

Основой высокой рентабельности производства сельскохозяйственных культур с применением КООУ является активное воздействие находящихся в них центров почвообразования на продукционный слой почвы. При этом происходят восстановление утраченного плодородия деградированных почв, поддержание положительного баланса гумуса, воспроизводство земельных ресурсов.

### Литература

1. Суханова, М.В. Теоретическое обоснование процесса смешивания в эластичных смесителях / М.В. Суханова, К.А. Останин // *Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings (Прикладные науки и технологии в США и Европе: общие проблемы и научные открытия): Papers of the 2nd International Scientific Conference (September 9–10, 2013)*. – New York: Cibunet Publishing USA, 2013. – P. 134–138.
2. Суханова, М.В. Использование эластичных смесителей в процессе приготовления многокомпонентных кормовых смесей / М.В. Суханова, К.А. Останин // *Сельскохозяйственные машины и технологии: научно-производственный и информационный журнал ГНУ ВИМ Россельхозакадемии*. – 2013. – № 2. – С. 46–48.
3. Постановление от 8 июля 2002 г. № 325 об утверждении мероприятий по повышению плодородия почв Ростовской области на 2002 год и их финансовом обеспечении (в ред. постановлений администрации РО от 02.09.2002 № 412, от 25.12.2002 № 588): офиц. изд. – Ростов, 2002.
4. Отчет о научно-исследовательской работе по договору № 309 от 11 июня 2012 г. «Переработка навоза крупного рогатого скота в высококачественные органические удобрения» СПК-колхоз им. С.Г. Шаумяна Мясниковского района Ростовской области / А.М. Бондаренко, А.Ф. Рева, В.В. Мирошникова. – Зерноград, 2012. – 113 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе по договору № 346 от 5 июня 2013 г. «Переработка навоза крупного рогатого скота в высококачественные органические удобрения в СПК (колхоз) «Колос» Матвеево-Курганского района Ростовской области» / Под научным руководством д.т.н., проф. А.М. Бондаренко. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 129 с.
6. Короленко, П.И. Суперудобрение органическое «Агровит-Кор», технические условия ТУ 9291–001–40561837–98 / П.И. Короленко. – 1998. – 14 с.

УДК 637.11

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ МОЛОЧНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПО МОЛОКОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

**Ю.А. Линник**, ст. преподаватель

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет  
*г. Днепропетровск, Украина*

**Э.Б. Алиев**, к.т.н., **С.И. Павленко**, к.т.н., доц.

Запорожский научно-исследовательский центр по механизации животноводства  
Национального научного центра  
«Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»  
*г. Запорожье, Украина*

Молочно-воздушная смесь по молокопроводной линии доильной установки во время движения представляется как двухфазная среда жидкость – газ (молоко – воздух). При различных условиях движения для различных узлов доильной установки происходит изменение структуры

двухфазной среды, что приводит к флуктуации вакуумметрического давления. Согласно ISO 5707 [1], колебание вакуума выше 2,5 кПа оценивается как отклонение от нормальной работы доильной установки. Поэтому проблема оценки структуры движения молочно-воздушной смеси как двухфазной среды является актуальным и имеет практическое значение.

Цель исследований – разработать математическую модель движения молочно-воздушной смеси как двухфазной среды по молокопроводной линии доильной установки.

Рассмотрим участок молокопровода (рисунок 1), который находится под некоторым углом  $\varphi$  к горизонту. По молокопроводу движется молочно-воздушная смесь, которая представляется в виде двухфазной среды жидкость – газ. Жидкость принимаем как несжимаемую среду, а газ – как идеальный. Падение давления вдоль молокопровода связано с гравитационной силой двухфазной среды, силой ускорения и трения. Баланс импульса для принятого участка молокопровода с двухфазным потоком молочно-воздушной смеси представим в виде уравнения градиента давления [2]:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)_{gr} + \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)_{ac} + \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)_{fr}, \quad (1)$$

где  $\left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)_{gr}$  – градиент давления, возникающего за счет гравитационной силы,

Па/м;

$\left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)_{ac}$  – градиент давления, возникающего за счет силы ускорения, Па/м;

$\left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)_{fr}$  – градиент давления, возникающего за счет силы трения, Па/м.

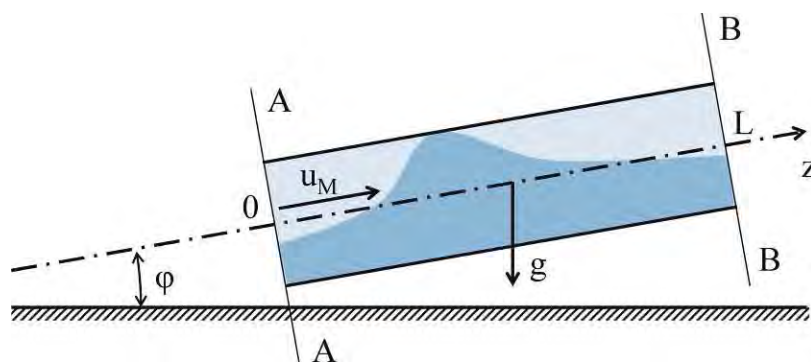


Рисунок 1 – Расчетная схема

Градиент давления, возникающий за счет гравитационной силы, можно записать в виде (исходя из уравнения Бернулли) [3]:

$$\left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)_{gr} = g \rho_M \sin \varphi, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $м/с^2$ ;  
 $\rho_M$  – плотность двухфазной среды,  $кг/м^3$ ;  
 $\varphi$  – угол наклона участка молокопровода.

Градиент давления, возникающий за счет силы ускорения, можно записать [4]:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)_{ac} = \rho_M u_M \frac{du_M}{dz}, \quad (3)$$

где  $u_M$  – скорость движения двухфазной среды по молокопроводу,  $m/c$ .

Градиент давления, возникающий за счет силы трения двухфазной среды о стенки молокопровода, можно записать в виде [5]:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)_{fr} = \frac{2f_M \rho_M u_M^2}{D}, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр молокопровода,  $m$ ;

$f_M$  – коэффициент трения двухфазной среды о стенки молокопровода.

Подставляя (2)–(4) в (1), получаем уравнение градиента давления по длине участка молокопровода в процессе движения двухфазной среды:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = g\rho_M \sin \varphi + \rho_M u_M \frac{du_M}{dz} + \frac{2f_M \rho_M u_M^2}{D}. \quad (5)$$

Плотность двухфазной среды можно рассчитать по формуле [5]:

$$\rho_M = \alpha \rho_G + (1 - \alpha) \rho_L, \quad (6)$$

где  $\rho_G$  – плотность газа в двухфазной среде,  $кг/м^3$ ;

$\rho_L$  – плотность жидкости в двухфазной среде, для молока  $\rho_L = 1027 кг/м^3$  [6];

$\alpha(z)$  – содержание газа в двухфазной среде.

Согласно тому принятому предположению, что газ в двухфазной среде является идеальным, получаем (по закону Менделеева – Клапейрона) [7]:

$$\rho_G = \frac{M_G}{RT} P, \quad (7)$$

где  $M_G$  – молярная масса газа, для воздуха  $M_G = 0,029 кг/моль$  [7];

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31 Дж/(моль \cdot К)$  [7];

$T$  – температура,  $К$ ;

$P$  – давление,  $Па$ .

Согласно исследованиям Chen N.H., коэффициент трения двухфазной среды о стенки молокопровода можно рассчитать по формуле [8]:

$$f_M = \begin{cases} \frac{16}{Re}, Re \leq 2000, \\ \left[ -4 \lg \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7065} - \frac{5,0452}{Re} \lg \left( \frac{(\varepsilon/D)^{1,1098}}{2,8257} + \left( \frac{7,149}{Re} \right)^{0,8981} \right) \right) \right]^{-2}, Re \geq 4000, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\varepsilon$  – абсолютная шероховатость молокопровода,  $\varepsilon = 2,5 \cdot 10^{-6} м$  [1];

$Re$  – число Рейнольдса,

$$Re = \frac{u_M \cdot D \cdot \rho_M}{\mu_M}, \quad (9)$$

$\mu_M$  – динамическая вязкость двухфазной среды,  $Н \cdot с/м^2$ .

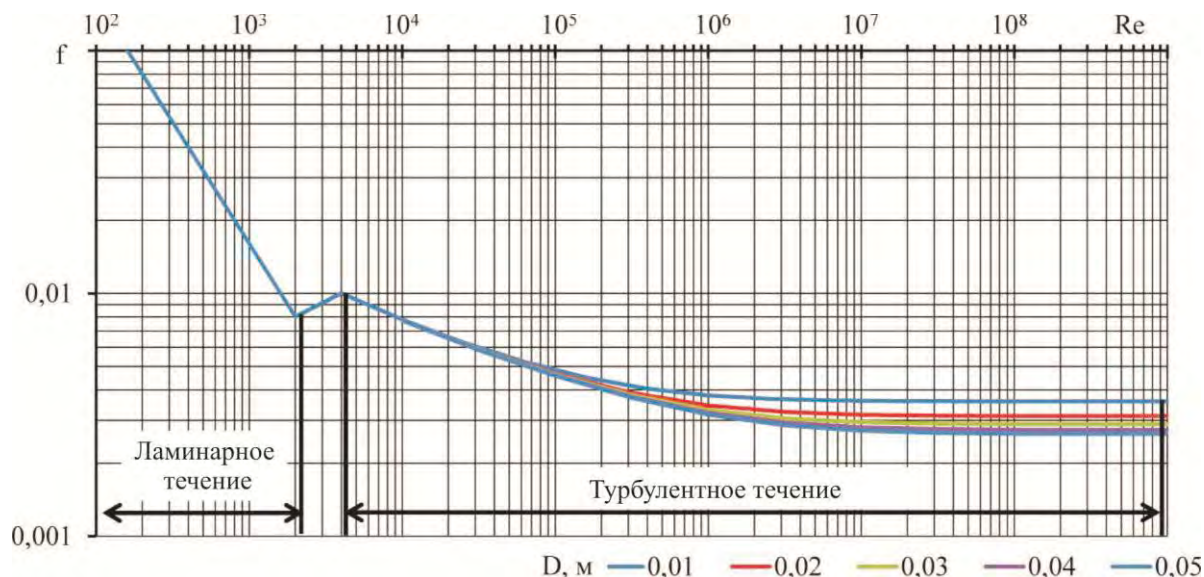
Вязкость двухфазной среды может быть рассчитана с учетом вязкостей жидкости и газа [3]:

$$\mu_M = \alpha \mu_G + (1 - \alpha) \mu_L, \quad (10)$$

где  $\mu_L$  – динамическая вязкость жидкости в двухфазной среде, для молока  $\mu = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$  [6];

$\mu_G$  – динамическая вязкость газа в двухфазной среде. Для воздуха, с учетом изотермичности процесса,  $\mu = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$  [7].

Графическая интерпретация зависимости (8) представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от числа Рейнольдса и диаметра молокопровода [8]**

В результате теоретических исследований разработана обобщенная математическая модель движения молочно-воздушной смеси как двухфазной среды по молокопроводной линии доильной установки.

### Литература

1. Milking machine installations – Construction and performance: ISO 5707. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. – 52 p.
2. James, P. Brill. Two phase flow in pipes / P. James, H.Brill, Dale Beggs. – 1991. – 6th edition. – 640 p.
3. Balasubramaniam, R. Two phase flow modeling: summary of flow regimes and pressure drop correlations in reduced and partial gravity/ R. Balasubramaniam, E. Ramé, J. Kizito, M. Kassemi // National Center for Space Exploration Research, Cleveland, Ohio. – 2006. – 74 p.
4. Valente Hernandez Perez. Gas-liquid two-phase flow in inclined pipes: Ph.D. thesis / Valente Hernandez Perez. – School of Chemical, Environmental and Mining Engineering, 2007. – 294 p.
5. Nerea Herreras Omagogeascoa. Two-Phase pipeflow simulations with OpenFoam: Master's Thesis / Nerea Herreras Omagogeascoa, Jon Izarra Labeaga. – Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, 2013. – 125 p.
6. Шумакова, Н.К. Молочная продуктивность, состав и свойства молока коров черно-пестрой породы при различных технологиях доения в зависимости от сезона года: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.04 / Н.К. Шумакова; Уральская государственная академия ветеринарной медицины. – Троицк, 2000. – 135 с.
7. Ландау, Л.Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика / Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. – М., 1969. – 402 с.
8. Chen, N.H. An Explicit Equation for Friction factor in Pipe / N.H. Chen // Ind. Eng. Chem. Fundam. – 1979. – Vol. 18, No. 3. – P. 296–297.



**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ**

---

**Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр  
Национальной академии наук Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»**

---

**Научно-технический прогресс  
в сельскохозяйственном  
производстве**

**Материалы**

Международной научно-технической конференции  
(Минск, 22–23 октября 2014 г.)

**В 3 томах**

**Том 3**

**Минск  
НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства  
2014**

ББК 40.7  
НЗ4

**Редакционная коллегия:**

д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН Беларуси П.П. Казакевич (главный редактор), С.Н. Поникарчик

**Рецензенты:**

д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН Беларуси П.П. Казакевич,  
д-р техн. наук, проф. В.Н. Дашков, д-р техн. наук, проф. В.И. Передня,  
д-р техн. наук, проф. Л.Я. Степук, д-р техн. наук, проф. И.Н. Шило,  
д-р техн. наук, доц. В.В. Азаренко, д-р техн. наук, доц. И.И. Гируцкий

**Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве :**  
НЗ4 материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 22–23 октября 2014 г.).  
В 3 т. Т. 3. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; редколлегия:  
П. П. Казакевич (гл. ред.), С. Н. Поникарчик. – Минск : НПЦ НАН  
Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – 274 с.

Сборник составлен из статей, содержащих материалы научных исследований, результаты опытно-конструкторских и технологических работ по разработке инновационных технологий и технических средств для их реализации при производстве продукции растениеводства и животноводства. Рассмотрены вопросы технического сервиса машин и оборудования, электрификации и автоматизации, использования топливно-энергетических ресурсов, разработки и применения энергосберегающих технологий, информационно-управляющих систем.

Материалы сборника могут быть использованы сотрудниками НИИ, КБ, специалистами хозяйств, студентами вузов и колледжей аграрного профиля.

**УДК [631.171+636]:631.152.2(082)**

**ББК 40.7**

© РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации  
сельского хозяйства», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Гутман В.Н., Навныко М.В., Рапович С.П., Цалко С.А., Зубарик А.А.</i> Результаты разработки комплекта оборудования для приготовления сухих кормосмесей свиньям	3
<i>Буклагин Д.С.</i> Сравнительные испытания – основа модернизации сельскохозяйственного производства	13
<i>Пунько А.И., Хруцкий В.И., Иванов М.В., Касперович Д.В.</i> Результаты испытаний опытного образца комплекта оборудования для приготовления кормовых добавок на основе рапсового жмыха КДР-0,8	18
<i>Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бахчевников О.Н.</i> Концепция технологической модернизации комбикормового производства юга России на основе применения автономных технологических модулей	23
<i>Капустин Н.Ф., Шаманович Е.И., Александровский А.И., Александровский А.А.</i> Комплекс программно-аппаратных средств систем автоматического управления биогазовыми установками	29
<i>Резник Е.И., Карташов С.Г., Бестаев Л.З.</i> Эффективность технологий и технических средств заготовки зерносенажа для фермерских хозяйств	31
<i>Карташов С.Г., Резник Е.И.</i> Система импульсного ввода жидкости в смеситель (СИБЖ)	38
<i>Стребков Д.С., Некрасов А.И., Трубников В.З.</i> Бесконтактный высокочастотный метод электроснабжения мобильных средств	42
<i>Кузьмин В.Н.</i> Экономическая интеграция и техническое оснащение сельского хозяйства России	46
<i>Гутман В.Н., Навныко М.В., Цалко С.А., Рапович С.П., Зубарик А.А.</i> Результаты разработки комплекта оборудования для приготовления кормовой добавки на основе консервированного влажного зерна кукурузы	53
<i>Иванова Т., Гаврланд Б., Мунтян А., Побединский В.</i> Тенденции развития систем производства твердого биотоплива в Молдове	64
<i>Свентицкий И.И., Башилов А.М., Королев В.А., Палагин А.В.</i> Общность информационно-коммуникационных технологий и энергетическая экстремальность самоорганизации	70
<i>Капустин Н.Ф., Сунцева Ю.А.</i> Электрический метод дезинтеграции коллоидных частиц субстрата для повышения эффективности процесса анаэробного сбраживания	74
<i>Антошук С.А., Сорокин Э.П., Колончук М.В.</i> Конструктивные особенности и эксплуатационные показатели вакуумной станции СВЭ	77
<i>Королев В.А.</i> К вопросу управления в агротехноценозах	83
<i>Ракутько С.А., Таличкин С.В.</i> Энергосберегающий светодиодный облучатель для светокультуры	89
<i>Абрамчук С.А., Капустин Н.Ф., Снежко Э.К.</i> Применение автоматизированных факельных устройств для утилизации вредных выбросов в биогазовых энергетических комплексах	93
<i>Фаталиев К.Г., Нуриев Н.М., Алиев И.А.</i> Анализ результатов экспериментальных исследований универсального измельчителя кормов	98
<i>Антошук С.А., Сорокин Э.П.</i> Почетвертное доение вымени – путь к сохранению здоровья животного и снижению затрат на обслуживание сосковой резины	101

<i>Дюбин В.А.</i> Методы расчета шума на рабочем месте оператора самоходной сельскохозяйственной машины	106
<i>Колос В.А., Сапьян Ю.Н.</i> Анализ уровня энергоэффективности процесса энергогенерации установкой на биотопливе	112
<i>Гордеев В.В., Гордеева Т.И., Миронов В.Н., Миронова Т.Ю.</i> Использование вторичных ресурсов животноводства в защищенном грунте	116
<i>Маринченко Т.Е.</i> Оценка инновационных проектов в рамках реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы	119
<i>Королев В.А., Башилов А.М., Петрушин В.В.</i> Технологическое видеонаблюдение в сельских электроэнергетических системах	126
<i>Антошук С.А., Башко Ю.А., Башко А.Ю.</i> Агрегат АПРС-12 с системой самозагрузки кормов-компонентов – машина для приготовления и раздачи высококачественных кормосмесей на фермах КРС	129
<i>Ликсутина А.П., Мещерякова Ю.В., Ерохин И.В.</i> Перспективы развития альтернативных источников энергии в регионе Центрального Черноземья России	132
<i>Луц С.М., Алиев Э.Б.</i> Обоснование конструктивно-технологической схемы универсальной машины для внесения соломенной подстилки на основе численного моделирования	137
<i>Лыков А.С., Кудряков А.Г.</i> Информационные технологии как фактор развития агропромышленного комплекса	142
<i>Кузьменко В.Ф., Максименко В.В., Ямпольский С.Н.</i> Использование современного рабочего процесса в транспортном канале кормоуборочного комбайна – залог качественного корма для КРС	146
<i>Расулов Р.М.</i> Повышение эффективности биогазовых установок	152
<i>Ковязин А.С., Долгих Д.А., Величко И.Г.</i> Математическая модель функционирования грунтового теплообменника	155
<i>Мисун Л.В., Гурина А.Н., Мисун А.Л.</i> Методика обоснования факторов производственной безопасности на агропредприятии	161
<i>Круглый П.Е., Мисун А.Л., Мисун В.Л.</i> Мероприятия по обеспечению безопасности производственных операций с пестицидами в технологии ухода за клюквенным чеком	164
<i>Эрк А.Ф., Размук В.А., Бычкова О.В.</i> Результаты энергетического обследования сельскохозяйственных предприятий Ленинградской области	167
<i>Доруда С.А., Алиев Э.Б.</i> Автоматизированная система кормления животных на основе смесителя-кормораздатчика потокового типа	171
<i>Мирошникова В.В., Мирошников М.А.</i> Перспективы повышения кормовой базы на фермах крупного рогатого скота с замкнутым технологическим циклом	175
<i>Линник Ю.А., Алиев Э.Б., Павленко С.И.</i> Математическая модель движения молочно-воздушной смеси по молокопроводной линии доильной установки	181
<i>Алиев Э.Б., Лиходед В.В.</i> Утеплитель животноводческих помещений из невостребованной овечьей шерсти	185



<b>Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Субботин И.А.</b> Обоснование экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих, птицеводческих предприятий	188
<b>Козловцев А.П., Панин А.А., Шунчалиев М.С.</b> К вопросу о массаже вымени новотельных коров	193
<b>Елисеев А.Г., Елисеев С.Г., Семин А.А.</b> Организационно-экономическая модель системы технического сервиса в животноводстве	196
<b>Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н.</b> Оптимизация аллокативной эффективности использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах	201
<b>Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н.</b> Анализ технической эффективности использования ресурсов в фермерских хозяйствах Тамбовской области	207
<b>Елисеев А.Г., Елисеев С.Г., Семин А.А.</b> Исследование уровня технического сервиса технологического оборудования на свиноводческих фермах и комплексах России	212
<b>Лохвинская Т.И.</b> Пути оптимизации климатического оборудования в птицеводческих помещениях	219
<b>Волик Б.А., Козут И.Н.</b> Машины для обеспечения технического этапа рекультивации техногенно нарушенных земель	223
<b>Музыченко В.А.</b> Моделирование состояния сочного растительного сырья при обработке и хранении	229
<b>Тымочко В.О., Падюка Р.И.</b> Идентификация машинно-тракторного агрегата с использованием нейронных сетей	233
<b>Джасов Д.В., Машук А.Я., Чупрынин Ю.В.</b> Проектирование механизма поворота колес самоходной сельскохозяйственной машины при помощи пакета ADAMS	239
<b>Нагорнов С.А., Павлов С.С., Ликсутина А.П.</b> Изучение энергетического разделения в однопоточной вихревой трубе	245
Рефераты	251