

УДК 637.116.2

С. Н. Бондарев, А. В. Китун, доктор технических наук, профессор

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
пр-т Независимости, 99, 220023 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 899 80 92, seregabondarev1991@yandex.ru

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ДОИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Целью данной работы является анализ результатов исследований по совершенствованию доильных аппаратов. Новизна работы заключается в обосновании перспективного направления усовершенствования доильного аппарата для коров.

Введение содержит краткую характеристику молочной отрасли страны и анализ энергоёмкости производства молока в сравнении с лучшими мировыми производителями. В основной части представлены поисковые исследования в области усовершенствования конструкции доильных аппаратов для коров.

Установлено, что нерешенной и малоизученной остается проблема повышения величины вакуумметрического давления при разжатии стенок сосковой резины (переход к такту «сосание»), приводящая к реверсивному движению молока в доильном аппарате и повышению затрат энергии на процесс машинного доения. Исключение повышения вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана при разжатии стенок сосковой резины позволит устранить реверсивное движение молока в доильном аппарате и снизить энергоёмкость процесса машинного доения на 15,3 %.

Результаты исследований будут полезны при разработке конструкций доильных аппаратов для выбора наиболее энергоэффективных параметров работы с учетом интенсивности молокоотдачи животного.

Ключевые слова: доильный аппарат; молоко; сосковая резина; молокоотдача; энергоёмкость; вакуум.

Рис. 7. Библиогр.: 14 назв.

S. N. Bondarev, A. V. Kitun, DSc in Technical Sciences, Professor

Institution of Education “Belarusian State Agrarian Technical University”, 99 Nezavisimosti Ave.,
220023 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (29) 899 80 92, seregabondarev1991@yandex.ru

ANALYSIS OF RESEARCH RESULTS ON THE IMPROVEMENT OF MILKING MACHINES

The purpose of this work is to analyze the results of research on the improvement of milking machines. The novelty of the work lies in the substantiation of a promising direction for improving the milking machine for cows.

The introduction contains a brief description of the country’s dairy industry and the analysis of the energy intensity of milk production in comparison with the world’s best producers. The main part presents exploratory research in the field of improving the design of milking machines for cows.

It is established that the problem of the vacuum pressure value increasing when the walls of the nipple rubber are decompressed (transition to the “sucking” cycle), leading to a reversible movement of milk in the milking machine and an increase in energy costs for the process of machine milking remains unresolved and little studied. Eliminating the increase in vacuum pressure in the suction chamber of the milking cup when the walls of the nipple rubber are unclenched, will exclude the reverse movement of milk in the milking machine and reduce the energy intensity of the machine milking process by 15,3 %.

The results of the research will be useful in the development of milking machine designs for selecting the most energy-efficient operation parameters, taking into account the intensity of the animal’s milk output.

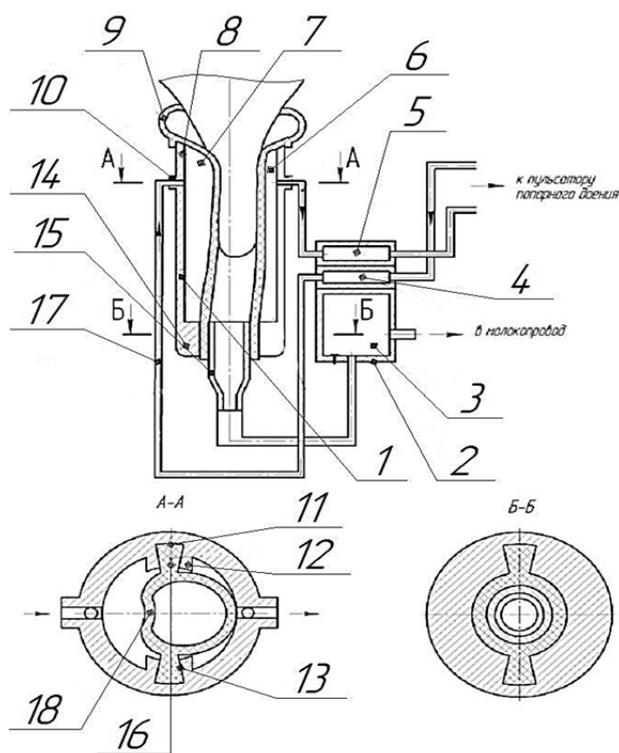
Key words: milking machine; milk; nipple rubber; milk output; energy intensity; vacuum.

Fig. 7. Ref.: 14 titles.

Введение. За 2021 год в Беларуси было произведено порядка 7,8 млн тонн молока, 4 млн тонн из которых была поставлена на экспорт, а выручка составила 2,7 млрд долларов США [1; 2], но основным рынком сбыта молочной продукции является Российская Федерация, на долю которой приходится около 74,4 % всего экспорта [3].

Несмотря на значительные успехи отечественной молочной отрасли, ей также присущ ряд недостатков, к которым можно отнести низкую конкурентоспособность отечественной молочной продукции по причине высоких удельных затрат на производство молока и его невысокого качества в сравнении с мировыми лидерами по экспорту молочной продукции: странами ЕС, Новой Зеландии и США. Так, для производства одной тонны отечественного молока затрачивается порядка 80...100 кВт·ч/т, в то же время в странах ЕС данный показатель находится в интервале 40...60 кВт·ч/т [4; 5]. Качество производимого молока также уступает мировым лидерам. Так, за 2021 год доля произведенного отечественного молока сорта экстра составила 62,2 %, в то время как у лучших мировых производителей данный показатель составляет порядка 70 % [4].

Одной из причин высоких удельных затрат на производство молока и снижения продуктивности коров является несовершенство доильных аппаратов. Для поиска путей решения этой проблемы необходимо проанализировать известные типы доильных аппаратов.



1 — доильные стаканы; 2 — коллектор; 3 — молочная камера; 4, 5 — распределительные камеры; 6, 7 — межстенные камеры; 8 — гильза; 9 — сосковая трубка; 10, 11 — воздушные патрубки; 12 — продольные выступы; 13 — трапециевидальные проточки; 14 — утолщенный борт; 15 — смотровой конус; 16 — трапециевидальные рёбра; 17 — шланги; 18 — вогнутые участки, копирующие положение языка телёнка в момент отсасывания молока; 19 — подсосковая камера

Рисунок 1. — Схема доильного аппарата непрерывного действия с односторонним сжатием соска

Материалы и методы исследования.

Доильные аппараты по характеру силы, используемой для извлечения молока, бывают выжимающие и отсасывающие.

При доении выжимающим доильным аппаратом извлечение молока достигается за счет выжимания соска вымени коровы [6]. Преимущество выжимающих доильных аппаратов заключается в имитации ручного доения, что позволяет избежать травмирующего воздействия высокого уровня вакуума на сосок вымени коровы в подсосковой камере доильного стакана [6; 7].

В научных работах Д. И. Ялового предложена конструкция доильного аппарата непрерывного доения выжимающего принципа действия с односторонним сжатием соска вымени коровы (рисунок 1) [8].

Недостатком рассматриваемого доильного аппарата является сложность его конструкции и работы. Одностороннее сжатие сосковой резины не обеспечивает полноценный массаж и стимуляцию кровообращения соска вымени коровы по всей его длине и диаметру, что приводит к торможению рефлекса молокоотдачи, а следовательно, снижению его молочной продуктивности.

Так как в рассматриваемом доильном аппарате (см. рисунок 1) происходит одностороннее сжатие соска коровы, автор предложил формулу по определению давления, необходимого для одностороннего сжатия соска [7]:

$$P_c = k \left[y \left(\frac{L_1}{2} \right) + b_1 \left(\frac{P_H}{2E\pi(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{1}{2L_1} \int_0^{L_1} \sqrt{1 + y'(x)^2} dx - 0,5 \right) \right], \quad (1)$$

где k — погонный коэффициент постели соска;
 y — величина прогиба стенки сосковой резины, м;
 L_1 — длина сосковой резины в рабочем положении, м;
 b_1 — толщина стенки сосковой резины, м;
 P_H — наружное давление, оказываемое на сосковую резину, Па;
 E — модуль упругости сосковой резины, Па;
 R_2 — наружный радиус сосковой резины, м;
 R_1 — внутренний радиус сосковой резины, м;
 x — удлинение сосковой резины, м.

Проанализировав формулу (1), установили, что давление, необходимое для одностороннего сжатия соска вымени животного, зависит от величины наружного давления и конструктивных параметров сосковой резины.

В зависимости от одностороннего сжатия под действием давления P_c происходил прогиб стенки сосковой резины при одностороннем сжатии:

$$w_0 = b_1 \left(\frac{P_H}{2E\pi(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{1}{2L_1} \int_0^{L_1} \sqrt{1 + y'(x)^2} dx - 0,5 \right). \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что прогиб стенки сосковой резины при одностороннем сжатии зависит от величины наружного давления, толщины стенки сосковой резины, ее радиуса и длины.

В исследованиях С. И. Щукина предлагается использование сосковой резины с переменной толщиной стенки (рисунок 2) [9].

По причине разной величины деформации стенок сосковой резины к недостаткам рассматриваемой конструкции сосковой резины можно отнести неравномерное массирующее воздействие на сосок по его длине. Кроме того, в местах утончения стенок сосковой резины ввиду меньшей ее жесткости возрастает вероятность ее разрыва под действием внешнего давления и натяжения.

Созданием доильного аппарата, безвредного для здоровья коровы, занимался В. П. Скворцов. Предложенный автором доильный стакан с сосковой резиной снабжен дополнительно оболочкой и лепестковым деформатором (рисунок 3) [10].

Для определения величины поперечной деформации любой точки стенки сосковой резины в доильном стакане с лепестковым деформатором В. П. Скворцов предложил следующую формулу [10]:

$$w = \frac{P}{2\pi m E e} [\varphi(x) + \varphi(x) - 1], \quad (3)$$

где $\varphi(x)$ — функция независимой переменной для учета влияния краев оболочки;

m — число Пуассона для резины.

Анализ формулы (3) показывает, что величина прогиба стенки сосковой резины доильного аппарата зависит от величины вакуума в доильном аппарате и физико-механических свойств сосковой резины.

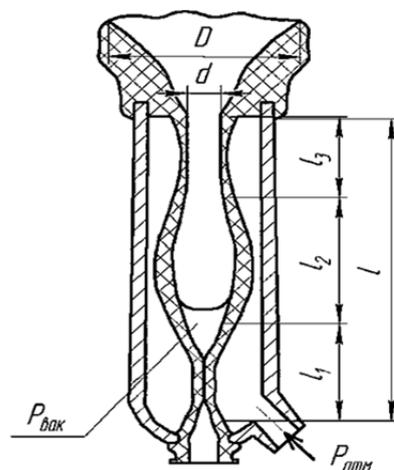
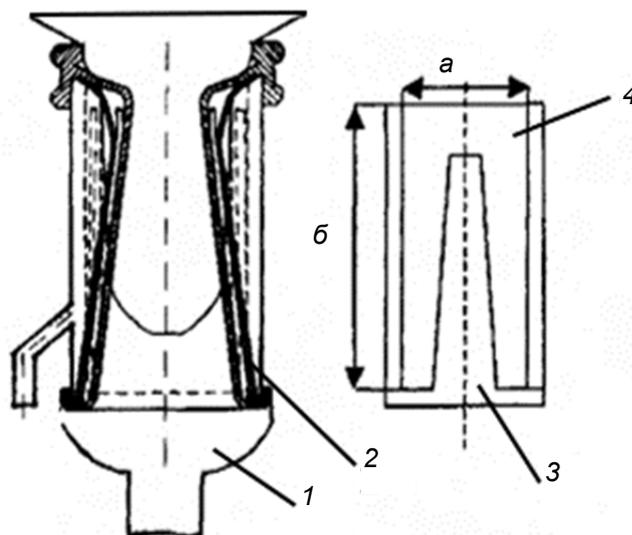


Рисунок 2. — Доильный стакан с сосковой резиной переменной толщины



a — внутренний диаметр сосковой резины с лепестковым деформатором; *б* — длина сосковой резины с лепестковым деформатором;

1 — доильный стакан с лепестковым деформатором; 2 — дополнительная оболочка; 3 — лепестковый деформатор; 4 — сосковая резина

Рисунок 3. — Доильный стакан с дополнительной оболочкой и лепестковым деформатором

Рассматриваемая конструкция доильного стакана является сложной в изготовлении и обслуживании.

Кроме того, использование предложенного доильного аппарата при машинном доении коров повлечет дополнительные затраты энергии на привод деформатора и создание давления, при котором сосковая резина с дополнительной оболочкой будут сжимать и деформировать сосок вымени коровы.

З. В. Макаровская предложила доильный стакан, который в процессе работы имитировал бы движения ротовой полости телят (рисунок 4) [11].

При анализе конструкции предложенного доильного стакана было установлено, что его недостатком являются дополнительные затраты энергии на привод амортизатора.

Таким образом, установлено, что выжимающие доильные аппараты сложны по конструкции и увеличивают время доения коровы, что ведет к снижению надоев молока и, соответственно, повышает энергоёмкость процесса машинного доения.

Отсасывающие доильные аппараты получили наибольшее распространение за счет своей простоты конструкции, удобства в обслуживании и ремонте. Общими деталями таких доильных аппаратов являются (рисунок 5):

- пульсатор 1, необходимый для преобразования постоянного вакуума в переменный, а также смены тактов работы доильного аппарата;
- вакуумпровод 2 и молокопровод 3;
- доильное ведро 4, необходимое для сбора выдоенного молока;
- доильные стаканы 5, которые в процессе машинного доения одеваются на соски вымени животного и напрямую контактируют с выменем, оказывая на него механическое воздействие;
- коллектор 6, предназначенный для сбора молока от доильных стаканов и распределения переменного вакуума по межстенным камерам доильных стаканов.

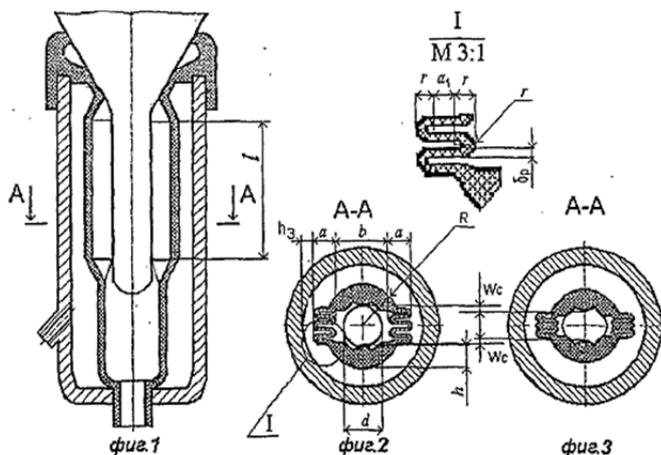


Рисунок 4. — Доильный стакан, имитирующий ротовую полость теленка

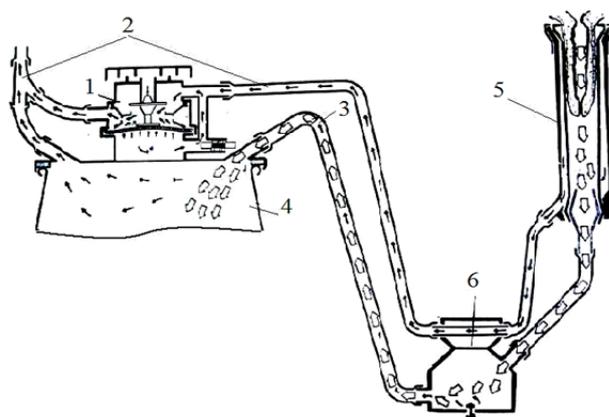
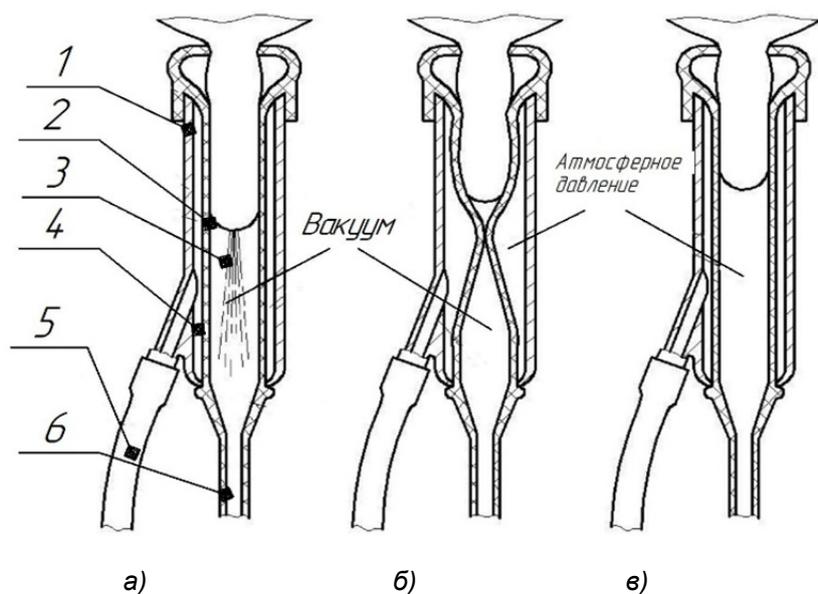


Рисунок 5. — Схема работы доильного аппарата

Принцип работы таких доильных аппаратов (рисунок 6) основан на создании вакуумметрического давления в камерах доильных стаканов и чередовании тактов работы, в зависимости от количества которых доильные аппараты бывают [12]:

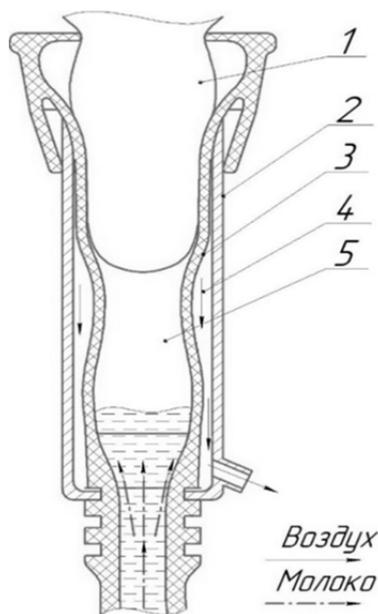
- двухтактные — процесс работы основан на чередовании двух тактов — «сосание» и «сжатие»;
- трехтактные — процесс работы протекает по тактам «сосание», «сжатие» и «отдых»;
- четырехтактные — работают по принципу чередования тактов «сосание», «сжатие», «сосание», «отдых».

При работе доильного аппарата, независимо от числа тактов, во время такта «сосание» (см. рисунок 6, а) в межстенной 4 и подсосковой 3 камерах доильного стакана создается вакуум, за счет разности давлений между подсосковой камерой и соском вымени животного извлекается молоко, которое в дальнейшем транспортируется по молочной трубке 6 в коллектор.



1 — гильза доильного стакана; 2 — сосковая резина; 3 — подсосковая камера; 4 — межстенная камера; 5 — вакуумный шланг; 6 — молочная трубка

Рисунок 6. — Схема и процесс работы доильного стакана: а — такт «сосание»; б — такт «сжатие»; в — такт «отдых»



- 1 — сосок вымени коровы;
 2 — гильза доильного стакана;
 3 — присосок сосковой резины;
 4 — межстенная камера доильного стакана;
 5 — подсосковая камера доильного стакана

Рисунок 7. — Доильный стакан при переходе от такта «сжатие» к такту «сосание»

Если исключить повышение вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана при разжатии стенок сосковой резины в момент начала такта «сосание», то будет устранено реверсивное движение молока в доильном аппарате. Устранение данного негативного фактора при величине вакуума в доильном аппарате $p_v = 43$ кПа, частоте пульсаций $\chi_{\text{л}} = 60 \text{ мин}^{-1}$, соотношении тактов «сосание»/«сжатие» 60/40 и разовом удое $m_p = 8,7$ кг от коровы снизит энергоемкость процесса машинного доения на 15,3 % [14].

Если исключить повышение вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана при разжатии стенок сосковой резины в момент начала такта «сосание», то будет устранено реверсивное движение молока в доильном аппарате. Устранение данного негативного фактора при величине вакуума в доильном аппарате $p_v = 43$ кПа, частоте пульсаций $\chi_{\text{л}} = 60 \text{ мин}^{-1}$, соотношении тактов «сосание»/«сжатие» 60/40 и разовом удое $m_p = 8,7$ кг от коровы снизит энергоемкость процесса машинного доения на 15,3 % [14].

Заключение. Проводимые ранее исследования направлены на усовершенствование конструкции доильного стакана в целях снижения травмирующего механического воздействия доильного аппарата на вымя коровы в процессе машинного доения.

Нерешенной и малоизученной остается проблема повышения величины вакуумметрического давления при разжатии стенок сосковой резины (переход к такту «сосание»), приводящая к реверсивному движению молока в доильном аппарате и повышению затрат энергии на процесс машинного доения.

Устранение данного негативного фактора при величине вакуума в доильном аппарате $p_v = 43$ кПа, частоте пульсаций $\chi_{\text{л}} = 60 \text{ мин}^{-1}$, соотношении тактов «сосание»/«сжатие» 60/40 и разовом удое $m_p = 8,7$ кг от коровы снизит энергоемкость процесса машинного доения на 15,3 %.

Список цитированных источников

1. В 2021 году Беларусь произвела 7,8 млн тонн молока и чуть больше половины экспортировала [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dairynews.today/photoreports/v-2021-godu-belarus-proizvela-7-8-mln-tonn-moloka-.html>. — Дата доступа: 23.08.2022.

2. Беларусь в прошлом году поставила молочные продукты в 55 стран мира [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/belarus-v-proshlom-godu-postavila-molochnye-produkty-v-55-stran-mira-485283-2022> . — Дата доступа: 23.08.2022.
3. Куда движется белорусский молочный экспорт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dairynews.today/news/kuda-dvizhetsya-belorusskiy-molochnyy-eksport.html> . — Дата доступа: 23.08.2022.
4. Китиков, В. О. Стратегическое направление развития машинного доения коров / В. О. Китиков, А. Н. Леонов // Вести нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. — 2013. — № 4. — С. 91—104.
5. Китиков, В. О. Концепция создания физиологически щадящего процесса машинного доения коров / В. О. Китиков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. — 2017. — № 1. — С. 126—131.
6. Тенденция развития молочного рынка в мире и Беларуси [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/beloe-zoloto-moloko.html> . — Дата доступа: 20.06.2022.
7. Яловой, Д. И. Обоснование конструктивно-режимных параметров доильного аппарата непрерывного доения : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Д. И. Яловой. — Воронеж, 2017. — 175 л.
8. Устройство для доения коров : пат. 2556910 Рос. Федерация, МПК А01J 5/04 (2006.01) / А. А. Андрианов [и др.] ; заявитель Воронеж. ГАУ ; опубл. 20.07.2015.
9. Щукин, С. И. Обоснование параметров исполнительных механизмов доильного аппарата попарного действия : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С. И. Щукин ; Моск. гос. агроинженер. ун-т им. В. П. Горячкина. — М., 2006. — 20 с.
10. Скворцов, В. П. Обоснование параметров и режимов работы исполнительных органов доильного аппарата : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В. П. Скворцов. — зерноград, 2005. — 186 л.
11. Макаровская, З. В. Технологические основы повышения эффективности работы доильных аппаратов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / З. В. Макаровская ; Оренбург. гос. аграр. ун-т. — Оренбург, 2004. — 43 с.
12. Китун, А. В. Машины и оборудование в животноводстве : учебник / А. В. Китун, В. И. Передня, Н. Н. Романюк. — Минск : БГАТУ, 2019. — С. 261—270.
13. Доильный стакан : пат. 22689 Респ. Беларусь, МПК А 01J5/08 / С. Н. Бондарев [и др.] ; заявитель Белорус. гос. аграр. тех. ун-т. — № 20180057 ; заявл. 14.02.2018 ; опубл. 02.07.2019 // Офиц. бюлл. / Нац. центр интелект. собственности. — 2019. — № 4. — С. 50.
14. Бондарев, С. Н. Влияние изменения вакуумметрического давления в доильном стакане на энергоемкость процесса машинного доения коров / С. Н. Бондарев, А. В. Китун // Агропанорама. — 2022. — № 4. — С. 7—13.

Поступила в редакцию 11.10.2022.