

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДОЕНИЯ

Дмитрий Иванович Яловой  
Евгений Александрович Андрианов  
Алексей Александрович Андрианов  
Татьяна Николаевна Тertychnaya

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Несоответствие функциональных возможностей доильных аппаратов физиологическим потребностям животного, а также выход параметров доильных аппаратов и вакуумной системы в период эксплуатации за поле допуска являются основными причинами, снижающими эффективность функционирования технологической системы машинного доения и приводящими к заболеваемости коров маститом. В настоящее время при разработке доильных аппаратов большое значение имеет научное обоснование их параметров. Разработан доильный аппарат непрерывного доения, воздействующий на факторы, стимулирующие молокоотдачу. Для определения рациональных конструктивно-режимных параметров доильного аппарата был проведен многофакторный эксперимент. Исследования проводили по специально разработанной методике на лабораторной установке, включающей источник регулируемого вакуумметрического давления, доильный стакан аппарата непрерывного доения, состоящий из комплекта сосковых трубок с различной толщиной ребра и комплекта разрезных втулок, позволяющих изменять расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана, устройства для измерения давления сосковой резины на сосок вымени, оборудованного контрольно-измерительной аппаратурой. Величину давления на сосок в вышеуказанном устройстве определяли с помощью микроамперметра. По результатам проведения многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии, которое позволяет определять конструктивно-режимные параметры доильного аппарата. Построены поверхности отклика, характеризующие величину давления сосковой резины на сосок в зависимости от выбранных факторов эксперимента. Анализ поверхности отклика показал, что к уменьшению давления сосковой резины на сосок приводит увеличение расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана и ширины резинового крепления, а к увеличению – повышению величины рабочего вакуумметрического давления. Посредством шаговой обработки данных установлены следующие рациональные параметры доильного стакана аппарата непрерывного доения: расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана – 0,0025 м, ширина резинового крепления сосковой трубки – 0,003 м, вакуумметрическое давление – 40 кПа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: машинное доение, доильный аппарат, конструктивные параметры, многофакторный эксперимент, фактор эксперимента.

## DETERMINING RATIONAL PARAMETERS OF MILKERS OPERATING ON THE PRINCIPLE OF CONTINUOUS SUCTION

Dmitriy I. Yalovoy  
Evgenii A. Andrianov  
Aleksei A. Andrianov  
Tatiana N. Tertychnaya

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

A discrepancy between performance capabilities of milking machines and physiological needs of the animal as well as overmeasuring of parameters of milkers and vacuum system during operation are the main factors that reduce the efficiency of functioning of the technological system of machine milking and lead to the incidence of mastitis in cows. Currently, when developing milking machine units great importance is attached to the scientific justification of their parameters. The authors developed milking machine unit operating on the principle of continuous suction and influencing the factors that stimulate milk flow. In order to determine rational design and operating parameters of milking machine unit the authors conducted multifactorial experiment. The study was carried out by a specially developed technique using the laboratory setup, which is comprised of a source of regulated vacuum pressure, teat cup of milking machine unit operating on the principle of continuous suction, comprising a set of teat tubes with different fin thickness, and a set of split bushings allowing to change the distance between the teat tube and the sidewall of teat cup, the device for measuring the pressure of the liner on

the nipple of the udder, provided with control equipment. Pressure value on the nipple in the above-mentioned device was determined using a microammeter. According to the results of the multifactorial experiment, the regression equation was developed, which allows determining design and operating parameters of the milking machine unit. The authors constructed response surfaces characterizing pressure value of the liner on the nipple of the selected factors of the experiment. Response surface analysis showed that the decrease of pressure of the liner on the nipple of the udder was due to an increase in the distance between the teat tube and the sidewall of the teat cup, as well as due to an increase in the width of the rubber mounting, whereas vacuum gage pressure rise resulted in an intensification of pressure of the liner. Through the use of data step-by-step operation the authors laid down the following rational parameters of the teat cup of the proposed milking machine unit: the distance between the teat tube and the wall of the teat cup being 0.0025 m, the width of the rubber mounting of the liner being 0.003 m, vacuum gage pressure being 40 kPa.

KEY WORDS: mechanical milking, milking machine unit, design and operating parameters, multifactorial experiment, teat cup liner, vacuum gage pressure.

**В** настоящее время Россия – один из крупнейших в мире производителей молока и молочной продукции, однако имеет сравнительно низкую долю товарного молока в общем объеме производства – 57%, а по продуктивности поголовья проигрывает промышленно развитым странам более чем в 2 раза.

С принятием доктрины продовольственной безопасности перед молочной отраслью поставлена задача – обеспечивать 90% внутреннего потребления молока собственным производством. Необходимо нарастить объем производства, сохранив требуемый уровень качества, а также повысить конкурентоспособность отечественной молочной продукции на рынке молока.

Несоответствие функциональных возможностей доильных аппаратов физиологическим потребностям животного, а также выход параметров доильных аппаратов и вакуумной системы в период эксплуатации за поле допуска являются основными причинами, снижающими эффективность функционирования технологической системы машинного доения и приводящими к заболеваемости коров маститом [4, 5, 6, 8, 11].

На кафедре безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» разработан доильный аппарат непрерывного доения, воздействующий на факторы, стимулирующие молокоотдачу. Доильный аппарат содержит двухкамерные стаканы, коллектор, пульсатор попарного доения, молочные и вакуумные шланги. Основной отличительной особенностью этого доильного аппарата является новое конструктивное исполнение доильного стакана, в котором межстенная камера разделена на две равные части, а гильза имеет дополнительный воздушный патрубок [1, 10, 12].

Доильный стакан содержит гильзу, сосковую трубку и два воздушных патрубка. В гильзе диаметрально выполнены продольные выступы, а сосковая трубка имеет диаметрально расположенные ребра. В гильзе доильного стакана выполнены продольные диаметрально отлиты, расположенные напротив воздушных патрубков. В собранном доильном стакане в результате установки сосковой трубки ребрами в продольные выступы гильзы образуется подсосковая камера и две межстенные камеры, соотнесенные соответственно с рабочими камерами пульсатора попарного доения.

Атмосферное давление и разрежение из рабочей камеры пульсатора попарного доения распространяется в распределительную камеру коллектора и далее в соответствующие межстенные камеры доильного стакана. Так как в подсосковой камере постоянно действует разрежение, а в межстенных камерах соответственно атмосферное давление и разрежение, сосковая резина с одной стороны сжимает сосок, копируя положение языка телёнка. Одновременно с другой стороны сосковая трубка прижимается к отливу стакана, причём сосок укладывается, копируя положение верхнего нёба рта телёнка. В это время на сосок одновременно действует положительное давление, обеспечивающее сжатие соска в направлении от основания к его кончику, и отрицательное

давление, обусловленное разрежением под соском, т. е. в какой-то степени копируется акт сосания теленком. В результате сжатия молоко выжимается из соска вымени и отсасывается за счёт разрежения в подсосковой камере, направляясь в молочную камеру коллектора доильного аппарата. В дальнейшем цикл повторяется при поочередном сжатии соска то с одной, то с другой стороны доильного стакана и непрерывным действием разрежения, при этом осуществляется непрерывный отсос с высокой степенью молокоотдачи [9, 11].

В лаборатории кафедры БЖД МЖ и ПСП был разработан упрощенный вариант опытного образца доильного стакана аппарата непрерывного доения. Для определения рациональных конструктивно-режимных параметров доильного аппарата, при которых извлечение молока наиболее эффективно и безопасно для здоровья коровы, был проведен многофакторный эксперимент.

Исследования проводили по специально разработанной методике на лабораторной установке, включающей источник регулируемого вакуумметрического давления, доильный стакан аппарата непрерывного доения, состоящий из комплекта сосковых трубок с различной толщиной ребра и комплекта разрезных втулок, позволяющих изменять расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана, устройство для измерения давления сосковой резины на сосок вымени, оборудованное контрольно-измерительной аппаратурой.

Анализ априорной информации по изучению процесса доения показал, что за параметр оптимизации, обеспечивающий работоспособность доильного аппарата и влияющий на полноту выдаивания вымени коровы, необходимо принять величину давления сосковой резины на сосок, обеспечивающую физиологически адекватное воздействие на молочную железу и, как результат, возбуждение полноценного рефлекса молокоотдачи. Наиболее значимыми факторами, влияющими на величину давления сосковой резины на сосок, являются ширина резинового крепления сосковой трубки, величина рабочего вакуумметрического давления и расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана [8, 11].

Функцией, аппроксимирующей экспериментальные данные по изучению влияния перечисленных выше значимых факторов на величину давления сосковой резины на сосок, может служить полином второго порядка [2, 3]. Для численной реализации эксперимента был выбран трехфакторный трехуровневый план Бокса-Бенкина (план-матрица вида  $3^3$ ) [7]. Численные значения факторов были приняты на основании ранее проведенных теоретических исследований и исходя из конструктивно-технологических особенностей доильного аппарата. Уровни и интервалы варьирования эксперимента приведены в таблице 1, а полученные результаты – в таблице 2.

**Таблица 1. Уровни варьирования факторов**

Наименование фактора	Кодированное	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
			нижний уровень (-1)	основной уровень (0)	верхний уровень (+1)
1. Ширина резинового крепления сосковой трубки, $b$ , м	$x_1$	0,001	0,001	0,002	0,003
2. Величина рабочего вакуумметрического давления, $P$ , кПа	$x_2$	2	40	42	44
3. Расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана, $s$ , м	$x_3$	0,001	0,001	0,002	0,003

Таблица 2. Результаты эксперимента

Фактор			Давление на сосок P <sub>c</sub> , кПа
x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	
+1	+1	0	16
-1	-1	0	17
+1	-1	0	15
-1	+1	0	22
+1	0	+1	10
-1	0	-1	23
+1	0	-1	22
-1	0	+1	15
0	+1	+1	13
0	-1	-1	21
0	+1	-1	23
0	-1	+1	12
0	0	0	14
0	0	0	14
0	0	0	16

Полученные в ходе эксперимента данные, являющиеся исходными для математической модели, обрабатывали на ПЭВМ в компьютерной программе «Mathematika 10» методом наименьших квадратов функций, заданных таблично (рис. 1).

```

Untitled-9.nb * - Wolfram Mathematica 10.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

datal = {{0.003, 44, 0.002, 16}, {0.001, 40, 0.002, 17},
{0.003, 40, 0.002, 15}, {0.001, 44, 0.002, 22},
{0.003, 42, 0.003, 10}, {0.001, 42, 0.001, 23},
{0.003, 42, 0.001, 22}, {0.001, 42, 0.003, 15},
{0.002, 44, 0.003, 13}, {0.002, 40, 0.001, 21},
{0.002, 44, 0.001, 23}, {0.002, 40, 0.003, 12},
{0.002, 42, 0.002, 14.0}, {0.002, 42, 0.002, 14},
{0.002, 42, 0.002, 16}}

f1[x_, y_, z_] =
Fit[datal, {1, x, y, z, x^2, y^2, z^2, x y, x z, y z},
{x, y, z}]

{{0.003`, 44, 0.002`, 16}, {0.001`, 40, 0.002`, 17},
{0.003`, 40, 0.002`, 15}, {0.001`, 44, 0.002`, 22},
{0.003`, 42, 0.003`, 10}, {0.001`, 42, 0.001`, 23},
{0.003`, 42, 0.001`, 22}, {0.001`, 42, 0.003`, 15},
{0.002`, 44, 0.003`, 13}, {0.002`, 40, 0.001`, 21},
{0.002`, 44, 0.001`, 23}, {0.002`, 40, 0.003`, 12},
{0.002`, 42, 0.002`, 14.}, {0.002`, 42, 0.002`, 14},
{0.002`, 42, 0.002`, 16}}

528.7500000000019` + 15083.333333337145` x +
1.5416666666665538` *^6 x^2 - 25.31250000000094` y -
500.00000000000846` x y + 0.32291666666667856` y^2 -
2791.666666667763` z - 1.0000000000000461` *^6 x z -
124.9999999999895` y z + 1.2916666666668148` *^6 z^2
    
```

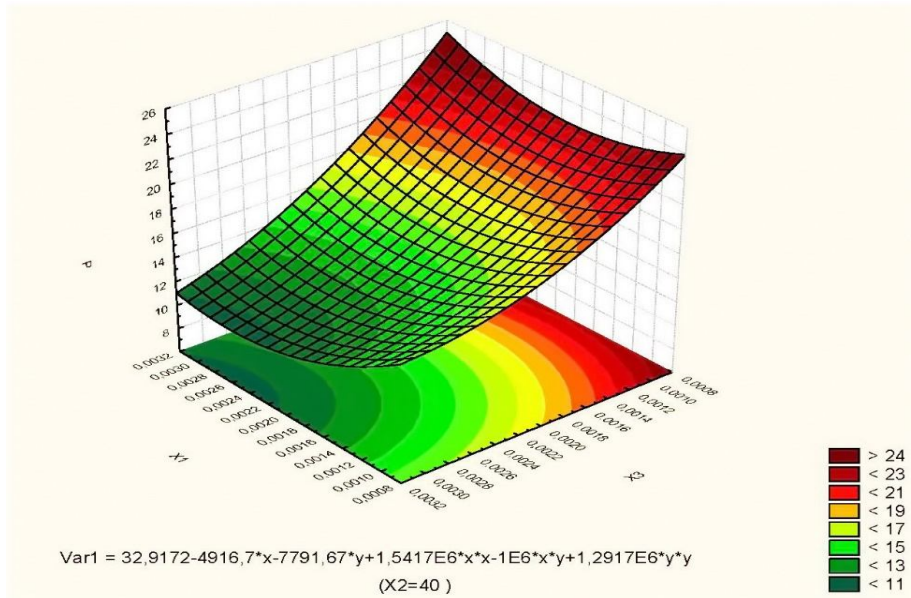
Рис. 1. Модель регрессии в компьютерной программе «Mathematika 10»

После обработки результатов измерений установлено, что экспериментальные данные достаточно точно могут быть представлены в виде математической модели регрессии

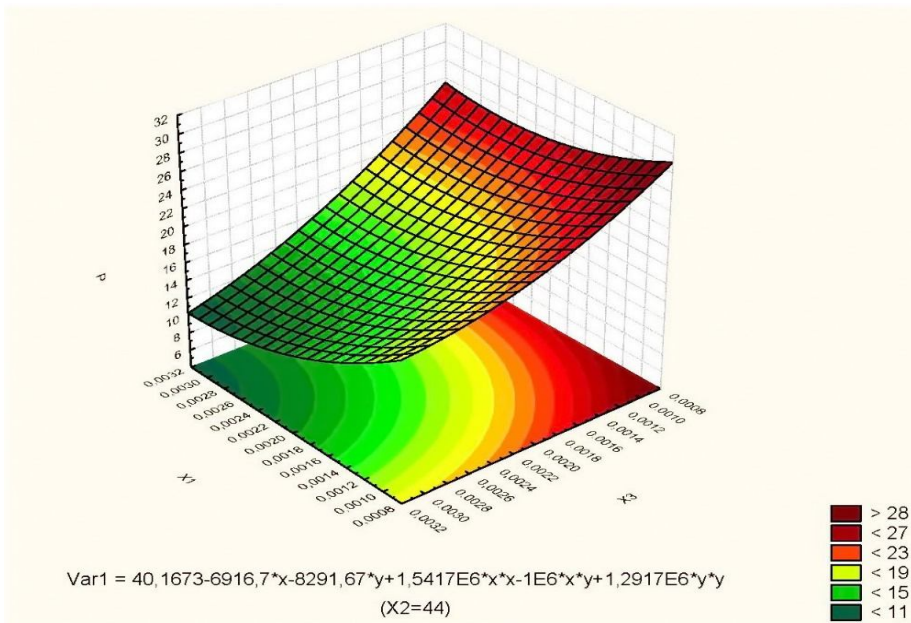
$$e = 528,75 + 15083,3 x_1 + 1,54167 \cdot 10^6 x_1^2 - 25,3125 x_2 - 500 x_1 x_2 + 0,322917 x_2^2 - 2791,67 x_3 - 1 \cdot 10^6 x_1 x_3 - 125,0 x_2 x_3 + 1,29167 \cdot 10^6 x_3^2.$$

Полученная математическая модель позволяет найти величину давления сосковой резины на сосок вымени в доильном аппарате непрерывного доения в пределах выбранных интервалов варьирования уровней факторов эксперимента.

Уравнение регрессии второго порядка, адекватно описывающее давление сосковой резины на сосок вымени, было исследовано для выявления оптимальных конструктивно-режимных параметров доильного стакана аппарата непрерывного доения. С этой целью с помощью компьютерной программы «Statistica» были построены поверхности отклика, характеризующие величину давления сосковой резины на сосок в зависимости от ширины резинового крепления сосковой трубки и расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана при различном вакуумметрическом давлении  $P$  (кПа) (рис. 2).



а)



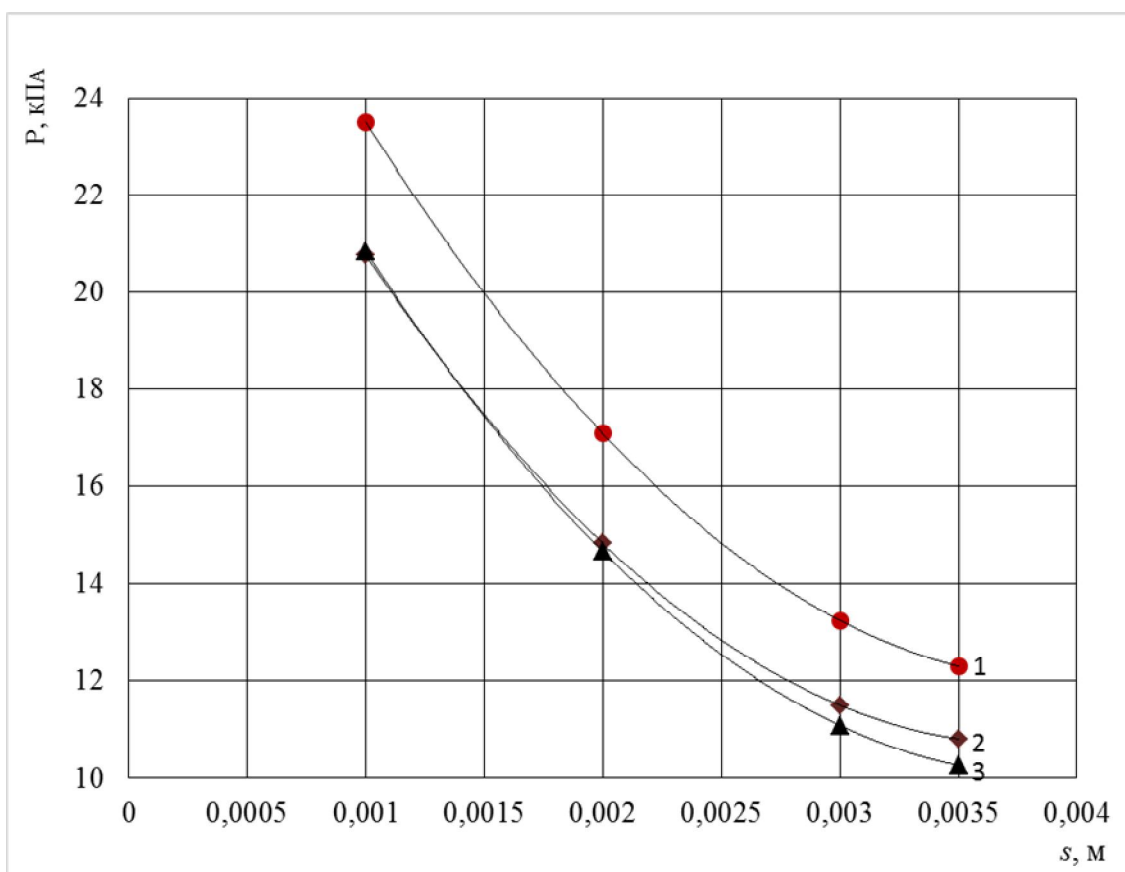
б)

**Рис. 2. Поверхности отклика, характеризующие величину давления сосковой резины на сосок в зависимости от ширины резинового крепления сосковой трубки и расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана при различном вакуумметрическом давлении  $P$ , кПа: а)  $P = 40$  кПа, б)  $P = 44$  кПа**

Анализ поверхности отклика показал, что к уменьшению величины давления сосковой резины на сосок приводит увеличение расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана и ширины резинового крепления, а к увеличению – повышение величины рабочего вакуумметрического давления. Так, величина давления сосковой резины на сосок доильного аппарата при ширине резинового крепления сосковой трубки и расстоянии между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана соответственно 0,003 и 0,002 м при вакуумметрическом давлении 40 и 44 кПа составила соответственно 15,6 и 16 кПа; при ширине резинового крепления сосковой трубки и расстоянии между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана соответственно 0,002 и 0,003 м при вакуумметрическом давлении 40 и 44 кПа – соответственно 11,5 и 13,5 кПа.

Далее были определены рациональные значения факторов, при которых реализуется работоспособность аппарата и по зоотехническим требованиям не превышает давление сосковой резины на сосок. С этой целью был проведен пошаговый метод оптимизации. Снижение вакуумметрического давления до 40 кПа благотворно для молочной железы животного, а согласно опытам И.В. Жилова наибольшая скорость молоковыведения для аппарата непрерывного отсоса наблюдается в том случае, когда на стенку сосковой резины, действует давление 13-16 кПа. Так, задано оптимальное рабочее вакуумметрическое давление и ограничение давления сосковой резины на сосок пульсатора – не более 16 кПа [8].

Для упрощения решения поставленной задачи был проведен анализ сравнительных 2Б-графических зависимостей факторов эксперимента, которые представлены на рисунках 3 и 4.



**Рис. 3. Графические зависимости, характеризующие величину давления сосковой резины на сосок в зависимости от расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана s (м) при заданной ширине резинового крепления сосковой трубки b = 0,002 м и различном вакуумметрическом давлении P, кПа:**  
 1)  $y = 1 \cdot 10^6 x^2 - 10292x + 32,501$ ,  $R^2 = 1$ , P = 44 кПа;  
 2)  $y = 1 \cdot 10^6 x^2 - 9791,7x + 29,25$ ,  $R^2 = 1$ , P = 40 кПа;  
 3)  $y = 1 \cdot 10^6 x^2 - 10042x + 29,584$ ,  $R^2 = 1$ , P = 42 кПа

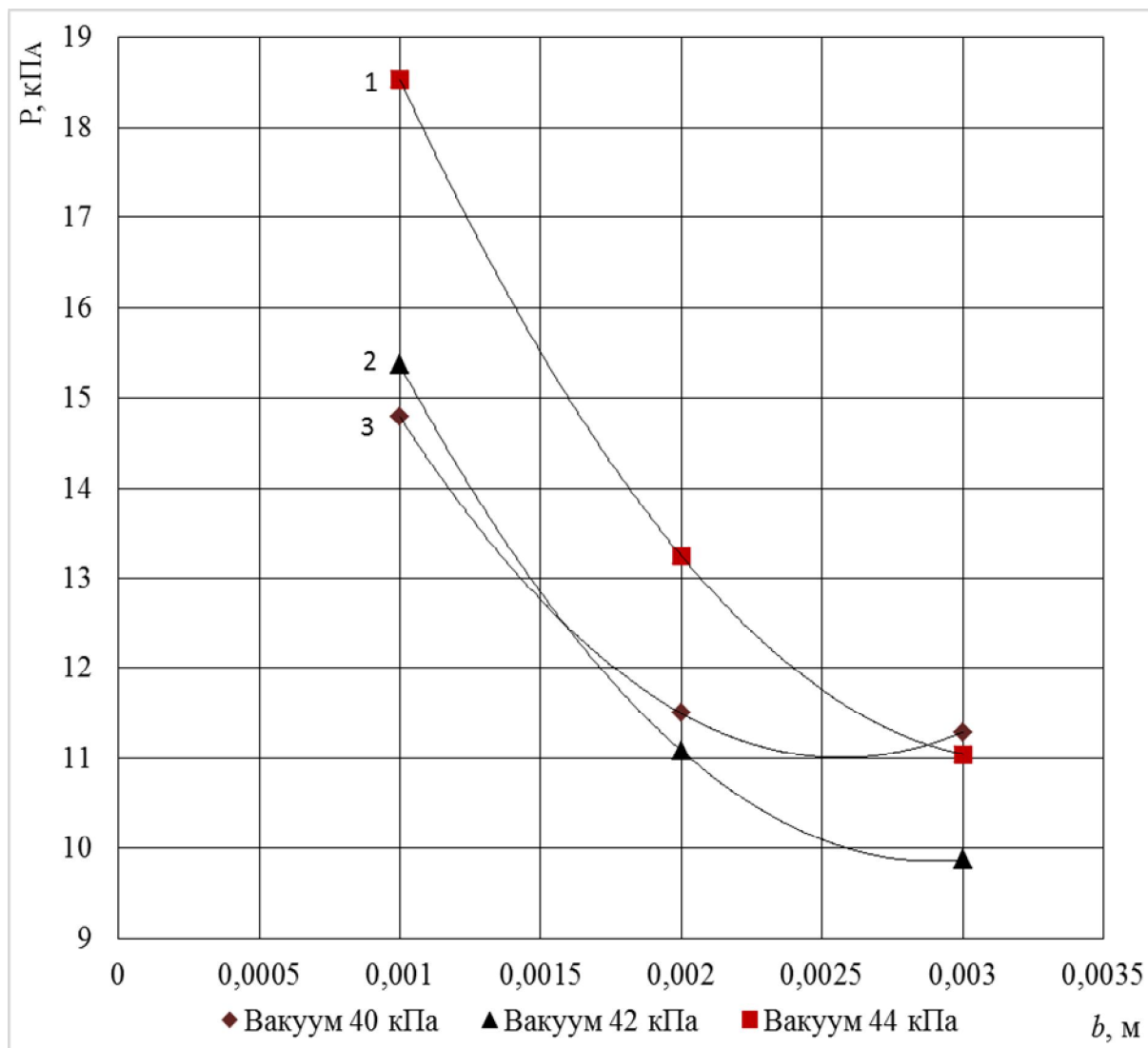


Рис. 4. Графические зависимости, характеризующие величину давления сосковой резины на сосок в зависимости от ширины резинового крепления сосковой трубки  $b$  (м) при заданном расстоянии между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана  $s = 0,003$  м и различном вакуумметрическом давлении  $P$ , кПа:  
 1)  $y = 2 \cdot 10^6 x^2 - 9916,7x + 26,917$ ,  $R^2 = 1$ ,  $P = 44$  кПа;  
 2)  $y = 2 \cdot 10^6 x^2 - 8916,7x + 22,751$ ,  $R^2 = 1$ ,  $P = 42$  кПа;  
 3)  $y = 2 \cdot 10^6 x^2 - 7916,7x + 21,167$ ,  $R^2 = 1$ ,  $P = 40$  кПа

В результате шаговой обработки были выявлены следующие числовые значения рациональных параметров (табл. 3).

Таблица 3. Числовые значения рациональных параметров

Обозначение	Наименование	Значение
s	Расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана, м	0,0025
b	Ширина резинового крепления сосковой трубки, м	0,003
P	Вакуумметрическое давление, кПа	40



## Библиографический список

1. Андрианов Е.А. Совершенствование доильных аппаратов непрерывного доения / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – Вып. 4 (39). – С. 84-93.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Карташов Л.П. Машинное доение коров / Л.П. Карташов. – Москва : Колос, 1982. – 301 с.
4. Карташов Л.П. Особенности контроля сосковой резины / Л.П. Карташов, В.П. Малкин // Техника в сельском хозяйстве. – 1968. – № 12. – С. 12.
5. Карташов Л.П. Повышение надежности системы человек – машина – животное / Л.П. Карташов, С.А. Соловьев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2000. – 276 с.
6. Королев В.Ф. Доильные машины: Теория, конструкция и расчет / В.Ф. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1969. – 279 с.
7. Краснов И.Н. Доильные аппараты / И.Н. Краснов. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского университета, 1974. – 228 с.
8. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Ленинград : Колос, 1980. – 168 с.
9. Обоснование давления сосковой резины на сосок вымени стимулирующего аппарата непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 9 (219). – С. 32-36.
10. Пат. №2556910 РФ; МПК А01J 5/04. Устройство для доения коров / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов, Д.И. Яловой; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I». – № 2013147003/13; заявл. 21.10.2013; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12. – 5 с.
11. Пигорев И.Я. Доильный аппарат с почтвртным управлением режимом доения / И.Я. Пигорев, О.В. Ужик // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 79-80.
12. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии : учебник / Под ред. А.И. Завражнова. – Санкт-Петербург : Изд-во «Лань», 2013. – 496 с.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### Принадлежность к организации

Яловой Дмитрий Иванович – аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, E-mail: dmitrijjalvjj@rambler.ru.

Андрианов Евгений Александрович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, E-mail: evgeniy377@gmail.com.

Андрианов Алексей Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, E-mail: alexey739@gmail.com.

Тертычная Татьяна Николаевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии переработки растениеводческой продукции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, E-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 29.09.2016

Дата принятия к печати 27.11.2016

## AUTHOR CREDENTIALS

### Affiliations

Dmitriy I. Yalovoy – Post-graduate Student, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, E-mail: dmitrijjj alvjj @rambler.ru.

Evgenii A. Andrianov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, E-mail: evgeniy3 77@gmail. com.

Aleksei A. Andrianov – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, E-mail: alexey739@gmail.com.

Tatiana N. Tertychnaya – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Crop Processing Technology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, E-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Date of receipt 29.09.2016

Date of admittance 27.11.2016