

**Библиографический список**

1. Багаев А.А. Использование момента Кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 4 (42). – С. 47-49.

2. Багаев А.А. Передаточная функция центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (63). – С. 71-75.

3. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий,

И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

4. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие для вузов / Е.Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.

5. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

6. Федоренко И.Я. Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры / И.Я. Федоренко. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003. – 282 с.

7. Веников В.А. Теория подобия и моделирования: учебник для вузов / В.А. Веников, Г.В. Веников. – М.: Высш. шк., 1984. – 439 с.



УДК 631.171.631.365.3.631.2

**В.Н. Капустин**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ВЗАИМОСВЯЗИ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
РАСХОДОМ ВОЗДУХА В ШАХТЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

**Ключевые слова:** вентиляция естественная, регулятор расхода воздуха, помещение животноводческое.

Обеспечение нормируемого кислородного режима в животноводческом помещении является одной из основных задач, решаемой системами вентиляции. При этом в зимний период допускается кратковременное отклонение от нормативов температуры и относительной влажности воздуха [1]. Минимально достаточный воздухообмен в животноводческом помещении, оборудованном естественной системой вентиляции, ручным регулированием выдержать практически невозможно, т.к. расход воздуха зависит как от разности температур внутри и снаружи помещения, так и от скорости ветра. При проектировании систем естественной вентиляции за расчетную температуру наружного воздуха принимается  $-8^{\circ}\text{C}$ . При дальнейшем понижении температуры наружного воздуха предполагается снизить производительность приточных и вытяж-

ных устройств посредством установленных в них регулирующих элементов – клапанов или шиберов, т.е. увеличить сопротивление [2].

Изменение перепада давлений внутри и снаружи помещения обусловлено изменением температуры наружного воздуха и достаточно точно прогнозируемо по данным метеосводок. Изменение перепада давлений в зависимости от направления скорости ветра прогнозировать сложно, а эти параметры влияют на систему в целом и на каждое устройство в отдельности, соответственно, происходит рассогласование в режиме их работы.

Некоторые из вытяжных устройств работают как приточные, другие приточные – как вытяжные. Часто происходит так называемое «опрокидывание» режима работы, которое ведет к ухудшению всех параметров микроклимата, что недопустимо. Особенно тяжелые последствия возникают при «опрокидывании» режима работы шахт естественной вытяжки.

При неправильной регулировке клапанов, при ручном управлении, неорганизованный приток воздуха может достигать 30% от общего, часть вытяжных шахт начинает работать на приток, подавая воздух компактной струей с температурой наружного воздуха на животных [2]. Поэтому практически во всех животноводческих помещениях при температуре менее  $-8...10^{\circ}\text{C}$  некоторые шахты закрывают полностью, оставив открытой одну или две по центру помещения. Решить задачу регулирования расхода возможно только применением автоматических регуляторов, обеспечивающих заданный закон регулирования по перепаду статических давлений на входе и выходе шахты, с коррекцией по изменению динамического давления на выходе шахты. Наиболее приемлемы для решения основной задачи являются регуляторы пропорционального действия (П-регуляторы), у которых изменение выходной величины  $\Delta y$  пропорционально изменению входной  $\Delta x$ :

$$\Delta y = k_p \Delta x, \quad (1)$$

где  $k_p$  – передаточный коэффициент (усиления) регулятора, являющийся его настроечным параметром.

За настроечный параметр можно принять величину, обратную коэффициенту  $k$ , %:

$$\delta = \frac{1}{k_p} 100, \quad (2)$$

где  $\delta$  – предел пропорциональности (или регулирования).

Предел пропорциональности показывает, какому отклонению регулируемой величины от максимально возможной (для данной системы) соответствует перемещение регулирующего элемента в пределах его перемещения в процентах.

Однако чем больше предел пропорциональности, тем больше статическая ошибка. Поэтому для систем естественной вентиляции нецелесообразно применение регуляторов расхода воздуха, разработанных для систем искусственной вентиляции. Регуляторы расхода воздуха в искусственных механических системах вентиляции рассчитаны на нижний предел регулируемой величины не менее 0,1 кПа при верхнем до 3,0 кПа. Регуляторы для естественной системы вентиляции имеют предел отклонения регулируемой величины меньше нижнего предела для механической вентиляции. И если рассмотреть известную зависимость давления  $P$  от скорости воздуха  $v$

$$P = \frac{\rho v^2}{2}, \quad (3)$$

то очевидно, что регуляторам систем естественной вентиляции, работающих при скоростях воздуха 4 м/с, соответствует участок параболы с более сложной нелинейной характеристикой.

Следовательно, конструктивные параметры регуляторов для шахт естественной вентиляции будут отличаться от регуляторов механических систем вентиляции.

Кроме того, наличие двух входных величин требует создания следящих автоматических регуляторов, изменяющих управляемую величину в зависимости от изменения заранее неизвестной входной величины [3].

В качестве базового регулятора нами был взят регулятор, достаточно хорошо себя зарекомендовавший в производственных условиях и состоящий из корпуса в виде трех плоских и одной криволинейной стенки [4].

При этом на плоской стенке, противоположной криволинейной, на оси закреплен клапан, имеющий возможность поворота в вышеназванном корпусе, криволинейная и плоские стенки на участке перемещения клапана имеют перфорацию, ось клапана кинематически связана с несколькими последовательно взаимодействующими грузами, установленными на штанге с возможностью осевого перемещения. Для этого регулятора входной величиной является перепад давлений до и после клапана. Для коррекции режима работы регулятора по скорости ветра, ведущего к изменению неорганизованного воздухообмена, когда требуется изменение закона регулирования и порога чувствительности, нами был взят датчик скорости ветра (флюгер), шарнирно закрепленная пластина, которая ориентирована по нормали к направлению ветра и кинематически связана с вышеназванной штангой, удерживающей грузы уравновешивающего приспособления базового регулятора.

Сложный характер кинематических связей и процессов взаимодействия не позволяет аналитически выявить наиболее значимые параметры, и поэтому была создана лабораторная установка для проведения отсеивающего эксперимента.

Лабораторная установка содержит вентилятор 1, установленный на амортизаторах на раме. К напорному патрубку вентилятора 1 жестко прикреплено колено 2 с клапаном 3. Всасывающий патрубок

вентилятора 1 через гибкую вставку и конфузор соединен с тройником 5, снабженным двумя клапанами 4 и 6, один из которых обеспечивает возможность непосредственного сообщения вентилятора с атмосферой, а другой обеспечивает сообщение вентилятора 1 через тройник 5, воздухопровод 7, колено 16 с базовым регулятором расхода воздуха 17. К колену 16 на стойке прикреплено устройство контроля направления и скорости движения воздуха (флюгер), состоящее из ступицы 15 с осью, в виде трубы 10, на верхнем конце которой установлена штанга 14, один конец ее имеет грузовой противовес 11, а на другой установлены жестко соединенная со штангой 14 и параллельная ей пластина 13 ориентацией по направлению движения воздуха, и перпендикулярно к последней и штанге 14 шарнирно подвешена пластина 12. Причем пластина 12 посредством тяги 18 через блок кинематически связана с уравнивающим приспособлением 20, например, в виде грузов и пружины клапана 19 регулятора расхода воздуха 17.

Регулятор расхода воздуха выполнен из прикрепленного на оси к одной из граней прямоугольной рамки клапана 19 в виде консольно установленной пластины, имеющей возможность поворота на  $90^\circ$  и кинематически связанной с уравнивающим приспособлением 20. Участок перемещения клапана (рабочая зона) с зазором охвачен сетчатым каркасом.

Для замера исследуемых параметров использованы цифровой тягонапорометр, аналоговый термометр, пружинный динамометр. Аналоговые и цифровые приборы имеют выходы для подключения к регистрирующей аппаратуре.

Методика проведения исследования включала два этапа.

#### I этап:

а) выявление характера воздействия потока воздуха на клапан в зависимости от перепада давлений;

б) выявление типа и последовательности работы кинематически связанных элементов уравнивающего приспособления;

в) установление факторов, влияющих на порог чувствительности регулятора.

#### II этап:

Выявление характера воздействия скорости ветра на порог чувствительности и диапазон регулирования регулятора.

В результате исследований было установлено, что при скорости движения воздуха в воздуховоде  $1,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  и повороте кла-

пана на угол более  $40^\circ$ , при использовании только последовательно взаимодействующих грузов наблюдается неустойчивый режим работы, ведущий или к «залипанию» клапана в конце регулирования, или увеличению погрешности регулирования. Применение дополнительной последовательно взаимодействующей пружины позволяет ликвидировать залипание и повысить устойчивость работы. Также определено, что на устойчивость работы регулятора влияет соотношение площадей живого сечения перфорированных участков и их конфигурация. В постановочном эксперименте перепад давлений изменялся от 0,15 до 130 Па, что значительно перекрывает диапазон регулирования для шахт естественной вентиляции с учетом скорости ветра. Корректирующее воздействие на уравнивающее приспособление от датчика скорости ветра также показало, что уравнивающее приспособление только в виде одних последовательно взаимодействующих грузов нецелесообразно.

#### Выводы

1. Для шахт естественной вытяжки воздуха в животноводческих помещениях необходима разработка автоматического следящего регулятора расхода воздуха, алгоритм управления которого содержит предписание изменять управляемую величину в зависимости от заранее неизвестной переменной величины на входе.

2. Для уточнения конструктивных параметров регулятора расхода воздуха необходимо проведение исследований, уточняющих форму и площадь перфорации в стенках корпуса на участке регулирования.

3. Для задания закона и коррекции диапазона регулирования необходимы исследования по установлению типа и количества последовательно взаимодействующих элементов уравнивающего приспособления.

#### Библиографический список

1. Свентицкий И.П. Исследования по биоэнергетике и агроинжиниринг будущего / И.П. Свентицкий // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 5. – С. 34-37.

2. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства: в 2 ч. / под ред. И.Г. Староверова. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1978. – Ч. II. – 509 с.

3. Бородин И.Ф. Технические средства автоматизации: учеб. пособие / И.Ф. Бородин. – М.: Колос, 1982. – 302 с.

4. Пат. 2277206 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> F24 П/04, F24F 13/08 Устройство для регулирования расхода воздуха /

Н.И. Капустин, И.Я. Федоренко, В.А. Демин, В.Н. Капустин. Заявитель и патентообладатель Н.И. Капустин. – Заявка № 2004135681; заявл. 06.12.2004; опублик. 27.05.2006 г., Бюл. № 15.



УДК 62-133.52

П.С. Золотарев

## ДАВЛЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В СПИРАЛЬНО-ВИНТОВОМ ТРАНСПОРТЕРЕ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

**Ключевые слова:** спирально-винтовой транспортер, сыпучий материал, давление, вертикальное давление, нормальное давление, кинематика, динамика, материальная точка, транспортирование, механизация.

### Введение

Спирально-винтовые транспортеры (СВТ) нашли широкое применение в решениях практически-прикладных задач транспортирования сыпучих сельскохозяйственных материалов между пространственно разнесенными областями. В настоящее время техническое решение может обеспечить ряд транспортирующих устройств, но как показал общий сравнительный анализ и частный по винтовым транспортерам, СВТ занимают по комплексу экономико-технических показателей приоритетные позиции [1-3]. Однако при всех своих неоспоримых положительных чертах в теории СВТ до сих пор существуют проблемные зоны [4, 5]. Продолжая работу, рассмотрим давления, возникающие в СВТ при перемещении сыпучего материала [6]. Отыскание уравнений, описывающих давление в произвольной точке рукава, представляет важную задачу, т.к. позволяют предсказать производительность устройства и, следовательно, найти рациональное конструктивное исполнение. Выражения для напряжений в устройстве тесно связаны с динамическим анализом транспортирования элементарного объема материала по кожуху

рассматриваемого устройства, но имеют свои отличительные особенности [7].

Цель исследования – изучение пространственного распределения давления, возникающего в спирально-винтовом транспортере при перемещении сыпучего материала. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- аналитическое разрешение уравнений, составленных на основе динамического анализа;
- установление частного решения уравнения движения для тихоходного режима и общего для быстроходного;
- экспериментальное изучение давления возле выгрузного окна.

### Объекты и методы

Объектом исследования явился вертикальный СВТ, перемещающий сыпучий материал. Разработка проблемно-ориентированной модели движения сыпучего материала и исследование этого процесса проводились методами механики (кинематическим и динамическим анализами), линейной алгебры. Достоверность полученных результатов определялась путем сравнения расчетных данных с экспериментальными.

**Давления в СВТ.** Классификация режимов работы винтового транспортера производится с использованием безразмерной величины  $\omega^2 r/g$  (здесь независимая переменная  $r$  есть первая координата в цилиндрической системе координат,  $\omega$  – угловая скорость,  $g$  – ускорение свобод-