

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофилтра

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК: 62–784.222.3

К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофилтра

Юркин В.В.¹, Илимбетов Р.Ю.², Дмитриев А.А.³, Петров А.М.⁴

¹Государственный аграрный университет Северного Зауралья

²Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

³НИПИгазпереработка

⁴Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского

Аннотация

В системах вентиляции свиноводческих помещений для очистки вентиляционного воздуха может применяться мокрый однозонный электрофилтр (МЭФ), работающий по принципу использования коронного разряда. При соблюдении требований эффективности очистки вентиляционного воздуха и при соблюдении требуемого воздухообмена в рассматриваемом помещении, конструкционные параметры МЭФ могут варьироваться.

Проведённые исследования позволили рассчитать возможные конструкционные параметры МЭФ, произвести экономическую оценку полученных вариантов исполнения МЭФ и выбрать оптимальный приемлемый вариант.

Ключевые слова: МОКРЫЙ ЭЛЕКТРОФИЛЬТР, МИКРОКЛИМАТ СВИНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ, ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАЦИЯ, ПЫЛЬ

Введение

Производство продукции свиноводства сопровождается повышенной концентрацией животных на комплексах, что приводит к ухудшению условий содержания, выражающееся в ухудшении параметров воздушной среды. Повышенные концентрации пыли и газов отрицательно сказываются на здоровье животных и работников. Так у животных снижается прирост живой массы, происходит снижение продуктивности, нарушаются терморегуляторные выделительные функции организма, возрастает риск

возникновения заболеваний органов дыхания. Исследования показывают, что концентрации пыли в зоне дыхания животных при нормально функционирующей системе вентиляции может превышать предельно допустимые концентрации (ПДК) более чем в 4 раза, что в свою очередь может оказывать негативное воздействие на производственные показатели свиноводческого предприятия [1, 2]. К примеру, у поросят на откорме за один цикл (53 дня), из-за ухудшения параметров воздушной среды, потеря массы животного может достигать 4,6–5,4 % [3]. В работах [4, 5] было обосновано, что одним из перспективных и эффективных способов создания нормируемых параметров воздушной среды, является использование электрофилтрации в системах вентиляции для очистки воздуха в свиноводческих помещениях.

Цель исследований

Мокрый однозонный электрофилтр (МЭФ) является ключевым элементом системы вентиляции станка для содержания поросят на откорме [6]. МЭФ разработан на базе рециркуляционного электрического филтра, работающего по принципу использования коронного разряда. Ключевым отличием мокрого электрофилтра от сухого является наличие жидкости, омывающей осадительные электроды и изменённая форма осадительных электродов (диски). Дискообразная форма электродов, повышенная влажность в короноразрядном промежутке, изменение конфигурации потоков электронного ветра и т.д. приводят к необходимости уточнения и расчета некоторых конструкционных параметров МЭФ.

Результаты и обсуждение

Расчет требуемого воздухообмена для станка для содержания поросят на откорме составил 435–486 м³/ч [7]. Для удобства дальнейших расчетов принята необходимая производительность электрофилтра 500 м³/ч (0,14 м³/с). Значение КПД электрофилтра $\eta=0,9$ принято на основе предыдущих исследований для систем вентиляции, работающих в режиме частичной рециркуляции.

Основными параметрами МЭФ являются:

- конструкционные параметры: длина активной части электрофилтра l (часть осадительного электрода, на которую осажается пыль); радиус осадительных электродов

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
 К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофилтра

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

R ; количество рядов коронирующих электродов n ; расстояние между коронирующими электродами d и расстояние между осадительными электродами h .

- режимные параметры: скорость воздушного потока v ; напряженность поля коронного разряда E ; напряжение питания U ; ток короны I ; скорость дрейфа частиц w .

Из них неменяемые (постоянные) значения параметров, обоснованные в предыдущих исследованиях: напряженность поля $E=5,3 \cdot 10^5$ В/м; напряжение короны $U=13,3$ кВ; межэлектродное расстояние $h=2,5 \cdot 10^{-2}$ м.

Расчетные параметры: длина активной части электрофилтра l ; радиус осадительных электродов R ; количество рядов коронирующих электродов n .

Эффективности очистки воздуха электрофилтром определяется формулой Дейча,

$$\eta = 1 - e^{\left(-\frac{wl}{hv}\right)}. \quad (1)$$

где w – скорость дрейфа частиц, м/с;

l – длина активной части электрофилтра, м;

h – межэлектродное расстояние, м.

В требованиях к системам очистки рециркуляционного воздуха [8,9] указано, что очистка должна производиться от пылевых частиц размером 1 мкм и более, для которых скорость дрейфа рассчитывается по формуле:

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

где E – напряженность поля коронного разряда, В/м;

r – размер улавливаемых частиц, мкм;

μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

По формуле (4) скорость дрейфа частиц w размером 1 мкм и более равна 0,2 м/с.

Значение межэлектродного расстояния h принимается равным 0,025 м.

Для установления взаимосвязи между длиной активной части электрофилтра l и скоростью воздуха v подставим значения скорости дрейфа частиц w и межэлектродного расстояния h в формулу Дейча (1):

$$0,9 = 1 - e^{\left(-\frac{wl}{hv}\right)}. \quad (3)$$

Проведя ряд преобразований с выражением (3), получаем:

$$e^{\left(\frac{wl}{hv}\right)} = 10. \quad (4)$$

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
 К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофильтра

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

На основе понятия о логарифме ($y = \log_a x \Rightarrow x = a^y$), можно выражение (4) представить в виде:

$$\frac{wl}{hv} = \log_e 10. \quad (5)$$

В свою очередь натуральный логарифм 10 равен:

$$\log_e 10 = \ln 10 = 2,3. \quad (6)$$

В итоге получаем:

$$\frac{wl}{hv} = 2,3. \quad (7)$$

$$\frac{0,2l}{0,025v} = 2,3 .$$

Решив, получим,

$$l = 0,29v. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, как изменение скорости воздуха v будет влиять на значение длины активной части электрофильтра l при условии, что КПД электрофильтра $\eta_{пыль}=0,9$.

Однако, особенностью мокрого электрофильтра является круглая форма осадительных электродов, что усложняет определение длины активной части электрофильтра l . В процессе очистки воздуха, у осадительного электрода круглой формы не вся площадь поверхности участвует в процессе осаждения пыли. Таким образом нужен переход от длины активной части электрофильтра l к радиусу осадительных электродов R (рис. 1). Для этого произведен расчет и получено выражение:

$$l = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{2Rb-b^2} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{2Rb-b^2}{4}} + 2\pi R^2 \frac{90 - \arccos \frac{R-b}{R}}{360}}{R-b} \quad (9)$$

где b - величина заглубления осадительного электрода в направляющую;

Формула 9 позволяет перейти от длины активной части электрофильтра l к радиусу осадительного электрода R и свести результаты расчетов в таблицу 1.

Опыт конструирования показал, с учетом значений расстояния между коронирующими электродами d , расстояния между осадительными электродами h и скоростью воздушного потока $v = 3 \dots 4$ м/с радиус осадительного электрода электрофильтра будет составлять $R = 0,2 \div 0,69$ м. Из таблицы 2 видно, что при $l = 0,3$ м и $R = 0,2$ м скоростью воздушного потока будет составлять $v = 1,03$ м/с и при $l = 1$ м и $R = 0,69$ скоростью воздушного потока будет составлять $v = 3,45$ м/с без потери эффективности очистки.

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
 К вопросу расчета конструктивных параметров мокрого электрофильтра
 Электронный научно-производственный журнал
 «АгроЭкоИнфо»

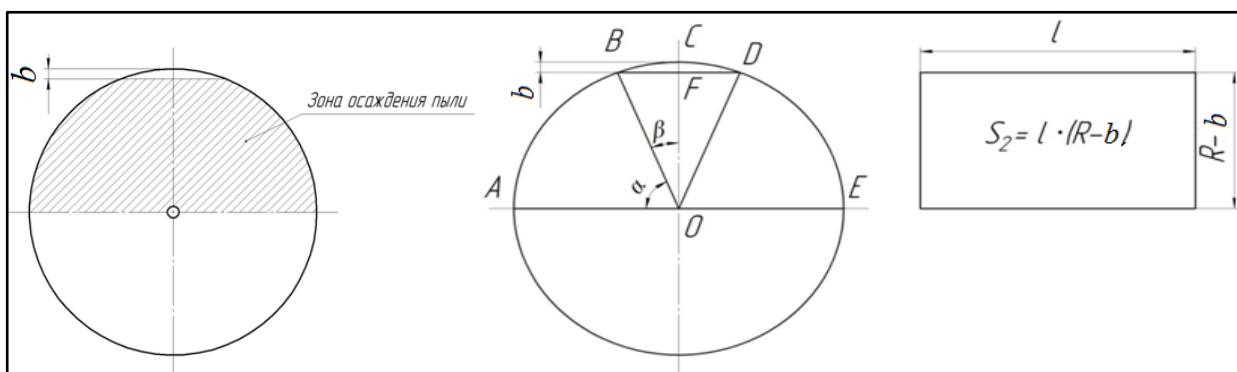


Рис. 1. К определению перехода от длины активной части электрофильтра к радиусу осадительных электродов

Учитывая требования эффективности очистки МЭФ ($\eta_{\text{пыль}}=0,9$) и производительности электрофильтра ($500 \text{ м}^3/\text{ч}$) необходимо определить параметры одного канала МЭФ и количество каналов n , для того чтобы определить конструктивные параметры электрофильтра. Заданная производительность фильтра позволит определить взаимосвязь между скоростью воздушного потока, размерами каналов и количеством каналов МЭФ (рис. 2).

Для МЭФ производительность определяется по формуле:

$$L_{\text{мэф}} = S_{\text{к}} n_{\text{к}} v. \quad (10)$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь живого сечения одного канала, м^2 ;

$n_{\text{к}}$ – количество каналов, шт;

v – скоростью воздушного потока, $\text{м}/\text{с}$.

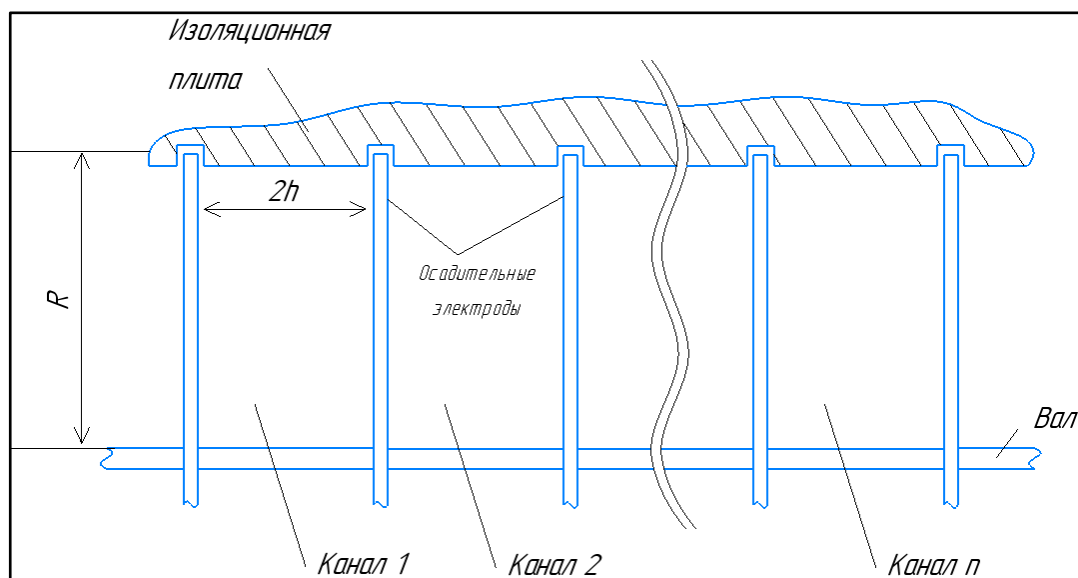


Рис. 2. Сечение канала МЭФ

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
 К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофилтра

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

$$L_{\text{мэф}} = R2hn_{\text{к}}v. \quad (11)$$

Подставив значения производительности электрофилтра $L_{\text{мэф}}=0,14 \text{ м}^3/\text{с}$ и межэлектродного расстояния $h=2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, получим:

$$v = \frac{2,8}{Rn_{\text{к}}}. \quad (12)$$

Уравнение 12 показывает взаимосвязь между длиной активной части электрофилтра l , радиусом осадительных электродов R и скоростью воздушного потока v , и позволяет рассчитать, рассмотреть и проанализировать варианты конструктивного исполнения МЭФ (табл. 1).

Таблица 1. Результаты расчетов

Конструкция филтра	l, м	R, м	v, м/с	R*n _к	n, шт
1 вариант	0,3	0,2	1,03	2,7	14
2 вариант	0,4	0,28	1,38	2,03	8
3 вариант	0,5	0,35	1,72	1,6	5
4 вариант	0,6	0,41	2,01	1,4	4
5 вариант	0,7	0,48	2,4	1,2	3
6 вариант	0,8	0,55	2,8	1	2
7 вариант	0,9	0,62	3,1	0,9	2
8 вариант	1	0,69	3,45	0,8	2

Из таблицы 1 видно, с увеличением длины активной части электрофилтра l увеличивается скорость воздушного потока v и уменьшается количество каналов электрофилтра $n_{\text{к}}$. Для экономической оценки определим необходимое количество материалов, необходимых для изготовления каждого варианта конструкции МЭФ (рис. 3).

Площадь осадительного электрода определяется по формуле:

$$S_{\text{осад}} = \pi R^2. \quad (13)$$

где R – радиус осадительного электрода, м.

Ширина корпуса МЭФ определяется исходя из количества каналов n и параметров одного канала (межэлектродное расстояние $h=2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$):

$$A = 2hn_{\text{к}} + 0,05. \quad (14)$$

где 0,05 – воздушный зазор между крайним осадительным электродом и боковой стенкой МЭФ.

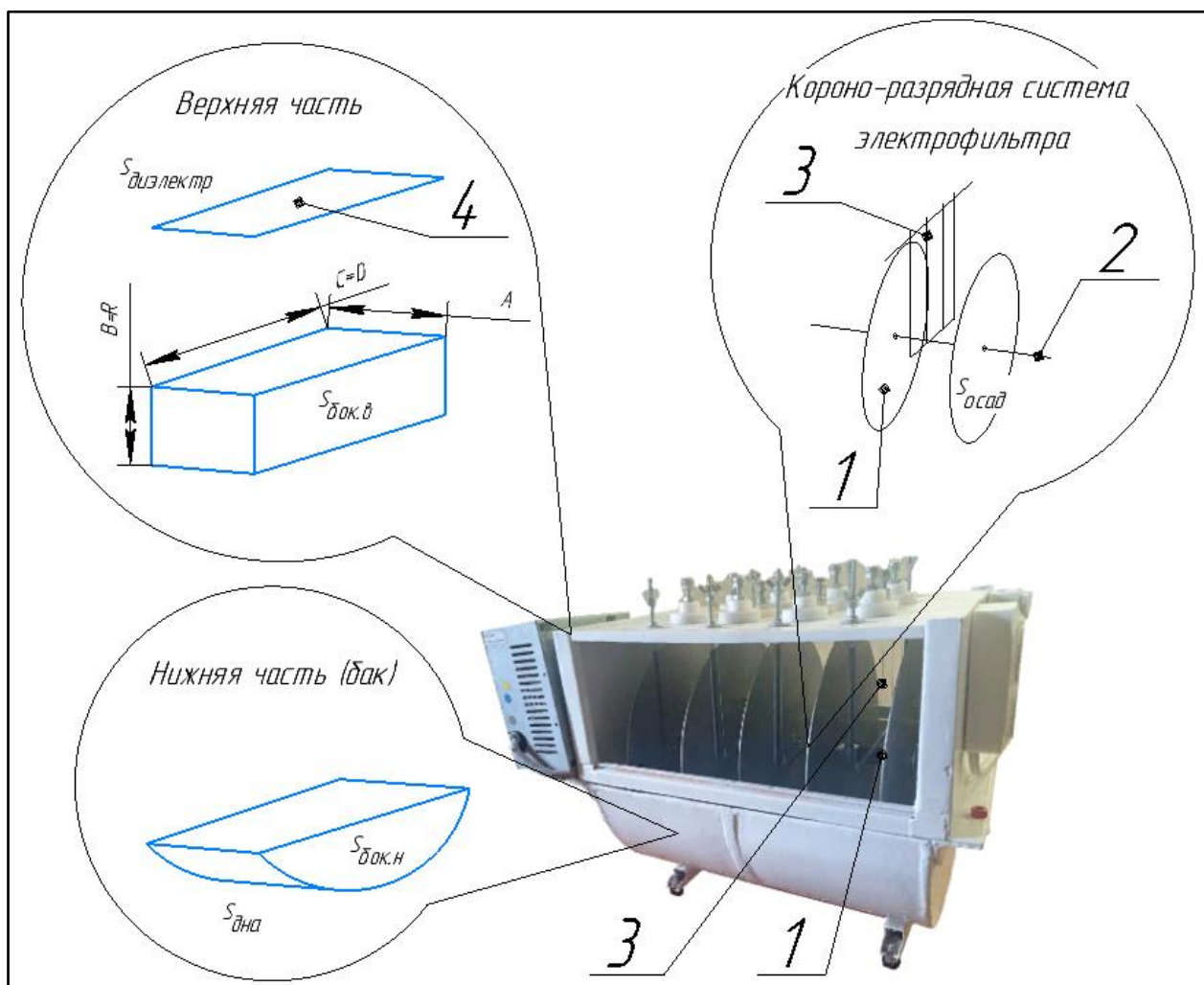


Рис. 3. Элементы конструкции МЭФ

Примечание: 1 – осадительный электрод; 2 – вал; 3 – коронирующий электрод; 4 – диэлектрическая плита.

Коронирующие электроды устанавливаются на диэлектрическом основании. Площадь верхней диэлектрической плиты определяется по формуле 15.

$$S_{\text{диэлектр}} = A \cdot C. \quad (15)$$

где C – длина корпуса верхней части МЭФ, м.

Площадь боковых стенок верхней части МЭФ определяется по формуле:

$$S_{\text{бок.в}} = R \cdot C. \quad (16)$$

Площадь дна нижней части МЭФ определяется по формуле:

$$S_{\text{дна}} = A \cdot l_{\text{дна}}. \quad (17)$$

где $l_{\text{дна}}$ – длина окружности нижней части фильтра МЭФ, м.

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
 К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофильтра

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Площадь боковых стенок нижней части МЭФ определяется по формуле:

$$S_{\text{бок.н}} = 0,5 S_{\text{осад}} + 0,01. \quad (18)$$

где 0,01 – зазор между крайним осадительным электродом и дном бака МЭФ.

При работе МЭФ, в нижнюю часть заливается омывающая жидкость. Для определения объема необходимой жидкости используется формула 19:

$$V = S_{\text{бок.н}} \cdot A. \quad (19)$$

Так же при расчетах учитывалось: суммарная длина коронирующих электродов, количество и марка сварочных электродов, длина сварочных швов, количество просверленных отверстий, количество отрезных кругов и др. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчетов материалов

Конструкция электрофильтра	Площадь одного осадительного электрода $S_{\text{осад}}$, м ²	Площадь всех осадительных электродов, м ²	Ширина фильтра А, м	Площадь диэлектрической плиты $S_{\text{диэлектр}}$, м ²	Площадь верхних боковых стенок $S_{\text{бок}}$, м ²	Площадь дна фильтра $S_{\text{дна}}$, м ²	Площадь нижних боковых стенок $S_{\text{бок}}$, м ²	Объем бака V, м ³	Суммарная площадь черного металла S, м ²
1 вариант	0,1256	1,884	0,77	0,308	0,16	0,48356	0,1456	0,056056	0,78916
2 вариант	0,246176	2,215584	0,47	0,2632	0,3136	0,413224	0,266176	0,062551	0,993
3 вариант	0,38465	2,3079	0,32	0,224	0,49	0,35168	0,40465	0,064744	1,24633
4 вариант	0,527834	2,63917	0,27	0,2214	0,6724	0,347598	0,547834	0,073958	1,567832
5 вариант	0,723456	2,893824	0,22	0,2112	0,9216	0,331584	0,743456	0,08178	1,99664
6 вариант	0,94985	2,84955	0,17	0,187	1,21	0,29359	0,96985	0,082437	2,47344
7 вариант	1,207016	3,621048	0,17	0,2108	1,5376	0,330956	1,227016	0,104296	3,095572
8 вариант	1,494954	4,484862	0,17	0,2346	1,9044	0,368322	1,514954	0,128771	3,787676

Для экономической оценки вариантов электрофильтра необходимо определить технико-экономические параметры каждого варианта конструкции электрофильтра (табл. 3) [10].

Выводы

Анализ таблиц 1 и 3 показывает, что наиболее приемлемым по технико-экономическим параметрам является 1 вариант конструкции электрофильтра, который принят за основу для дальнейших исследований.

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
 К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофильтра

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

Таблица 3. Результаты расчетов

Конструкция фильтра	Итого затраты на производство и монтаж, руб.	Итого затраты на обслуживание, руб.	Эффективность обслуживания, затраты на 1 м ³ очищенного воздуха, руб.
1 вариант	13995	1439	2,9
2 вариант	15609	1601	3,2
3 вариант	16491	1689	3,4
4 вариант	18934	1933	4
5 вариант	21313	2171	4,3
6 вариант	22438	2284	4,6
7 вариант	27881	2828	5,7
8 вариант	33916	3431	6,9

Список использованных источников:

- Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хищенко А.В. Моделирование теплового режима в зоне нахождения поросят при использовании ИК облучательной панели // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2023. – Т. 70. – № 1 (50). – С. 66-74. DOI: [10.22314/2658-4859-2023-70-1-66-74](https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-1-66-74)
- Самарин Г.Н. Энергосберегающая система кондиционирования воздуха для ферм // Техника в сельском хозяйстве. – 2017. – № 4. – С. 43.
- Возмилов А.Г., Мишагин В.Н., Андреев Л.Н. Результаты исследований мокрого однозонного электрофильтра // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – № 3. – С. 20–22.
- Возмилов, А.Г., Андреев Л.Н. Энергоэффективные технологии микроклимата в животноводстве // Ветеринария. – 2016. – № 1. – С. 12–17.
- Возмилов А.Г., Андреев Л.Н., Дмитриев А.А., Жеребцов Б.В. Разработка полной методики расчета эффективности очистки воздуха от пыли, микроорганизмов и вредных газов с помощью двухступенчатого мокрого электрофильтра // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 60–65.
- Андреев Л.Н., Юркин В.В. Энергосбережение в свиноводческих помещениях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (92). – С. 184–188.
- Возмилов А.Г., Илимбетов Р.Ю., Астафьев Д.В., Андреев Л.Н. Исследования трибоэлектрического генератора для питания двухзонного электрофильтра // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 1 (128). – С. 22-37. DOI: [10.24412/2227-9407-2022-1-22-37](https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-1-22-37)
- Андреев Л.Н. Предпосылки к снижению загрязнения атмосферного воздуха животноводческими комплексами // Заметки ученого. – 2022. – № 8. – С. 232–235.
- Дмитриев А.А., Возмилов А.Г., Андреев Л.Н., Юркин В.В. Очистка вентиляционного воздуха свиноферм // Свиноводство. – 2015. – № 2. – С. 19–20.

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М.
К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофильтра

.....
**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**
=====

10. Чуба А.Ю., Кирилова О.В. Цифровизация – инструмент опасного влияния на рынке аграрных технологий // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 5 (142). – С.126-130.
=====

Цитирование:

Юркин В.В., Илимбетов Р.Ю., Дмитриев А.А., Петров А.М. К вопросу расчета конструкционных параметров мокрого электрофильтра [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_520.pdf.
DOI: <https://doi.org/10.51419/202135520>.