

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ДОИЛЬНОМ АППАРАТЕ УСТАНОВКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЕНИЯ

С.Н. Бондарев,

*ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции БГАТУ*

А.В. Китун,

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

В статье предложен способ снижения удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока стабилизацией вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана. Представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение рациональных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов при минимальном значении удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока из вымени коровы установкой индивидуального доения.

Ключевые слова: машинное доение, доильный стакан, молоко, шлюзовые каналы, удельная энергоёмкость, экспериментальные исследования.

The article proposes a method of reducing the specific energy intensity of the milking process by stabilizing the vacuum pressure in the suckling chamber of the milking cup. This paper presents the results of experimental studies aimed at determining the rational values of design parameters of sluice channels at the minimum value of specific energy intensity of the process of milking from the cow udder by individual milking unit.

Key words: machine milking, milking cup, milk, sluice channels, specific energy intensity, experimental studies.

Введение

Повышение эффективности процессов молочного животноводства является важной народнохозяйственной задачей, которая поставлена перед агропромышленным комплексом Республики Беларусь.

Несмотря на значительные успехи отечественной молочной отрасли, ей также присущи ряд недостатков, к которым можно отнести высокие удельные затраты на производство молока по сравнению с лучшими мировыми производителями [1, 2].

Одной из причин увеличения энергозатрат на выдаивание молока из вымени коров является обратный отток выдоенного молока из молокоотборной камеры коллектора доильного аппарата по молочной трубке в подсосковую камеру доильного стакана, который возникает по причине скачкообразного увеличения в ней вакуума при разжатии стенок сосковой резины. В результате часть выдоенного молока возвращается в коллектор доильного аппарата, что приводит к дополнительным затратам энергии и времени на процесс машинного доения.

Вопросы стабилизации вакуумметрического давления освещены в работах В.О. Китикова, М.Н. По-

долько, Н.А. Маловского, Ю.В. Бобылева и других, что свидетельствует о значимости данной проблематики.

Анализ научных работ по снижению удельной энергоёмкости процесса машинного доения показал, что нерешенной проблемой остается повышение вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана при разжатии стенок сосковой резины (при переходе от такта «сжатие» к такту «сосание»). Следствием этого является реверсивное движение выдоенного молока из коллектора в подсосковую камеру доильных стаканов.

Для снижения энергозатрат на процесс выдаивания молока предложен способ машинного доения, основанный на выравнивании давлений в подсосковой камере доильного стакана и молокоотборной камере коллектора в момент начала такта «сосание». Его выполнение происходит за счет перетекания воздуха вследствие разности давления в межстенной и подсосковой камере во время такта «сжатие», в результате чего поступающим в подсосковую камеру воздухом происходит выдавливание молока из молочной трубки в коллектор и выравнивание давления в подсосковой камере и коллекторе.

Таким образом, затраты энергии на повторную

транспортировку выдоенного молока в коллектор исключаются и удельная энергоемкость выдаивания молока снижается.

В данном способе машинного доения воздух в подсосковую камеру доильного стакана поступает через шлюзовые каналы, поэтому важно определить их рациональные конструктивные параметры, позволяющие стабилизировать вакуумметрическое давление и снизить удельную энергоемкость процесса доения [3].

Целью данной работы является экспериментальное обоснование рациональных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов, выполненных в стенке сосковой резины доильного стакана.

Основная часть

В ходе предшествующих теоретических исследований установлено, что реверсивное движение молока в доильном аппарате может быть предотвращено при высоте расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины, равной $h_{шл} = 0,04-0,09$ м, и длине шлюзовых каналов $l_{шл} = 0,008-0,018$ м [4-6].

Кроме того, в результате поисковых исследований также установлено, что при большой длине шлюзового канала возможно снижение упругости стенок сосковой резины, что приведет к нарушению процесса работы доильного аппарата. Для исключения снижения упругости стенок сосковой резины целесообразно выполнять в ее стенке несколько шлюзовых каналов. В этой связи третьим фактором для проведения экспериментальных исследований выбрано количество шлюзовых каналов $n_{шл} = 1-3$ шт. Перечисленные значения факторов были выбраны в качестве нижних и верхних интервалов варьирования (табл. 1).

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

Наименование фактора	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
			-1	0	+1
1. Высота расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины, мм	X_1	25	40	65	90
2. Длина шлюзового канала, мм	X_2	5	8	13	18
3. Количество шлюзовых каналов, шт.	X_3	1	1	2	3

Методика проведения экспериментальных исследований

Для определения рациональных значений конструктивных параметров шлюзовых каналов, при которых удельная энергоемкость процесса выдаивания молока будет минимальной, проводились экспериментальные исследования.

С целью обеспечения чистоты эксперимента и достоверности полученных данных целесообразно использовать доильную установку с одним аппаратом, где вакуум, создаваемый вакуумным насосом, используется исключительно для доения и транспортировки молока в емкость для хранения. К таким установкам относятся агрегаты индивидуального доения типа АИД-1 и УИД-1.

В данных экспериментальных исследованиях использовалась установка индивидуального доения УИД-1П 1 (рис. 1) с одним доильным аппаратом.



Рисунок 1. Общий вид установки индивидуального доения УИД-1П с экспериментальным доильным аппаратом:

- 1 – установка индивидуального доения УИД-1П;
- 2 – искусственное вымя; 3 – экспериментальный доильный аппарат; 4 – тестер VPR-100 Delaval;
- 5 – газовый счетчик РБГ У G2,5А

В процессе работы установки УИД-1П создаваемый вакуумным насосом вакуум расходуется на выдаивание молока из вымени коровы одним доильным аппаратом и на его транспортировку по молочному шлангу в доильное ведро.

Для имитации процесса молокоотдачи вымени коровы в искусственное вымя коровы 2 заливалось молоко, выдаивание которого осуществлялось доильным аппаратом 3 установки УИД-1П, содержащим доильные стаканы (рис. 1).

Экспериментальный доильный стакан (рис. 2 а, б) представляет собой конструкцию, состоящую из гильзы 1 и сосковой резины 3. В стенках сосковой резины выполнены шлюзовые каналы 2, которые соединяют межстенную и подсосковую камеры во время такта «сжатие». Воздух из межстенной камеры поступает в подсосковую, что обеспечивает стабилизацию давления при переходе от такта «сжатие» к такту «сосание».

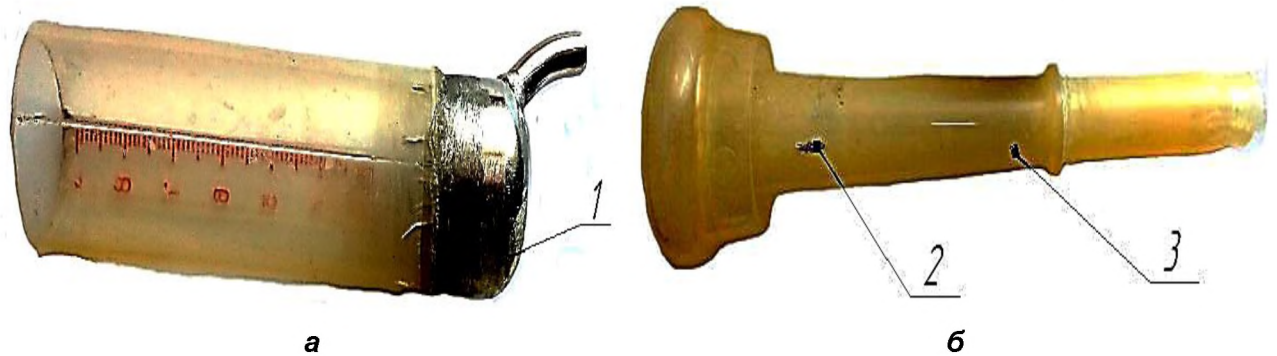


Рисунок 2. Устройство экспериментального доильного стакана: а) гильза доильного стакана; б) сосковая резина со шлюзовыми каналами; 1 – гильза доильного стакана; 2 – шлюзовый канал; 3 – сосковая резина

Для выполнения шлюзовых каналов в стенке сосковой резины (рис. 2) использовались пробойники, с длиной режущей части, равной уровням варьирования – 8 мм, 13 мм и 18 мм (табл. 1).

Шлюзовые каналы в стенке сосковой резины выполнялись следующим образом. В комплектах серийно выпускаемой новой силиконовой (Westfalia Classic Pro) и каучуковой (ДД 00.041 А) сосковой резины 2 пробойником 3 пробивались стенки сосковой резины в вертикальной плоскости (рис. 3). Для предотвращения повреждения противоположной стенки сосковой резины в ее внутренний канал вкладывалась подложка 1. Выполнение шлюзовых каналов осуществлялось согласно конструктивным параметрам, представленным в таблице 1.

Таким образом, в стенке сосковой резины образовывается вертикальный разрез, который при сжатии ее стенок в горизонтальной плоскости деформируется в отверстие эллипсообразной формы, именуемое шлюзовым каналом. Такой шлюзовый канал во время такта «сжатие» будет пропускать воздух из межстенной камеры в подсосковую, а во время такта «сосание» створки шлюзового канала будут смыкаться за счет одинакового давления в камерах доильного стакана и упругости стенок сосковой резины. В результате во время такта «сосание» межстенная камера будет отделяться от подсосковой камеры закрытыми створками шлюзовых каналов, что исключит попадание молока из подсосковой камеры в межстенную.

При выполнении шлюзовых каналов в вертикальной плоскости сила натяжения сосковой резины в гильзе доильного стакана будет действовать параллельно створкам шлюзовых каналов, что исключает воздействие силы натяжения на створки шлюзовых каналов, а следовательно, и предотвращается изменение конструктивных параметров шлюзовых каналов в процессе эксплуатации сосковой резины.

Контроль размеров выполненных шлюзовых каналов осуществлялся с помощью электронного штангенциркуля (рис. 4).

В процессе проведения экспериментальных исследований контроль величины вакуумметрического давления, частоты пульсаций и соотношения тактов в экспериментальном доильном аппарате проводился

тестером VPR-100 Delaval в соответствии с ГОСТ 34496–2018 и ISO 5707–2007 [7, 8]. Для этого



Рисунок 3. Выполнение шлюзовых каналов в стенке сосковой резины доильного стакана: 1– подложка; 2 – сосковая резина; 3 – пробойник

с помощью вакуумных шлангов подсоединялся к шлангам переменного вакуума, которые соединяли пульсатор и межстенные камеры доильных стаканов (рис. 1).

Удельная энергоёмкость процесса выдаивания молока из вымени коровы зависит от расхода воздуха в доильном аппарате со стабилизацией вакуумметрического давления. Для контроля расхода воздуха в доильном аппарате (согласно ГОСТ 34496-2018) [8] использовался газовый счетчик РБГ У G2,5А (рис. 1), который подключался к вакуумному шлангу, соединяющему пульсатор и вакуум-распределитель доильного аппарата (рис. 1), и контролировался расход воздуха в межстенных камерах экспериментального доильного аппарата.

В лабораторных условиях также было проведено исследование, направленное на определение удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока из вымени коровы с использованием экспериментального доильного аппарата УИД-1П.

В ходе эксперимента выполнялись следующие действия:

1. К экспериментальному доильному аппарату подключались газовый счетчик РБГ У G2,5А и тестер VPR-100 (рис. 1).

2. Включалась вакуумная установка, которая предварительно прогревалась в течение одного часа.



а



б



в

Рисунок 4. Экспериментальная сосковая резина со шлюзовыми каналами:

а) $h_{шл} = 40$ мм, $l_{шл} = 8$ мм, $n_{шл} = 2$ шт.; б) $h_{шл} = 65$ мм, $l_{шл} = 13$ мм, $n_{шл} = 1$ шт.;

в) $h_{шл} = 90$ мм, $l_{шл} = 18$ мм, $n_{шл} = 1$ шт.

3. В искусственное вымя заливалось 8,7 кг молока, равное среднему по стране разовому удою молока от коровы.

4. Экспериментальные доильные стаканы надевались на соски искусственного вымени.

5. С помощью секундомера измерялось время, которое потребовалось для выдаивания молока.

Удельная энергоёмкость процесса выдаивания молока с использованием установки индивидуально-доения УИД-1П определялась по формуле:

$$\mathcal{E}_4 = \frac{p_b n_{д.а.} (Q_b + Q_m^{эксп})}{W_{эксп} \eta_n}, \quad (1)$$

где p_b – вакуумметрическое давление в установке УИД-1П во время экспериментальных исследований, Па;

$n_{д.а.}$ – количество доильных аппаратов, шт.;

Q_b – расход воздуха в экспериментальном доильном аппарате, м³/с;

$Q_M^{эксп}$ – расход молока в процессе экспериментальных исследований, м³/с;

$W_{эксп}$ – производительность доильной установки УИД-1П в процессе экспериментальных исследований, кг/с;

η_n – коэффициент полезного действия вакуумно-го насоса.

Результаты определения удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерений при проведении трехфакторного эксперимента

N	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	2,560	2,460	2,930
2	2,720	2,460	2,360
3	2,350	2,360	2,410
4	1,640	2,210	1,940
5	2,110	2,750	2,450
6	2,140	2,230	1,860
7	2,000	2,210	2,400
8	2,220	1,960	2,580
9	2,120	1,900	1,780
10	2,270	1,970	2,340
11	1,900	1,840	1,940
12	1,790	2,160	2,010
13	1,630	2,330	1,720
14	1,740	2,220	1,840
15	1,670	1,740	2,400

После обработки результатов экспериментальных исследований получено трехфакторное ортогонализированное уравнение регрессии второго порядка в закодированном и раскодированном виде:

$$Y = 2,147 - 0,1145X_1 - 0,094X_2 + 0,2204X_1^2 + 0,1505X_2^2 + 0,1471X_3^2; \quad (2)$$

$$\Theta_4 = 5,785 - 0,0504h_{шл} - 0,1753l_{шл} - 0,588n_{шл} + 0,000352h_{шл}^2 + 0,00602l_{шл}^2 + 0,147n_{шл}^2. \quad (3)$$

По результатам полученного трехфакторного ортогонализированного уравнения регрессии второго порядка построены поверхности отклика, представленные на рисунках 5-7.

Анализ поверхности отклика на рисунке 5 показал, что удельная энергоёмкость процесса выдаивания молока (Θ_4) снижается с 2,72 кВт·ч/т до 2,11 кВт·ч/т при длине шлюзовых каналов $l_{шл} = 14$ мм и высоте их расположения относительно присоска сосковой резины $h_{шл} = 71$ мм.

Анализ поверхности отклика, представленный на рисунке 6, показал, что минимальная удельная энергоёмкость процесса выдаивания молока составит: $\Theta_4 = 2,13$ кВт·ч/т при высоте расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины $h_{шл} = 71$ мм и их количестве $n_{шл} = 2$ шт.

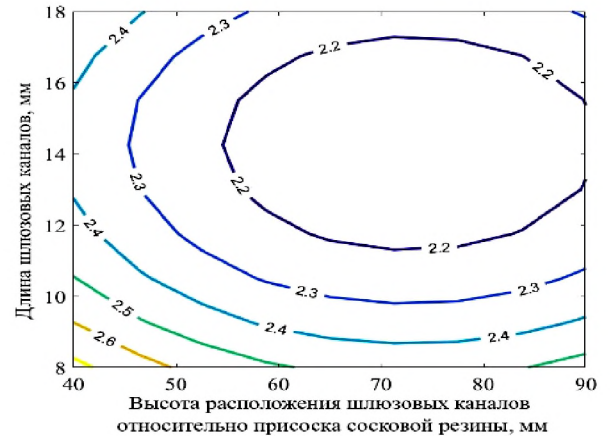


Рисунок 5. Линии равного уровня для зависимости удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока (Θ_4) от высоты расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины ($h_{шл}$) и длины шлюзовых каналов ($l_{шл}$)

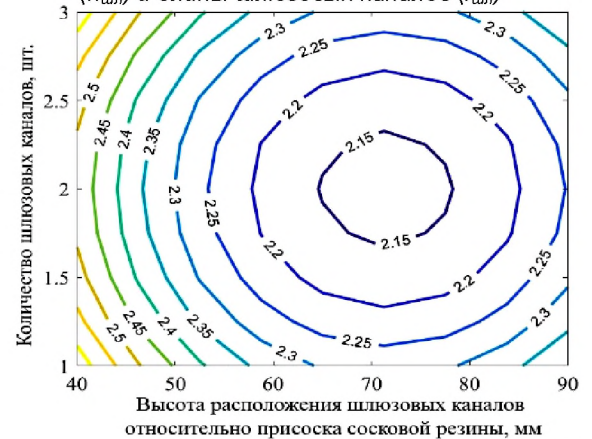


Рисунок 6. Линии равного уровня для зависимости удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока (Θ_4) от высоты расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины ($h_{шл}$) и количества шлюзовых каналов ($n_{шл}$)

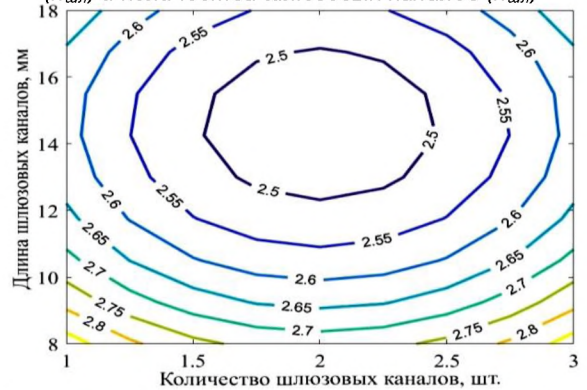


Рисунок 7. Линии равного уровня для зависимости удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока (Θ_4) от количества ($n_{шл}$) и длины шлюзовых каналов ($l_{шл}$)

В результате анализа поверхности отклика на рисунке 7 установлено, что удельная энергоёмкость процесса выдаивания молока будет наименьшей

($\Theta_4 = 2,46$ кВт·ч/т) при длине шлюзовых каналов $l_{\text{шл}} = 14,25$ мм и их количестве $n_{\text{шл}} = 2$ шт.

При увеличении конструктивных параметров шлюзовых каналов выше указанных значений, происходит увеличение удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока из-за повышения расхода воздуха через шлюзовые каналы, на откачку которого затрачивается энергия.

Так как все смешанные коэффициенты уравнения (2) незначимы, то минимальное значение критерия оптимизации определялось по формуле [9, с. 110]:

$$Y_{\text{min}} = b_0 + \sum_{r=1}^k b_r X_{r \text{ рац}} + \sum_{r=1}^k b_r (X_{r \text{ рац}}^2 - \lambda_k) = 2,32 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}, \quad (4)$$

где b_0, b_r – коэффициенты уравнения регрессии;

k – количество факторов;

r – текущий номер фактора;

$X_{r \text{ рац}}$ – рациональное значение исследуемого фактора в закодированном виде;

λ_k – ортогонализирующий коэффициент квадратичного члена $X_{r \text{ рац}}^2$ в уравнении регрессии второго порядка.

В результате выполнения в стенке сосковой резины доильного стакана шлюзовых каналов с конструктивными параметрами $h_{\text{шл}} = 72$ мм; $l_{\text{шл}} = 15$ мм; $n_{\text{шл}} = 2$ шт. минимальная удельная энергоёмкость процесса выдаивания молока установкой индивидуального доения УИД-1П составила 2,32 кВт·ч/т.

Заключение

1. Для снижения удельной энергоёмкости процесса выдаивания молока из вымени коровы предложен новый способ машинного доения, основанный на стабилизации вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана при переходе от такта «сжатие» к такту «сосание».

2. Реализовать данный способ машинного доения возможно за счет поступления воздуха из межстенной камеры в подсосковую во время такта «сжатие» через шлюзовые каналы, выполненные в стенке сосковой резины доильного стакана, обеспечивая при этом стабилизацию вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана при переходе от такта «сжатие» к такту «сосание».

3. В результате проведенных экспериментальных исследований обоснованы рациональные значения конструктивных параметров шлюзовых каналов, выполненных в стенке сосковой резины доильного стакана установки индивидуального доения УИД-1П:

- высота расположения шлюзовых каналов относительно присоска сосковой резины $h_{\text{шл}} = 72$ мм;
- длина шлюзовых каналов $l_{\text{шл}} = 15$ мм;
- количество шлюзовых каналов $n_{\text{шл}} = 2$ шт.

При указанных значениях конструктивных параметров шлюзовых каналов, а также вакуумметрическом давлении в доильном аппарате $p_{\text{д.а.}} = -40000$ Па, частоте пульсаций $\chi_{\text{дл}} = 60$ мин⁻¹, соотношении тактов «сосание» и «сжатие» 60/40 минимальная удельная энергоёмкость процесса выдаивания молока равна 2,318 кВт·ч/т.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Китиков, В.О. Стратегическое направление развития машинного доения коров / В.О. Китиков, А.Н. Леонов // Вести национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2013. – № 4. – С. 91-104.
2. Китиков, В.О. Концепция создания физиологически шадящего процесса машинного доения коров / В.О. Китиков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1. – С. 126-131.
3. Патент ВУ 24052, МПК А 01J 5/08 / Способ машинного доения животного: № а 20210279: заявлено 22.09.2021: опубл. 30.04.2023 /С.Н. Бондарев, А.В. Китун, Н.Н. Романюк; заявитель Белорусский гос. аграрн. техн. ун-т.
4. Бондарев, С.Н. Определение расхода воздуха для снижения вакуумметрического давления в доильном аппарате / С.Н. Бондарев, А.В. Китун // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24-25 ноября 2022 г. / Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск, 2022. – С. 603-606.
5. Бондарев, С.Н. К вопросу исключения реверсивного движения молока в доильном аппарате / С.Н. Бондарев, А.В. Китун // Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., г. Курск, 26 мая 2022 г.: в 2 ч. / Курская гос. с-х. акад. им. И.И. Иванова; редкол.: А.В. Мусьял [и др.]. – Курск, 2022. – С. 29-33.
6. Определение оптимальных конструктивных параметров шлюзовых каналов доильного аппарата / С.Н. Бондарев, А.В. Китун, В.И. Передня [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 24-25 октября 2019 г.: в 2 ч. / Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: И.Н. Шило [и др.]. – Минск, 2019. – Ч. 1. – С. 204-206.
7. Milking machine installations – Construction and performance: ISO 5707:2007. – Введ. 15.02.2007. – Geneva: International Organization for Standardization, 2007. – 58 с.
8. Установки и аппараты доильные для коров. Методы испытаний: ГОСТ 34496-2018; введ. 01.07.2020. – М.: Стандартинформ, 2019. – 49 с.
9. Леонов, А.Н. Основы научных исследований в примерах и задачах: учебно-методическое пособие / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис; под ред. А.Н. Леонова. – Минск: БГАТУ, 2013. – 136 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.11.2024