10^{-10} \frac{E^2 \cdot d_{част}}{2\mu}, \quad (2)$$

где E – напряженность поля коронного разряда, В/м; $d_{част}$ – размер улавливаемых частиц, мкм; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Если учесть, что динамическая вязкость воздуха составляет $18 \cdot 10^{-6}$ Па·с, а напряженность поля коронного разряда мокрого электрофильтра – 6,8 кВ/см, то скорость дрейфа частиц размером 1 мкм и более будет более 0,15 м/с.

Активная длина осадительных электродов l мокрого электрофильтра находится по формуле[1]:

$$l = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{2Rb - b^2} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{2Rb - b^2}{4}} + 2\pi R^2 \frac{90 - \arccos\frac{R-b}{R}}{360}}{R - b}, \quad (3)$$

где R = 0,4 м – радиус осадительного электрода, м; b = 0,005 м – глубина фиксации осадительного электрода в верхнюю изоляционную плиту, м [2].

Подставляя в формулу (3) значения R и b, получаем активную длину осадительного электрода, равную 0,29 м.

Подставив значения скорости дрейфа частиц, активной длины осадительных электродов, межэлектродного расстояния и рекомендуемой скорости воздушного потока, равной 0,55 м/с, в формулу (1), получаем значение эффективности мокрого электрофильтра по очистке воздуха от пыли равное 0,94.

Зная эффективность мокрого электрофильтра по очистке воздуха от пыли, можно вычислить его эффективность очистки от микроорганизмов. Для этого воспользуемся известным выражением [2]:

$$\eta_{микр} = 1 - (1 - \eta_{пыль})^{0{,}66}. \quad (4)$$

При эффективности фильтра по очистке от пыли равной 0,94 эффективность мокрого электрофильтра по очистке воздуха от микроорганизмов будет равна 0,85.

Для определения эффективности мокрого электрофильтра по очистке от i-го газа воспользуемся формулой:

$$\eta_i = 1 - \exp\left[-\frac{\left(k_i + 2k_{H_2O}\right) \cdot l}{u}\right], \quad (5)$$

где k_i – коэффициент скорости окисления i-го газа озоном; k_{H_2O} – коэффициент скорости поглощения i-го газа водой.

Коэффициенты скорости окисления и поглощения являются табличными значениями для каждого газа [5]. В случае отсутствия коэффициента в таблице он определяется экспериментально.

Рассмотрим задачу второго типа. Исходные данные воздушной среды содержат значения концентраций пыли ($C_{пыль}$), микроорганизмов ($C_{мкр}$) и вредных газов ($C_{газ}$), также известна необходимая эффективность очистки воздуха мокрым электрофильтром.

Требуется рассчитать конструктивные и технологические параметры мокрого электрофильтра, такие как активная длина электрофильтра l, межэлектродное расстояние h, скорость воздушного потока u, напряженность поля коронного разряда E и напряжение питания U.

Согласно требованиям [1], предъявляемым к системам очистки рециркуляционного воздуха от пыли, эффективность не должна быть менее 90%. Связь эффективности очистки воздуха электрофильтром с его основными конструктивными и технологическими параметрами отображена в формуле Дейча (1).

На основе требований [1] к системам очистки рециркуляционного воздуха принимаем эффективность очистки воздуха мокрым электрофильтром от пыли = 0,9, подставив данное значение в формулу Дейча, получим:

$$0{,}9 = 1 - e^{\left(-\frac{wl}{hu}\right)}. \quad (6)$$

Проведя ряд преобразований с выражением (6), получаем:

$$e^{\left(\frac{wl}{hu}\right)} = 10. \quad (7)$$

На основе понятия о логарифме $\left(y = \log_a x \Rightarrow \Rightarrow x = a^y\right)$ можно выражение (3) представить в виде:

$$\frac{wl}{hu} = \log_e 10. \quad (8)$$

В свою очередь, натуральный логарифм 10 равен:

$$\log_e 10 = \ln 10 = 2{,}3. \quad (9)$$

В итоге получаем:

$$\frac{wl}{hu} = 2{,}3. \quad (10)$$

Таким образом, задавая эффективность очистки воздуха от пыли, мы определили соотношение основных конструктивных и технологических параметров мокрого электрофильтра.

Рассмотрим более подробно составляющие полученной формулы (10).

В известных исследованиях [3] было доказано, что рациональное соотношение между межэлектродным расстоянием h и расстоянием между коро-

нирующими электродами d составляет:

$$\frac{d}{h} = 1{,}9...2{,}1. \quad (11)$$

В свою очередь, оптимальное значение d равно 52 мм [3]. Таким образом, приняв по формуле (11) отношение d к h равным 2, определяем оптимальное значение межэлектродного расстояния h, которое составит 26 мм.

Подставив значение скорости дрейфа и межэлектродного расстояния в формулу (10), получим эмпирическое выражение, связывающее активную длину и скорость воздушного потока в мокром электрофильтре:

$$\frac{0{,}1\ l}{0{,}026\ u} = 2{,}3. \quad (12)$$

Так как осадительные электроды мокрого электрофильтра выполнены в виде дисков, пользоваться значением их активной длины неудобно, поэтому, используя выражение (3), определим соотношение активной длины l и радиуса осадительных электродов R, которое будет равно:

$$l = 1{,}45R. \quad (13)$$

Подставив (13) в (12) и решив его относительно R, получим следующее эмпирическое соотношение между радиусом осадительного электрода и скоростью воздушного потока в мокром электрофильтре:

$$R = 0{,}41u. \quad (14)$$

Выражение (14) показывает, что между скоростью воздушного потока, проходящего через мокрый электрофильтр, и радиусом его осадительных электродов имеется прямо пропорциональная зависимость.

Исходными данными для расчета системы электрофильтрации воздуха является воздухопроизводительность, которая показывает, какой максимальный объем воздуха может пропустить через себя электрофильтр в единицу времени без снижения качества очистки воздуха ниже установленных нормативов.

Для мокрого электрофильтра воздухопроизводительность определяется по формуле:

$$L_{МЭФ} = L_к \cdot n, \quad (15)$$

где $L_к$ – воздухопроизводительность одного канала мокрого электрофильтра, м^3/с; n – количество каналов, шт.

Воздухопроизводительность одного канала находится как произведение площади живого сечения одного канала $S_к$ и скорости воздушного потока u:

$$L_к = S_к \cdot n. \quad (16)$$

Учитывая глубину фиксации осадительных электродов в изоляционную плиту b, выразим площадь живого сечения канала (рис. 2):

$$S_к = 2h \cdot (R - b) = 0{,}052\ (R - b). \quad (17)$$

Подставив (17), (16) и (14) в (15), получим:

$$L_{МЭФ} = 0{,}022lu^2n - 0{,}052bun. \quad (18)$$

Если пренебречь глубиной фиксации осадительных электродов в изоляционную плиту b, то выражение (18) примет вид:

$$L_{МЭФ} = 0{,}022lu^2n. \quad (19)$$

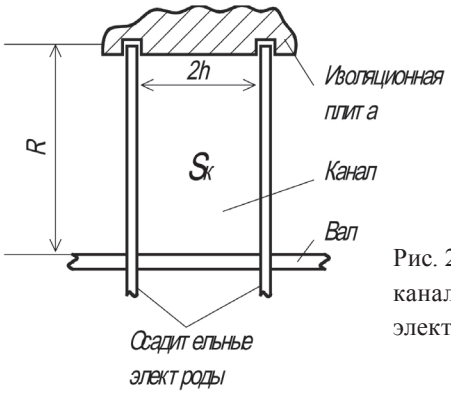


Рис. 2. Живое сечение канала мокрого электрофильтра

Эмпирическое выражение (19) позволяет, подбирая необходимые скорость воздушного потока и количество каналов мокрого электрофильтра, обеспечивать необходимую воздухопроизводительность системы очистки рециркуляционного воздуха с заданной эффективностью, созданной на основе мокрого электрофильтра.

Выводы

Полученные аналитические выражения (7), (12) и (19) позволяют рассчитать основные конструктивные и технологические параметры мокрого однозонного электрофильтра при проектировании систем очистки рециркуляционного воздуха в животноводстве.

Список литературы

1. *Рекомендации* по расчету и проектированию систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений с утилизацией теплоты выбросного воздуха [Текст]. – М.: Секция технологического проектирования Научно-технического совета Минсельхоза России 8 апреля 2004 г. – Протокол № 22.

2. *Андреев Л.Н.* Методика определения эффективности систем очистки воздуха от микроорганизмов [Текст] / Л.Н. Андреев, В.Н. Мишагин, И.Е. Сыромятов, С.Д. Матвеев // МЭСХ. – 2008. – № 5.

3. *Астафьев Д.В.* Оптимизация параметров озонатора на основе коронного разряда [Текст] / Д.В. Астафьев // Список трудов Международной научно-практической конференции «Роль молодых ученых в реализации национального проекта «Развитие АПК». – М.: МГАУ, 2007. – С. 212–218.

4. *Возмилов А.Г.* К определению активной длины осадительного электрода мокрого электрофильтра [Текст] / А.Г. Возмилов, Н.И. Смолин, Л.Н. Андреев, Б.В. Жеребцов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 64–65.

5. *Кондратенков В.Н.* Константы скорости газофазных реакций. Справочник [Текст] / В.Н. Кондратенков. – М.: Наука. 1970. – 351 с.

References

1. *Rekomendacii* po raschjotu i proektirovaniju sistem obespechenija mikroklimata zhivotnovodcheskih pomeshhenij s utilizaciej teploty vybrosnogo vozduhu [Tekst]. – M: Cekcija tehnologicheskogo proektirovanija Nauchno - tehnicheskogo soveta Minsel'hoza Rossii 8 aprelja 2004 g. – Protokol № 22.

2. *Andreev L.N.* Metodika opredelenija jeffektivnosti sistem ochistki vozduha ot mikroorganizmov [Tekst] / L.N. Andreev, V.N. Mishagin, I.E. Syromjatov, S.D. Matveev // MJeSH. – 2008. – № 5.

3. *Astaf'ev D.V.* Optimizacija parametrov ozonatora na osnove koronnogo razrjada [Tekst] / D.V. Astaf'ev // Spisok trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Rol' molodyh uchenyh v realizacii nacional'nogo proekta «Razvitie APK». – M.: MGAU, 2007. – s. 212-218.

4. *Vozmilov A.G.* K opredeleniju aktivnoj dliny osaditel'nogo jelektroda mokrogo jelektrofil'tra [Tekst] / A.G. Vozmilov, N.I. Smolin, L.N. Andreev, B.V. Zherebcov // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2012. – №12. – s.64-65.

5. *Kondratenkov V.N.* Konstanty skorosti gazofaznyh reakcij. Spravochnik. [Tekst] / V.N. Kondratenkov. – M.: Nauka. 1970. – 351 s.



Линенко А.В.
Linenko A.V.
кандидат технических наук, доцент, декан энергетического факультета ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет», Россия, г. Уфа



Акчурин С.В.
Akchurin S.V.
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Электрические машины и электрооборудование» ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет», Россия, г. Уфа



Туктаров М.Ф.
Tuktarov M.F.
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Электрические машины и электрооборудование» ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет», Россия, г. Уфа

УДК 621-133.33

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РЕШЕТНОГО СТАНА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В настоящее время очень мало научных исследований, посвященных замене традиционных прямолинейных колебаний решетного стана зерноочистительной машины на продольно-поперечные (сложные) колебания. При этом отмечено, что данный тип колебаний повышает ориентацию частиц зерновой смеси относительно отверстий решетных полотен и увеличивает суммарную траекторию движения зернового материала.

Статья посвящена исследованию возможности создания плоским линейным асинхронным двигателем (ЛАД) сложного вида движения рабочего органа (решетного стана) зерноочистительной машины с одновременным повышением эффективности сепарации зернового материала и уменьшением энергетических затрат.

Для анализа работы предложенной конструкции линейного электропривода создана его математическая модель в среде объектно-визуального моделирования Matlab (Simulink) и разработан экспериментальный образец зерноочистительной машины с использованием в электроприводе решетного стана плоского ЛАД, который при включении одновременно развивает силу тяги F_x, совпадающую с направлением схода зернового материала, и силу притяжения F_y, направленную перпендикулярно (в поперечном направлении) к силе тяги F_x. Таким образом, линейный электропривод (ЛЭП), работающий в режиме «включения-выключения», будет обеспечивать сложные колебания рабочего органа.

Проведенные исследования также показали, что использование зерноочистительных установок с ЛЭП является энергетически эффективным решением.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, линейный асинхронный двигатель, математическая модель, продольно-поперечное движение.