

## РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ВАКУУММЕТРИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

С.Н. Бондарев,

*ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ*

А.В. Китун,

*профессор каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

*В статье представлены результаты проведенных экспериментальных исследований и производственной апробации по определению рациональных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов, изменяющих вакуумметрическое давление в доильном аппарате.*

*Ключевые слова: машинное доение, энергоемкость, доильный стакан, молоко, шлюзовые каналы, потребная мощность, производительность, производственная апробация.*

*The results of experimental studies and industrial approbation to determine the rational values of the design parameters of the sluice channels that change the vacuum pressure in the milking machine are presented in the article.*

*Key words: machine milking, energy intensity, milking cup, milk, sluice channels, required capacity, productivity, production approbation.*

### Введение

Анализ энергопотребления по отраслям сельского хозяйства показывает, что отрасль животноводства является одним из основных потребителей энергии в сельском хозяйстве, на долю которого приходится 17 – 21 % общих энергозатрат. Более 50 % от них приходится на фермы для содержания крупного рогатого скота, где одним из основных потребителей энергии является процесс машинного доения [1].

Машинное доение – это сложный процесс получения молока от коров и сбора его в молокоприемную емкость, который оказывает влияние на удельные затраты, качество и количество получаемого молока, а также на продуктивность и здоровье животного [2].

Одной из причин высоких удельных затрат на производство молока и снижение продуктивности коров является непропорциональное распределение вакуумметрического давления в доильном стакане при доении коровы. При разжати стенок сосковой резины доильного стакана происходит повышение вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана, приводящее к реверсивному движению молока из коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов, на повторную транспортировку которого дополнительно затрачивается энергия. Также при реверсивном движении молока из коллектора в подсосковые камеры доильных стаканов происходит омывание сосков вымени коровы выдоенным молоком, приводящее к повышению риска заболеваемости животного маститом [3, 4].

Таким образом, поиск решений, исключающих реверсивное движение молока при доении коровы доильным аппаратом, а, следовательно, и снижение удельной энергоемкости процесса машинного доения

и риска заболеваемости коров маститом, является актуальной задачей.

### Основная часть

Исключить реверсивное движение молока в доильном аппарате возможно снижением величины вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана во время такта «сжатие».

Решить поставленную задачу можно поступлением воздуха во время такта «сжатие» из межстенной камеры в подсосковую через шлюзовые каналы, выполненные в стенке сосковой резины и открывающиеся при ее сжатии. В этом случае вакуумметрическое давление в подсосковой камере доильного стакана станет меньше, чем в коллекторе доильного аппарата. За счет образовавшейся разницы давлений выдоенное молоко из подсосковой камеры по молочной трубке будет вытесняться в коллектор и далее в молокопровод, без каких-либо затрат энергии [4].

При такте «сосание» вакуумметрическое давление в подсосковой камере и коллекторе выровняется, а, следовательно, стенки шлюзового канала смыкаются и процесс доения коровы не нарушается.

Для создания эффективной работы доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением необходимо определить оптимальные параметры шлюзовых каналов.

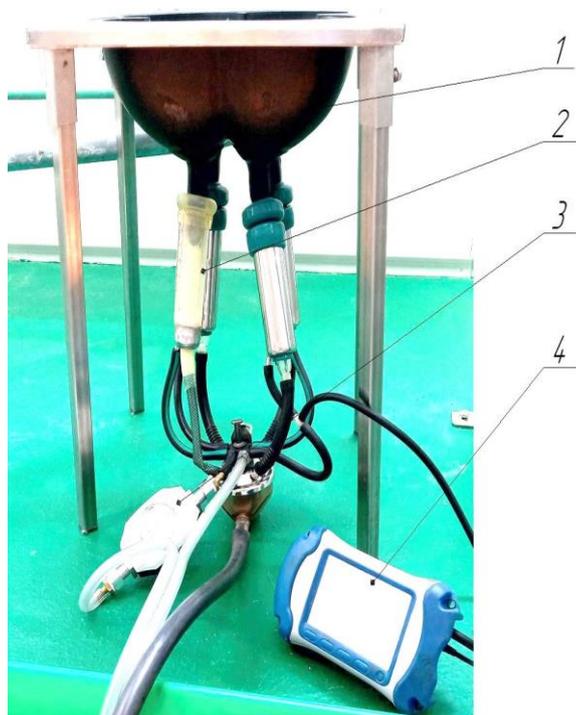
С этой целью были выделены и определены наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на энергоемкость процесса машинного доения коров доильным аппаратом, в сосковой резине доильных стаканов которого выполнены шлюзовые каналы (табл. 1).

Для определения оптимальных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов проводились экспериментальные исследования на доиль-

**Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов при проведении экспериментальных исследований**

| Наименование фактора  | Кодированное обозначение | Натуральное обозначение | Интервалы варьирования | Уровни варьирования |    |    |
|---|--------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|----|----|
|   |                          |                         |                        | -1                  | 0  | +1 |
| 1. Высота расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины, мм | $X_1$                    | $h_{шл}$                | 25                     | 40                  | 65 | 90 |
| 2. Длина шлюзовых каналов, мм   | $X_2$                    | $l_{шл}$                | 5                      | 8                   | 13 | 18 |
| 3. Количество шлюзовых каналов, шт.   | $X_3$                    | $n_{шл}$                | 1                      | 1                   | 2  | 3  |

ной установке Westfalia (рис. 1) с использованием искусственного вымени, экспериментального доильного аппарата, газового счетчика РБГУГ2,5А и тестера VPR – 100.



**Рисунок 1. Экспериментальный доильный аппарат с изменяемым вакуумметрическим давлением: 1 – искусственное вымя; 2 – доильный стакан с изменяемым вакуумметрическим давлением; 3 – газовый счетчик РБГУ Г2,5А; 4 – тестер VPR-100**

Для проведения экспериментальных исследований использовался доильный стакан (рис. 2), состоящий из гильзы 1 и сосковой резины 2, в стенке которой выполнены шлюзовые каналы 3 различной длины ( $l_{шл}$ ), высотой расположения относительно присоска ( $h_{шл}$ ) и их количеством ( $n_{шл}$ ), согласно значениям параметров, представленных в таблице 1.

Так как шлюзовые каналы, выполненные в стенках сосковой резины доильного стакана, обеспечива-

ют поступление воздуха из межстенной камеры в подсосковую, во время такта «сжатие» для исключения реверсивного движения молока и снижения затрат энергии на процесс машинного доения, при проведении экспериментальных исследований, согласно матрице планирования трехфакторного эксперимента, определялась энергоёмкость процесса машинного доения следующим образом:

1. Подключали газовый счетчик РБГ У Г2,5А в месте соединения шланга пульсатора с вакуумным распределителем и тестер VPR-100 (рис. 1).

2. Включалась вакуумная установка, заранее прогретая в течение одного часа.

3. В искусственное вымя заливался заменитель молока массой  $m_{зм}=8,7$  кг, с помощью которого имитировалась молокоотдача коровы.

4. Экспериментальные доильные стаканы надевались на соски искусственного вымени при работающей вакуумной установке, и с помощью секундомера замерялось время  $t_в$ , затрачиваемое на выдаивание заменителя молока.

5. Выключалась вакуумная установка и определялся расход воздуха в доильном аппарате согласно показаниям газового счетчика по формуле

$$Q_в = \frac{(V_т - V_п)}{t_в}, \quad (1)$$

где  $V_т$  – текущее показание газового счетчика,  $м^3$ ;  
 $V_п$  – предыдущее показание газового счетчика,  $м^3$ ;  
 $t_в$  – время, затрачиваемое на выдаивание заменителя молока, с.

6. Определялся расход заменителя молока в процессе машинного доения по формуле

$$Q_{зм} = \frac{m_{зм}}{\rho_{зм} t_в}, \quad (2)$$

где  $m_{зм}$  – масса заменителя молока,  $m_{зм}=8,7$  кг;  
 $\rho_{зм}$  – плотность заменителя молока,  $\rho_{зм}=1000$  кг/ $м^3$ .

7. Производительность лабораторной доильной установки определялась по формуле

$$Q_{эксп} = \frac{3,6m_{зм}}{(t_{зм} + t_{пз})}, \quad (3)$$

где  $t_{зм}$  – продолжительность выдаивания заменителя молока, с;

$t_{пз}$  – продолжительность подготовительно-заключительных операций, с.

8. Определялось значение энергоёмкости процесса машинного доения с учетом формул (1)...(3)

$$\mathcal{E}_4 = \left[ \frac{p_в \left( \frac{(V_п - V_т)}{t_в} + \frac{m_{зм}}{\rho_{зм} t_в} \right)}{1000 \eta_н} + N_{тр1} \right] \frac{(t_{зм} + t_{пз})}{3,6m_{зм}}, \quad (4)$$

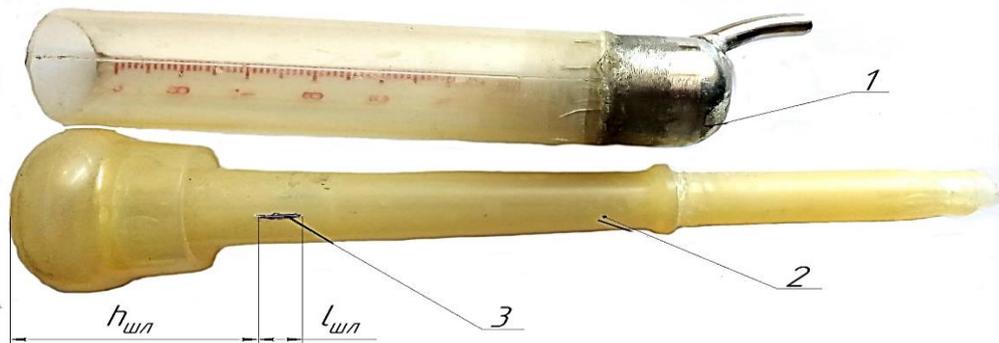


Рисунок 2. Устройство экспериментального доильного стакана: 1 – гильза доильного стакана; 2 – сосковая резина; 3 – шлюзовой канал

где  $p_v$  – вакуумметрическое давление в экспериментальной доильной установке,  $p_v=40000$  Па;

$\eta_n$  – коэффициент полезного действия вакуумного насоса,  $\eta_n=0,48$ ;

$N_{тр1}$  – потребляемая мощность на транспортировку молока из доильного аппарата в молокоприемник доильной установки, кВт.

Результаты определения энергоёмкости процесса машинного доения с трехкратной повторностью представлены в таблице 2.

После обработки полученных результатов, согласно методике проведения экспериментальных исследований [5], было получено уравнение регрессии второго порядка в закодированном и раскодированном виде:

$$Y = 2,883 - 0,0979X_1 - 0,0911X_2 + 0,1782X_1^2 + 0,1489X_2^2 + 0,1410X_3^2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Theta_4 = & 6,150 - 0,0409h_{шл} - 0,173l_{шл} - \\ & - 0,564n_{шл} + 0,000285h_{шл}^2 + \\ & + 0,00595l_{шл}^2 + 0,141n_{шл}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Для анализа полученного уравнения регрессии (6) построены поверхности отклика, представленные на рисунках 3...5.

Обобщенный анализ поверхностей отклика, представленных на рисунках 3...5, показал, что в зависимости от высоты расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины ( $h_{шл}$ ), суммарной длины шлюзовых каналов ( $l_{шл}$ ) и количества шлюзовых каналов ( $n_{шл}$ ), энергоёмкость процесса машинного доения ( $\Theta_4$ ) находится в пределах 2,856...3,54 кВт·ч/т.

Установлено, что при значениях конструктивных параметров шлюзовых каналов  $h_{шл}=72$  мм;  $l_{шл}=15$  мм;  $n_{шл}=2$  шт., энергоёмкость процесса машинного доения снизится с 3,35 до 3,036 кВт·ч/т при вакуумметрическом давлении в доильном аппарате  $p_v=40$  кПа; частоте пульсаций  $\chi_{л}=62$  мин<sup>-1</sup> и соотношении тактов «сосание» и «сжатие» 60/40, соответствующих технической характеристике доильной установки Westfalia, на которой проводились экспериментальные исследования.

Реализация результатов исследования доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением проводилась в производственных условиях на МТФ в ОАО УКХ «ММЗ» «Светлая Нива» Пуховичского района Минской области.

При производственной апробации доильного аппарата с изменяемым давлением в производственных условиях были отобраны две контрольные группы

**Таблица 2. Результаты измерений энергоёмкости процесса машинного доения при проведении трехфакторного эксперимента по матрице планирования второго порядка**

|    | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_{cp}$ | $S^2$  | $Y_p$ |
|----|-------|-------|-------|----------|--------|-------|
| 1  | 3,210 | 3,110 | 3,680 | 3,33     | 0,0926 | 3,167 |
| 2  | 3,470 | 3,210 | 3,110 | 3,26     | 0,0345 | 2,962 |
| 3  | 3,100 | 3,110 | 3,060 | 3,09     | 0,0007 | 2,976 |
| 4  | 2,390 | 2,960 | 2,690 | 2,68     | 0,0813 | 2,789 |
| 5  | 2,760 | 3,500 | 3,200 | 3,15     | 0,1385 | 3,083 |
| 6  | 2,890 | 2,980 | 2,610 | 2,83     | 0,0372 | 2,878 |
| 7  | 2,750 | 2,860 | 3,150 | 2,92     | 0,0427 | 2,892 |
| 8  | 2,840 | 2,710 | 3,360 | 2,97     | 0,1183 | 2,705 |
| 9  | 2,960 | 2,650 | 2,580 | 2,73     | 0,0409 | 2,753 |
| 10 | 2,920 | 2,720 | 2,990 | 2,88     | 0,0196 | 3,135 |
| 11 | 2,650 | 2,590 | 2,610 | 2,62     | 0,0009 | 2,897 |
| 12 | 2,540 | 2,910 | 2,760 | 2,74     | 0,0346 | 2,864 |
| 13 | 2,480 | 3,060 | 2,470 | 2,67     | 0,1141 | 2,643 |
| 14 | 2,490 | 2,950 | 2,590 | 2,68     | 0,0585 | 2,804 |
| 15 | 2,420 | 2,650 | 3,050 | 2,71     | 0,1016 | 2,702 |

животных по 10 коров в каждой, с одинаковой среднегодовой продуктивностью. Машинное доение первой контрольной группы производилось серийным доильным аппаратом, а второй контрольной группы – доильным аппаратом с изменяемым вакуумметрическим давлением.

Кроме того, в процессе производственной апробации доильного аппарата проводились измерения величины вакуумметрического давления, частоты пульсаций, расхода воздуха, времени машинного доения и параметров работы пульсатора согласно ISO 3918:2007, ISO 5707: 2007 и ГОСТ 34496–2018 [6-8].

Результаты производственной апробации представлены в таблице 3.

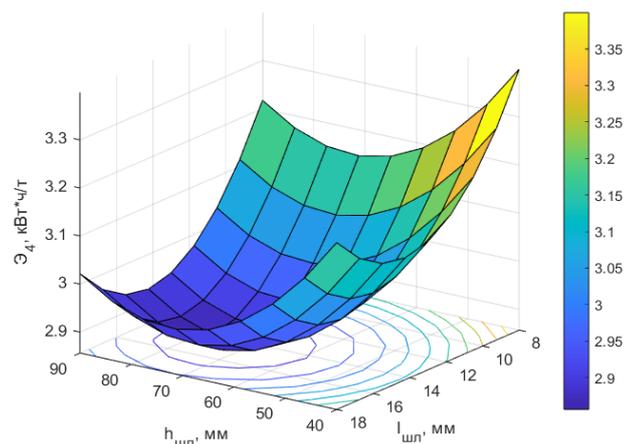


Рисунок 3. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения ( $\mathcal{E}_d$ ) от высоты расположения ( $h_{шл}$ ) и суммарной длины ( $l_{шл}$ ) шлюзовых каналов

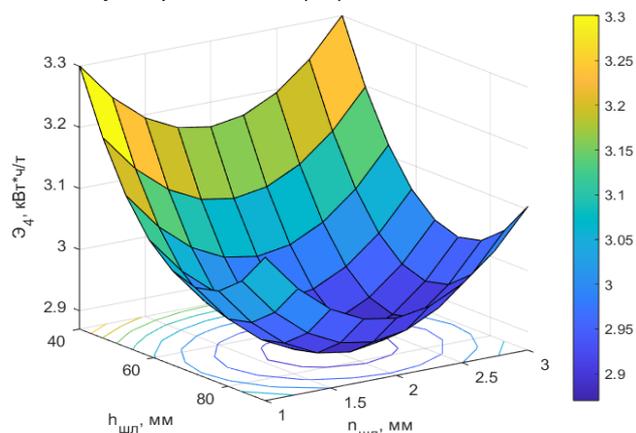


Рисунок 4. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения ( $\mathcal{E}_d$ ) от высоты расположения ( $h_{шл}$ ) и количества ( $n_{шл}$ ) шлюзовых каналов

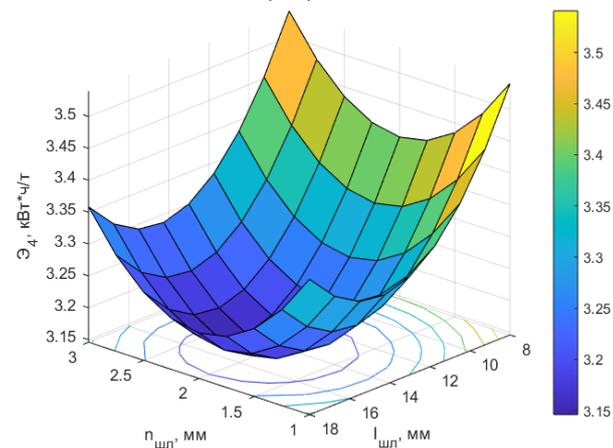


Рисунок 5. Зависимость энергоёмкости процесса машинного доения ( $\mathcal{E}_d$ ) от количества ( $n_{шл}$ ) и суммарной длины ( $l_{шл}$ ) шлюзовых каналов

Проанализировав данные таблицы 3, установлено, что удельная энергоёмкость процесса машинного доения доильным аппаратом с изменяемым вакуум-

метрическим давлением на 9,3 % меньше, чем у серийного доильного аппарата.

Расчет экономической эффективности применения доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением проведен согласно ТКП 151-2008 «Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» [9] (табл. 4).

Коэффициент снижения энергоёмкости процесса машинного доения животных определен по формуле [10]

$$K_e = \frac{E_{п2}}{E_{п1}} = \frac{2,485}{2,741} = 0,907, \quad (7)$$

где  $E_{п1}$  – удельные затраты энергии на процесс машинного доения сравниваемого доильного аппарата, кВт·ч/т;

$E_{п2}$  – удельные затраты энергии на процесс машинного доения доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением, кВт·ч/т.

Основным критерием энергетической эффективности исследуемого процесса является уровень интенсификации, который определен по формуле [10]

$$I_e = (1 - K_e) \cdot 100 = (1 - 0,907) \cdot 100 = 9,3 \%. \quad (8)$$

Годовой экономический эффект на тонну надоя молока составит 0,44 рубля, уровень интенсификации – 9,3 %, срок окупаемости – 0,8 года.

Экономический эффект от использования доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением обеспечивается снижением удельной энергоёмкости процесса машинного доения за счет исключения реверсивного движения молока в доильном аппарате.

### Заключение

1. По результатам проведенных экспериментальных исследований было получено уравнение регрессии, описывающее зависимость изменения удельной энергоёмкости процесса машинного доения коров от конструктивных параметров шлюзовых каналов. Исключение реверсивного движения молока в доильном аппарате будет происходить при следующих параметрах шлюзовых каналов: высота расположения шлюзовых каналов относительно присоска  $h_{шл} = 72$  мм; длина шлюзовых каналов  $l_{шл} = 15$  мм, их количество  $n = 2$  шт. При указанных параметрах шлюзовых каналов удельная энергоёмкость процесса машинного доения на лабораторной доильной установке Westfalia снизилась с 3,35 до 3,036 кВт·ч/т (10,34 %) при вакуумметрическом давлении в доильном аппарате  $p_b = 40$  кПа; частоте пульсаций  $\chi_n = 62$  мин<sup>-1</sup> и соотношении тактов «сосание» и «сжатие» 60/40.

2. Результаты производственной апробации доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением в ОАО УКХ «ММЗ» «Светлая Нива» показали, что годовой экономический эффект от его использования составит 0,44 руб./т (в ценах 2022 г.), а уровень интенсификации – 9,3 %.

**Таблица 3. Результаты производственной апробации доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением**

| Наименование показателя                               | Результаты испытаний      |   |
|---|---------------------------|---|
|   | Серийный доильный аппарат | Доильный аппарат с изменяемым вакуумметрическим давлением |
| Вакуумметрическое давление, кПа                       | 40                        | 40  |
| Частота пульсаций, мин <sup>-1</sup>                  | 60                        | 62  |
| Расход воздуха в доильном аппарате, м <sup>3</sup> /ч | 2,61                      | 2,95  |
| Установленная мощность электродвигателей, кВт         | 7,5                       | 7,5   |
| Средняя годовая продуктивность коров, кг/год          | 5325                      | 5325  |
| Производительность доильной установки, короводоек / ч | 156                       | 165   |
| Энергоемкость процесса машинного доения, кВт·ч/т      | 2,741                     | 2,485   |

**Таблица 4. Основные показатели расчета экономической эффективности использования доильного аппарата с изменяемым вакуумметрическим давлением**

| Показатели                                       | Серийные доильные аппараты | Доильные аппараты с изменяемым вакуумметрическим давлением | +/-    |
|--|----------------------------|--|--------|
| Балансовая стоимость 24 доильных аппаратов, руб. | 8112                       | 8882,8   | +770,8 |
| Годовой расход электроэнергии, кВт·ч             | 5839,7                     | 5292,6   | -547,1 |
| Средние годовые надои молока на ферме, т         | 2130                       | 2130   | -      |
| Годовые эксплуатационные затраты, руб.           | 20156                      | 19229  | -927   |
| Удельные эксплуатационные издержки, руб./т       | 9,46                       | 9,02   | -0,44  |
| Чистый дисконтированный доход, руб.              | 3879,3                     |  |        |
| Срок возврата капитала, лет                      | 0,8                        |  |        |

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мишуров, Н.П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока: науч. издание / Н.П. Мишуров. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – С. 4-5.
2. Китун, А.В. Машины и оборудование в животноводстве: учебн. / А.В. Китун, В.И. Передня, Н.Н. Романюк. – Минск: БГАТУ, 2019. – 504 с.
3. Григорьев, Д.А. Технология машинного доения коров на основе конвергентных принципов управления автоматизированными процессами: монография / Д.А. Григорьев, К.В. Король. – Гродно: ГГАУ, 2017. – 216 с.

4. Доильный стакан: пат. 22689 Респ. Беларусь, МПК А 01J5/08 / С.Н. Бондарев, В.И. Передня, А.В. Китун, Н.Н. Романюк; заявитель Белорусский гос. аграрн. техн. ун-т. – № 20180057, заявл. 14.02.2018; опубл. 02.07.2019 // Офиц. бюл. / Нац. Центр интеллект. собственности. – 2019. – № 4. – С. 50.

5. Леонов, А.Н. Основы научных исследований в примерах и задачах: учебно-методич. пособие / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис; под ред. А.Н. Леонова. – Минск: БГАТУ, 2013. – 136 с.

6. Milking machine installations – Vocabulary: ISO 3918:2007. – 15.02.2007. – Geneva: International Organization for Standardization, 2007. – 42 pp.

7. Milking machine installations – Construction and performance: ISO 5707:2007. – 15.02.2007. – Geneva: International Organization for Standardization, 2007. – 58 pp.

8. Установки и аппараты доильные для коров. Методы испытаний: ГОСТ 34496-2018. – Введ. 01.07.2020. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 49 с.

9. Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей = Выпрабаванне сельскагаспадарчай тэхнікі. Метады эканамічнай ацэнкі. Парадак вызначэння паказчыкаў: ТКП 151–2008 (02150). – Введ. 01.02.2009. – Минск: Минсельхозпрод, 2009. – 20 с.

10. Показатели уровня интенсификации и их определение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/19\\_216284\\_pokazateli-urovnya-intensifikatsii-i-ih-opredelenie.html](https://studopedia.ru/19_216284_pokazateli-urovnya-intensifikatsii-i-ih-opredelenie.html). – Дата доступа: – 18.04.2022.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.09.2022