

5. Glazunov V.N. Poisk principov dejstvija tehničeskikh sistem.– M.: Rečnoj transport, 1990. – 112 s.
6. Avtomatizacija poiskovogo konstruirovanija. – M.: Radio i svjaz', 1981. – 344 s.
7. Zaripov M.F. i dr. Jenergoinformacionnyj metod nauchno-tehničeskogo tvorčestva. – M.: Izd-vo VNIPI, 1988. – 152 s.
8. Chus A.V. Osnovy tehničeskogo tvorčestva. – Kiev: Vishh. shk., 1983. – 183 s.
9. Glazunov V.N. Parametričeskij metod razrešeni-ja protivorečij v tehnike. – M.: Rečnoj transport, 1990. – 148 s.
10. Pat. 86302 Rossijskaja Federacija: MPK G01F13/00. Mnogopotočnyj raspredelitel' zhidkosti / Nazarov N.N.; zajavitel' i paten-toobladatel' Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie «Sibirskij nauchno-issledovatel'skij institut mehanizacii i jelektifikacii sel'skogo ho-zjajstva» Sibirskogo otdelenija Rossel'hozakademii (GNU SibIMJe SO Rossel'hozakademii) (RU). – № 2009114997/22, zajavl. 2009.20.04, opubl. 2009.27.08.



УДК 658.382.2

Н.И. Чепелев

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСАЖДЕНИЯ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАМИ В ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

N.I. Chepelev

THEORETICAL ASPECTS OF DUST PRECIPITATION BY ELECTROSTATIC PRECIPITATORS IN POULTRY PREMISES

Чепелев Н.И. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. безопасности жизнедеятельности Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: tschepelevnikolai@yandex.ru

Chepelev N.I. – Dr. Techn. Sci., Prof., Head, Chair of Health and Safety, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: tschepelevnikolai@yandex.ru

Целью исследований является снижение концентрации пыли в птицеводческих помещениях способом осаждения пыли посредством электрофильтров. В задачи исследования входит: 1) провести анализ методов очистки воздуха от производственной пыли в птицеводческих помещениях; 2) на основе анализа существующих методов и технических средств предложить наиболее эффективный способ очистки воздуха от производственной пыли в птицеводческих помещениях. Проведенный анализ существующих методов и технических средств очистки воздушной среды производственных помещений в птицеводстве выявил недостатки в работе этих систем. Не достаточно удовлетворяются требования, предъявляемые к современным средствам пылеудаления в сельскохозяйственных помещениях. Наиболее эффективными аппаратами снижения уровня запыленности являются электрофильтры, основанные на действии коронного разряда. В настоящее время способ электрической очистки газов от различных частиц является одним из перспективных и позволяет с достаточно высокой эффективностью и низкими энергозатратами

осаждать примеси в воздухе производственных помещений. Однако запатентованные в настоящее время электрофильтры имеют ограниченную область применения. Это связано с тем, что электрофильтры обеспечивают высокую эффективность пылеудаления при значительных габаритных размерах этих устройств. В помещениях, где необходимо осуществлять перемещение значительного объема воздуха посредством вентиляции, применение электрофильтров с плоскими электродами весьма затруднительно ввиду значительных габаритных размеров. Техническим решением указанной проблемы является применение цилиндрических многосекционных электрофильтров, у которых все коронирующие и осадительные электроды имеют форму цилиндра и расположены при этом радиально, поочередно следуя один за другим. Как показали практические результаты, данная конструкция более качественно очищает значительные объемы воздуха, при этом не требуется реконструкции технологического оборудования, расширения производственных площадей и освобождения дополнительного пространства.

Ключевые слова: пылеудаление, рабочая зона, электрофильтр, коронный разряд.

The purpose of the researches was to decrease the concentration of dust in poultry-farming rooms in the way of sedimentation of dust by means of electric precipitators. The research problems were 1) to carry out the analysis of methods of purification of air of production dust in poultry-farming rooms; 2) on the basis of the analysis of existing methods and technical means to offer the most effective way of purification of air of production dust in poultry-farming rooms. The analysis of existing methods and technical means of cleaning of air environment of production rooms in poultry farming revealed shortcomings of work of these systems was carried-out. The requirements imposed to modern means of dust removal in agricultural rooms are met not enough. The most effective devices of decreasing in the level of dust content are electric precipitators based on action of crown category. Now the way of electric purification of gases of various particles is one of perspective and allows besieging with rather high efficiency and low energy consumption impurity in air of production rooms. However, electric precipitators patented now have limited scope. It is connected with that electric precipitators provide high efficiency of dust removal at considerable overall dimensions of these devices. In rooms where it is necessary to have considerable volume of air movement by means of ventilation, the use of electric precipitators with flat electrodes is very difficult in view of considerable overall dimensions. Technical solution of specified problem is using cylindrical multisection electric precipitators at which crown and sedimentary electrodes have the form of the cylinder and are located thus radially, serially following one by one. As showed by practical results, this design clears considerable volumes of air with higher quality, thus it is not required to reconstruction of processing equipment, expansion of floor spaces and release of additional space.

Keywords: dust removal, working area, electric precipitator, crown discharge.

Введение. Требования, предъявляемые к современным средствам пылеудаления в сельскохозяйственных помещениях, следующие:

- обеспечение микроклиматических параметров воздушной среды воздуха рабочей зоны, чтобы оно также позволяло более полно использовать генетический потенциал организма животного по продуктивности и резистентности;
- оптимальное использование тепловой и электрической энергии;
- защита окружающей среды от загрязнений отходами сельскохозяйственного производства.

В практике современного птицеводства для достижения этих задач наибольшее распространение получили различные системы вентиляции, совмещенные с отоплением и химическими способами обработки воздушной среды [1], а также различные типы фильтров.

По способу воздухообмена различают вентиляцию естественную и искусственную. Искусственная вентиляция подразделяется по нескольким признакам на следующие системы:

- общеобменную и комбинированную;
- вытяжную, приточную, приточно-вытяжную;
- по способу забора и подачи воздуха централизованную;
- по направлению циркуляции воздушных потоков (приток-вытяжка): сверху вниз, снизу вверх, снизу вниз;
- по конструктивным признакам: форме, количеству, расположению воздухопроводов; по типу регулирования скорости, конструкции вытяжных устройств и каналов.

Все эти системы наряду с достоинствами имеют и существенные недостатки. Даже при работе в оптимальном режиме систем вентиляции в птицеводческих помещениях наблюдается повышенное содержание пыли, углекислого газа, аммиака, сероводорода и микробных тел. Это объясняется тем, что ни одна из исследуемых систем вентиляции не обеспечивает равномерного распределения свежего и удаления загрязненного воздуха по всему помещению.

Цель исследования: снижение концентрации пыли в птицеводческих помещениях способом осаждения пыли посредством электрофильтров.

Задачи исследования:

- 1) провести анализ методов очистки воздуха от производственной пыли в птицеводческих помещениях;
- 2) на основе анализа существующих методов и технических средств предложить наиболее эффективный способ очистки воздуха от производственной пыли в птицеводческих помещениях.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось на основе санитарно-гигиенических требований для птицеводческих помещений [1]. Большое значение в системе пылеудаления из птицеводческих помещений имеют воздушные фильтры, в которых очистка запыленного воздушного потока происходит вследствие соприкосновения пылевых частиц с поверхностями пористых и волокнистых материалов. Воздушные фильтры предназначены для очистки атмосферного воздуха в системах приточной вентиляции кондиционирования и воздушного отопления производственных зданий. Промышленные фильтры применяются для

очистки промышленных газов с высокой концентрацией дисперсной фазы (до 60 мг/м³).

Очистка запыленных воздушных потоков в фильтрах очень эффективна. Она характеризуется высокой степенью улавливания пыли во всем диапазоне ее дисперсности. К преимуществам фильтров можно отнести сравнительную простоту конструкции и, следовательно, эксплуатации [2].

Наиболее распространенными аппаратами пылеулавливания являются циклоны. Достоинством циклона как пылеуловителя является простота конструкции и эксплуатации. Данные аппараты служат для очистки воздуха от сухой неслипающейся пыли в качестве первой ступени очистки. При небольших капитальных затратах и эксплуатационных расходах они очищают воздух от пыли с частицами более 10 мкм до 80–95 %. Циклоны, как правило, не обеспечивают высокой степени очистки, поэтому они применяются в основном для предварительной очистки перед наиболее эффективными аппаратами.

Отделение от воздуха пылевых частиц в этих устройствах основано на том, что в звуковом поле под действием колебательных процессов, происходящих в воздушной среде, эти частицы коагулируются. Крупные частицы хорошо оседают, их легче уловить. Акустический метод целесообразен и наиболее эффективен при улавливании частиц размером менее 10 мкм. Однако исследованиями установлено, что акустические пылеуловители наиболее эффективны при концентрациях пыли от 0,5 до 15 г/м³. При концентрации менее 0,5 г/м³ вероятность столкновения пылинок снижается. При концентрации выше 15 г/м³ поверхностная плотность пылевых частиц становится настолько большой, что происходит резкое падение интенсивности звука.

Наиболее перспективный, с точки зрения эффективности пылеудаления, является способ очистки воздуха от пыли при помощи электрофильтра [3].

Способ электрической очистки воздуха от различных частиц является одним из перспективных и позволяет с достаточно высокой эффективностью и низкими энергозатратами очищать воздух производственных помещений.

Изначально мелкодисперсные частицы пыли, находящиеся в воздухе птицеводческих помещений, после начала работы предлагаемого электрофильтра заряжаются электрическим зарядом. В помещении образуется электрическое поле со следующими признаками:

- различный заряд между коронирующими электродами электрофильтра и заземленными частями помещения;

- с пространственным зарядом униполярных ионов;

- пространственным зарядом униполярно заряженных частиц пыли, присутствующей в воздухе производственных помещений.

Соответственно следует различать механизмы осаждения заряженных частиц пыли под действием внешнего и внутреннего электрических полей.

В общем случае в помещении может находиться источник запыленности (производственное помещение с пылевыделением), а система очистки птицеводческого помещения состоять из фильтра приточного воздуха (ФПВ) и фильтра вытяжного воздуха (ФВВ), т. е. оборудования приточно-вытяжной системы вентиляции. Также производственное помещение оборудуется коронно-разрядным электрофильтром.

Вентиляция птицеводческой фермы определяется основными закономерностями изменения во времени среднего значения концентрации пыли n в помещении [3].

Запишем уравнение баланса распределения пыли в помещении для элементарного интервала времени ($t; t+dt$):

$$dq = dq_1 + dq_2 + dq_3 + dq_4, \quad (1)$$

где dq – изменение количества частиц пыли в помещении; dq_1 – количество частиц пыли, поступивших в помещение от распределенного источника запыленности; dq_2 – количество частиц пыли, поступивших в помещение с приточным вентиляционным воздухом; dq_3 – количество частиц пыли, удаленных из помещения с вытяжным вентиляционным воздухом; dq_4 – количество частиц пыли, осаждаемых электрофильтром.

Представим следующие соотношения:

$$dq_1 = X \cdot dt; \quad (2)$$

$$dq_2 = n_1 \cdot N \cdot V \cdot dt; \quad (3)$$

$$dq_3 = n \cdot N \cdot V \cdot dt. \quad (4)$$

Получаем выражение для dq_4 :

$$dq_4 = n \cdot dt \int (\bar{W}_e + \bar{W}_g) \cdot \bar{d}s, \quad (5)$$

где \bar{W}_e – скорость движения частицы пыли под действием электрических сил; \bar{W}_g – скорость движения частицы пыли; $\bar{d}s$ – элемент поверхности помещения.

$$(\bar{W}_e + \bar{W}_g) \cdot \bar{d}s > 0. \quad (6)$$

С учетом $S = 0$ запишем

$$dq_4 = n \cdot dt \int \bar{W}_e \cdot \bar{d}s. \quad (7)$$

Обозначим среднее по всей поверхности значение нормальной составляющей вектора \bar{W}_e через W_e , т. е.

$$W_e = \frac{1}{2} \int \int \bar{W}_e \cdot \bar{d}s, \quad (8)$$

тогда

$$dq_4 = n \cdot h_e \cdot S \cdot dt, \quad (9)$$

но

$$W_e = W_{e1} + W_{e2}, \quad (10)$$

где W_{e1} – среднее значение нормальной составляющей скорости движения частицы пыли под действием внешнего электрического поля; W_{e2} – среднее значение нормальной составляющей скорости движения частицы под действием внутреннего электрического поля.

Скорость W_{e1} можно определить следующим образом [3]:

$$W_{e1} = E_0 \cdot Q \cdot B, \quad (11)$$

где B – подвижность частицы пыли.

$$B = \frac{1+A \cdot l}{6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r}. \quad (12)$$

Выражение для W_{e2} было получено ранее в (5) исходя из теории электростатического рассеяния (4) в виде

$$W_{e2} = \frac{V \cdot n \cdot Q_2 \cdot B}{\epsilon_0 \cdot \epsilon}, \quad (13)$$

где $\epsilon_0 = 0.85 \cdot 10^{-12}$, $\phi / \text{м}$.

Обозначим

$$a_1 = \frac{V \cdot Q^2 \cdot B}{\epsilon_0 \cdot \epsilon}, \quad (14)$$

тогда из (9), (10), (13), (14) получим

$$dq_4 = n \cdot W_{e1} \cdot S \cdot dt + n^2 \cdot a \cdot S \cdot dt. \quad (15)$$

Учитывая, что

$$dq_4 = V \cdot dn, \quad (16)$$

подставляя в (1) выражения (2–4), (15), после преобразований получим

$$\frac{dn}{dt} = n_1 \cdot N + \frac{X}{V} \cdot \left(\frac{W_{e1} \cdot S}{V} + N \right) \cdot n - \frac{a_1 \cdot S}{V} \cdot n^2. \quad (17)$$

Выполнив это условие, получим уравнение осаждения пыли:

$$n = \frac{F_1 - F_2 \cdot P \cdot \exp(t \cdot \sqrt{D})}{1 - P \cdot \exp(t \cdot \sqrt{D})}, \quad (18)$$

где

$$F_1 = \frac{b + \sqrt{D}}{-2 \cdot a};$$

$$F_2 = \frac{b + \sqrt{D}}{-2 \cdot a};$$

$$P = \frac{2 \cdot a \cdot n_c + b + \sqrt{D}}{2 \cdot a \cdot n_0 + b - \sqrt{D}};$$

$$D = b^2 + 4 \cdot a \cdot d; \quad (19)$$

$$a = \frac{a_1 \cdot S}{V} = \frac{Q^2 \cdot B}{\varepsilon_0}.$$

$$l = \frac{W_{el} \cdot S}{V} + N = \frac{\varepsilon_0 \cdot Q \cdot B \cdot S}{V} + N. \quad (20)$$

$$d = n_1 \cdot N + \frac{X}{V};$$

$$n_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} n = F_2 = \frac{b - \sqrt{D}}{-2 \cdot a} = \frac{2d}{b + \sqrt{D}} =$$

$$= \frac{2 \cdot (n_1 \cdot N + \frac{X}{V})}{\frac{E_0 \cdot Q \cdot B \cdot S}{V} + N + \sqrt{(\frac{E_0 \cdot Q \cdot B \cdot S}{V} + N)^2 + 4(n_1 \cdot N + \frac{X}{V}) \cdot \frac{Q^2 \cdot B}{\varepsilon_0}}}. \quad (21)$$

Среднее значение напряженности внешнего электрического поля E_0 можно оценить следующим образом:

$$\eta_\infty = \frac{n_0 - n_\infty}{n_0}. \quad (25)$$

$$\int \bar{E} \cdot \bar{d}S = \frac{\Omega}{\varepsilon_0}, \quad (22)$$

где Ω – суммарное значение свободного заряда, заключенного внутри птичника.

Учитывая, что

$$\Omega = n_c \cdot e \cdot V + C \cdot U,$$

получим следующее соотношение:

$$E = \frac{1}{2} \int \bar{E} \cdot \bar{d}S = \frac{n_0 \cdot e \cdot V}{\varepsilon_0 \cdot S} + \frac{C \cdot U}{\varepsilon_0 \cdot S}. \quad (23)$$

В электрофильтрах применяется начальная стадия коронного разряда, и уменьшение емкости здесь несущественно, можно использовать и геометрическую емкость, делая при этом небольшую ошибку в сторону завышения E_0 .

Качество очистки воздуха птицеводческих помещений от частиц пыли при электрической фильтрации характеризуется:

эффективностью

$$\eta = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (24)$$

и высокой эффективностью

Первый показатель отражает степень очистки воздуха за любое время, второй – за время равное или большее длительности процесса. При увеличении временного интервала, разделяющего измерения концентрации пыли n_0 и n_∞ , величина η растет от 0 до ∞ . Подставляя в (25) n_∞ из (21), получим формулу

$$\eta_\infty = 1 - \frac{2 \cdot d}{(b + \sqrt{D}) \cdot n_0} \quad (26)$$

эффективность очистки воздуха рабочей зоны птицеводческого помещения от пыли за счет совместного действия системы вентиляции и электрофильтра.

Чтобы получить формулу предельной эффективности электрофильтра n_∞ , надо заменить в (26) n_0 на n'_∞ .

В свою очередь, установившуюся концентрацию пыли в отсутствие электрической фильтрации n'_∞ найдем из (21), приняв там $E_0 = 0$; $Q = 0$.

$$n'_\infty = \frac{n_1 \cdot N \cdot V + X}{N \cdot V}. \quad (27)$$

Или, учитывая (20),

$$n'_\infty = \frac{d}{N}. \quad (28)$$

Подставляя (28) в (26), получим

$$\eta_{\infty} = 1 - \frac{2N}{b + \sqrt{D}}. \quad (29)$$

Сравнение различных эксплуатационных режимов и типов электрофильтров только по их предельной эффективности η_{∞} является неполным. Большое значение имеет также скорость процесса очистки воздуха от пыли, которую можно характеризовать некоторым временным параметром.

Скорость очистки воздуха можно оценить остаточной концентрацией пыли в производственном помещении в процентном отношении от предельного содержания. Применяя параметр T_{95} – время достижения эффективности, равной 95 % предельной ($\eta_{\infty} = 0,95\eta_{\infty}$). В дальнейшем будем называть параметр T_{95} временем 95 % осаждения пыли.

При использовании в (29) времени осаждения только за счет электрической фильтрации концентрация пыли равна n_{∞} . После преобразований получим

$$T_{95} = \frac{1}{\sqrt{D}} \cdot \ln \cdot \frac{b + 39\sqrt{D} + \frac{2ad}{N}}{b + \sqrt{D} + \frac{2ad}{N}}. \quad (30)$$

Выводы. Таким образом, рассматривая достоинства и недостатки существующих основных способов борьбы с запыленностью воздуха в птицеводческих помещениях при помощи электрического осаждения пыли можно сделать заключение о том, что необходимо искать новые технические решения и способы, позволяющие устранить вышеизложенные недостатки.

Одним из возможных решений данной проблемы является осуществление способа снижения концентрации пыли в птицеводческих помещениях электрофильтрами на основе явления коронного разряда.

Литература

1. Гигиена сельскохозяйственных животных: учеб. пособие / под ред. О.А. Ляпина. – 2-е изд., доп. – Оренбург: Изд-во ОГАУ, 2010. – 160 с.
2. Чепелев Н.И., Ковальчук А.Н., Степанов Ю.М. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / Краснояр. гос. аграр. ун-т, Хакас. фил. – Красноярск, 2014. – 196 с.
3. *Верещагин И.П., Левитов В.И.* Основы электрогазодинамики дисперсных систем. – М.: Энергия, 1974. – 480 с.
4. Пат. № 2333041 Российская Федерация, МПК ВОЗС 3/06. Электрофильтр / *Едимичев Д.А., Чепелев Н.И.*; заявитель и патентообладатель Красноярский государственный аграрный университет. – № 2006145692/12; заявл. 21.12.2006; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25. – 5 с.
5. *Чепелев Н.И., Едимичев Д.А.* Совершенствование технологии пылеудаления на зерноперерабатывающих предприятиях // Вестн. КрасГАУ. – 2011. – № 8. – С. 250–255.

Literatura

1. Gigena sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh: ucheb. posobie / pod red. O.A. Ljapina. – 2-e izd., dop. – Orenburg: Izd-vo OGAU, 2010. – 160 s.
2. *Chepelev N.I., Koval'chuk A.N., Stepanov Ju.M.* Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: ucheb. posobie / Krasnojarsk. gos. agrar. un-t, Hakas. fil. – Krasnojarsk, 2014. – 196 s.
3. *Vereshhagin I.P., Levitov V.I.* Osnovy jelektrogazodinamiki dispersnyh sistem. – M.: Jenergija, 1974. – 480 s.
4. Pat. № 2333041 Rossijskaja Federacija, MPK VOZS 3/06. Jelektrofil'tr / *Edimichev D.A., Chepelev N.I.*; zajavitel' i patentoobladatel' Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – № 2006145692/12; zajavl. 21.12.2006; opubl. 10.09.2008, Bjul. № 25. – 5 s.
5. *Chepelev N.I., Edimichev D.A.* Sovershenstvovanie tehnologii pyleudalenija na zemopere-rabatyvajushhih predpriyatijah // Vestn. KrasGAU. – 2011. – № 8. – S. 250–255.