

УДК 62-784.222:636.5

Н.И. Смолин, Л.Н. Андреев,
В.В. Юркин

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСТУПЕНЧАТОГО
МОКРОГО ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

N.I. Smolin, L.N. Andreev,
V.V. Yurkin

RESEARCH OF REGIME CHARACTERISTICS OF THE TWO-LEVEL WET ELECTRIC
PRECIPITATOR IN LABORATORY CONDITIONS

Смолин Н.И. – канд. техн. наук, доц. зав. каф. лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: tlt-andreevln@yandex.ru

Андреев Л.Н. – канд. техн. наук, доц. каф. энергообеспечения сельского хозяйства Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: tlt-andreevln@yandex.ru

Юркин В.В. – преп. каф. энергообеспечения сельского хозяйства Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: wowanow@mail.ru

Smolin N.I. – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Forestry, Woodworking and Applied Mechanics, State Agrarian University of Northern Ural Territory, Tyumen. E-mail: tlt-andreevln@yandex.ru

Andreev L.N. – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Power Supply of Agriculture, State Agrarian University of Northern Ural Territory, Tyumen. E-mail: tlt-andreevln@yandex.ru

Yurkin V.V. – Asst, Chair of Power Supply of Agriculture, State Agrarian University, Northern Ural Territory, Tyumen. E-mail: wowanow@mail.ru

Создание оптимального микроклимата в животноводческих помещениях является одной из наиболее актуальных задач современного промышленного животноводства. Перспективным устройством для высокоэффективной очистки и обеззараживания вентиляционного воздуха в животноводческих помещениях является специальный двухступенчатый мокрый электрофильтр. В статье приведены методика и результаты экспериментальных исследований лабораторного образца мокрого двухступенчатого электрофильтра в лабораторных условиях. Цель работы заключалась в получении экспериментальных данных об оптимальном значении напряжения коронирующих электродов на первой и второй ступени электрофильтра, эффективности очистки вентиляционного воздуха от пыли и микроорганизмов на ступенях электрофильтра, как по отдельности, так и в совокупности. Конструктивно двухступенчатый мокрый электрофильтр состоит из двух однозонных мокрых электрофильтров, отличаю-

щихся друг от друга расстоянием между осадительными электродами и наличием различных жидкостей, омывающих осадительные электроды. В первой ступени омывающей жидкостью является вода, во второй ступени – водный раствор медного купороса. Лабораторные испытания проводились на базе Тюменского лесотехнического техникума. В результате проделанной работы было получено: рабочее напряжение электрофильтра – 13 киловольт, эффективность очистки вентиляруемого воздуха от пыли и аэрозольных частиц для первой ступени 32,9–98,31 %, для второй ступени – 20,29–50 %, общая эффективность двухступенчатого мокрого электрофильтра по очистке вентиляционного воздуха от пыли – 46,53–99,15 %.

Ключевые слова: электрофильтр, коронирующие электроды, осадительные электроды, омывающая жидкость, пыль, аэрозольные частицы.

One of the most relevant problems of the indus-

trial cattle breeding is to make the optimal microclimate in the cattle breeding places. The perspective device for the ventilation air cleaning and disinfection in the cattle breeding places is a special double-step irrigated precipitator. In the article there are results and the method of experimental investigations of the laboratory pattern of the double-step irrigated precipitator in laboratory conditions. The goal of the work was to get the experimental data about the optimal value of the voltage of corona-forming electrodes at the first and the second steps of the electric precipitator and to get the experimental data of the effectiveness of the ventilation air cleaning from the dust and microorganisms at all steps of the electric precipitator separately and combined. The double-step irrigated precipitator consists of 2 zonal irrigated precipitators differed from each other by the distance between separated electrodes and used liquids covering precipitating electrodes. At the 1-st step the liquid is water, at the second step – aqueous solution of copper sulfate. Laboratory investigations were based on the Public autonomous professional educational institution of the Tyumen region “Tyumen forestry engineering technical school”. The results were: the working voltage of ventilated air cleaning from dust and aerosols elements for the 1-st step was 32.9–98.31 % and for appropriate elements at the second step was 20.29–50 %. The overall effectiveness of the double-step irrigated precipitator for the ventilation air cleaning from dust was 46.53–99.15 %. The present method will become a base for the factory testing.

Keywords: *precipitator, discharge electrodes, collecting electrodes, washer fluid, dust, aerosol particles.*

Введение. Рынок мяса и мясопродуктов является крупным сегментом отечественного продовольственного рынка, который в настоящее время динамично развивается. Развитие отрасли позволит к 2020 г. полностью обеспечить потребность населения РФ в мясе и мясных продуктах за счет повышения объемов внутреннего производства. Форсированию развития отрасли в том числе способствуют и вводимые против нашей страны экономические санкции.

За счет реализации основных положений, изложенных в Постановлении Правительства РФ от 15 июля 2013 г. № 598 [1], к 2020 г. ожидается увеличение производства мяса всех видов до 9,7 млн т, в т. ч. свинины – до 3,4 млн т,

что на 43,4 % больше по сравнению с показателями 2010 г.

В рамках такого масштабного развития наиболее принципиальными направлениями становятся техническое переоснащение, освоение инновационных ресурсосберегающих и наукоемких технологий производства [2].

Интенсивное ведение животноводства на промышленной основе характеризуется увеличением количества поголовья на фермах, размеров животноводческих построек и плотности содержания животных. Экономическая эффективность отрасли во многом зависит от условий содержания животных, которые большей частью определяются параметрами микроклимата в помещении. При содержании в закрытых помещениях без создания качественного микроклимата животные, даже самые породистые и племенные, не смогут проявить свои потенциальные производительные способности.

Микроклимат животноводческих помещений определяется комплексом физических факторов (влажность, температура, скорость движения воздуха, атмосферное давление, солнечная радиация, освещенность и др.), газовым составом воздуха (углекислый газ, сероводород, аммиак, кислород и др.), количеством взвешенных частиц пыли, аэрозоля, а также наличием микроорганизмов, бактерий и вирусов. На формирование микроклимата в животноводческих помещениях большое влияние оказывают уровень воздухообмена, качество отопления и вентиляции.

Одна из нерешенных проблем – создание оптимального микроклимата. В результате неудовлетворительного состояния микроклимата осенью, зимой и ранней весной фермерские хозяйства несут большие потери от снижения технологических показателей животноводства (привесы, воспроизводственная способность, падеж), а также от увеличения затрат кормов на производство единицы продукции, снижения ее качества.

В предыдущих исследованиях [3–6] обосновывалось применение электрофильтров для создания оптимальных параметров микроклимата в животноводческих помещениях. Развитие данного направления привело к разработке двухступенчатого мокрого электрофильтра ДМЭФ [7–12].

Цель работы. Получение эксперименталь-

ных данных об оптимальном значении напряжения коронирующих электродов на первой и второй ступени электрофильтра, эффективности очистки вентиляционного воздуха от пыли и микроорганизмов на ступенях электрофильтра, как по отдельности, так и в совокупности.

Объекты и результаты исследования. Лабораторные испытания мокрого электрофильтра проводились на базе ГАПОУ ТО «Тюменский лесотехнический техникум».

Программой работ предусматривалось исследование коронирующей системы ДМЭФ; эффективности улавливания пылевых и аэрозольных частиц размером 0,3; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм отдельно для первой ступени, для второй ступени, совместно для обеих ступеней.

Для проведения лабораторных исследований был изготовлен экспериментальный стенд, оснащенный опытным образцом двухступенчатого мокрого электрофильтра.

При выборе основных конструктивных параметров опытного образца был учтен опыт конструирования предыдущих моделей мокрых электрофильтров [3–6].

Конфигурация и форма игольчатых коронирующих электродов была принята аналогичной [5, 6]. Межэлектродное расстояние было принято для первой ступени – 25 мм, для второй ступени – 15 мм.

Корпус выполнен из черной стали толщиной 2 мм, осадительные электроды – из дюралюми-

ния толщиной 1,5 мм. Для уменьшения металлоемкости ДМЭФ, снижения затрат на его изготовление верхняя часть корпуса ДМЭФ была выполнена из влагостойкой фанеры ФБС-1 (фанера бакелизированная со спирторастворимой смолой). Направляющие для осадительных электродов также были выполнены из ФБС-1.

Вращение осадительных электродов на каждой из ступеней осуществлялось мотор-редуктором червячным одноступенчатым 2МЧ-40 ($P=3,0$ кВт, $U=380$ В).

Для создания необходимого воздушного потока был использован вентилятор пылевой марки ВЦП 3-15 с подачей 3000 м³/ч.

Для предотвращения пробоя межэлектродного промежутка по поверхности изоляторов, на которых крепились коронирующие электроды, использовались изоляционные плиты.

Приборное оснащение включало в себя: источник высокого напряжения Плазон ИВНР-30/10; киловольтметр С-196 (класс точности – 1,5; предел измерения – $U=0...30$ кВ); миллиамперметр М109/1 № 3966 (класс точности – 2; предел измерения – $I=0...3$ мА); вольтметр Э 378 (класс точности – 1,5; предел измерения – $0...250$ В); лабораторный трансформатор ЛАТР № 479 ($I_{нарп} \leq 4$ А; $U_{вх} = 220$ В, $U_{вых} = 0...250$ В).

Электрическая принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.

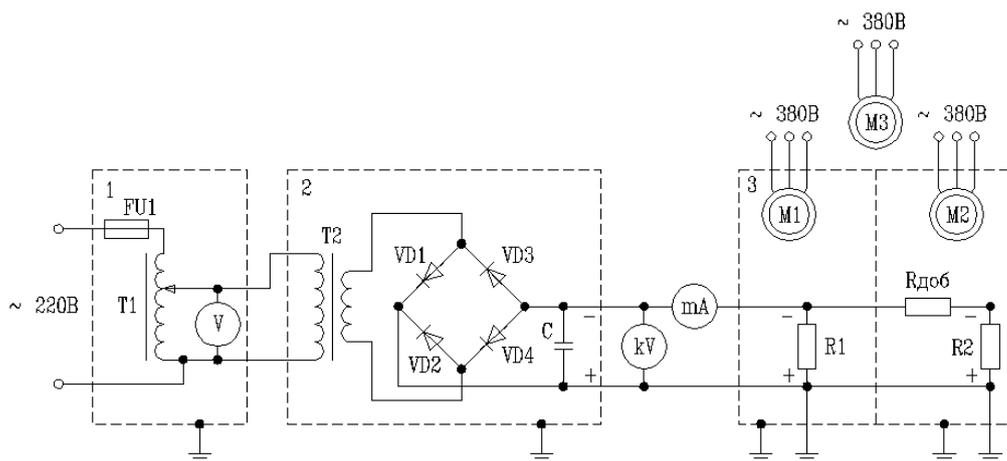


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема экспериментального стенда:

1 – ЛАТР; 2 – плазон ИВНР-30/10; 3 – двухступенчатый мокрый электрофильтр; С – выходной фильтр; М 1, М 2 – электроприводы осадительных электродов первой и второй ступени соответственно; М 3 – электропривод вентилятора; R 1, R 2 – активное сопротивление систем коронирующих электродов первой и второй ступени соответственно; Rдоб – добавочное активное сопротивление второй ступени; mA – миллиамперметр; kV – киловольтметр

Измерение концентрации пылевых частиц осуществлялось счетчиком взвешенных частиц FLUKE 983 (шесть каналов по размерам ча-

стиц), основные характеристики которого приведены в таблице.

Технические характеристики FLUKE 983

Показатель	Значение
Каналы	0,3; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 μm
Частота выборки потока	0,1 куб фт/мин (2,83 л/мин), контролируется внутренним насосом
Режимы подсчета	Концентрация, итоговый, аудио
Потери при совпадении	5 % при 2 000 000 частиц на ft ³
Относительная влажность	$\pm 7 \%$, 20–90 %, без конденсации
Температура	$\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, от 10 до 40 $^\circ\text{C}$ (50–104 $^\circ\text{F}$)

Для исследования коронирующей системы использовались контрольно-измерительные приборы: киловольтметр С 196; миллиамперметр М109/1.

Вольтамперные характеристики снимались отдельно для первой и для второй ступени, при этом в нижние части обеих ступеней была залита омывающая жидкость, осадительные электроды вращались.

Ввиду различного межэлектродного расстояния на первой и второй ступени напряжение пробоя для первой ступени составило 14,5 кВ, для второй ступени – 10,5 кВ. Значения рабочих напряжений были приняты на 10 % меньше напряжения пробоя и составили для первой и второй ступеней 13 и 9,4 кВ соответственно.

При одновременной работе от одного источника питания это накладывает ограничение на работу первой ступени ($U_{\text{раб1}} = U_{\text{раб2}} \approx 9,4 \text{ кВ}$, как на второй ступени) и снижает ее эффективность. Кроме того, при разных значениях рабочего напряжения не обеспечивается надежность работы средств защитной автоматики.

Для исключения данного явления в цепь коронирующих электродов второй ступени было последовательно введено добавочное сопротивление $R_{\text{доб}}$, расчетная величина которого составила 465 кОм (см. рис. 1).

Таким способом питание обеих ступеней может осуществляться от одного источника на напряжении 13 кВ.

Снятие вольтамперных характеристик (ВАХ) заключалось в фиксации разрядного тока при увеличении напряжения на коронирующей си-

стеме от 0 до $U_{\text{max}} = 13 \text{ кВ}$ с шагом 1 кВ. Замеры производились как в направлении от 0 кВ до U_{max} , так и в обратном, с трехкратной повторностью. После чего усреднялись полученные данные и строилась зависимость $I = f(U)$.

Для исследования эффективности улавливания ступенями очистки пылевых и аэрозольных частиц различных размеров помещение с экспериментальной установкой было подвергнуто искусственному засорению пылевыми частицами, в качестве которых использовались мелкодисперсные элементы корма и подстилки животноводческих помещений.

Перед началом эксперимента с трехкратной повторностью измерялось число пылевых и аэрозольных частиц, взвешенных в воздушной среде лаборатории в каждом диапазоне размеров улавливаемых частиц r , для чего включался вентилятор, создавалась принудительная циркуляция воздуха внутри помещения и через электрофильтр. Определенное количество аэрозольных частиц принималось как количество частиц на входе электрофильтра $n_{\text{вх}}$.

При проведении эксперимента в нижние части первой и второй ступеней ДМЭФ была залита омывающая жидкость, осадительные электроды вращались.

В первую ступень была залита вода, во вторую – водный раствор медного купороса с концентрацией 1 моль/л. Данная концентрация, согласно проведенным ранее исследованиям [6], является оптимальной для очистки рециркуляционного воздуха от сероводорода как с технической, так и экономической точки зрения.

Далее на коронирующую систему подавалось напряжение $U_{\max}=13$ кВ. С помощью счётчика взвешенных частиц производилась фиксация количества данных частиц различного диаметра отдельно после первой ступени, после второй ступени электрофильтра.

Исследование проводилось для частиц размером 0,3; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм. Замеры проводились с помощью счётчика взвешенных частиц FLUKE 983.

Все замеры проводились с трехкратной повторностью.

Эффективность очистки от аэрозольных частиц с помощью первой и второй ступени, общая эффективность очистки, согласно получен-

ным данным, рассчитывались по формуле [3]

$$\eta = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где $C_{\text{вх}}$ и $C_{\text{вых}}$ – концентрации загрязняющих веществ на входе и на выходе из электрофильтра соответственно, ед/м³.

Исследование коронирующей системы. Для опытного образца двухступенчатого мокрого электрофильтра снимались вольтамперные характеристики первой и второй ступени. Результаты приведены на рисунке 2.

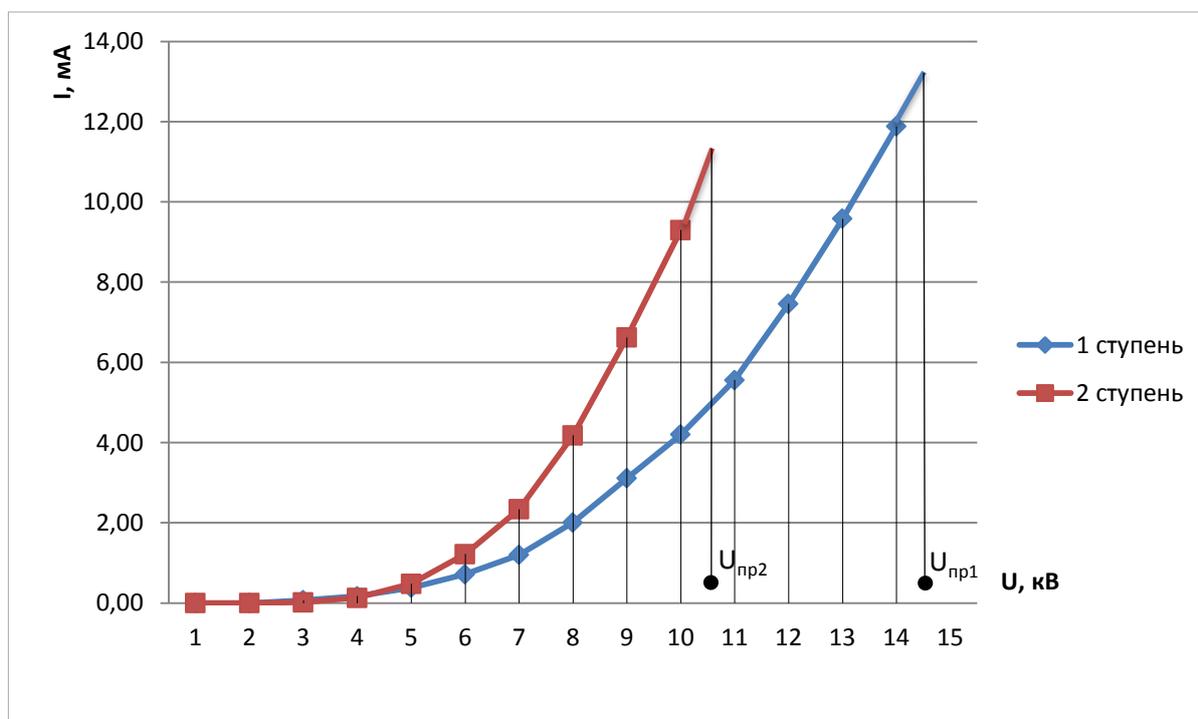


Рис. 2. ВАХ первой и второй ступени электрофильтра:

$U_{\text{пр1}}$, $U_{\text{пр2}}$ – напряжение пробоя для первой и второй ступени ДМЭФ соответственно

Установлены зависимости разрядного тока от напряжения на коронирующей системе $I = f(U)$ для обеих ступеней (см. рис. 2). При этом напряжение пробоя составило 14,5 и 10,5 кВ для первой и второй ступеней соответственно.

Исследование эффективности очистки воздуха от пылевых и аэрозольных частиц. Проводилось при температуре воздуха внутри помещения плюс 20 °С, относительной влажности 50 %.

На рисунке 3 представлены результаты замеров концентрации пылевых частиц размером 0,3...10 мкм.

По формуле (1) была рассчитана эффективность очистки для первой, второй ступени, общая эффективность очистки (1-я+2-я ступень). Результаты расчета эффективности очистки воздуха от пылевых частиц размером 0,3 ... 10 мкм приведены на рисунке 4.

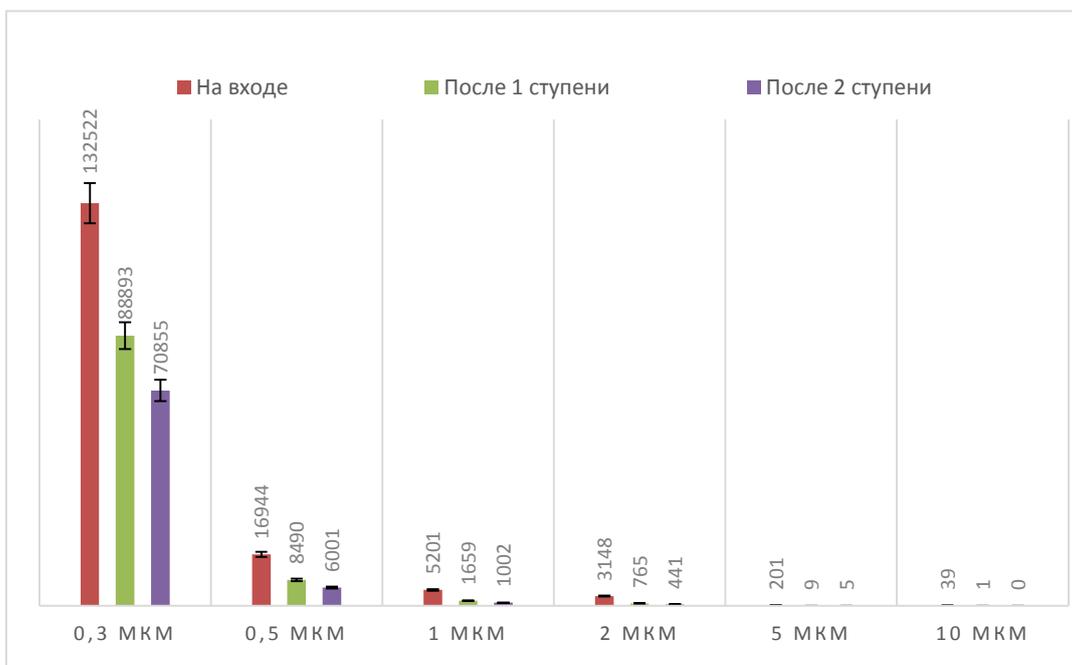


Рис. 3. Результаты замеров концентрации пылевых частиц размером 0,3 ...10 мкм

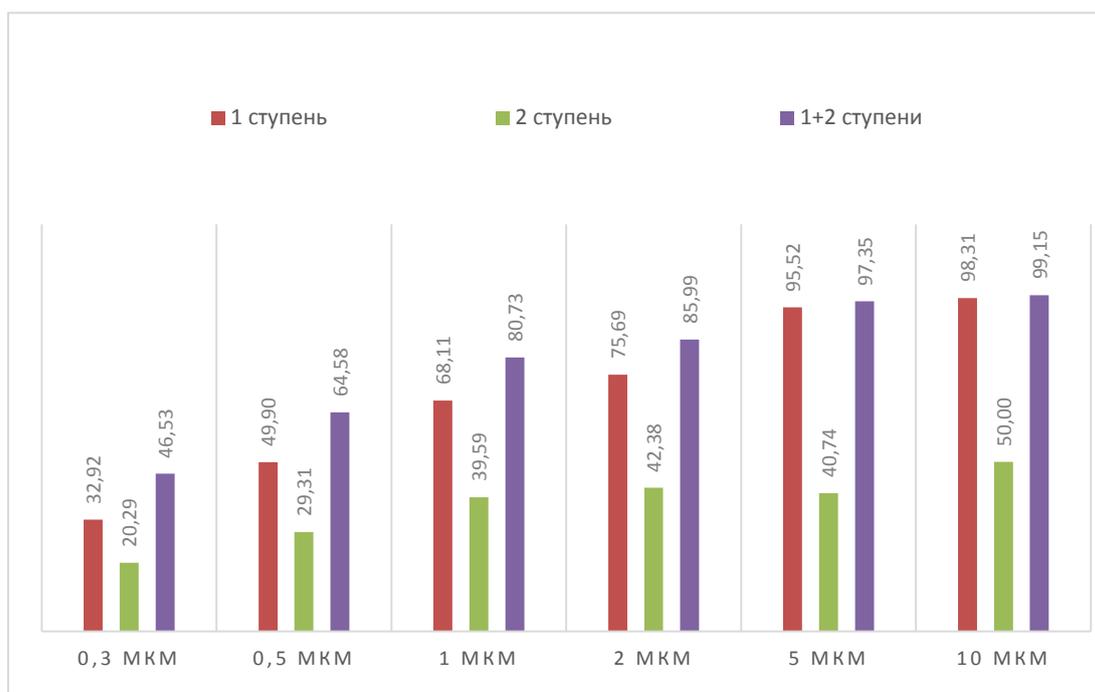


Рис. 4. Эффективность очистки воздуха от пылевых частиц размером 0,3 ...10 мкм

Из рисунка 4 видно, что эффективность очистки воздуха от пылевых частиц с помощью ДМЭФ изменяется от 32,92 до 98,31 % для первой ступени, от 20,29 до 50 % для второй ступени и от 46,53 до 99,15 % для обеих ступеней. Это различие эффективностей объясняется различными геометрическими размерами улавливаемых пылевых частиц. Как правило, более

мелкие частицы хуже подвергаются электрической зарядке, и поэтому эффективность очистки от них с помощью ДМЭФ невысока.

Выводы

1. Двухступенчатый мокрый электрофильтр (ДМЭФ) является универсальным высокоэффективным фильтрующим устройством, позво-

ляющим не только очищать вентиляционный воздух от пылевых частиц с высокой эффективностью, но и производить высокоэффективное обеззараживание и дезодорирование воздушной среды животноводческого помещения.

2. Разработанная и созданная лабораторная установка позволяет достаточно подробно и качественно изучить режимные характеристики ДМЭФ в лабораторных условиях и подготовиться к проведению экспериментов на производстве.

3. Исследованные режимные характеристики: рабочее напряжение, при котором стабильно и эффективно работают обе ступени электрофильтра, составляет 13 кВ; эффективность очистки – 32,9...98,31 % для соответствующих размеров частиц; эффективность дополнительной очистки – 20,29...50 %; общая эффективность очистки воздуха от пылевых и аэрозольных частиц – 46,53...99,15 %.

Литература

1. Российская Федерация. Постановление Правительства от 15 июля 2013 г. № 598. О федеральной целевой программе «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014–2017 годы и на период до 2020 года». – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70319016/#ixzz3O2hS3gR> R.
2. Российская Федерация. Приказ Минсельхоза РФ от 10 августа 2011 г. № 267. Об утверждении стратегии развития мясного животноводства в Российской Федерации до 2020 года. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2075426/#ixzz3O2fi58go>.
3. Возмилов А.Г. Электроочистка и электрообеззараживание воздуха в промышленном животноводстве и птицеводстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. – Челябинск, 1993. – 337 с.
4. Возмилов А.Г., Мишагин В.Н., Андреев Л.Н. Результаты исследований мокрого однозонного электрофильтра // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – № 3. – С. 20–22.
5. Андреев Л.Н. Разработка и исследование мокрого однозонного электрофильтра для очистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Челябинск, 2010. – 142 с.
6. Жеребцов Б.В. Разработка и исследование мокрого электрофильтра для очистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений от сероводорода: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Челябинск, 2014. – 119 с.
7. Разработка полной методики расчета эффективности очистки воздуха от пыли, микроорганизмов и вредных газов с помощью двухступенчатого мокрого электрофильтра / А.Г. Возмилов, Л.Н. Андреев, Б.В. Жеребцов [и др.] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – № 4. – Т. 9. – С. 60–65.
8. Об основных задачах, решаемых при проектировании мокрых электрофильтров / А.Г. Возмилов, Л.Н. Андреев, Б.В. Жеребцов [и др.] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – № 1. – Т. 10. – С. 24–28.
9. Дмитриев А.А. Повышение энергоэффективности систем отопления и вентиляции животноводческих помещений путем использования двухступенчатого мокрого электрофильтра для очистки рециркуляционного воздуха // Сб. мат-лов регион. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Тюмень, 2014. – С. 209–212.
10. Самарин Г.Н. Энергосберегающая технология формирования микроклимата в животноводческих помещениях // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 4. – С. 34–37.
11. Анализ систем очистки воздуха в животноводческих помещениях / А.Г. Возмилов, Файн В.Б., Л.Н. Андреев [и др.] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – № 4. – Т. 10. – С. 45–52.
12. Очистка вентиляционного воздуха свиноферм / А.А. Дмитриев, А.Г. Возмилов, Л.Н. Андреев [и др.] // Свиноводство. – 2015. – № 2. – С. 19–20.

Literatura

1. Rossijskaja Federacija. Postanovlenie Pravitel'stva ot 15 ijulja 2013 g. № 598. O feder-

- al'noj celevoj programme «Ustojchivoe razvitie sel'skih territorij na 2014–2017 gody i na period do 2020 goda». – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70319016/#ixzz3O2hS3gR> R.
- Rossijskaja Federacija. Prikaz Minsel'ho-za RF ot 10 avgusta 2011 g. № 267. Ob utverzhenii strategii razvitija mjasnogo zhivotnovodstva v Rossijskoj Federacii do 2020 goda. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2075426/#ixzz3O2fi58go>.
 - Vozmilov A.G.* Jelektroochistka i jelektrobezzarazhivanie vozduha v promyshlennom zhivotnovodstve i pticevodstve: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.20.02. – Cheljabinsk, 1993. – 337 s.
 - Vozmilov A.G., Mishagin V.N., Andreev L.N.* Rezul'taty issledovanij mokrogo odnozonogo jelektrofil'tra // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 2009. – № 3. – S. 20–22.
 - Andreev L.N.* Razrabotka i issledovanie mokrogo odnozonogo jelektrofil'tra dlja ochistki recirkuljacionnogo vozduha zhivotnovodcheskih pomeshhenij: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.02. – Cheljabinsk, 2010. – 142 s.
 - Zherebcov B.V.* Razrabotka i issledovanie mokrogo jelektrofil'tra dlja ochistki recirkuljacionnogo vozduha zhivotnovodcheskih pomeshhenij ot serovodoroda: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.02. – Cheljabinsk, 2014. – 119 s.
 - Razrabotka polnoj metodiki rascheta jefektivnosti ochistki vozduha ot pyli, mikroorganizmov i vrednyh gazov s pomoshh'ju dvuhstupenchatogo mokrogo jelektrofil'tra / *A.G. Vozmilov, L.N. Andreev, B.V. Zherebcov* [i dr.] // Jelektrotehnicheskie i informacionnye kompleksy i sistemy. – 2013. – № 4. – T. 9. – S. 60–65.
 - Ob osnovnyh zadachah, reshaemyh pri projektirovanii mokryh jelektrofil'trov / *A.G. Vozmilov, L.N. Andreev, B.V. Zherebcov* [i dr.] // Jelektrotehnicheskie i informacionnye kompleksy i sistemy. – 2014. – № 1. – T.10. – S. 24–28.
 - Dmitriev A.A.* Povyshenie jenergojefektivnosti sistem otoplenija i ventiljacji zhivotnovodcheskih pomeshhenij putem ispol'zovanija dvuhstupenchatogo mokrogo jelektrofil'tra dlja ochistki recirkuljacionnogo vozduha // Sb. mat-lov region. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh. – Tjumen', 2014. – S. 209–212.
 - Samarin G.N.* Jenergosberegajushhaja tehnologija formirovanija mikroklimata v zhivotnovodcheskih pomeshhenijah // Sel'skohozjajstvennyye mashiny i tehnologii. – 2010. – № 4. – S. 34–37.
 - Analiz sistem ochistki vozduha v zhivotnovodcheskih pomeshhenijah / *A.G. Vozmilov, Fajn V.B., L.N. Andreev* [i dr.] // Jelektrotehnicheskie i informacionnye kompleksy i sistemy. – 2014. – № 4. – T. 10. – S. 45–52.
 - Ochistka ventiljacionnogo vozduha svino-ferm / *A.A. Dmitriev, A.G. Vozmilov, L.N. Andreev* [i dr.] // Svinovodstvo. – 2015. – № 2. – S. 19–20.

