



К.т.н., доцент ГГАУ
И.Х. Есенов

Аэрозольные технологии – в сельское хозяйство

И.Х. Есенов

За последние годы качество ветеринарного обслуживания сельскохозяйственных животных существенно снизилось. В большинстве случаев причиной тому является финансовая несостоятельность животноводческих хозяйств частного и даже государственного сектора. При этом все более широкое распространение получают инфекционные и инвазионные заболевания, обусловленные свойствами ареала обитания животных и условиями их содержания. Серьезный мониторинг ситуации не проводится или проводится эпизодически, предупредительные меры принимаются лишь в исключительных случаях, что, безусловно, не способствует оздоровлению поголовья.

В то же время, по данным исследований Г.С. Авсаджанова и К.Х. Марзоева, еще в благополучные 80-е годы из-за неудовлетворительных условий содержания от различных заболеваний в хозяйствах ежегодно терялось 7–8 % взрослого поголовья овец и 11–18 % молодняка [1], а бронхопневмониями поражалось 30–40 % рождающегося поголовья [2].

Принятые методы профилактики и лечения заболеваний (инъекционный, интратрахеальный, пероральный и другие) носят индивидуальный характер, отличаются значительной трудоемкостью и требуют длительного периода проведения мероприятий. В то же время разработаны и прошли широкие испытания групповые методы, отличающиеся сравнительно меньшей трудоемкостью, в том числе: энтеральный и ингаляционный.

Следует отметить, что при энтеральном методе (введение препаратов с кормом или питьевой водой) весьма сложно дозировать и контролировать количество вводимых препаратов. Это обусловлено индивидуальными особенностями животных (отсутствие или минимальный уровень аппетита), а также тем, что наиболее ослабленные болезнью животные получают наименьшее количество препарата, так как легко отгоняются от кормушек и поилок более здоровыми и сильными особями.

В последние десятилетия все расширяющееся применение в ветеринарной практике находит метод ингаляции (вдыхания) аэрозолей. Установлено, что действие лекарственных веществ, введенных ингаляционным методом, наступает гораздо быстрее, чем при перораль-

ном введении, а трудоемкость существенно ниже, чем при инъекционном методе. Быстрота резорбции лекарственных веществ из легких, куда они поступают с вдыхаемым воздухом, обусловлена значительностью площади и легкой проницаемостью поверхности альвеолярной ткани. Одним из существенных преимуществ ингаляционного метода является то, что лекарственные вещества попадают в кровь через малый круг кровообращения, минуя печень, которая в силу своего предназначения частично разрушает и снижает их активность. Поэтому дозы препаратов могут уменьшаться в 2–4 раза. Более длительным оказывается и период сохранения в организме терапевтического уровня концентрации, что позволяет сократить кратности обработок.

Из приведенного краткого анализа уже следует целесообразность применения ингаляционного метода введения лекарственных препаратов. При этом понятно, что метод реализуем, если препараты имеют дисперсное состояние, то есть находятся в воздухе в виде пыли или тумана. Аэрозоли из жидкостей достигают наиболее глубоких участков легких, если диаметры капель не превышают 5 мкм. Капли диаметром 3–5 мкм практически полностью осаждаются в альвеолах и бронхиолах, откуда наиболее эффективно всасываются в кровь. Получение капель с таким диапазоном диаметров сложно, требует создания специальной аппаратуры.

Как известно, аэрозоли из жидкости можно получать двумя способами: конденсационным (испарение жидкости с последующей конденсацией пара в аэрозоль) и диспергационным (механическое дробление жидкости на мелкие частицы). Каждый из этих способов реализуется несколькими типами распылителей, в том числе термическими и термомеханическими, аэрозольными генераторами; гидравлическими и пневматическими форсунками, ультразвуковыми и дисковыми распылителями.

Формирование аэрозолей в термических и термомеханических аппаратах происходит во внешней среде, и их фракционно-дисперсный состав (ФСД) в значительной степени зависит от состояния окружающей среды (температуры, влажности, запыленности, давления).

В термомеханических аэрозольных генераторах размер частиц определяется в основном степенью испаре-

ния грубодиспергированной посредством механического дробления жидкости. Испарившаяся часть капель формируется в аэрозоли с диаметром частиц порядка единиц мкм, а диаметры не испарившихся капель достигают десятков и сотен мкм. То есть в дисперсной фазе содержатся капли, диаметры которых варьируют от единиц до сотен микрометров. Меняя температуру газа в генераторе и расход распыляемой жидкости, можно регулировать соотношение количества крупных и мелких капель. Однако увеличение температуры, позволяющее получить больше мелких капель, приводит к росту степени разложения препаратов, которая в случае керосиновых растворов достигает 30 %.

Разложение препаратов происходит и при получении аэрозолей путем выпаривания раствора с последующей конденсацией, кроме того, часть препарата остается в испарителе в виде накипи, а при конденсации пара образуются полидисперсные аэрозоли.

Таким образом, аэрозоли, получаемые термическими и термомеханическими аппаратами, являются полидисперсными, в процессе их получения часть препаратов утрачивает свои первоначальные свойства вследствие термического разложения.

Последнее исключено в механических распылителях, реализующих способ дробления, в том числе гидравлических и пневматических форсунках, дисковых и ультразвуковых аппаратах. Большое количество этих типов аппаратов разнообразного конструктивного исполнения используется для механизации и интенсификации трудоемких или медленно протекающих процессов в химической и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве, медицине и ветеринарии в России и за рубежом.

Гидравлические форсунки, в том числе струйные и центробежные, являются наиболее простыми по конструкции. Распыляемая жидкость в них продавливается под большим давлением через калиброванные отверстия или щели. Размер капель зависит от диаметра калиброванного отверстия или толщины щели, физических свойств жидкости и давления, под которым жидкость истекает из сопла (отверстия калиброванного диаметра). Наиболее существенными недостатками гидравлических форсунок являются: полидисперсность (широкий спектр диаметров капель) генерируемых аэрозолей и необходимость создания значительных давлений в распыляемой жидкости (до 100 и более атм.) [3].

Более предпочтительными в отношении качества аэрозолей являются пневматические форсунки, в которых образование аэрозоля происходит при взаимодействии жидкостного и газового потоков. При этом образуется двухфазовая пограничная зона, состоящая из жидкости и газа. По мере удаления от сопла происходит разрушение слоев жидкостных струй с образованием воздушно-жидкостных смесей (аэродисперсной системы). Из трех принципиально возможных схем пневматических форсунок (рис. 1) наилучшие характеристики аэродисперсной системы получают в форсунках с двух-

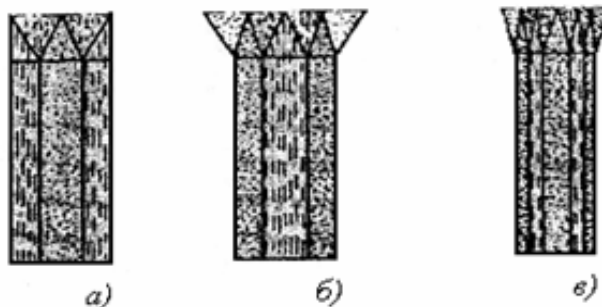


Рис. 1. Принципиальные схемы пневматических форсунок:

а) – с внутренним подводом воздуха; б) – с внешним подводом воздуха; в) – с двухсторонним подводом воздуха.

сторонним подводом газа, что объясняется достижением в этом случае наибольшей поверхности соприкосновения жидкости с распыляющим агентом (воздухом).

На этом принципе основана работа пневматической вихревой аэрозольной насадки (ПВАН), разработанной Всесоюзным научно-исследовательским институтом ветеринарной санитарии. Она позволяет получить аэрозоли с диаметром капель 10–20 мкм при расходах до 200 мл/мин.

ПВАН приводится в действие воздухом, подаваемым под давлением 3–4 атм., и относится к форсункам высокого давления.

Форсунки низкого давления, работающие при давлении воздуха 0,1–0,5 атм., в том числе НТП, РНД-1, позволяют получать аэрозоли с диаметром капель 50 и более мкм, которыми невозможно вести удовлетворительную ингаляционную обработку животных.

К числу пневматических форсунок высокого давления относятся и струйные аэрозольные генераторы САГ-1, САГ-10, принятые в настоящее время на вооружение ветеринарными специалистами для целей аэрозольной вакцинации, дезинфекции и дезинсекции. В струйных аэрозольных генераторах высокодисперсное дробление жидкости происходит за счет того, что распыленная обычным пневматическим способом жидкость в виде воздушно-жидкостной струи, двигаясь с большой скоростью, сталкивается с другой такой же струей, выходящей из соосного, встречно направленного сопла. Главным условием правильной работы и одновременно одним из существенных недостатков САГ является необходимость строгого соблюдения соосности сопел.

Дисперсный состав аэрозоля, генерируемого этими аппаратами (80 % капель $d = 1-5$ мкм, 20 % – $d = 6-20$ мкм), является удовлетворительным для целей ингаляционных обработок животных и птицы.

Примерно такого же качества аэрозоли генерируются жидкостным распылителем аппарата АИ-1.

Основным недостатком пневматических распылителей высокого давления, наряду с полидисперсностью генерируемых аэрозолей, является необходимость для их привода дорогостоящих и дефицитных компрессоров.

Наиболее полно требованиям монодисперсности и возможности оперативного регулирования среднего диаметра генерируемых аэрозолей отвечают ультразвуковые распылители. Скорость образования тумана в аппаратах этого типа зависит от мощности ультразвука, а дисперсность – от частоты. Учитывая, что ультразвук не нарушает биологической активности большинства терапевтических препаратов, ультразвуковые генераторы выгодно применять для получения лечебных аэрозолей. В медицине применяются аппараты этого типа, например индивидуальный аэрозольный ингалятор «Tur-usi-2» и групповой – «Tur-usi-1».

Ультразвуковой распылитель для получения бактериальных аэрозолей разработан С.Н. Муромцевым и В.П. Ненашевым. Генератор распыляет 7 мл раствора за 35 мин при размерах капель 1–6 мкм и может успешно использоваться для целей вакцинации.

Основными узлами ультразвуковых аэрозольных генераторов являются источник тока высокой частоты и электроакустический преобразователь.

Источники высокой частоты ($f \geq 66$ кГц) большой мощности в настоящее время изготавливаются на базе ламповых и машинных генераторов. Поэтому ультразвуковые аэрозольные генераторы пока громоздки и дороги.

Дисковые аэрозольные генераторы по сравнению с гидравлическими и пневматическими позволяют получать более монодисперсные аэрозоли при соблюдении ряда условий, а по сравнению с ультразвуковыми просты по конструкции и в обслуживании, имеют незначительные массогабаритные характеристики. Рабочим органом дискового распылителя является один или несколько дисков (рис. 2.), укрепленных на вращающемся валу.

Частота вращения дисковых распылителей, применяемых на практике, достигает 50 000 об/мин. С частотой 3000 об/мин вращается распылительный диск гидроаэроионизатора-распылителя ГАИ-4У, используемого в медицине для групповой терапии и дезинфекции воздуха. Производительность аппарата не превышает

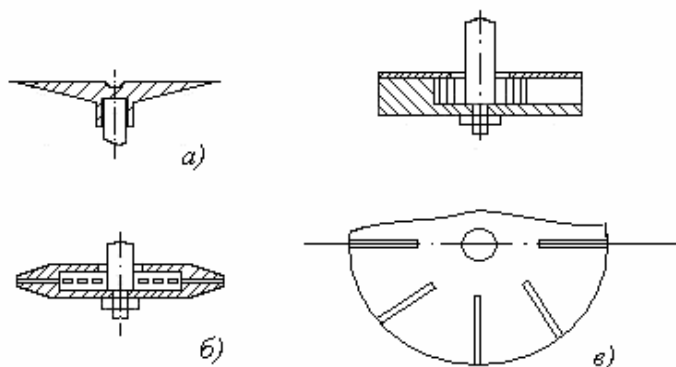


Рис.2. Конструктивные схемы распылительных дисков: а) – тарельчатый; б), – сопловой; в) – лопастный (зубчатый).



Рис.3. Конструктивные схемы тарельчатых распылительных дисков:

- а) – параболидный с раскрытой чашей;
б) – параболидный с закрытой чашей;
в) – конический.

3 мл/мин, диаметры генерируемых капель находятся в пределах 1–20 мкм.

Чтобы решить вопрос целесообразности применения того или иного типа диска для получения монодисперсных аэрозолей, необходимо провести дополнительные исследования.

Конструктивная простота тарельчатых дисков (рис. 3), минимальные потоки самовентилиции и радиусы воздушно-капельной смеси позволяют конструировать аппараты с минимальными массогабаритными показателями и максимальными энергетическими характеристиками.

Из приведенных конструкций дисков наиболее технологичным является конический (в), поэтому, если нет каких-либо специальных требований, в качестве рабочего органа следует принимать его. Он, как и другие конструкции (а, б), изготавливается из листового материала (например, алюминия) методом накатки или штамповки.

Мощность, необходимая для его привода, складывается из двух составляющих: мощности, передаваемой сбрасываемой с кромки (распыляемой) жидкости P_k , и мощности, необходимой на преодоление сопротивления трения P_a .

$$P = P_a + P_k, \text{ Вт} \quad (1).$$

В соответствии с результатами проведенных автором исследований, с достаточной для практических целей точностью, мощность сопротивления трения может быть вычислена по формуле:

$$P_a = 6,74 \times 10^{-3} \times \omega^3 \times R_d^5, \text{ Вт} \quad (2),$$

где ω – угловая частота вращения распылительного диска, rad/s ;

R_d – радиус диска, м.

Мощность, передаваемая сходящей с кромки диска жидкости, численно равняется приобретенной кинетической энергии, то есть

$$P_k = 0,5 \times m \times v^2, \text{ Вт} \quad (3),$$

где m – расход распыляемой жидкости, кг/s ;

v – скорость схода жидкости с кромки диска, м/s .

Максимально возможная скорость схода жидкости с кромки диска (при отсутствии проскальзывания ее по поверхности) составляет:

$$v = \omega \times R_0, \text{ м/с} \quad (4)$$

С учетом (4) и того, что на практике проскальзывание невозможно исключить, а при его наличии появляются дополнительные потери мощности, можно записать:

$$P_k = k \times \omega^2 \times R_0^2, \text{ Вт} \quad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Результаты проведенных экспериментов достаточно точно аппроксимируются выражением (5), если принять $k=1$.

Таким образом, мощность привода распылителя может быть определена выражением

$$P_a = 6,74 \times 10^{-3} \times \omega^3 \times R_0^5 + m \times \omega^2 \times R_0^2, \text{ Вт} \quad (6)$$

При разработке конструкции аэрозольного генератора следует учитывать, что при любых режимах работы распылителя часть жидкости формируется в капли неприемлемо большого диаметра. Если эти капли не улавливать, то лишь часть распыляемого раствора (лекарственного препарата) будет использована эффективно, львиная доля осядет на поверхностях ограждающих конструкций помещения, где проводится сеанс ингаляции, и телах животных. Поэтому аэрозольный генератор снабжают сепарационной решеткой, предназначенной для улавливания капель большого диаметра.

Кроме того, оказывается подлежащим решению задача подачи распыляемой жидкости на поверхность диска. Существует ряд вариантов технических решений ее, из которых нами принят вариант, при котором подача обеспечивается с помощью полого конуса 3 (рис. 4).

В этом варианте для определения мощности, расходуемой на подъем жидкости на поверхность диска и трение конуса о жидкость в резервуаре, автором предлагается выражение:

$$P_{жс} = k_l \times \omega^2, \text{ Вт} \quad (7)$$

где $k_l = 1,024 \times 10^{-5}$ – коэффициент пропорциональности, полученный в результате обработки опытных данных.

Генератор, разработанный нами, содержит: электродвигатель 1, на приводном валу которого установлены конический распылительный диск 2 и всасывающий патрубок 3 при помощи цанги и полумуфты 4, неподвижный конус 5, сепарационная решетка 6, ограничительный диск 7, корпус 8, резервуар для распыляемой жидкости 9, диск-конус для стока конденсата 10, направляющий диск 11 и ручка с подвесным крючком 12.

Работает он следующим образом. При включении электродвигателя распылительный диск 2 и конус (всасывающий патрубок) 3 приводятся во вращение. После достижения определенной частоты вращения за счет разрежения, создающегося над поверхностью диска 2, жидкость из резервуара 9 по внутренней поверхности конуса и прорези в полумуфте 4 поднимается на повер-

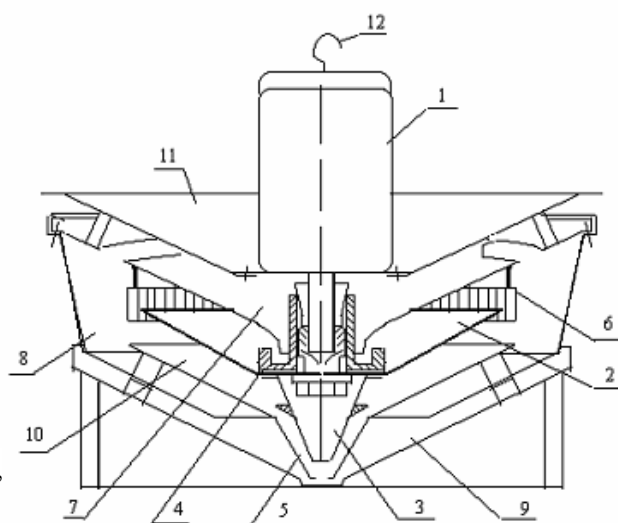


Рис.4. Конструктивная схема дискового аэрозольного генератора ДГЧ-1.

хность диска. Здесь она в виде пленки с все возрастающей скоростью перемещается к кромке диска и в виде струек сбрасывается с нее. Струйки жидкости на некотором удалении от кромки распадаются на капли различных диаметров. Мелкие капли быстро теряют скорость и, огибая перегородки сепарационной решетки 6, через окна в ограничительном диске 7 вместе с потоком воздуха выходят из генератора. Направляющий диск 11 формирует из них поток определенного направления. Крупные капли, двигаясь под действием инерционных сил, ударяются о перегородки сепарационной решетки, стенки корпуса 8, стекают в резервуар 9 и, сливаясь с находящейся там жидкостью, подвергаются повторному распылению. Жидкость, находящаяся до включения электродвигателя в объеме между всасывающим патрубком и неподвижным конусом 5, по мере увеличения частоты вращения выбрасывается в резервуар 9 через специально предусмотренные в неподвижном конусе окна. Часть жидкости, осаждающаяся на ограничительном 7 и направляющем 11 дисках, стекает по ограничительному диску в специальную чашечку в полумуфте 4 и через отверстия в ней повторно попадает на распылительный диск. Таким образом до минимума сводятся потери препарата.

Дисперсность аэрозоля, получаемого с распылительного диска, оказывается удовлетворительной при сравнительно высоких частотах его вращения ($n \geq 8000$ об/мин), которые могут быть получены при помощи коллекторных или асинхронных повышенной частоты тока двигателей. Последние имеют ряд существенных преимуществ перед коллекторными, поэтому им отдается предпочтение при разработке привода аэрозольного генератора, призванного работать в условиях высокой влажности, определяемой технологией ингаляционной терапии.

При радиусе распылительного диска $R_0 = 0,1$ м, частоте вращения его $n = 11450$ об/мин привод разработан-

ного нами генератора обеспечивается электродвигателем повышенной частоты тока ($f = 200 \text{ Гц}$) мощностью $P = 250 \text{ Вт}$, выпускаемым Дмитровским электромеханическим заводом.

Результаты испытания образца генератора, названного ДГЧ-1, показали удовлетворительный фракционно-дисперсный состав генерируемого аэрозоля (рис. 5) при производительности 40 мл/мин.

Дисковые аэрозольные генераторы отличаются конструктивной простотой и в процессе эксплуатации не требуют регулировок и настроек. Электроэнергией, необходимой для их привода, снабжаются практически все животноводческие хозяйства, имеется возможность комплектования их устройствами для получения электрозаряженных аэрозолей.

Терапевтическая эффективность ингаляционной обработки бронхопневмонийных овец с применением дисковых генераторов ДГЧ-1 была исследована на овцеводческой ферме учхоза Горского ГАУ, для чего была построена камера объемом 96 м^3 . Количество одновременно обрабатываемых овец $N = 257 - 217$ голов. Момент обработки в камере, закрытой полиэтиленом, представлен на рис. 6.

Для оценки терапевтической эффективности до и после обработки овец проводилось их клиническое обследование: измерение температуры тела, пульса, частоты дыхания, аускультация, перкуссия, а также капрологические и гематологические исследования ветеринарными специалистами Горского ГАУ Р.Х. Гадзаоновым и В.И. Галазовым под руководством З.Д. Тотикова.

У овец, больных диктиокаулезом, при патолого-анатомических вскрытиях в крупных бронхах наблюдались слизистые пробки с половозрелыми гельминтами. В средних и мелких бронхах большое количество слизи,

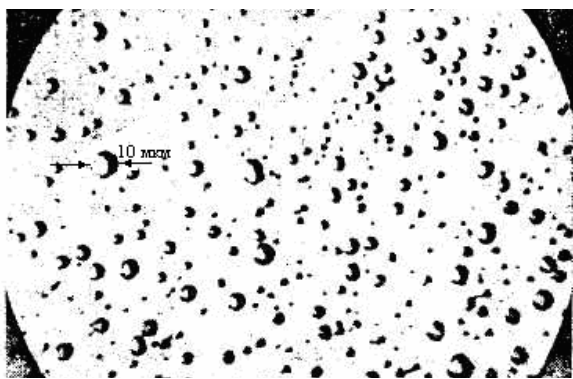


Рис. 5. Вид капель жидкости (аэрозоля) под микроскопом.



Рис. 6. Момент ингаляционной обработки овец в камере. отдельные экземпляры и клубки гельминтов. В легких наблюдались участки уплотнения темно-коричневого цвета. Клиническая картина характеризовалась следующими признаками: пониженный аппетит, вялость, залеживание, выделение серозно-слизистого истечения из носовых отверстий.

После однократной аэрозольной обработки 10 %-ным раствором нилверма и проведения курса лечения антибиотиками было отмечено спавшее состояние легких. Цвет легких – светло-коричневый, эластичность – нормальная. Трахея и бронхи содержали незначительное количество слизи, слизистая оболочка – светло-желтого цвета. Слизистые пробки и гельминты – отсутствовали. Клинические и гематологические показатели после лечения нормализовались. Терапевтическая эффективность 100 %.

У овец с неспецифической бронхопневмонией до лечения отмечалось общее угнетенное состояние, вялость, снижение аппетита, влажный болезненный кашель, выделение серозно-слизистого экссудата из носовых отверстий. Температура тела обычно превышала норму. При патолого-анатомическом вскрытии были отмечены уплотненные лобулярные участки в задних долях легких и абсцессы. После проведения курса лечения было установлено, что клинические и гематологические показатели приблизились к норме, трахея и бронхи содержали незначительное количество слизи, пневматические очаги и абсцессы отсутствовали, выделение серозно-слизистого экссудата из носовых отверстий прекращалось. Терапевтическая эффективность достигла: при острых формах заболевания – 80–96 %; при подострых формах – 76–84 %.

Для сравнения отметим, что при инъекционном способе введения тех же препаратов терапевтическая эффективность не превышала указанных значений при значительно большей трудоемкости.

Литература

1. Галазов В.И., Тотиков З.Д., Есенов И.Х. Рекомендации по аэрозольной дегельминтизации овец при диктиокаулезе. – Орджоникидзе: Севоспартиздат, 1990.
2. Гадзаонов Р.Х., Тотиков З.Д., Есенов И.Х. Реко-

мендации по лечению бронхопневмонии у овец. – Орджоникидзе: РИО Госкомиздат СОАССР, 1987.

3. Пажжи Д.Г., Корягин А.А., Ламм Э.Л. Распыливающие устройства в химической промышленности. – М., Химия, 1975.