

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ДОИЛЬНОМ СТАКАНЕ

Ю. А. РАКЕВИЧ

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь, 220049, rakevich.1991@mail.ru

(Поступила в редакцию 23.03.2023)

*В настоящее время на фермах используется большое многообразие доильных аппаратов как импортного, так и отечественного производства. Одной из основных причин низкой эффективности процесса молоковыведения являются несовершенство конструкции доильных аппаратов. Доильный аппарат должен отвечать техническим, физиологическим, зоотехническим и ветеринарным требованиям. Главным элементом доильного аппарата, является сосковая резина, которая непосредственно контактирует с выменем животного. От эффективности и качества работы сосковой резины будет зависеть продуктивность и долголетия поголовья скота [1, 2].*

*Основной недостаток работы доильных аппаратов в том, что при прососе воздуха между соском и сосковой резиной, происходит дисбаланс вакуумметрического давления, приводящий к наползанию доильного стакана на соски вымени коровы, в результате чего перекрывается молокоотдача между цистерной вымени и цистерной соска и машинное доение прерывается преждевременно, что обуславливает неполное выдаивание коров. Неблагоприятное воздействие вакуумметрического давления на молочную железу является причиной развития воспалительных процессов, а в последующем возникновение частных заболеваний коров маститом. Таким образом, остается актуальной задачей создания безвредной для здоровья животного доильного аппарата, который обеспечит полное извлечение молока из вымени без проведения машинного додаивания и защитит вымя от вредного воздействия вакуума после окончания доения. Несовершенство доильных аппаратов является основной причиной низкой продуктивности коров и качества молока [3, 4].*

*В статье предлагается для определения негативного эффекта от прососа воздуха, приводящего к наползанию доильного стакана, перекрытию молокотока между цистернами вымени и соска, и, соответственно, неполного выдаивания использовать адаптированные уравнения вязкого движения воздуха из присосковой в подсосковую камеру доильного стакана, через разность давления в доильном стакане, определять скорость движения воздуха между соском коровы.*

**Ключевые слова:** машинное доение, доильный стакан, сила, скорость, просос, воздух, сосок вымени, сосковая резина.

*Currently, farms use a wide variety of milking machines, both imported and domestically produced. One of the main reasons for the low efficiency of milk extraction process is the imperfection of the design of milking machines. The milking machine must meet technical, physiological, zootechnical and veterinary requirements. The main element of the milking machine is the teat rubber, which is in direct contact with the udder of the animal. The productivity and longevity of livestock will depend on the efficiency and quality of the teat rubber.*

*The main drawback of the operation of milking machines is that when air is sucked between the nipple and the teat rubber, an imbalance of vacuum pressure occurs, leading to the creeping of the teat cup on the teats of the cow's udder, as a result of which the milk flow between the udder tank and the teat tank is blocked and machine milking is interrupted prematurely, which causes incomplete milking of cows. The adverse effect of vacuum pressure on the mammary gland is the cause of the development of inflammatory processes, and subsequently the occurrence of private diseases of cows with mastitis. Thus, it remains an urgent task to create a milking machine that is harmless to the health of the animal, which will ensure the complete extraction of milk from the udder without additional machine milking and protect the udder from the harmful effects of vacuum after milking is completed. The imperfection of milking machines is the main reason for the low productivity of cows and the quality of milk.*

*The article proposes, for determining the negative effect of air sucking, leading to the creeping of the milking cup, overlapping of the milk flow between the udder and teat tanks, and, accordingly, incomplete milking, to use the adapted equations of viscous air movement from the suction cup to the teat chamber of the milking cup, through the pressure difference in the milking cup, to determine the speed of air movement between the cow's teat.*

**Key words:** machine milking, teat cup, force, speed, suction, air, udder teat, teat rubber.

### Введение

В процессе машинного доения можно наблюдать, как сосковая резина перемещается вверх по соску, в результате этого происходит просос воздуха, данное явление отрицательно влияет на качество процесса доения. Чтобы объяснить это наблюдение предполагается, что во время процесса машинного доения есть промежутки времени, где стабильной фиксации между сосковой резиной и соском молочной железы не существует, в результате чего образуется поток воздуха, генерируя силу между соском и сосковой резиной.

Данная сила рассматривается на основе потока вязкости воздуха между соском вымени и внутренней частью сосковой резины в зависимости от различных параметров (длины, радиуса соска и сосковой резины). Необходимо изучить профиль потока в этой области. Сила может быть рассмотрена потоком вокруг поверхности соска на основе вязкой текучей среды.

### Основная часть

Одним из основных факторов, влияющих на баланс вакуумметрического давления между присосковой и подсосковой камерой в доильном стакане во время машинного доения, является утечка воз-

духа между соском и сосковой резиной. Баланс утечки воздуха в доильном стакане будет зависеть от геометрических параметров соска вымени коровы (рис. 1) [5,6].

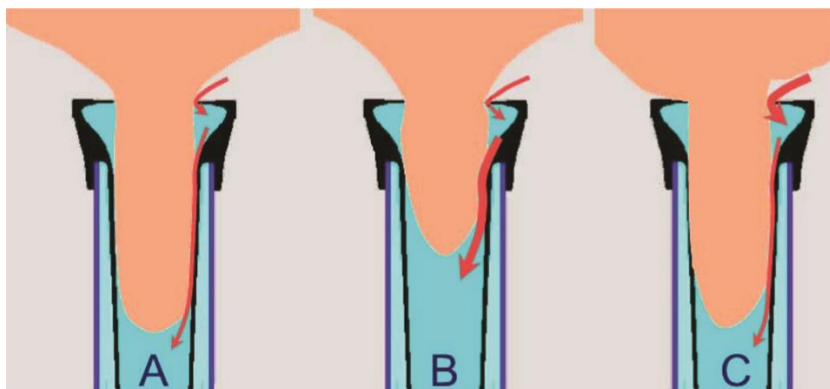


Рис. 1. Баланс утечки воздуха в доильном стакане в зависимости от геометрий соска вымени коровы

На рис. 1 изображено:

А) «Правильная» форма сосков: сбалансированная утечка воздуха, приводящая к балансу вакуума между соском и присосковой камерой с одной стороны и с другой между соском и подсосковой камерой доильного стакана.

В) Слишком короткие соски: высокая утечка воздуха между соском и подсосковой камерой, которая приводит к дисбалансу вакуума в доильном стакане.

С) «Неправильная» форма сосков: высокая утечка воздуха между соском и присосковой камерой сосковой резины, которая приводит к дисбалансу вакуума в доильном стакане.

На слишком тонких и коротких сосках доильные стаканы плохо удерживаются, часто спадают и затрудняют доение. Очень толстые и длинные соски не соответствуют размерам сосковой резины для доильных залов, вследствие чего они сдавливаются, полость их суживается и как следствие этого, замедляется, а иногда и прекращается молокоотдача.

При толстых сосках конической формы доильные стаканы присасываются лишь к их кончику, что оказывает отрицательное влияние на интенсивность доения, полноту молокоотдачи и состояния здоровья вымени. Воронкообразные соски сдавливаются краями присоска резины в месте перехода к основанию вымени, в результате чего происходит сужение соскового канала. Соски должны быть цилиндрической или незначительно конической формы (рис. 2), длиной от 5 до 9 см и диаметром в средней части после доения от 2,0 до 3,2 см. Передние соски на 1–1,5 см длиннее задних [7].

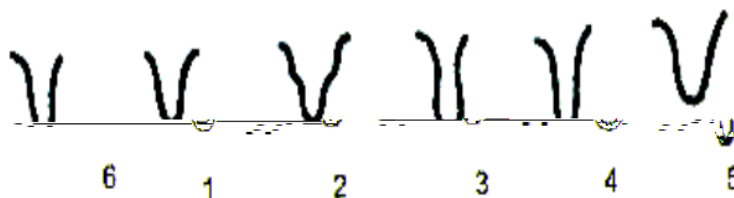


Рис. 2. Формы сосков вымени коров:

1 – цилиндрическая; 2 – коническая; 3 – бутылчатая; 4 – грушевидная; 5 – карандашевидная; 6 – воронкообразная

Установлено, что соски во время доения при снижении цистерального давления в конце молокоотдачи до 0,7–1,3 кПа начинают расслабляться, в результате происходит утечка воздуха между внутренней частью сосковой резиной и соском вымени, что приводит к дисбалансу вакуумметрического давления между присосковой частью сосковой резины и подсосковой камерой доильного стакана, вследствие этого соски начинают глубже засасывать, тем самым способствуя механическому закрытию отверстия между сосковым и железистым отделам цистерны, поэтому молокоотдача преждевременно прекращается [8, 9].

Данное явление можно объяснить тем, что в молочном стаде коровы имеют различную длину, толщину и конфигурацию сосков. Результаты проведенных исследований и практический опыт показывает, что 20–25 % коров в Беларуси не соответствуют требованиям пригодности к машинному доению. В условиях эксплуатации нельзя изменить параметры имеющейся в наличии сосковой резины, а также параметры вымени [10].

Для изучения профиля потока вокруг поверхности соска на основе вязкой текучей среды, сосковую резину и сосок коровы, можно представить в виде двух concentрических цилиндров в трехмерном пространстве (рис 3.).

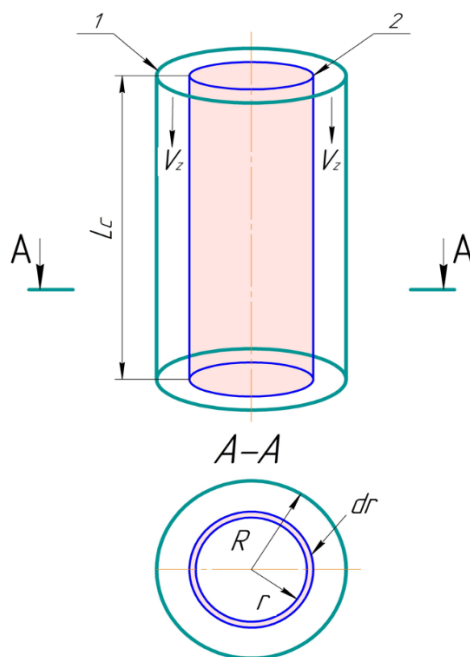


Рис. 3. Расчетная схема к определению скорости движения потока воздуха в доильном стакане: 1 – сосковая резина; 2 – сосок коровы

Сила возникает из-за потока вязкости воздуха между соском вымени и внутренней частью сосковой резины. В этой части сила рассматривается потоком вокруг тела соска на основе вязкости текучей среды протекающей вокруг его. Сила применяется к обтекаемой поверхности, определим по закону Ньютона [11]:

$$F_s = \eta \cdot S \frac{dv}{dr}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент пропорциональности внутреннего трения (динамическая вязкость воздуха), Па с;  $S$  – площадь соприкосновения поверхности соска с сосковой резиной, м<sup>2</sup>.

Можно записать что:

$$S = 2\pi r l_c,$$

где  $l_c$  – длина соска, м;  $r$  – радиус соска, м.

Тогда получим:

$$F_s = \eta 2\pi r l_c \frac{dv}{dr},$$

Сила давления, воздействие сосковой резины на сосок, определим разностью давления в доильном стакане:

$$F_c = (p_2 - p_1) \cdot S = \Delta p \pi r^2,$$

где  $p_2$  – давление вакуума в подсосковой камере доильного стакана, кПа;  $p_1$  – давление вакуума в присосковой камере доильного стакана, кПа.

Получим баланс сил:

$$\Delta p \pi r^2 = \eta 2\pi r l_c \cdot \frac{dv}{dr}$$

Преобразуем:

$$dv = \frac{\Delta p \pi r^2}{\eta 2\pi r l_c} dr$$

Интегрируем:

$$v_z(r) = \int_r^R \frac{1}{2\eta} \frac{\Delta p}{l_c} r dr = \frac{1}{2\eta} \frac{\Delta p}{l_c} \int_r^R r dr = \frac{1}{2\eta} \frac{\Delta p}{l_c} \frac{r^2}{2} \Big|_r^R + C = \frac{1}{4\eta} \frac{\Delta p}{l_c} (R^2 - r^2) + C$$

Получим формулу распределение скоростей потока воздуха между соском и сосковой резиной, м/с:

$$V_z(r) = \frac{1}{4\eta} \frac{\Delta p}{l_c} (R^2 - r^2) + C$$

где  $R^2$  – внутренний радиус сосковой резины, м;  $C$  – константа интегрирования, определяемая из граничных условий.

При  $\frac{dp}{dz} = \frac{\Delta p}{l_c} = const$ , получим:

$$v_z = \frac{\Delta p}{4\eta l_c} (R^2 - r^2) \quad (2)$$

Профиль скорости движения воздуха является параболическим, а максимальное значение скорости определяется следующим выражением:

$$v_{max} = v_z(r=0) = \frac{\Delta p R^2}{4\eta l_c} \quad (3)$$

Из формулы видно, что оно пропорционально квадрату внутреннему радиусу сосковой резины и разности давления, приходящая на единицу длины соска вымени и обратно пропорционально динамическому коэффициенту вязкости воздуха. Для расчетов примем динамическую вязкость воздуха при  $t = 20$  °С,  $\eta = 18,1 \cdot 10^{-6}$  Па·с [12], и определим скорость движения воздуха с учетом табличных значений (табл. 1).

Таблица 1. Параметры для определения скорости движения воздуха

№ п/п	Длина сосков ( $l_c$ ), мм	Разность радиусов ( $R^2 - r^2$ ), мм	Разность давления ( $\Delta p$ ), Па
1	40	1	1000
2	45	2	2000
3	50	3	3000
4	55	4	4000
5	60	5	5000
6	65	6	6000
7	70	7	7000
8	75	8	8000
9	80	9	9000
10	85	10	10000

После определения скорости движения воздуха ( $V_z$ ), построим график зависимости разности давления в доильном стакане от скорости движения воздуха между сосковой резиной и соском вымени коровы (рис. 4).

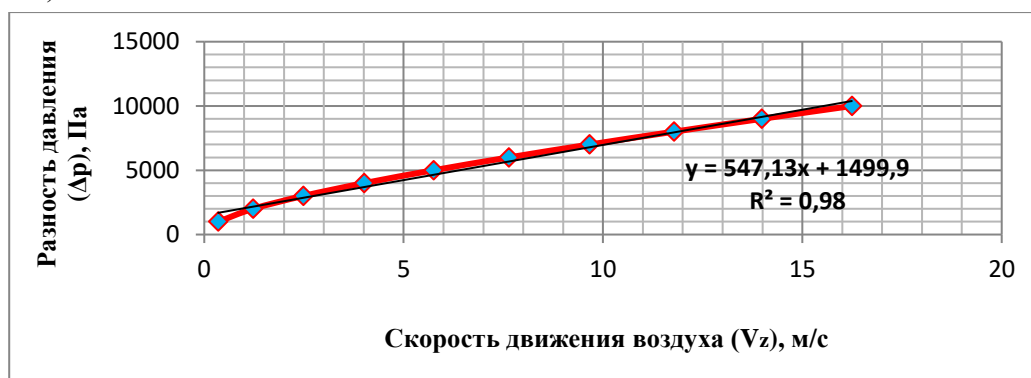


Рис. 4. Графическая зависимость разности давления в доильном стакане от скорости движения воздуха между сосковой резиной и соском вымени коровы

Из графической зависимости видно, что с увеличением разности давления в доильном стакане, скорость движения воздуха между соском коровы и сосковой резины возрастает линейно и прогрессирующе.

Так, например, при длине соска ( $l_c$ ) = 65 мм, разности радиусов между соском и внутреннего радиуса сосковой резины ( $R^2 - r^2$ ) = 6 мм, разности давления в доильном стакане ( $\Delta p$ ) = 6кПа, скорость движения воздуха ( $V_z$ ) будет равняться – 7,64 м/с.

### **Заключение**

1. Распределение скорости движения воздуха между сосковой резиной и соском будет зависеть от разности давления в доильном стакане, разности радиусов соска и внутреннего радиуса сосковой резины, длины соска вымени коровы.

2. Увеличение разности давления в доильном стакане, вызывает увеличение скорости движения воздуха, между соском и сосковой резиной. Чем меньше разность давления в доильном стакане, тем меньше происходит утечка воздуха. При оптимальной разности радиусов между сосковой резиной и соском, распределение скорости движения воздуха будет равномерно сбалансированно, что приведет к балансу вакуума между присосковой камерой сосковой резины и подсосковой камерой доильного стакана.

3. Для определения скорости движения воздуха, исходя из разности давления, длины, радиуса соска вымени коровы, и внутреннего радиуса сосковой резины могут быть получены индивидуально из геометрии соска и конфигурации сосковой резины.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Ракевич, Ю. А. Анализ конструкций доильных аппаратов / Ю. А. Ракевич // Научный поиск молодежи XXI века: сб. науч. ст.: в 3 ч., Ч.1: материалы XVII Международной научной конференции студентов и магистрантов, Горки 22–24 ноября 2016 г. – Горки: БГСХА, 2017. – С. 371–374.

2. Романович, А. А. Анализ доильных стаканов / А. А. Романович, Ю. А. Ракевич // Инновационная деятельность в модернизации АПК: Междунар. научно-практ. конф. 7–9 декабря 2016 г., ч.1. – Курск, 2016. – С. 330–333.

3. Романович, А. А. Применение механических фиксаторов для предотвращения наползания доильных стаканов / А. А. Романович, Ю. А. Ракевич // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: збірник тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції, Житомир, 29–30 березня 2017 р. – Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2017. – С. 146–149.

4. Романович, А. А. Особенности конструкций доильных стаканов / А. А. Романович, Ю. А. Ракевич // Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30–31 марта 2017 г. – Минск: БГАТУ, 2017. – С. 197–199.

5. Ракевич, Ю. А. Динамика изменения вакуума во время доения коров / Ю. А. Ракевич, В. И. Передня // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 21–23 ноября 2018 г. – Минск: БГАТУ, 2018. – С. 462–465.

6. Ракевич, Ю. А. Выбор оптимального вакууметрического давления для доения коров / Ю. А. Ракевич, В. И. Передня // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 21–23 ноября 2018 г. – Минск: БГАТУ, 2018. – С. 465–468.

7. Курак, А. С. Технологические основы машинного доения и контроль качества молока / А. С. Курак, Н. С. Яковчик, И. В. Брыло; Минсельхозпрод РБ, УО БГАТУ. – Минск: БГАТУ, 2016. – 136 с.

8. Казаровец, Н. В. Управление процессами машинного доения с учетом физиологических особенностей животных / Н. В. Казаровец, В. П. Миклуш, М. В. Колончук // Агропанорама. – 2008. – № 6. – С. 2–8.

9. Передня, В. И. Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки молока / В. И. Передня, В. А. Шаршунова, А. В. Китун. – Минск: Минсанта, 2016. – 975 с.

10. К вопросу определения эффективности ресурса сосковой резины / В. И. Передня и [др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018. – Вып. 51. – 162 с.

11. Специальные течения жидкостей и газов: учебно-методические пособие для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / В. Г. Баштовой, А. Г. Рекс. – Минск: БНТУ, 2020. – 45 с.

12. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2-е изд., стер. – Москва: Энергия, 1977. – 319 с.