

---

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА НЕПРЕРЫВНОГО МОЛОКОВЫВЕДЕНИЯ И РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСКИ ВЫМЕНИ КОРОВЫ

---

Андрианов Евгений Александрович  
Андрианов Алексей Александрович  
Тертычная Татьяна Николаевна

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

В условиях существенного увеличения производства молока и использования высокопродуктивных коров создание доильного аппарата, обеспечивающего высокую скорость и безопасность доения, является актуальной задачей. Целью исследований является обоснование технологических параметров доильного аппарата непрерывного молоковыведения (ДАНМ) и оценка воздействия на соски вымени коровы. Приведена схема лабораторной установки для определения пропускной способности и измерения колебаний вакуума в камерах доильных стаканов ДАНМ. Для изучения циклических колебаний вакуумметрического давления в камерах доильных стаканов ДАНМ использовали прибор «PulsoTest Comfort». Для подтверждения теоретических положений по определению пропускной способности предлагаемого авторами доильного аппарата проведён двухфакторный эксперимент с использованием уравнений регрессии и компьютерной программы Microsoft Excel. В результате математической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, позволяющее определить пропускную способность ДАНМ в зависимости от вакуумметрического давления и частоты пульсаций пульсатора. Анализ графической зависимости показывает, что к повышению пропускной способности ДАНМ приводит увеличение величины и частоты пульсаций рабочего вакуума. Проведён сравнительный анализ пропускной способности разработанного доильного аппарата и двухтактного аппарата АДУ-1, установлены величина и частота пульсаций рабочего вакуума, составляющие соответственно 40 кПа и 1,5 Гц. На основе анализа осциллограмм давления в камерах доильных стаканов разработанного доильного аппарата в режиме доения, полученных на стенде «Искусственное вымя», определены показатели физиологического воздействия ДАНМ на соски вымени, которые не превышают предельно допустимые значения, установленные ГОСТ 28545-90.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: доильный аппарат, пропускная способность, частота пульсаций вакуума, искусственное вымя, осциллограмма изменения давления, воздействие на соски вымени.

## SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CONTINUOUS MILK LET-DOWN MILKING UNIT AND EVALUATION OF INDICATORS OF THE IMPACT ON THE COW UDDER TEATS

Andrianov Evgeniy A.  
Andrianov Aleksey A.  
Tertychnaya Tatiana N.

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The creation of a milking machine unit that provides high speed and milking safety is a vital task in the condition of a significant increase in milk production and the use of highly-productive cows. The aim of the research is to substantiate technological parameters of continuous milk let-down (CMLD) milking machine unit and to evaluate its impact on the cow udder teats. A schematic diagram of a laboratory setup for determining the throughput capacity and measuring vacuum vibrations in the chambers of the teat cups of the milking machine unit is presented. PulsoTest Comfort device was used to study the cyclic variations of the vacuum pressure in the chambers of the teat cups of CMLD milking machine unit. To confirm the theory for determining the throughput capacity of the milking machine unit, a two-factor experiment was carried out using regression equations and

Microsoft Excel computer program. A regression equation was obtained as a result of mathematical treatment of experimental data which makes it possible to determine the throughput capacity of CMLD milking machine depending on the vacuum pressure and the ripple frequency of the pulsator. The graphical dependence analysis shows that an increase in the size and ripple frequency of the working vacuum leads to an increase in the throughput capacity of CMLD milking machine. A comparative analysis of the throughput capacity of the designed milking unit and two-phase ADU-1 milking unit was carried out, the magnitude and ripple frequency of the working vacuum were determined, which were 40 kPa and 1.5 Hz, respectively. An increase in the throughput and stimulating capacity of continuous milk let-down milking unit has been substantiated. The oscillogram analysis of pressure in the chambers of the teat cups of the tested milking unit in terms of milking obtained at the «Artificial udder» stand makes it possible to define the indicators of the impact of CMLD milking machine unit on the cow udder teats. The impact indicators do not exceed Maximum Acceptable Level set forth in GOST 28545-90.

KEYWORDS: milking machine unit, throughput capacity, vacuum pulsation frequencies, artificial udder, oscillograph chart, pressure reduction, impact on the udder teats.

### **В**ведение

Создание доильного аппарата, обеспечивающего высокую скорость и безопасность доения, является актуальной задачей в условиях существенного увеличения производства молока и использования высокопродуктивных коров [6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 19, 21].

В ходе ранее проведённых многофакторных исследований авторами разработана конструктивно-технологическая схема доильного аппарата непрерывного молоковыведения (ДАНМ) [13, 20], обоснованы конструктивные параметры его доильных стаканов, имеющих подсосковую, две независимые межстенные камеры и гильзу с двумя воздушными патрубками [11], а также описан процесс выведения молока из вымени коровы при использовании предложенного доильного аппарата [12].

В представленной статье авторы приводят результаты исследований, проведённых с целью определения циклических колебаний давления в межстенных и подсосковых камерах доильных стаканов доильного аппарата непрерывного молоковыведения, обоснования его режимных параметров и оценки его воздействия на соски вымени коровы.

#### **Методика исследований**

Объект исследований – рабочий процесс доильного аппарата непрерывного молоковыведения (ДАНМ).

Предмет исследования – закономерности изменения показателей работы доильного аппарата непрерывного молоковыведения от его технологических параметров.

Для оценки пропускной способности доильного аппарата использовали лабораторную установку, схема которой представлена на рисунке 1.

Для изучения циклических колебаний вакуумметрического давления в камерах доильных стаканов один из них подключали к источнику вакуума, а все другие закрывали заглушками. В подсосковую 9 и две независимые межстенные камеры 7 и 8 доильного стакана 5 с помощью тройников и измерительных шлангов через измерительные каналы подсоединяли прибор «PulsoTest Comfort» 15, как показано на рисунке 1 [2]. Уровень вакуумметрического давления устанавливали равным 40 кПа. Далее по измеренным значениям колебаний вакуума в доильных стаканах автоматически рассчитывали число пульсаций и соотношение фаз с передачей данных на персональный компьютер 16 в формате Microsoft Excel [3].

В экспериментах использовали пульсатор 3 попарного доения с соотношением тактов 70/30. Частоту пульсаций вакуума изменяли регулировочным винтом пульсатора 3 и контролировали прибором «PulsoTest Comfort» 15, а величину вакуума – регулятором вакуума 13 и вакуумметром 1. Величину вакуума при проведении повторных опытов поддерживали постоянной. Молокомером 10 фиксировали объём жидкости, имитирующей молоко.

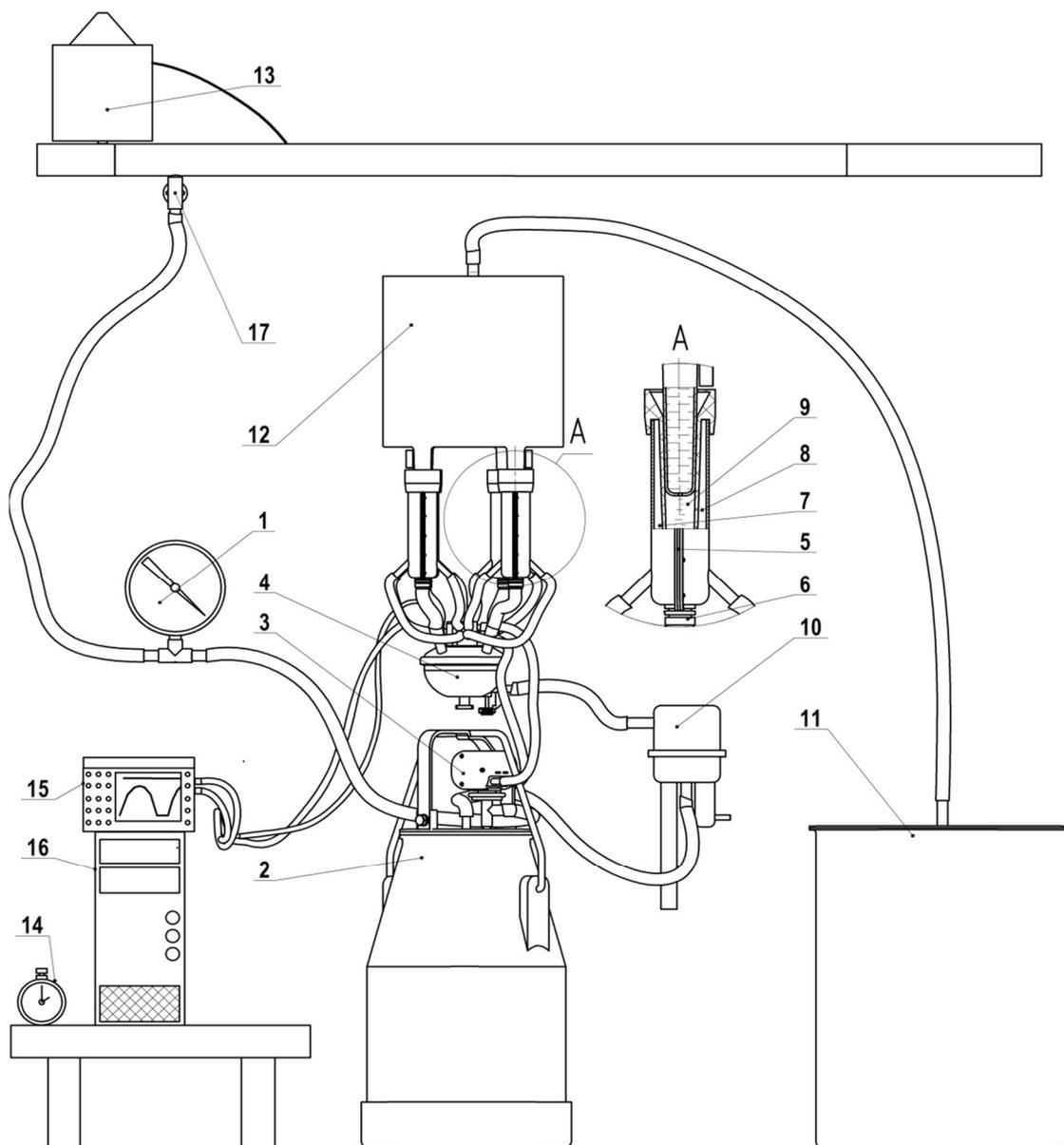


Рис. 1. Схема установки для определения пропускной способности и измерения колебаний вакуума в камерах доильных стаканов доильного аппарата: 1 – вакуумметр; 2 – доильное ведро; 3 – пульсатор; 4 – коллектор; 5 – доильный стакан; 6 – сосковая трубка; 7 – межстенная камера 1; 8 – межстенная камера 2; 9 – подсосковая камера; 10 – молокомер; 11 – резервуар; 12 – стенд «Искусственное вымя»; 13 – регулятор вакуума; 14 – секундомер; 15 – прибор «PulsoTest Comfort»; 16 – персональный компьютер; 17 – кран

Пропускную способность доильного аппарата непрерывного молоковыведения рассчитывали по известным формулам [2]. Для измерения колебаний вакуума в камерах доильных стаканов 5 использовали прибор «PulsoTest Comfort». Расчёт показателей воздействия доильного аппарата на соски вымени проводили согласно ранее изложенной методике [1, 2].

#### Результаты и их обсуждение

Для экспериментальной проверки режимных параметров ДАНМ и получения зависимости величины пропускной способности аппарата от вакуумметрического давления и частоты пульсаций вакуума использовали метод планирования эксперимента [10]. Испытания проводили в соответствии с двухуровневым планом эксперимента (вида  $2^2$ ).

Для аппроксимации полученных значений пропускной способности в зависимости от перечисленных выше параметров использовали линейную функцию. Рабочая матрица планирования и результаты опытов представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Рабочая матрица планирования и результаты опытов**

№	Факторы		Пропускная способность аппарата по повторностям Q, л/мин					Среднее значение
	Величина рабочего вакуума P, кПа	Частота пульсаций вакуума f, Гц	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	
	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	
1	35,0	1,0	2,61	2,56	2,73	2,65	2,50	2,61
2	50,0	1,0	3,33	3,19	3,30	3,16	3,33	3,26
3	35,0	1,5	2,80	2,75	2,86	2,73	2,75	2,78
4	50,0	1,5	4,00	4,05	4,17	4,00	3,95	4,03

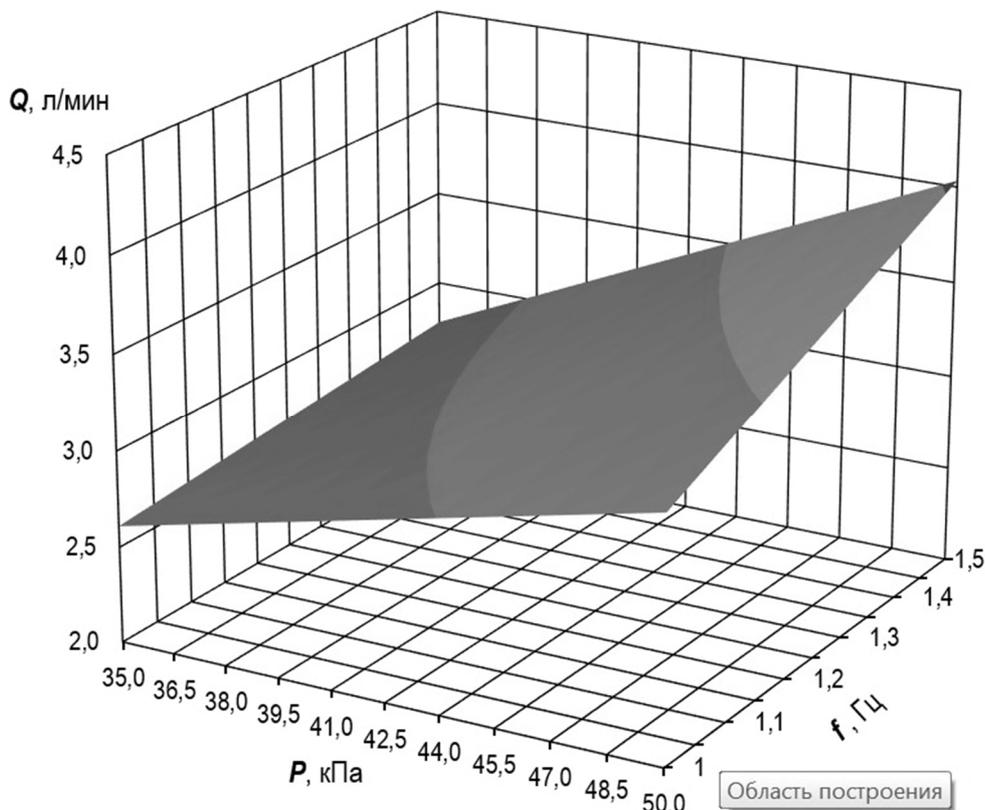
Результаты опытов по определению пропускной способности аппарата при обработке в Microsoft Excell могут быть представлены уравнением регрессии [18]:

$$Q = 3,55333 - 0,0366667 P - 2,46 f + 0,08 P f, \quad (1)$$

где P – величина рабочего вакуума, кПа;

f – частота пульсаций вакуума, Гц.

С помощью компьютерной программы Microsoft Excell построена графическая зависимость пропускной способности испытуемого доильного аппарата от величины и частоты пульсаций рабочего вакуума (рис. 2).



**Рис. 2. Графическая зависимость пропускной способности предложенного доильного аппарата от величины и частоты пульсаций рабочего вакуума**

Анализ графической зависимости показывает, что к повышению пропускной способности аппарата приводит увеличение величины и частоты пульсаций рабочего вакуума.

Пропускная способность ДАНМ, соотносимая с пропускной способностью аппарата АДУ-1, наблюдается при величине и частоте пульсаций рабочего вакуума соответственно 40 кПа и 1,5 Гц.

На рисунке 3 представлены зависимости колебаний и перепада давления вакуума в камерах доильных стаканов ДАНМ.

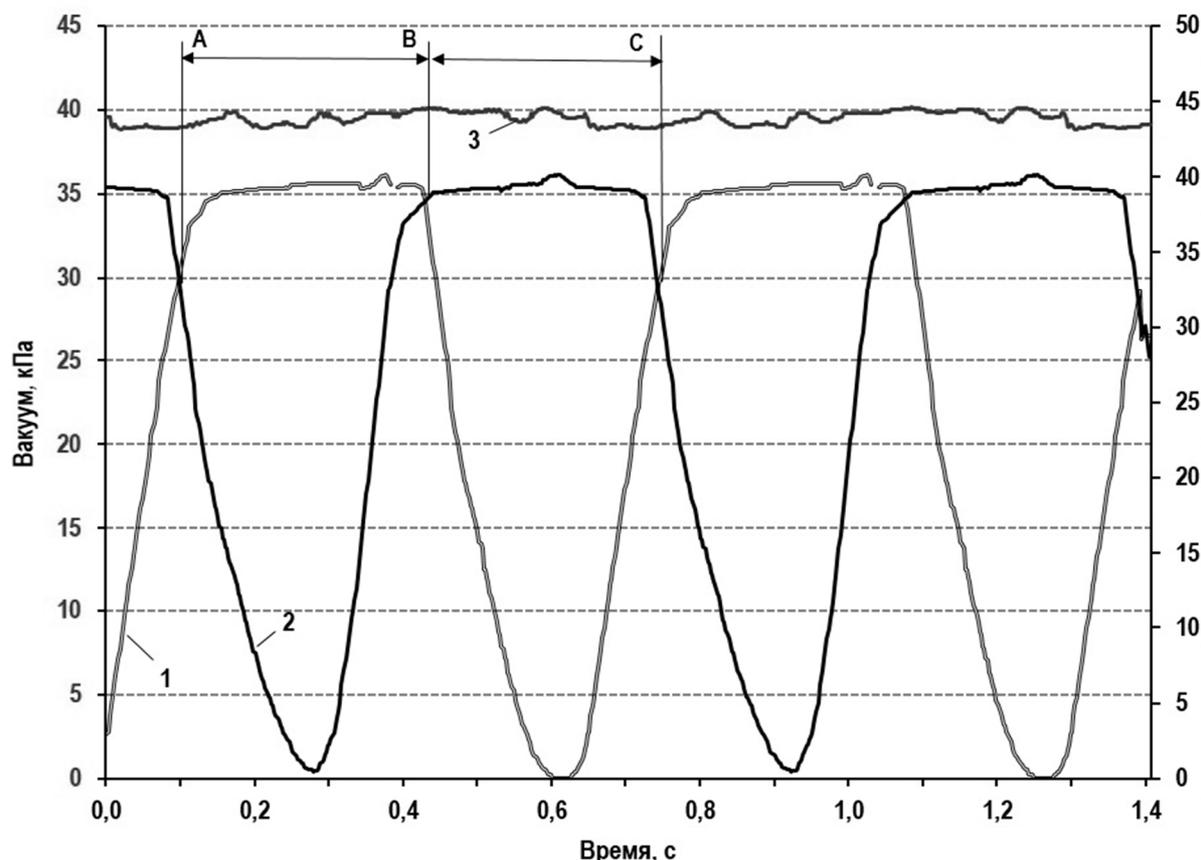


Рис. 3. Графические зависимости колебаний и перепада давления вакуума в камерах доильных стаканов ДАНМ: 1 – вакуумметрическое давление в межстенной камере 1; 2 – вакуумметрическое давление в межстенной камере 2; 3 – вакуумметрическое давление в подсосовой камере 9. График (3) соответствует левой оси ординат, графики (1) и (2) – правой оси ординат

В таблице 2 приведены результаты измерения давления в камерах доильных стаканов ДАНМ, полученные с помощью прибора «PulsoTest Comfort» [14].

Таблица 2. Параметры циклических колебаний вакуума в камерах доильных стаканов ДАНМ

Показатели		Камеры доильного стакана		
		межстенная 1	подсосовая	межстенная 2
Величина вакуума, кПа	max	40,1	40,2	40,2
	min	0	38,8	0,4
Частота пульсаций, Гц / мин <sup>-1</sup>		1,5 / 90,0		
Продолжительность рабочего цикла, мс		666,7		

На рисунке 3 видно, что на отрезке AB наблюдается незначительное изменение вакуумметрического давления в межстенной камере 1 и сначала плавное повышение до атмосферного, а затем снижение до номинального значения вакуумметрического дав-

ления в межстенной камере 2, что приводит к плавному сначала нарастающему до максимального значения, а затем убывающему до минимальной величины давлению на сосок с одной стороны сосковой трубки. На отрезке *BC* процесс сжатия соска повторяется, только с другой стороны сосковой трубки. Левая и правая части сосковой трубки не являются жёсткими стенками, поэтому сфинктер соска остаётся открытым при изменении давления в межстенных камерах доильного стакана. При этом положительное давление, обеспечиваемое сжатием соска с одной стороны сосковой трубки, и отрицательное давление, обусловленное вакуумметрическим давлением под соском, способствуют одновременному выжиманию и отсасыванию молока, имитируя процесс сосания телёнком [4]. В результате непрерывного извлечения молока из вымени повышается пропускная способность ДАНМ по сравнению с двухтактным доильным аппаратом.

На рисунке 4 представлены осциллограммы изменения давления в камерах доильных стаканов ДАНМ в режиме доения на стенде «Искусственное вымя».

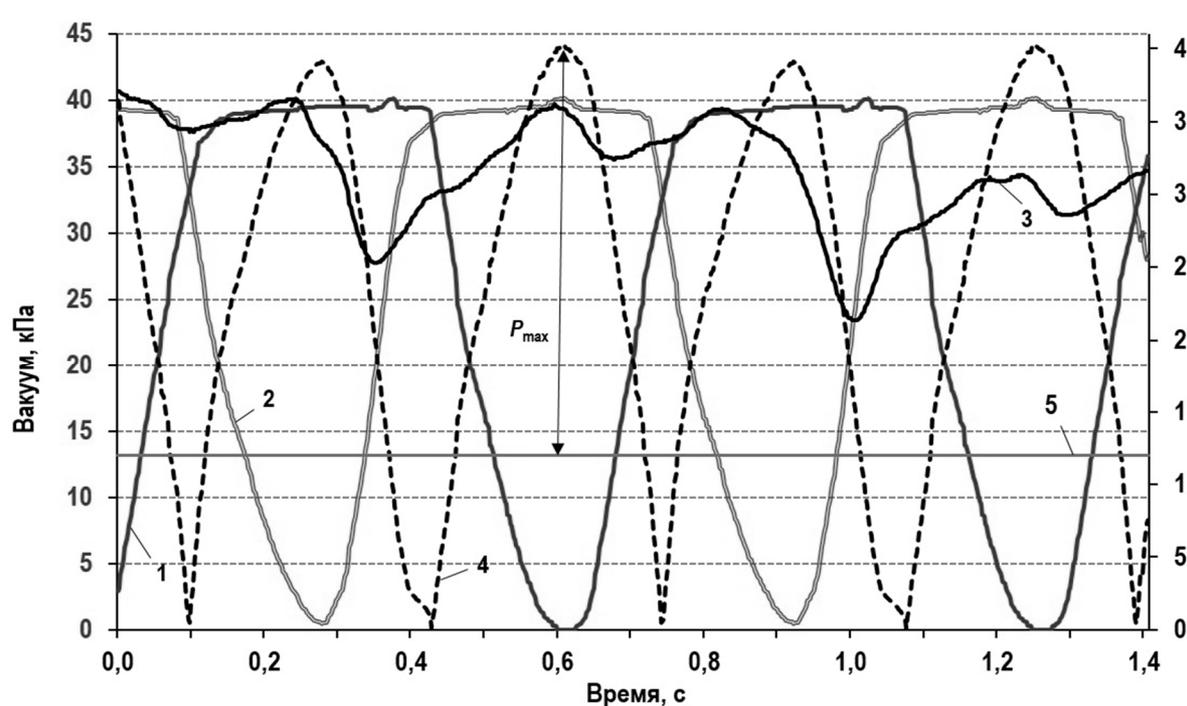


Рис. 4. График изменения давления в камерах доильных стаканов ДАНМ в режиме доения на стенде «Искусственное вымя»: 1 – вакуумметрическое давление в межстенной камере 1; 2 – вакуумметрическое давление в межстенной камере 2; 3 – вакуумметрическое давление в подсосковой камере 9; 4 – перепад давлений в камерах доильных стаканов; 5 – вакуум смыкания сосковой резины;  $P_{max}$  – максимальное давление сосковой резины на ткани соска. Графики (1) и (2) соответствуют левой оси ординат, графики (3), (4) и (5) – правой оси ординат

Для определения показателей воздействия ДАНМ на соски вымени были введены некоторые допущения.

Для расчёта давления сосковой резины на сосок вымени использовали формулу (1) [1], однако фактически определялось максимальное давление не на ткани соска, а на стенки сосковой резины при её прогибе, так как не учитывалась фиксация боковых креплений сосковой резины в гильзе доильных стаканов, вызывающая их растяжение при перемещении соска за счёт перепада давлений и возникновения сил упругости.

Величину перепада давления в камерах доильных стаканов для ДАНМ определяли следующим образом.

Сначала определяли перепад давления между межстенной камерой 1 и подсосковой камерой 9, который будет определять величину давления на стенку сосковой

резины при её прогибе с одной стороны доильного стакана, а потом – перепад давления между межстенной камерой 2 и подсосковой камерой 9, который будет определять величину давления на стенку сосковой резины при её прогибе с противоположной стороны доильного стакана. И так как величины давления на стенки сосковой резины с каждой из сторон гильзы доильного стакана в тот или иной моменты времени разные, окончательную величину давления на сосок вымени будет определять разница перепада давления на стенки сосковой резины с каждой из сторон стакана и вакуума смыкания сосковой резины. Давление сосковой резины на сосок в предложенной конструкции ДАНМ не зависит от снижения вакуумметрического давления под соском в период интенсивного извлечения молока, а в основном определяется перепадом давления в межстенных камерах доильных стаканов.

По ранее предложенной методике [1] с использованием данных, полученных при построении и анализе осциллограмм изменения давления в камерах доильных стаканов ДАНМ в режиме доения, определены показатели физиологического воздействия предложенного доильного аппарата на соски вымени, которые не превышают предельно допустимые значения, установленные ГОСТ 28545-90 (ISO 5707-83) [5], и согласуются с результатами теоретических исследований других авторов [20]:

- вакуумная нагрузка на соски вымени за период доения (6 мин.) – 4918,2 Н·с;
- растягивающее усилие, оказываемое на сосок вакуумметрическим давлением в такте сосания, – 13,9 Н;
- максимальная величина давления сосковой резины на сосок – 28,2 кПа;
- средняя величина давления сосковой резины на сосок за период сжатия – 17,1 кПа.

### Выводы

1. Экспериментально обоснованы технологические параметры доильного аппарата непрерывного молоковыведения:

- вакуумметрическое давление – 40 кПа;
- частота пульсаций вакуума – 1,5 Гц.

Определены показатели физиологического воздействия предложенного доильного аппарата на соски вымени коровы.

2. Опытным путём подтверждено, что пропускная способность доильного аппарата непрерывного молоковыведения повышается с увеличением частоты пульсаций пульсатора. Положительное давление, обеспечиваемое сжатием соска с одной стороны сосковой трубки, и отрицательное давление, обусловленное вакуумметрическим давлением под соском, способствуют одновременному выжиманию и отсасыванию молока, имитируя процесс сосания телёнком.

### Библиографический список

1. Андрианов Е.А. Методика определения физиологических параметров воздействия доильных раздражителей на соски вымени коровы с использованием прибора «PulsoTest Comfort» / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, В.В. Труфанов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 3 (62). – С. 47–53.
2. Бородин С.А. Обоснование конструктивно-режимных параметров многофункционального стимулирующего доильного аппарата : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С.А. Бородин. – Воронеж, 2018. – 198 с.
3. Вадзинский Р. Статистические вычисления в среде Excel. Библиотека пользователя / Р. Вадзинский. – Санкт-Петербург : Издательский дом «Питер», 2008. – 602 с.
4. Вальдман Э.К. Физиология машинного доения коров : производственно-практическое издание / Э.К. Вальдман. – Ленинград : Колос, Ленингр. отд-ние, 1977. – 191 с.
5. ГОСТ 28545-90 (ISO 5707-83). Установки доильные. Конструкция и техническая характеристика (с изменениями). – Введ. 1991–07–01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 16 с.
6. Двухтактный доильный аппарат / В.М. Ульянов, Н.В. Бубнов, В.С. Бунов, Е.А. Шувалов // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2019. – № 1 (1). – С. 114–119.
7. Кормановский Л.П. Направления развития системы машин для молочного скотоводства / Л.П. Кормановский, Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 1 (37). – С. 14–23.

8. Королев В.Ф. Доильные машины: теория, конструкция и расчет / В.Ф. Королев. – Москва : Машгиз, 1962. – 284 с.
9. Краснов И.Н. Доильные аппараты : монография / И.Н. Краснов. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского университета, 1974. – 228 с.
10. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Ленинград : Колос, 1980. – 168 с.
11. Определение рациональных параметров доильного аппарата непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, Т.Н. Тertychnaya // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (51). – С. 93–99.
12. Обоснование процесса выведения молока из вымени коровы стимулирующим аппаратом непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 2. – С. 32–34.
13. Пат. 2556910 Российская Федерация, МПК А 01 J 5/04 (2006.01). Устройство для доения коров / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов, Д.И. Яловой ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2013147003/13 ; заявл. 21.10.2013 ; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 20. – 5 с.
14. Прибор для измерения пульсации и вакуума в доильных установках «PulsoTest Comfort» – GEA Farm Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yumpu.com/en/document/view/38416227/pulstest-comfort-gea-farm-technologies> (дата обращения: 11.03.2020).
15. Ужик В.Ф. Адаптивное доильное оборудование. Теория и расчет : монография / В.Ф. Ужик. – Белгород : БелГСХА, 2009. – 485 с.
16. Ужик В.Ф. К обоснованию направления в создании доильного аппарата с элементами управления режимом доения / В.Ф. Ужик, А.И. Тетерядченко, Д.О. Кутовой // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2016. – № 3 (19). – С. 166–170.
17. Ульянов В.М. Конструкция и эксплуатация доильных аппаратов : монография / В.М. Ульянов. – Рязань : РГАТУ, 2012. – 112 с.
18. Франс Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли ; пер. с англ. А.С. Каменского ; под ред. Ф.И. Ерешко ; предисл. Ф.И. Ерешко и А.С. Каменского. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 400 с.
19. Щукин С.И. Результаты испытаний доильного аппарата с независимым вакуумом / С.И. Щукин, В.Н. Легеза, И.Е. Петров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 1. – С. 13–14.
20. Яловой Д.И. Обоснование конструктивно-режимных параметров доильного аппарата непрерывного доения : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Д.И. Яловой. – Воронеж, 2017. – 175 с.
21. Assessment of milking systems / I. Ohnstad, R. Blowey, N. Frame., R. Laven, A. Norton, A. White // Clinical Forum UK Vet. – 2006. – Vol. 11, No. 1. – Pp. 28–34.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Евгений Александрович Андрианов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [evgeniy377@gmail.com](mailto:evgeniy377@gmail.com).

Алексей Александрович Андрианов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [alexey739@gmail.com](mailto:alexey739@gmail.com).

Татьяна Николаевна Тertychnaya – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [tertychnaya777@yandex.ru](mailto:tertychnaya777@yandex.ru).

Дата поступления в редакцию 13.07.2020

Дата принятия к печати 03.09.2020

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Evgeniy A. Andrianov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [evgeniy377@gmail.com](mailto:evgeniy377@gmail.com).

Aleksey A. Andrianov, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [alexey739@gmail.com](mailto:alexey739@gmail.com).

Tatiana N. Tertychnaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Storage and Processing of Agricultural Products Technologies, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [tertychnaya777@yandex.ru](mailto:tertychnaya777@yandex.ru).

Received July 13, 2020

Accepted after revision September 03, 2020