

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АПК

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АПК /
ECONOMY AND ORGANIZATION OF AGRICULTURAL ENGINEERING SYSTEMS

УДК 637.115

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-39-43

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

КИРСАНОВ ВЛАДИМИР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: kirvv2014@mail.ru

ПАВКИН ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ, канд. техн. наук¹

E-mail: dimqaqa@mail.ru,

РУЗИН СЕМЁН СЕРГЕЕВИЧ, младший научный сотрудник¹

E-mail: ruzin.s.s@yandex.ru

ЦЫМБАЛ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ²

E-mail: cimbalandrey@mail.ru

¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; 109028, Российская Федерация, г. Москва, Покровский бульвар, дом 11

В данной работе проведена технико-экономическая оценка с учётом капитализации двух систем доения: доильного робота и доильной установки УДА-16А на примере хозяйства с содержанием 240 голов дойного стада. Описаны преимущества и недостатки данных систем доения. В результате сравнительной оценки установлено, что при доении с помощью УДА-16А недополученная прибыль по сравнению с роботом за счёт повышения качества молока составит 2,16 млн руб., затраты на лечение мастита – 63 тыс. руб., потери продукции у переболевших животных – 0,81 млн руб. Но при всех своих достоинствах, включающих качественную подготовку животного к доению и почетвертное доение, повышающих качество молока, доильные роботы за свой срок эксплуатации не окупают капиталовложений в отличие от доильного зала. Предложена альтернативная система доения в доильных залах для установок типа «Ёлочка», включающая автоматизированные доильные модули с почетвертным управлением процессом доения, позволяющая получить дополнительную прибыль около 7,95 млн руб. по сравнению с доильным залом без почетвертного доения или более, чем вдвое сократить капиталовложения по сравнению с доением в роботах.

Ключевые слова: технико-экономическая оценка, автоматизированные системы доения, роботизированное доение, доильный робот, капитализация, окупаемость, «Ёлочка».

Формат цитирования: Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Рузин С.С., Цымбал А.А. Сравнительная технико-экономическая оценка автоматизированных и роботизированных доильных установок // Агроинженерия. 2020. № 3(97). С. 39-43. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-39-43.

COMPARATIVE TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF AUTOMATED AND ROBOTIZED MILKING PLANTS

VLADIMIR V. KIRSANOV, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: kirvv2014@mail.ru

DMITRY YU. PAVKIN, PhD (Eng)¹

E-mail: dimqaqa@mail.ru

SEMEN S. RUZIN¹

E-mail: ruzin.s.s@yandex.ru

ANDREY A. TSYMBAL²

E-mail: cimbalandrey@mail.ru

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str, 5

² National Research University – Higher School of Economics; 109028, Russian Federation, Moscow, Pokrovsky Boulevard, 11

In this work, a feasibility study was carried out taking into account the capitalization of two milking systems: a milking robot and a UDA-16A milking unit as exemplified by a holding with 240 heads of dairy cows. The authors have outlined advantages and disadvantages of these milking systems. As a result of a comparative assessment, it has been found that when milking with UDA-16A, lost profits will amount to 2.16 million rubles as compared to the robotic system due to the improved milk quality, the cost of treating mastitis is 63 thousand rubles, production losses in recovered animals – 0.81 million rubles. But with all its merits, including high-quality preparation of animals for milking and the quarterly milking method increasing the quality of milk, milking robots do not pay back their investments during their lifetime as contracted to a milking parlor. The authors propose an alternative milking system in milking parlors for “herringbone”-type plants, including automated milking modules with quarterly control of the milking process, which ensures an additional profit of about 7.95 million rubles as compared to a milking parlor without quarterly milking, or more than halving the investment as compared to robotic milking.

Key words: technical and economic assessment, automated milking systems, robotic milking, milking robot, capitalization, payback, “herringbone” milking plant.

For citation: Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Ruzin S.S., Tsybmal A.A. Comparative technical and economic assessment of automated and robotized milking plants // *Agricultural Engineering*, 2020; 3(97): 39-43. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-39-43.

Введение. В последнее время на отечественных фермах стали применять роботизированные установки. Мнение экспертов разделились, одни оставляют доильным роботам нишу небольших фермерских хозяйств от 50 до 250 голов, другие прогнозируют их использование на крупных и средних фермах 600, 800 и более голов [1]. В России уже работают фермы с 32 и более роботами [2]. Используются как правило однокорпусные модели фирм *Lely*, *DeLaval* и реже многокорпусные (до 5 корпусов) *GEA Farm*. Вместе с тем уже созданы роботизированные «Карусели», где одновременно используется до 80 роботизированных манипуляторов («Карусель» *GEA Farm*), установленных в каждом доильном стойле. Концепт роботизированной «Карусели», представленной фирмой *DeLaval*, использует 3...5 роботов, работающих на подключение, и ещё один робот-спрей, установленный на выходе установки для обработки сосков вымени. Профессор Шлейтцер сравнил капиталоемкость использования роботов и доильных залов и пришёл к выводу о том, что доение в «боксах» (роботах) существенно дороже [3].

Цель исследований – провести сравнительную технико-экономическую оценку автоматизированных и роботизированных доильных установок для отечественных условий.

Материал и методы. При сравнительной оценке доения в «боксах», предусматривавшего использование 4 роботов фирмы *Lely*, и доильного зала, обслуживаемого доильной установкой типа «Ёлочка» 2 × 8 УДА-16А, расчёт производился на 240 голов дойного стада.

Результаты и обсуждение. В первом варианте (доение в «боксах») дойка стада обеспечивается 4 роботами *Lely*, стоимостью 12 млн руб. каждый (итого 48 млн руб.).

Во втором варианте учитывался доильный зал с установкой типа «Ёлочка» 2 × 8, обслуживаемый одним оператором. Производительность доильного зала типа УДА-16А с автоматизированными манипуляторами, по данным Подольской МИС, составляет 78 гол./ч [4].

Стоимость комплекта оборудования с системой идентификации, электронными счётчиками-датчиками и др. порядка 5,5...6 млн руб. Продолжительность доения стада порядка 3 часов (240:78). При двукратном доении – 6 часов. Возможна обеденная дойка 1,5 часа с поддоем новотельных коров, что в сумме составляет порядка 8 часов в сутки. Таким образом, может справиться один оператор, но потребуется сменный оператор, который будет работать либо по смещённому графику, либо через сутки. Доильную установку можно расположить в коровнике, оградив облегчёнными конструкциями.

Таким образом, общая капитализация, при эксплуатации доильного зала с УДА-16А, с учётом доильной ямы и ограждения, составит порядка 7,5...8 млн руб. Дополнительно затраты на зарплату двух операторов доения (40 тыс. руб./мес на оператора, с учётом налогов) и сервис (250...300 тыс. руб./год) [5].

Итого капитализация доильного зала составит:

$$K_{д.з.} = Ц_{д.у.} + З_{т.о.} + З_{з.п.} + З_{эл.} \quad (1)$$

Рассчитаем затраты на весь срок службы, полагая его равным 10 лет.

$$K_{д.з.}^{\Sigma} = Ц_{д.у.} + З_{т.о.} \cdot t_{сл} + З_{з.п.} \cdot t_{сл} + З_{эл.} \cdot t_{сл}, \quad (2)$$

где $Ц_{д.у.}$ – стоимость доильной установки, млн руб.; $З_{т.о.}$ – затраты на сервис, млн руб.; $З_{з.п.}$ – заработная плата работников, млн руб./мес. (0,08 млн руб. /мес.); $З_{эл.}$ – затраты на электроэнергию, руб.; $t_{сл}$ – срок службы, лет.

$$K_{д.з.}^{\Sigma} = 8 + 0,3 \cdot 10 + 0,08 \cdot 12 \cdot 10 = 20,6 \text{ млн руб.}$$

Проведём аналогичные расчёты по роботам:

$$K_{д.р.}^{\Sigma} = 4 \cdot Ц_{д.р.} + 4 \cdot З_{т.о.} \cdot t_{сл} + 3_{з.п.} \cdot t_{сл} + З_{эл.} \cdot t_{сл}, \quad (3)$$

где $Ц_{д.р.}$ – стоимость доильного робота, млн руб.

$$K_{д.р.}^{\Sigma} = 4 \cdot 12 + 4 \cdot 0,3 \cdot 10 + 0 = 60 \text{ млн руб.}$$

Полагая, что затраты на вспомогательный персонал, электроэнергию и др. будут примерно одинаковыми,

определим разницу в капитализации доильных установок:

$$\Delta K_{\text{д.у.}} = K_{\text{д.р.}}^{\Sigma} - K_{\text{д.з.}}^{\Sigma} = 60 - 20,6 = 39,4 \text{ млн руб.}$$

Компенсировать разницу в капитализации почти 40 млн руб. возможно качеством молока и снижением затрат на лечение маститов и связанную с ним потерю продукции.

В роботах осуществляется качественная обработка сосков вымени и режим почетвертного доения, минимизирующий возможность заболевания животных маститом по причине «сухого» доения [6].

Предположим, что на роботизированной ферме уровень заболеваемости составит 5%, а на автоматизированной 20%. Тогда дополнительные затраты на лечение мастита при доении животных на автоматизированных доильных установках составляет:

$$Z_{\text{доп.м.}}^A = 0,15 \cdot N_{\text{пог.}} \cdot Z_{\text{уд.л.}} \quad (4)$$

где $N_{\text{пог.}}$ – количество коров, гол. ($N_{\text{пог.}} = 240$); 0,15 – коэффициент, учитывающий заболеваемость маститом; $Z_{\text{уд.л.}}$ – удельные затраты на лечение 1 коровы, тыс. руб./гол.

$$Z_{\text{доп.м.}}^A = 0,15 \cdot 240 \cdot Z_{\text{уд.л.}} = 36 \cdot Z_{\text{уд.л.}}$$

Потери продукции, связанные с лечением, ориентировочно составят:

$$\Pi_{\text{пр.}} = 0,15 \cdot N_{\text{пог.}} \cdot M_{\text{год.ср.}} \cdot (0,15 \dots 0,20), \quad (5)$$

где $M_{\text{год.ср.}}$ – средний годовой надой на одну корову, л (примем 6000 л); 0,15...0,20 – коэффициент снижения продуктивности у переболевших животных.

Цена недополученной из-за болезней животного продукции может быть определена по выражению:

$$\Pi_{\text{пр.}} = \Pi_{\text{пр.}} \cdot \Pi_{\text{ч.м.}}, \quad (6)$$

где $\Pi_{\text{ч.м.}}$ – средняя закупочная цена 1 л молока, руб./л (примем 25 руб./л) [7].

При оценке ущерба от мастита стоит отметить такие факторы, как преждевременная выбраковка животных и затраты на воспроизводство стада. Эти параметры нельзя достоверно смоделировать без статистической выборки от-при переходе от одной к другой из выбранных систем доения в нашей стране.

Дополнительной прибылью на доильных роботах может быть наценка за более высокую сортность молока, которое по статистике выше, чем в доильных залах.

По оценкам экспертов, при дойке роботами количество молока высшего сорта может больше на 25...30%, чем в доильных залах [8].

Разница в цене 1 л молока высшего и первого сорта может составлять 5...7 руб. [9]. Тогда, при дойке роботами дополнительная прибыль от реализации продукции может составить:

$$Q_{\text{доп.м.}} = (0,25 \dots 0,30) \cdot M_{\text{год.ср.}} \cdot N_{\text{пог.}} \cdot \Delta \Pi_{\text{ч.м.}}, \quad (7)$$

где $\Delta \Pi_{\text{ч.м.}}$ – наценка за литр молока высшего сорта, руб./л (5...7 руб./л); 0,25...0,30 – коэффициент, учитывающий больший процент молока высшего сорта.

Таким образом, сравнивая недостатки доильных залов (дополнительные потери) и достоинства доильных роботов

можно приблизительно рассчитать «компенсационную» составляющую большей капитализации доильных роботов по сравнению с доильными залами. В данном случае это будет дополнительной прибылью от реализации продукции:

$$\Delta \Pi_{\text{м.}} = [Q_{\text{доп.м.}} + 0,15 \cdot N_{\text{пог.}} \cdot Z_{\text{уд.л.}} + 0,0225 \cdot N_{\text{пог.}} \cdot \Pi_{\text{ч.м.}} \cdot M_{\text{год.ср.}}] \cdot t_{\text{ст.}} \quad (8)$$

Подставим выражение (7) в выражение (8) и получим:

$$\Delta \Pi_{\text{м.}} = \left[0,25 \cdot M_{\text{год.ср.}} \cdot N_{\text{пог.}} \cdot \Delta \Pi_{\text{ч.м.}} + 0,15 \cdot N_{\text{пог.}} \times \right. \\ \left. \times Z_{\text{уд.л.}} + 0,0225 \cdot N_{\text{пог.}} \cdot \Pi_{\text{ч.м.}} \cdot M_{\text{год.ср.}} \right] \cdot t_{\text{ст.}} \quad (9)$$

Примем затраты на лечение одной коровы $Z_{\text{уд.л.}} = 1500 \dots 2000$ руб. Подставив все данные в выражение (9), получим:

$$\Delta \Pi_{\text{м.}} = \left[0,25 \cdot 6000 \cdot 240 \cdot 6 + 0,15 \cdot 240 \times \right. \\ \left. \times 1750 + 0,0225 \cdot 240 \cdot 25 \cdot 6000 \right] \cdot 10 \approx 30,3 \text{ млн руб.} \quad (10)$$

Таким образом, сравнительная оценка эксплуатации доильных залов и роботов показывает, что:

- дополнительная прибыль от повышения качества молока составит 2,16 млн руб.;
- затраты на лечение мастита – 63 тыс. руб.;
- ущерб от потери продукции у переболевших животных 0,81 млн руб.

Прибыль, млн руб.
Profit, million rubles

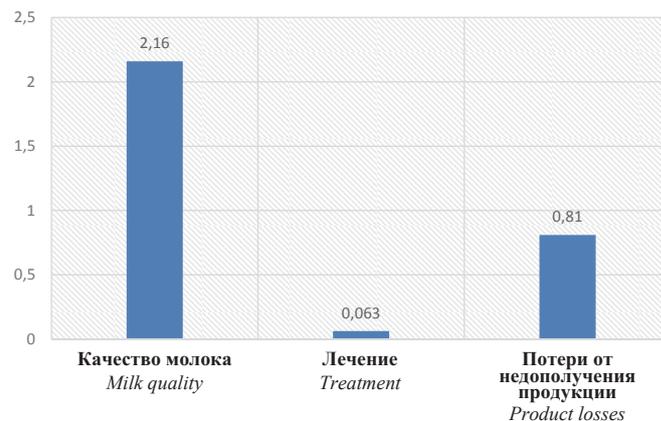


Рис. 1. Прибыль при эксплуатации доильного робота

Fig.1. Profit from the use of a milking robot

Наибольший вклад в дополнительную прибыль от эксплуатации роботов вносит снижение потерь продукции от заболевших животных и качество молока.

По сравнению с доильным залом отечественного производства для установок типа «Ёлочка», применение роботов за весь срок службы (10 лет) прибыли не принесёт, а скорее всего, из-за высокой начальной стоимости, будет убыточна.

Первоначальная разница в капитализации (порядка 40 млн руб.) может быть компенсирована в течение 13 лет.

Можно предложить два сценария:

- 1) переход на доение роботами отечественной конструкции и производства стоимостью не более 5...6 млн руб.
- 2) модернизация доильных установок для доения в залах с переходом на почетвертное доение.

В последнем случае можно будет ожидать результата при доении роботами, поскольку снижаются потери продукции и повышается качество молока [10].

Авторами разработан автоматизированный доильный модуль с почетвертным управлением процессом доения и апробирован на молочной ферме РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.



Рис. 2. Автоматизированный доильный модуль с почетвертным управлением процессом доения:

- 1 – блок управления доением;
- 2 – полуавтоматический манипулятор доения;
- 3 – блок учёта молока почетвертной;
- 4 – блок клапанов управления;
- 5 – пульт ручного управления манипулятором

Fig. 2. Automated milking module with quarterly milking process control:

- 1 – a milking control unit;
- 2 – a semi-automatic manipulator of milking;
- 3 – a quarterly milk metering unit; 4 – a control valve block;
- 5 – a remote control manual manipulator

Капитализация разработанного автоматизированного доильного модуля с почетвертным управлением процессом доения при установке в доильные залы с установками типа УДА-16А составит приблизительно 27,8 млн руб. за срок эксплуатации, при учёте стоимости одного модуля 300 тыс. руб. и увеличении затрат на обслуживание до 15 тыс. руб. на модуль в год по сравнению с обычным

Библиографический список

1. Винницки С., Романюк В., Юговар Е, Артс И, Савиных П.А. Эффективность применения доильных роботов на фермах крупного рогатого скота // Вестник Марийского государственного университета. 2014. № 1(13). С. 28-35.
2. Тимошенко В., Музыка А., Москалев А. Доильные роботы: от маленькой фермы до большого комплекса // Белорусское сельское хозяйство. 2015. № 8(160). С. 64-67.
3. Шляйтцер Г. Кому бокс, а кому и карусель? // Новое сельское хозяйство. 2011. № 6. С. 46-51.
4. Протокол № 20-55-85 Государственных приёмочных испытаний автоматизированной доильной установки «Ёлочка» УДА-16А. Подольская МИС. Климовск, 1985.

доильным залом. Их установка по сравнению с роботами позволит снизить затраты более чем на 32 млн руб., что равносильно полученной прибыли, а по сравнению с обычными доильными залами обеспечить получение прибыли в размере 7,95 млн руб.



Рис. 3. Апробация автоматизированного доильного модуля с почетвертным управлением процессом доения на ферме РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Fig. 3. Testing of an automated milking module with quarterly control of the milking process on the study farm of Russian Timiryazev State Agrarian University

Выводы

1. Доильные роботы за свой срок эксплуатации (10 лет) не окупают капиталовложений в отличие от доильного зала, если не учитывать субсидирование государством.
2. Первоначальная разница в капитализации доильного робота и доильной установки (порядка 40 млн руб.) может быть компенсирована в течение 13 лет.
3. Разработанный автоматизированный доильный модуль с почетвертным управлением процессом доения при использовании его в доильном зале для установок типа «Ёлочка» позволяет получить дополнительную прибыль в размере 7,95 млн руб. по сравнению с доильным залом без почетвертного доения или более, чем вдвое сократить капиталовложения по сравнению с доением в роботах.

References

1. Vinnitski S., Romanyuk V., Yugovar Ye., Arts I, Savinykh P.A. Effektivnost' primeneniya doil'nykh robotov na fermakh krupnogo rogatogo skota [Effectiveness of milking robots in cattle farms]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014; 1(13): 28-35. (In Rus.)
2. Timoshenko V., Muzyka A., Moskalev A. Doil'niye roboty: ot malen'koy fermy do bol'shogo kompleksa [Milking robots: from a small farm to large facilities]. *Belorusskoye sel'skoye khozyaystvo*, 2015; 8(160): 64-67. (In Rus.)
3. Shlyaitser G. Komu boks, a komu i karusel'? [A box for some, and a carousel for others?]. *Novoye sel'skoye khozyaystvo*, 2011; 6: 46-51. (In Rus.)

5. ГОСТ Р 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. М.: Стандартинформ, 2009. 20 с.

6. Решетка М.Б., Коба И.С. Профилактика маститов у дойных коров на промышленных фермах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 10(132). С. 58-62.

7. О ценах на молоко в России в 2012-2020 гг., данные на февраль 2020 года. URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/dairy-farming/o-tsenakh-na-moloko-v-rossii-v-2012-2020-gg-dannye-na-fevral-2020-goda.html> (Дата обращения 05.05.2020).

8. Кормановский Л.П., Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Никитин Е.А., Рузин С.С. Приоритетные направления роботизации процессов на молочных фермах // Техника и оборудование для села. 2018. № 12. С. 26-29.

9. Закупочные цены на сырое молоко в РФ приблизились к историческому максимуму. URL: <https://agrovesti.net/news/indst/zakupochnye-tseny-na-syroe-moloko-v-rf-priblizilis-k-istoricheskomu-maksimumu.html> (Дата обращения 05.05.2020).

10. Иванов Ю.А., Кормановский Л.П., Цой Ю.А., Кирсанов В.В. Направления исследований при создании автоматизированных и роботизированных модулей доения коров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 3(31). С. 15-19.

4. Protokol № 20-55-85 Gosudarstvennykh priyomochnykh ispytaniy avtomatizirovannoy doil'noy ustanovki "Elochka" UDA-16A [Protocol No. 20-55-85 State acceptance tests of the automated milking machine "Elochka" UDA-16A]. Podol'skaya MIS. Klimovsk, 1985. (In Rus.)

5. GOST R53056-2008 Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya. Metody ekonomicheskoy otsenki [Farm machinery. Economic assessment methods]. Moscow, Standartinform, 2009: 20. (In Rus.)

6. Reshetka M.B., Koba I.S. Profilaktika mastitov u promyshlennykh fermakh [Prevention of mastitis in dairy cows on industrial farms]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015; 10(132): 58-62. (In Rus.)

7. O tsenakh na moloko v Rossii v 2012-2020 gg., Dannye na fevral' 2020 goda [About milk prices in Russia in 2012-2020, data for February 2020]. URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/dairy-farming/o-tsenakh-na-moloko-v-rossii-v-2012-2020-gg-dannye-na-fevral-2020-goda.html> (Access date 05.05.2020). (In Rus.)

8. Kormanovskiy L.P., Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Nikitin Ye.A., Ruzin S.S. Prioritetnyye napravleniya robotizatsii protsessov na molochnykh fermakh [Priority areas of robotization of processes on dairy farms]. *Tekhnika i oborudovaniya dlya sela*, 2018; 12: 26-29. (In Rus.)

9. Zakupochnyye tseny na syroye moloko v RF priblizilis' k istoricheskomu maksimumu [Purchasing prices for raw milk in Russia approached the recorded maximum]. URL: <https://agrovesti.net/news/indst/zakupochnye-tseny-na-syroe-moloko-v-rf-priblizilis-k-istoricheskomu-maksimumu.html> (Access date 05.05.2020). (In Rus.)

10. Ivanov Yu.A., Kormanovskiy L.P., Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V. Napravleniya issledovaniy pri sozdaniy avtomatizirovannykh i robotizirovannykh moduley do korov [Research directions when designing automated and robotic modules for cow milking]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*, 2018; 3(31): 15-19. (In Rus.)

Критерии авторства

Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Рузин С.С., Цымбал А.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Рузин С.С., Цымбал А.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 06.05.2020

Опубликована 29.06.2020

Contribution

V.V. Kirsanov, D. Yu. Pavkin, S.S. Ruzin, A.A. Tsybmal carried out the experimental work, summarized the material based on the experimental results, and wrote the manuscript. V.V. Kirsanov, D. Yu. Pavkin, S.S. Ruzin, A.A. Tsybmal have equal author's rights and bearequal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on May 6, 2020

Published 29.06.2020