

2. Каверзнева, Г. Об ограниченном применении ультрамалообъемного опрыскивания пестицидами в США / Г. Каверзнева // Защита растений от вредителей и болезней, серия 16. – 1979. – № 8. – С. 55.

3. Лаврентьев, М. А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: ФизМатГиз, 1973. – 416 с.

УДК 631.171:637.11

Поступила в редакцию 01.11.2022

Received 01.11.2022

И. И. Гируцкий¹, С. И. Немирович¹, В. К. Клыбик²

¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Nemirovich_S_I@mail.ru

² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Аннотация. В статье приведено сравнение доильных залов с доильным роботом, а также сделана оценка их экономической эффективности для Республики Беларусь.

Ключевые слова: доильный робот, оценка, коровы, карусель, елочка, тандем, параллель.

I. I. Girutsky¹, S. I. Nemirovich¹, V. K. Klybik²

¹ EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: Nemirovich_S_I@mail.ru

² RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF MILKING ROBOTS

Abstract. The article presents a comparison of milking parlors with a milking robot, as well as an assessment of their economic efficiency for the Republic of Belarus.

Keywords: milking robots, evaluation, cows, carousel, herringbone, tandem, parallel.

Введение

Беспривязное содержание коров и компьютеризированные системы управления стали основой развития молочного скотоводства Республики Беларусь. Притом особую важность приобретает вопрос выбора доильного оборудования, основанного на максимально объективном анализе, без рекламных предложений фирм-производителей. В настоящее время не только в странах с высококоразвитым молочным скотоводством (Нидерланды, Германия и др.), но и в России и Беларуси высокими темпами внедряются доильные роботы (automatic milking system, AMS). Использование роботов для доения коров способствует возникновению практически новой технологии, основная суть которой заключается в самообслуживании животного [1]. Доильная робототехника применяется в малых, средних и крупных по численности персонала организациях, в отличие от Западной Европы, где она в основном используется на фермах семейного типа. Появление доильных роботов на молочно-товарных фермах является результатом многолетних исследований зарубежных фирм по замене высокооплачиваемых операторов машинного доения (с годовой зарплатой 24–36 тыс. долл.) программно-техническими средствами. Так исследования показали экономию затрат физического труда при роботизированном доении от 30 % до 40 % по сравнению с обычными системами доения [2].

В настоящее время в мире установлены десятки тысяч доильных роботов, оценка объемов этого рынка составляет порядка \$1.9 млрд. Как ожидается, в 2023 году объем рынка установленных роботизированных установок для доения вырастет до \$8 млрд [3]. В Беларуси многие хозяйства также приобрели доильные роботы, и накоплен определенный опыт их эксплуатации. Роботы имеют серьезный минус – они дорого стоят, начальные инвестиции и их сервисное обслуживание по сравнению с доильным залом существенно выше. Среди социальных причин использования роботов доминирует стремление снизить кадровые риски и дефицит кадров. Среди экономических причин – в первую очередь возможность увеличения продуктивности коров за счет увеличения кратности доения и улучшение качества молока и сохранение здоровья животных. Если в условиях развитых стран доильные роботы окупаются уже за счет сокращения высокооплачиваемого персонала, то для Беларуси важно выявить и проанализировать положительные технологические факторы внедрения роботизации. Поэтому актуальной задачей является разработка многопараметрической модели сравнительной оценки эффективности доильных роботов и доильных залов. Методика такого анализа предполагает определение существенных факторов влияния на доение, связанных с внедрением роботов, и их достоверную оценку.

Основная часть

В настоящее время молочно-товарные комплексы Республики Беларусь оснащаются доильными залами и роботами разных конструкций и производителей.

Доильный зал «Параллель» предназначен для автоматизированного доения стада на крупных фермах и поставляется в различных вариантах технического оснащения с количеством мест доения от 2×4 до 2×24, а при необходимости и большим количеством доильных мест.

Доильные залы «Елочка» – классический вариант залов доения для современного молочного хозяйства, в течение десятилетий доказывающий свою прочность и эффективность благодаря преимуществам индивидуального оснащения доильного места и отличной пропускной способности. Пропускная способность доильного зала «Елочка» зависит от времени доения коровы, которое обычно составляет от 7 до 15 минут, из этого производительность одного места будет 4–8 коров в час. Оператору, как и в доильном зале «Параллель», приходится подходить к каждой корове и надевать доильные стаканы.

Доильный зал «Карусель», предназначенный для автоматизированного доения стада, который может обслуживать от 180 до 600 голов в час. Количество доильных мест от 30 до 100. Для обслуживания доильного зала необходимо минимум 2 человека. Для повышения пропускной способности установки для доильного зала «Карусель» необходимо подбирать коров с равным временем доения. С этим хорошо справляется интеллектуальное управление по подбору коров. Средняя производительность – одно место обслуживает 6 коров. Преимуществом доильного зала «Карусель» является то, что оператор, надевающий доильные стаканы на вымя коровы, стоит на месте и к нему поочередно подъезжают коровы.

Использование роботов для доения коров способствует возникновению практически новой технологии, основная суть которой заключается в самообслуживании животного. Она оставляет корове право на свободу выбора срока и частоты посещений доильного бокса. Исследования показывают, что животные достаточно быстро привыкают к доению роботом и самостоятельно посещают доильный бокс. За первые 7–10 дней 70 % коров самостоятельно начинают доиться роботом. При этом увеличивается частота доений животных (у высокопродуктивных коров — до четырех и более раз в сутки), что благотворно сказывается на здоровье вымени и способствует повышению продуктивности до 15 %. [1]. Необходимо учитывать сложность проведения подобных хозяйственных опытов. Кроме того, и в доильных залах реализуется трехразовое доение. Также робот работает круглосуточно, что позволяет коровам самим решать, в какое время они хотят доиться. После доения каждой коровы цепь доения полностью стерилизуется, что приводит к повышению качества молока. Практически во всех роботах реализуется доение и определение мастита по четвертям. Это обеспечивает раннее диагностирование проблемной четверти вымени коровы, при этом утилизируется только часть молока, а не весь разовый надой.

Четкое выполнение всех необходимых операций с соблюдением санитарных норм в подготовительный период и во время дойки, отсутствие травм и воспалений вымени позволяют сохранить

качество молока практически на уровне естественной микрофлоры. На фермах, где установлены роботы, обстановка более спокойная, достигается самый высокий уровень комфорта для коров, что также способствует росту продуктивности.

Не всех коров можно доить роботами. Некоторые животные (5–10 %), несмотря на тренировку, не приходят на доение. Кроме того, неправильно или плохо развитое вымя и искривленные соски приводят к тому, что устройство не может надеть на них доильные стаканы. Правда, уже существуют и такие роботы, которые надевают доильные стаканы на соски даже с отклонением 45 %. Главным препятствием их широкого применения являются значительные затраты на приобретение и сервисное обслуживание. И, например, в СПК «Снов» специалисты планируют отказаться от использования доильных роботов после их амортизации.

Сложность сравнительной оценки доильного оборудования заключается в зависимости его эффективности от многих факторов. Поэтому, на наш взгляд, компьютерное моделирование может стать полезным инструментом для обоснованного выбора доильного оборудования для конкретного производства. Исходя из анализа литературы и практического опыта примем следующие базовые параметры [4, 5] при создании компьютерной модели оценки эффективности доильного оборудования.

Рассчитаем общую стоимость установок:

$$K = BC + k \cdot C_k,$$

где K – капиталовложения, руб., BC – базовая стоимость установки, руб., k – количество коров, шт., C_k – цена одной коровы, руб.

Цена доильного робота по данным производителя составила 406 000 руб., а одного места доильного зала «Елочка» – 28600 руб.

Исходя из сложившейся практики в животноводстве, число лактаций примерно составляет 2,5 раза. Поскольку программа не предусматривает собственное разведение коров, при сравнительном расчёте необходимо предусмотреть закупку партии новых коров.

Учитывая особенности робота, имеющего 2 доильных места, при котором каждое доильное место максимум может обслужить 100 коров, принимаем стадо 200 голов, поскольку можно сравнивать только схожие объекты при равных условиях. Цена коровы принималась средней из обзора рынка стоимости коров, к коровам для робота были повышенные требования, что сказалось на средней цене. Она составила 1100 руб., а закупочная цена для доильных залов составила 1000 руб.

Подставляем данные в формулу капиталовложений, и получаем, что стоимость робота с коровами составила 480600 руб., а доильного зала «Елочка» – 466800 руб. В этой стоимости учтена повторная покупка коров.

Из данных по обслуживанию взято значение отчислений за сервисное обслуживание доильных установок, и она составила 4% от стоимости установки.

$$C_o = C \cdot 0,04,$$

где C – цена робота; C_o – сервисное обслуживание.

Сервисное обслуживание робота составило 16240 руб., а доильного зала 1072 руб.

Амортизационные отчисления, исходя из норм Республики Беларусь по доильным установкам, составляют 11% от капиталовложений.

$$A = K \cdot 0,11.$$

Амортизационные отчисления составили для доильного робота 93060 руб., а для доильной установки 51348 руб.

После обзора предприятий, где уже имеются доильные роботы и доильные залы, количество доений в сутки для робота составило 2,8, а в доильных залах 2 раза, и количество дней доения в год составляет 304. Молокоотдача с одной коровы составляет ориентировочно для доения роботом 20 л/день, а для доильного зала составило примерно 19 л/день.

Количество молока, которое будут давать коровы, рассчитаем по следующей формуле:

$$M = k \cdot m \cdot T,$$

где M – количество молока в год; k – количество коров; m – количество молока в день; T – количество дней доения в году.

Для доильного робота количество составило 1216 т/год, а для доильного зала – 1155 т/год.

Стоимость 1 кг комбикорма составила 0,6 руб., подогрев воды – 1,74 руб./м³.

Затраты на корма:

$$Z_k = \frac{M \cdot ЧЕЛ}{ЭО} \cdot C_k \cdot k \cdot d,$$

где $ЧЕЛ$ – продуктивность, МДж/кг; $ЭО$ – содержание ЭО в 1 кг комбикорма, МДж/кг; C_k – стоимость 1 кг комбикорма, руб.; $k \cdot d$ – доля комбикорма в стоимости рациона.

Для обслуживания стада в 200 голов для робота затраты на корма составили 664 тыс. руб., а для доильного зала – 634 тыс. руб.

Для расчета санитарной обработки применялись следующие стоимостные показатели: стоимость моющих средств – 2 руб., стоимость подогрева воды 1,74 руб./м³.

Затраты на санобработку:

$$Z_c = (P_g \cdot C_m \cdot K_g \cdot 0,01 + P_g \cdot C_{ng} / 1000) \cdot k,$$

где P_g – расходы воды на 1 корову, л; C_m – стоимость моющих веществ, руб.; K_g – концентрация веществ в растворе; C_{ng} – стоимость подогрева воды, руб./м³.

Для робота затраты на санитарную обработку составили 1365 руб., а для доильного зала 1638 руб.

Затраты на техобслуживание:

$$Z_{mo} = k \cdot ЭЭ \cdot k_m,$$

где $ЭЭ$ – расходы электроэнергии на 1 корову, кВт·ч; k_m – коэффициент затрат на техобслуживание.

Для робота затраты на техобслуживание – 5665 руб., а для доильного зала – 2654 руб.

Заработная плата рабочим зависит только от количества выдаиваемого молока. Но заработная плата в этом случае для оператора, управляющего роботом, уменьшится в 8 раз, т. к. он должен следить за 8 роботами:

$$ЗП = (M / 100 \cdot 0,7).$$

Для робота заработная плата 1 работника составила 10,5 тыс. руб./год, а для доильного зала – 25 тыс. руб./год.

Общие расходы:

$$P = ЗП + Z_{mo} + Z_c + Z_k + A + C_o.$$

Для робота общие расходы составили 768 тыс. руб./год, а для доильного зала – 667 тыс. руб./год.

Доход от продажи молока:

$$D = (P \cdot C_m),$$

где C_m – стоимость молока 0,85 руб./л для робота и 0,8 руб./л для доильного зала.

Цена молока качества «Люкс» составляет 0,85 руб./л, а «Экстра» – 0,8 руб. Молоко, полученное с помощью робота, отличается меньшим количеством бактерий на 1 литр. Робот проводит качественную очистку вымени перед доением и после доения, а также обрабатывает стаканы паром при каждом использовании. Из-за этого количество микроорганизмов в молоке уменьшается, и молоко получается более высокого качества по сравнению с доильным залом, где эта функция выполняется человеком. Также уменьшается количество маститных коров и предотвращается распространение болезней по коровнику. Доильный робот анализируют полученное молоко, и, если оно не подходит по критериям, сливает в отдельную емкость.

Для робота доход составил 10334 тыс. руб. в год, а для доильного зала – 924 тыс. руб. в год.
Чистая прибыль:

$$ЧП = P - Д.$$

Для робота чистая прибыль составила 242 тыс. руб. в год, а для доильного зала 208 тыс. руб. в год.

Срок окупаемости:

$$T_o = K / ЧП.$$

Для доильного робота срок окупаемости составил 3,5 года, а для доильного зала 2,2 года.

Для наглядного сравнения роботов и доильных залов была построена компьютерная модель с использованием электронных таблиц (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент многопараметрической компьютерной модели сравнительной оценки доильных залов и роботов

	робот	«Елочка»	«Тандем»	«Карусель»	«Параллель»
Требуемые первоначальные вложения, бел. руб.	846000	466800	453400	476180	472160
Стоимость установки, бел. руб.	406000	26800	13400	36180	32160
Количество доильных мест	2	2×14	2×4	16	2×14
Количество операторов, чел	1	2	3	2	2
Потребление электроэнергии на 1 корову в год, кВт/ч	111	52	67	78	54
Среднее время доения одной коровы, мин	12	10	10	10	10
Число доений, раз в день	2–3	2	2	2	2
Расход воды на корову, л/год	1825	2190	2340	2200	2200
Стресс при дойке		есть	есть	есть	есть
Затраты на санитарную обработку, бел. руб.	1365,1	1638,12	1750,32	1645,6	1645,6
Амортизация, бел. руб.	93060	51348	49874	52379,8	51937,6
Затраты на обслуживание одной коров, бел. руб.	5665,44	2654,08	3419,68	3981,12	2756,16
Сервисное обслуживание, бел. руб.	16240	1072	536	1447,2	1286,4
Количество молока в год, л	1216000	1155200	1155200	1155200	1155200
Затраты на обслуживание установки в год, бел. руб.	791130	715712	714580	718453	716625
Стоимость молока, бел. руб./год	1033600	924160	1039680	1039680	1039680
Чистая прибыль, бел. руб./год	242469	208447	325100	321226	323054

Существенное влияние на срок окупаемости доильного оборудования оказывает цена молока (рис. 1). Но для европейских государств на срок окупаемости также влияет заработная плата рабочих.

Из графика следует, что в нынешних условиях срок окупаемости доильных залов примерно в 1,6 раза ниже, чем доильных роботов.

По данным ведущих белорусских и российских ученых, одним из основных ключевых факторов, влияющих на эффективность производства молока, является продолжительность продуктивной жизни животных. Для Беларуси продолжительность продуктивной жизни составляет в среднем 2,5–2,8 лактации.

Имеются литературные данные, что роботизированное доение увеличивает продолжительность продуктивной жизни животных до 3,8–4 лактации. Поэтому в рамках разработанной компьютерной модели исследовано влияние числа лактаций дойных коров на срок окупаемости доильного оборудования (рис. 2).

Доильные роботы снижают уровень стресса животных и могут получить дополнительную прибыль, благодаря соблюдению технологии улучшается здоровье животных. Но для подтверждения этого требуется проведение многолетних исследований в условия действующих молочно-товарных комплексов.

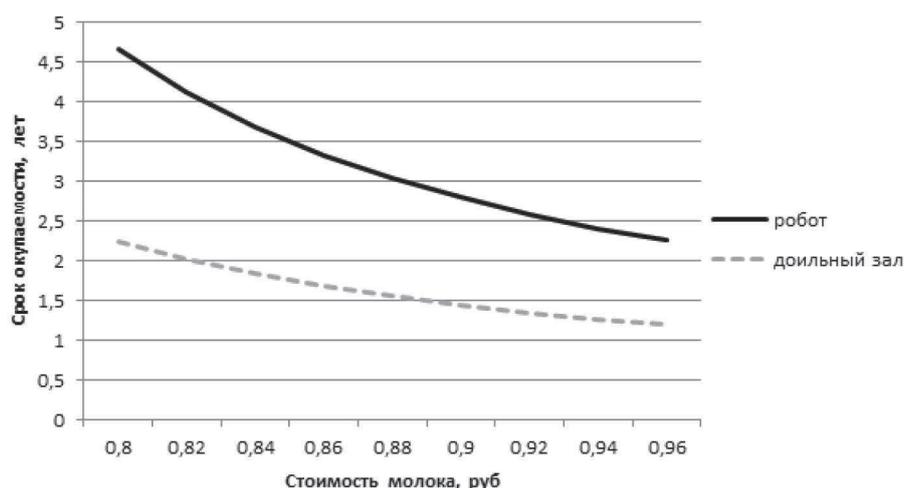


Рис 1. Зависимость срока окупаемости доильного робота и зала от цены на молоко

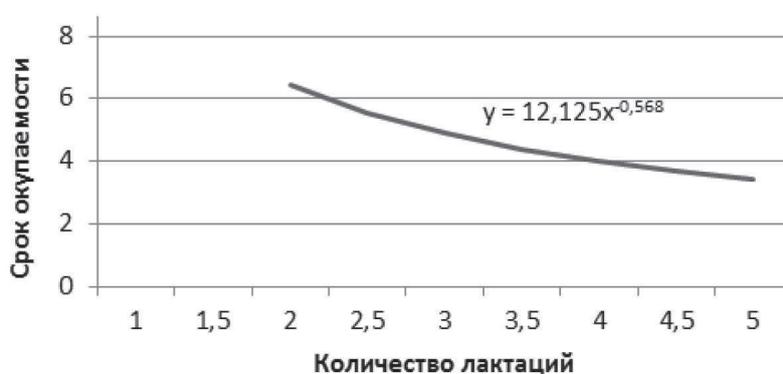


Рис 2. Зависимость срока окупаемости доильного робота от продолжительности использования коровы

Заключение

В качестве положительной стороны доильного робота следует отметить, что доильное место работает круглосуточно, благодаря чему обеспечивается обслуживание в 2–3 раза больше коров в сравнении с одним местом доильного зала. Некоторые пользователи отмечали, что роботизированное оборудование благотворно влияет на продолжительность продуктивной жизни животных и способствует увеличению числа лактаций с 2,5–2,8 до 3,8–4. Проведенное моделирование показало, что показатели являются актуальными значениями, но требуют дополнительного подтверждения в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь.

Отрицательной стороной робота является его стоимость, потребность в высококвалифицированном сервисном обслуживании и увеличение срока окупаемости почти в 1,6 раза в сравнении с доильными залами.

Учитывая, что доильные роботы являются инновационным оборудованием, содержащим современные программно-технические решения, их эффективное использование предполагает увеличение первоначальных капиталовложений и высококвалифицированную подготовку обслуживающего персонала. В то же время и доильные залы по своим характеристикам должны приближаться к роботам, включая возможность доения и определения мастита по четвертям вымени, улучшение санобработки вымени и доильного оборудования, оперативное определение массы коров и т.д. По существу, в доильных залах в первую очередь необходимо реализовать все передовые решения, заложенные в роботы, за исключением надевания стаканов, что на первоначальном этапе можно оставить за оператором, а затем осуществить постепенный переход к роботизированным «Каруселям».

Список использованных источников

1. Казаровец, Н. В. Технично-экономическое обоснование применения автоматизированных систем доения (доильных роботов) в Республике Беларусь / Н. В. Казаровец, А. А. Тимошенко, А. А. Музыка // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Междунар. научно-практич. конф., Минск, 14–15 апреля 2011 г.: В 2 ч. Ч. 1. – Минск: БГАТУ, 2011. – С. 21–26.
2. Применение доильных роботов в регионе / Е. А. Скворцов [и др.] // Экономика региона. – 2017. – Т. 13, вып. 1. – С. 249–260.
3. К 2023 году в мире объем рынка установленных доильных роботов вырастет до \$8 млрд [Электронный ресурс] // RoboNews. – Режим доступа: <https://robonews.su/20572-K-2023-godu-v-mire-ob-em-rynka-ustanovlennyh-doil-nyh-robotov-vyragastet-do-8-mlrd.html>. – Дата доступа: 18.10.2022.
4. Сравнительная оценка доильных установок [Электронный ресурс] // Библиотека по животноводству. – Режим доступа: <http://animalialib.ru/books/item/f00/s00/z0000041/st060.shtml> – Дата доступа: 18.10.2022.
5. Экономика сельского хозяйства : учебник для СПО / под ред. Н. Я. Коваленко. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 406 с. – (Серия : Профессиональное образование).

УДК 636.2:636.034:004

Поступила в редакцию 31.10.2022

Received 31.10.2022

И. И. Гируцкий¹, Ю. А. Ракевич¹, В. К. Клыбик²

¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: gir_50@mail.ru

² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labts@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОИЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ЩАДЯЩЕГО ДОЕНИЯ КОРОВ И СРЕДСТВА ИХ ДИАГНОСТИКИ

Аннотация. В статье проведен анализ существующих режимов работы доильных аппаратов, их достоинств и недостатков. Рассмотрен пример совершенствования конструкции доильных аппаратов, работающих в режиме щадящего доения. Предложен один из наиболее перспективных методов физиологической оценки доильных аппаратов на основе тепловизионного контроля. Приведены экспериментальные исследования влияния доильного аппарата на состояние сосков вымени коров по термографическому снимку.

Ключевые слова: доильный аппарат, модернизация, диагностика, термографический снимок, температура, молочная железа, щадящее доение.

I. I. Girutsky, Yu. A. Rakevich, V. K. Klybik

¹ EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: gir_50@mail.ru

² RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labts@mail.ru

IMPROVEMENT OF MILKING MACHINES FOR GENTLE MILKING OF COWS AND MEANS OF THEIR DIAGNOSTICS

Abstract. The article analyzes the existing operating modes of milking machines, their advantages and disadvantages. The issues of improving the design of milking machines operating in the gentle milking mode are considered. When choosing milking equipment, it is necessary to take into account the biological characteristics of the animals. One of the most promising methods of physiological assessment of milking machines is thermal imaging.