

УДК 637.11



DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18

Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве

Николай Михайлович Морозов,
академик РАН, доктор экономических наук,
главный научный сотрудник, e-mail: vim@vim.ru;

Владимир Вячеславович Кирсанов,
член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
профессор, заведующий отделом,
e-mail: kirvv2014@mail.ru;
Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук, заведующий отделом

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали основные пути развития машинных технологий от ручного способа доения до роботизированного. Отметили неоднозначность экспертных оценок по поводу внедрения роботизации доения. (*Цель исследования*) Провести историко-аналитическую и технико-экономическую оценки различных вариантов автоматизации доения коров на молочных фермах, определить общую капиталоемкость различных вариантов перехода от ручного способа к автоматизированным и роботизированным технологиям доения коров, а также капиталоемкость отдельных этапов перехода к механизированному доению в ведра, в молокопровод, к автоматизированному доению в залах, роботизированному доению в индивидуальных боксах и доильных залах. (*Материалы и методы*) Проанализировали революционные переходы, связанные с кардинальной сменой технологий, изменением способа содержания и организационно-экономических форм ведения производства, модернизационные переходы – с полной или частичной заменой оборудования без принципиальной смены технологии, а также реверсные обратные переходы – с вынужденным возвратом к прежней более экономичной технологии. (*Результаты и обсуждение*) Рассмотрели 7 основных путей развития машинного доения – от ручного способа до автоматизированного и роботизированного доения коров продолжительностью 100-110 лет. Определили, что их суммарная оценочная капиталоемкость для условной эталонной фермы на 1000 голов составляет 78,0-474,5 миллионов рублей в современных цифрах. Ввели понятие условной единицы, равной стоимости доильного агрегата ДАС-2В, то есть примерно 0,2 миллиона рублей на текущий момент. (*Выводы*) Установили наиболее затратные пути, а также предложили оптимальный наименее капиталоемкий путь перехода от традиционного доения к автоматизированному почетвертному доению в залах, по функциональности не уступающему доению в роботах. Выявили возможность модернизационного перехода на роботизированное доение в залах путем поэтапной замены автоматизированных манипуляторов доения, управляемых оператором, на роботизированные манипуляторы без участия человека и без смены технологии. **Ключевые слова:** молочное животноводство, доение коров, машинная технология, автоматизация и роботизация доения, молокопровод, доильный зал, доильный робот.

■ **Для цитирования:** Морозов Н.М., Кирсанов В.В., Ценч Ю.С. Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №1. С. 11-18. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18. EDN BJDTTU.

Historical and Analytical Assessment of Automation and Robotization for Milking Processes

Nikolay M. Morozov,
member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: vim@vim.ru;

Vladimir V. Kirsanov,
corresponding member of the Russian Academy of Science,
Dr.Sc.(Eng.), professor, head of department,
e-mail: kirvv2014@mail.ru;
Yulia S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, head of department,
e-mail: vimasp@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper shows the main ways of machine technology development from manual milking to robotic and notes the ambiguity of expert assessments regarding the introduction of robotic milking. (*Research purpose*) To conduct historical, analytical

and feasibility studies of various options for automating cow milking on dairy farms, to determine the overall capital intensity of various options for the transition from manual to automated and robotic cow milking technologies, as well as the capital intensity of individual transition stages such as mechanized bucket milking, pipeline milking, automated milking in milking parlors, robotic milking in individual boxes and milking parlors. (*Materials and methods*) The paper analyzes the revolutionary transitions associated with a drastic change in technology, a change in the way of keeping cows and a change in the organizational and economic forms of operations; the modernization transitions, those with a complete or partial replacement of equipment but without a fundamental change in technology; and the reverse transfer transitions - a forced return to the previous more economical technology. (*Results and discussion*) We considered 7 main ways of developing machine milking over 100-110 years from the manual milking method to the automated and robotic ones. It is determined that their total estimated capital intensity for a hypothetical reference farm per 1000 heads accounts for 78.0-474.5 million rubles in modern figures. The concept of a standardized unit is introduced, that is equal to the price of the DAS-2V milking unit, that is, approximately 0.2 million rubles at the moment. (*Conclusions*) The research reveals the most costly transition ways, the optimal least capital-intensive way of transition from traditional milking to automated quarter-by-quarter milking in parlors, whose functionality is up to the robotic milking. The modernization transition to robotic milking in parlors is proved to be possible by gradual replacement of the automated milking manipulators controlled by an operator with the robotic unmanned manipulators and without any changes in technology.

Keywords: dairy farming, milking cows, machine technology, automation and robotization of milking, pipeline milking, milking parlor, milking robot.

For citation: Morozov N.M., Kirsanov V.V., Tsench Yu.S. Istoriko-analiticheskaya otsenka razvitiya protsessov avtomatizatsii i robotizatsii v molochnom zhivotnovodstve [Historical and analytical assessment of automation and robotization for milking processes]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N1. 11-18 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18. EDN BJDTTU.

Средства механизации и способы организации доения коров занимают одно из ведущих мест в системе машин для механизации и автоматизации молочных ферм. Процесс доения относится к наиболее трудоемким (35-50% всех затрат на производство молока) и ответственным технологическим процессам из-за непосредственного воздействия рабочих органов (доильных стаканов) на соски животных при извлечении молока из вымени.

Ведущий тренд развития технологий и технических средств доения – поэтапная автоматизация и постепенное замещение малопроизводительного доильного оборудования с переносными ведрами и молокопроводом, используемого при привязном содержании животных (типы 1, 2) на автоматизированные доильные залы различных конфигураций «Елочка», «Параллель», «Карусель» и доильные роботы (типы 3, 4) при беспривязном содержании животных (рис. 1) [1-3]. По экспертным оценкам, удельный вес доильных установок 1-го и 2-го типов в России на мелких и средних фермах составляет 75-80%. Мегафермы используют в основном импортное высокопроизводительное станочное доильное оборудование типа «Параллель», «Карусель», требующее импортозамещения. Зарубежных доильных роботов в нашей стране эксплуатируют всего около 1000 единиц [3]. Это связано с их высокой стоимостью (12-16 млн руб.). Из-за отсутствия поставок запчастей вследствие санкций их дальнейшее использование достаточно проблематично.

Основные факторы, которые надо учитывать при внедрении доильных роботов:

- стоимость робота и его сервисного обслуживания;
- стоимость замещаемой им рабочей силы;
- наличие устойчивой связи по интернету, без которого невозможна их эффективная эксплуатация.

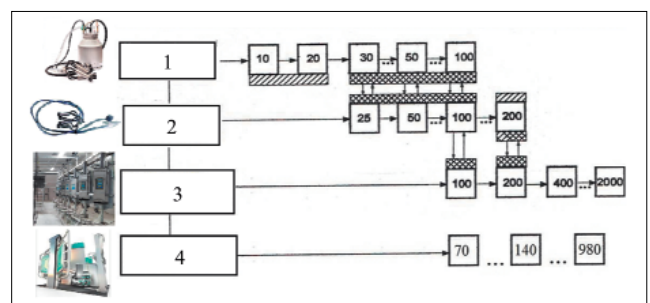


Рис. 1. Модернизированный ряд автоматизированных и роботизированных доильных установок для различных типов ферм (10-2000 голов): 1 – установки 1-го типа с переносными ведрами; 2 – установки 2-го типа с молокопроводом; 3 – установки 3-го типа «Тандем», «Елочка», «Параллель», «Карусель»; 4 – роботизированные технологические модули различной вместимости

Fig. 1. A modernized range of automated and robotic milking machines for various farm sizes (10-2000 heads): 1 – 1st type facilities with portable buckets; 2 – 2nd type facilities with a milk pipeline; 3 – 3rd type facilities such as "Tandem", "Herringbone", "Parallel", "Carousel"; 4 – robotic technological modules of various capacities

Развитие автоматизированных и роботизированных технологий в молочном животноводстве может осуществляться по нескольким сценариям [6-8]:

- перевод механизированных коровников привязного содержания 100-200 голов с морально и физически устаревшим оборудованием на роботизированное доение с установкой 2-4-х роботов типа «монобокс» (один на 50 голов);

- для более крупных ферм (400 голов и более) рациональнее строительство доильного зала с механизированными доильными аппаратами почетвертного доения, которые впоследствии можно дооснастить и трансформировать в роботизированный вариант. В доильной траншее оператору удобнее приучать животных к роботизированному доению и в случае необходимости есть возможность вмешаться в процесс;

- для ферм на 1000 и более голов целесообразно использование статичных залов типа «Параллель» или вращающихся доильных залов «Карусель», также с постепенным переводом их в роботизированные системы.

Ввиду неоднозначности оценок, высказываемых экспертами по поводу роботизации доения, следует провести более тщательный технико-экономический анализ их применения в различных условиях хозяйствования. Применение роботов – это пока самый капиталоемкий и затратный путь даже для условий Европы с их высокой стоимостью рабочей силы, не говоря уже о России [9].

Различным аспектам автоматизации и роботизации доения посвящено достаточно много публикаций и исследований [10-12]. К основным преимуществам использования доильных роботов относят повышение продуктивности на 10-15% и качества молока в результате снижения количества соматических клеток и бактериальной обсемененности вследствие более тщательной очистки сосков перед доением и лучшего управления вакуумом при почетвертном доении, которое пока не доступно в доильных залах. Хотя фирма «Мильтклайн» (Италия) утверждает, что создала такой аппарат с управляемой почетвертной пульсацией для доильных залов, однако отключения выдоенных сосков от подсоскового вакуума, как в работе, при этом не осуществляется, что вызывает определенные сомнения в адекватности режима роботизированному доению [13].

Дискуссионный характер применения доильных роботов на фермах различных типоразмеров делает актуальной технико-экономическую оценку различных вариантов модернизации доильного оборудования для молочных ферм.

Цель исследования – историко-аналитическая и технико-экономическая оценки различных вариантов автоматизации доения коров на молочных фермах.

Основные задачи исследования:

- определение общей капиталоемкости различных вариантов перехода от ручного способа доения к ме-

ханизированным, автоматизированным и роботизированным технологиям на примере фермы на 1000 голов;

- определение капиталоемкости структурных составляющих (этапов) перехода от ручного доения к механизированному доению в ведра, в молокопровод, автоматизированному доению в залах, роботизированному доению в индивидуальных боксах и доильных залах;

- сравнительная оценка капиталоемкости революционных, модернизационных и реверсных обратных этапов при внутрихозяйственной смене технологий доения коров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Функционально-стоимостной анализ составных частей доильного робота показал, что примерно 50% его стоимости приходится на роботизированный манипулятор доения с системой технического зрения, который затрачивает на обработку сосков и подключение доильных стаканов 1,5-2,0 мин против 10-15 с у оператора машинного доения, что превышает регламентируемые нормы времени на эти операции, рекомендуемые Правилами машинного доения (не более 60 с) [14-15]. Это связано с физиологией лактирующих животных и выделением гормона окситоцин, действие которого ограничено пределами 5-7 мин, после чего молокоотдача прекращается.

Таким образом, наряду с экономической дороговизной приобретения и использования доильных роботов существует еще и физиологическая проблема сокращения времени обработки сосков и надевания доильных стаканов из-за технических трудностей распознавания сосков вымени системой машинного зрения. В дальнейшем эта техническая проблема может быть решена, однако для этого потребуются усложнение конструкции и использование более дорогостоящих сенсоров, что в свою очередь приведет к повышению стоимости оборудования.

Что касается отечественных разработок в этой сфере, то в отделе механизации и автоматизации животноводства ФНАЦ ВИМ разработан прототип отечественного доильного робота, который проходит этап лабораторных испытаний. При этом существует проблема локализации производства отдельных комплектующих и сенсоров.

Различные варианты модернизации доильного оборудования были представлены в виде ориентированного структурного графа и различных путей перехода от ручного к механизированному и далее к автоматизированному и роботизированному доению животных (рис. 2) [15]. Сравнительная оценка капиталоемкости этих вариантов поможет выбрать оптимальные пути модернизации доильного оборудования.

Проанализированы несколько ключевых путей развития технологий машинного доения – от ручного до автоматизированного и роботизированного до-

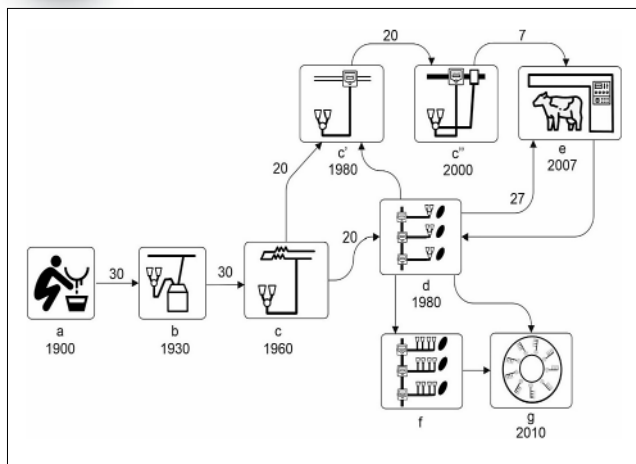


Рис. 2. Структурный граф развития средств механизации доения от ручного способа до роботизированного доения: а – ручное доение; б – механизированное доение в ведро; с – механизированное доение в молокопровод; с' – доение в модернизированный стеклянный молокопровод (АДМ-8А); с'' – доение в модернизированный молокопровод из нержавеющей стали УДМ-200; d – автоматизированное доение в залах («Елочка», «Параллель», «Карусель»); е – роботизированное почетвертное доение в индивидуальных (групповых) роботах; f – автоматизированное почетвертное доение в залах («Елочка», «Параллель», «Карусель»); g – роботизированное почетвертное доение в залах типа «Карусель» (Де Лаваль, Геа Фарм)

Fig. 2. Diagram of the milking mechanization development from manual to robotic milking: a – manual milking; b – mechanized bucket milking; c – mechanized pipeline milking; c' – milking with a modernized glass milk line (ADM-8A); c'' – milking with an upgraded milk pipeline made of stainless steel UDM-200; d – automated milking in milking parlors ("Herringbone", "Parallel", "Carousel"); e – robotic quarter-by-quarter milking with individual (group) robots; f – automated quarter-by-quarter milking in parlors ("Herringbone", "Parallel", "Carousel"); g – robotic quarter-by-quarter milking in carousel-type parlors (De Laval, GEA Pharm)

ения (средняя продолжительность цикла 100-110 лет). Они включают революционные, модернизационные и обратные (нежелательные) реверсные переходы. Здесь и далее под революционным переходом (РП) будем понимать кардинальную смену технологий, связанную с изменением способа содержания и организационно-экономических форм ведения производства. Под модернизационным переходом (МП) подразумевается полная или частичная замена оборудования без принципиальной смены технологии (способа содержания и ведения производства). Реверсный обратный (нежелательный) переход (РО) означает возврат к прежней технологии, например, от беспривязного содержания с доением в залах к привязному содержанию с доением коров в стойлах в 80-е годы прошлого столетия.

Такой подход позволит оценить масштабность реконструкции, капиталоемкость различных путей и этапов перехода на новые технологии, аномальность

и преждевременность перехода в отдельных случаях. Наряду с анализом общей капиталоемкости путей модернизации доильного оборудования следует оценить капиталоемкость отдельных ее этапов (от механизированного к автоматизированному и роботизированному доению), показать при этом оптимальные пути перехода для различных типоразмеров ферм, чтобы избежать повышенной капиталоемкости модернизации и возможных при этом ошибок выбора направления модернизации доильного оборудования, которое считается системообразующим фактором при выборе вариантов реконструкции или нового строительства молочной фермы.

Результаты и обсуждение. Первый путь (a, b, c, d), классический, длился около 80 лет – от ручного способа до автоматизированного доения в залах в 80-е годы прошлого века («Елочка», «Тандем», «Параллель», «Карусель»). Его капиталоемкость K_1 можно оценить следующим образом:

$$K_1 = K_{ab}^{p1} + K_{bc}^{m1} + K_{cd}^{p2}, \quad (1)$$

где K_{ab}^{p1} , K_{bc}^{m1} , K_{cd}^{p2} – соответственно, капиталоемкость этапа первого революционного перехода от ручного доения к механизированному в ведра (1930 г.), первого модернизационного перехода от доения в ведро к молокопроводу (1960 г.) и второго революционного перехода от молокопровода к доильному залу (1980 г.).

Капиталоемкость второго пути (a, b, c, c', c'', e) перехода от ручного доения к роботизированному (продолжительностью около 107 лет), минуя автоматизированные доильные залы, можно выразить так:

$$K_2 = K_{ab}^{p1} + K_{bc}^{m1} + K_{cc'}^{m2} + K_{c'e}^{m3} + K_{c'e}^{p3}, \quad (2)$$

где $K_{cc'}^{m2}$ – капиталоемкость второго этапа модернизации доильных установок с молокопроводом (от «Даугавы» и АДМ-8 до АДМ-8А-1-2, 1960-1980 гг.);

$K_{c'e}^{m3}$ – капиталоемкость третьего этапа модернизации доильных установок с молокопроводом в «нулевые» годы (от АДМ-8А-1-2 со стеклянным молокопроводом до молокопровода УДМ-100-200 из нержавеющей стали, 1980-2000 гг.) [16];

$K_{c'e}^{p3}$ – капиталоемкость третьего революционного этапа перехода некоторых хозяйств с молокопроводов на доение в роботах (2000-2007 гг.) получение первого опыта.

Следует отметить, что последний этап представляет революционный переход от технологии привязного содержания к доению в роботах, минуя доение в залах. Такой вариант реалистичен, поскольку коровники привязного содержания рассчитаны на 100-200 коров и вариант их реконструкции под беспривязное содержание потребует установки небольшого количества доильных роботов-монобоксов (2-4 ед.). При этом возможен поэтапный переход от реконструкции одного коровника к другому, когда не требуется вне-

дять сразу десяток роботов одновременно.

Рассмотрим капиталоемкость третьего пути (a, b, c, d, c', c'', e) продолжительностью около 107 лет, то есть второй вариант перехода от ручного доения к роботизированному в монобоксах через доильные залы с многократной сменой технологий привязного и беспривязного содержания:

$$K_3 = K_{ab}^{p1} + K_{bc}^{m1} + K_{cd}^{p2} + K_{dc}^{p01} + K_{c'c''}^{m3} + K_{c''e}^{p3}, \quad (3)$$

где K_{dc}^{p01} , – продолжительность первого реверсного обратного перехода от доения в залах к доению в стойлах (в 80-е годы).

Особенность этого пути – наличие реверсного обратного перехода от доильного зала (беспривязного содержания) к стойловому молокопроводу (привязному содержанию) t_{dc}^{p0} , происходившему из-за обезличивания животных при беспривязном содержании по причине отсутствия в то время систем идентификации, программ управления стадом и др. Это резко ухудшало показатели ферм, и был осуществлен практически одномоментно повсеместный обратный переход в 80-е годы к привязи с демонтажом доильных залов [1]. Такой путь наиболее затратный, поскольку связан как минимум с 3-кратной затратной революционной сменой технологий, 2-кратной модернизационной заменой оборудования и одним нежелательным реверсным обратным переходом от доения в залах к доению в стойлах с последующим третьим революционным переходом $t_{c'e}^{p3}$ от доения в стойловом молокопроводе к доению в роботах.

Четвертый путь (a, b, c, d, e), продолжительностью около 107 лет, представляет собой развитие классического пути (1) с переходом в конце на доильные роботы:

$$K_4 = K_{ab}^{p1} + K_{bc}^{m1} + K_{cd}^{p2} + K_{de}^{p4}. \quad (4)$$

При этом последняя составляющая K_{de}^{p4} предполагает четвертую революционную смену технологий (от доильных залов к роботам).

Пятый путь (a, b, c, d, e, d), продолжительностью примерно 107 лет, предполагает второй капиталоемкий чрезвычайно затратный реверсный обратный переход K_{cd}^{p02} от доения в индивидуальных роботах к доению в автоматизированном роторном зале. Такая вынужденная мера может возникнуть при расширении фермы с возвратом к доильным залам для повышения производительности труда и сокращения издержек производства:

$$K_5 = K_{ab}^{p1} + K_{bc}^{m1} + K_{cd}^{p2} + K_{de}^{p4} + K_{ed}^{p02}. \quad (5)$$

Единичный в России шестой путь (a, b, c, d, g) – это развитие классического пути (1) с модернизацией на последнем этапе (K_{dg}^{m4}) автоматизированных залов в роботизированные, с установками типа «Карусель» для мегаферм (110 лет):

$$K_6 = K_{ab}^{p1} + K_{bc}^{m1} + K_{cd}^{p2} + K_{dg}^{m4}. \quad (6)$$

И наконец, наименее затратный и капиталоемкий и более физиологичный переход K_7 (a, b, c, d, f, g), продолжительностью 122 года, в начале на автоматизированное почётвертное доение в залах K_{df}^{m5} , по функциональности не уступающее доению в роботах, с последующим постепенным модернизационным переходом (докапитализация) на роботизированное доение в зале путем поэтапной замены автоматизированных манипуляторов доения, управляемых оператором, на полностью роботизированные манипуляторы без участия человека [17]:

$$K_7 = K_{ab}^{p1} + K_{bc}^{m1} + K_{cd}^{p2} + K_{df}^{m5} + K_{fg}^{m6}. \quad (7)$$

Чтобы сравнить капитальные затраты на различных этапах, за условную единицу капиталоемкости (K_y) приняли стоимость доильной установки с переносными ведрами ДАС-2В на 100 гол. – примерно 0,2 млн руб. (таблица). Это самый простой – минимальный и неделимый – вариант инвестиций в механизацию доения. Размер капитализации ограничим условной эталонной фермой на 1000 гол. с целью возможности применения на ней и проведения сравнительной оценки всех имеющихся типов доильных установок. Тогда примерную капиталоемкость различных этапов модернизации системообразующего фактора (процесса доения) можно определить с учетом рыночной стоимости поставляемого доильного оборудования, полагая, что в ходе модернизации на последующих этапах сохраняется базовая часть установки от предыдущего этапа:

$$K_{ab}^{p1} = 10C_{\text{дас-2в}} = 10 \cdot 0,2 \text{ млн.р.} = 10 K_y; \quad (8)$$

$$K_{cd}^{p2} = (C_{\text{ркб}} + C_{\text{сдз}} + 2C_{\text{уде-24А}}) : C_{\text{дас-2в}} = (55,0 + 7,5 + 2 \cdot 6,0) : 0,2 = 372,5 K_y;$$

$$K_{c'e}^{p3} = (C_{\text{ркб}} + 4C_{\text{дрл}}) : C_{\text{дас-2в}} = (55,0 + 17 \cdot 16,0) : 0,2 = 1635 K_y;$$

$$K_{de}^{p4} = 17C_{\text{дрл}} : C_{\text{дас-2в}} = 17 \cdot 16,0 : 0,2 = 1360 K_y;$$

$$K_{bc}^{m1} = (5C_{\text{даугава}} - 5C_{\text{дас-2в}}) : C_{\text{дас-2в}} = (5 \cdot 0,5 - 5 \cdot 0,2) : 0,2 = 7,5 K_y;$$

$$K_{cc'}^{m2} = (5C_{\text{адм-8А}} - 5C_{\text{даугава}}) : C_{\text{дас-2в}} = (5 \cdot 0,7 - 5 \cdot 0,5) : 0,2 = 5 K_y;$$

$$K_{c'c''}^{m3} = (5C_{\text{удм-200}} - 5C_{\text{адм-8А}}) : C_{\text{дас-2в}} = (5 \cdot 1,5 - 5 \cdot 0,7) : 0,2 = 20 K_y;$$

$$K_{dg}^{m4} = (C_{\text{АМРТМ}} - C_{\text{карусель}}) : C_{\text{дас-2в}} = (70,0 - 20,0) : 0,2 = 250 K_y;$$

$$K_{df}^{m5} = (2C_{\text{уде-24Ач}} - 2C_{\text{уде-24А}}) : C_{\text{дас-2в}} = (2 \cdot 9,5 - 2 \cdot 6,0) : 0,2 = 35 K_y;$$

$$K_{fg}^{m6} = (2C_{\text{уде-24Рч}} - 2C_{\text{уде-24Ач}}) : C_{\text{дас-2в}} = (2 \cdot 24,0 - 2 \cdot 9,5) : 0,2 = 145 K_y;$$

$$K_{dc}^{p01} = (C_{\text{ркп}} + C_{\text{лз}} + 5C_{\text{удм-200}}) : C_{\text{дас-2в}} = (55,0 + 3,0 + 5 \cdot 1,5) : 0,2 = 327,5 K_y;$$

$$K_{ed}^{p02} = (C_{\text{лмр}} + C_{\text{сдз}} + 2C_{\text{уде-24А}}) : C_{\text{дас-2в}} = (3,0 + 7,5 + 2 \cdot 7,5) : 0,2 = 127,5 K_y,$$

Таблица		Table						
СТРУКТУРА КАПИТАЛОЕМКОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ПУТЕЙ И ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ ДОИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ STRUCTURE OF CAPITAL INTENSITY OF DIFFERENT WAYS AND STAGES OF MILKING EQUIPMENT DEVELOPMENT AND MODERNIZATION								
Этапы модернизации Stages of modernization	Пути перехода / Transition paths							этапы перехода* transition stages*
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	
K_{ab}^{p1}	+	+	+	+	+	+	+	РП
K_{cd}^{p2}	+	–	+	+	+	+	+	РП
$K_{c'e}^{p3}$	–	+	+	–	–	–	–	РП
K_{dc}^{p4}	–	–	–	+	+	–	–	РП
K_{bc}^{m1}	+	+	+	+	+	+	+	МП
K_{cc}^{m2}	–	+	–	–	–	–	–	МП
$K_{c'c'}^{m3}$	–	+	+	–	–	–	–	МП
K_{dg}^{m4}	–	–	–	–	–	+	–	МП
K_{df}^{m5}	–	–	–	–	–	–	+	МП
K_{fg}^{m6}	–	–	–	–	–	–	+	МП
K_{dc}^{po1}	–	–	+	–	–	–	–	РО
K_{ed}^{po2}	–	–	–	–	+	–	–	РО
Капиталоемкость всего / Total capital intensity: K_y^{**} млн. руб./ million rubles	390,0 78,0	1677,5 335,5	2372,5 474,5	1750,0 350,0	1877,5 375,5	640,0 128,0	570,0 114,0	–
*РП – революционный / revolutionary transition; МП – модернизационный / modernization transition; РО – реверсный обратный / reverse transfer transition; ** $K_y = 0,2$ млн руб. / 0.2 million rubles								

где C – стоимость доильных установок, а именно:

$C_{дас-2в}$ – для доения в ведра ДАС-2В;

$C_{даугава}$ – стеклянный молокопровод «Даугава»;

$C_{адм-8А}$ – модернизированный стеклянный молокопровод АДМ-8А;

$C_{удм-200}$ – молокопровод из нержавеющей стали УДМ-200;

$C_{дрл}$ – доильный робот (Лели);

$C_{амртм}$ – роботизированная доильная «Карусель» АМРтм (Де Лаваль);

$C_{карусель}$ – автоматизированная карусель (Де Лаваль);

$C_{уде-24Ач}$ – автоматизированный доильный зал «Елочка» с почтвртным доением УДЕ-24АЧ (расчетная стоимость);

$C_{уде-24А}$ – автоматизированный доильный зал «Елочка» с традиционным доением УДЕ-24А;

$C_{уде-16рч}$ – роботизированный доильный зал «Елочка» с почтвртным доением (стоимость расчетная ≈ 24 млн руб.);

$C_{рkb}$ – стоимость реконструкции и оборудования коровника при переходе с привязного на беспривязное содержание;

$C_{сдз}$ – стоимость строительной части доильного зала;

$C_{рkp}$ – стоимость обратной реконструкции коровника с беспривязного на привязное содержание;

$C_{ддз}$ – стоимость демонтажа доильного зала;

$C_{дмр}$ – стоимость демонтажа роботов.

Выводы

1. Проанализированы 7 основных путей развития машинного доения – от ручного способа до автоматизированного и роботизированного доения коров продолжительностью 100-110 лет. Их суммарная оце-

ночная капиталоемкость для условной эталонной фермы на 1000 гол. составляет 78,0-474,5 млн руб. в современных цифрах. Введено понятие условной единицы, равной стоимости доильного агрегата ДАС-2В, то есть примерно 0,2 миллиона рублей на текущий момент.

2. Выявлены наиболее затратные пути модернизации доильного оборудования стоимостью 474,5 млн; 350,0 млн и 375,5 млн руб., включающие капиталоемкие этапы перехода на роботизированное доение с многократной сменой технологий (привязное – беспривязное – привязное) и обратные переходы от доения в роботах на доение в залах.

3. Предложен оптимальный, наименее капиталоемкий путь последовательной модернизации с переходом в конце от традиционного на почтвртное доение в залах, по функциональности не уступающее доению в роботах, с последующим (при необходимости) модернизационным переходом (докапитализацией) на роботизированное доение в зале путем поэтапной замены автоматизированных манипуляторов доения, управляемых оператором, на роботизированные манипуляторы без участия человека (без смены технологии).

4. Возможен также вариант модернизации, включающий в отдельных случаях прямой переход молокопровода при стойловом содержании на роботизированное доение в монобоксах (3-4 ед. на 200 гол.) для небольших ферм до 300 гол. после соответствующей реконструкции под беспривязное содержание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Кирсанов В.В. Анализ цикличности развития техники и технологий в различных технологических укладах на примере молочного животноводства // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. N2. С. 54-58.
2. Кирсанов В.В., Цой Ю.А., Кормановский Л.П. Концепция создания доильного робота, совместимого с отечественным доильным оборудованием // *Вестник ВНИИМЖ*. 2016. N3(23). С. 13-20.
3. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИАХ*. 2018. N4 (33). С. 150-156.
4. Besier J., Schupbach-Regula G., Wellnitz O., Bruckmaier R.M. Technical note: Effects of attachment of hind teats before cleaning and attachment of front teats on milking characteristics in automatic milking systems. *Journal of dairy science*. 2017. 100. 3091-3095.
5. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИАХ*. 2018. N3 (32). С. 94-100.
6. Федоренко В.Ф., Кирсанов В.В., Мишуров Н.П. Анализ различных вариантов применения доильных роботов в молочном животноводстве // *Техника и оборудование для села*. 2021. N7(289). С. 33-37.
7. Ценч Ю.С., Маслов Г.Г., Трубилин Е.Г. К истории развития сельскохозяйственной техники // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. N3(47). С. 117-123.
8. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229.
9. Шляйтцер Г. Кому бокс, а кому и карусель? // *Новое сельское хозяйство*. 2011. N6. С. 46-51.
10. Винницки С., Юговар Л., Морозов Н.М. Эффективность комплексной роботизации ферм КРС в Республике Польша // *Вестник ВНИИМЖ*. 2017. N2(26). С. 220-225.
11. Bruckmaier R.M., Macuhova J., Meyer H.H.D. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: a review. *Livestock production science*. 2001. 72. 169.
12. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
13. Wildridge A.M., Thomson P.C., Garcia S.C., Jongman E.C., Kerrisk K.L. Transitioning from conventional to automatic milking: Effects on the human-animal relationship. *Journal of dairy science*. 2020. 103. 1608-1619.
14. Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Петренко А.П. Функционально-стоимостный анализ роботизированных систем и выбор альтернативных вариантов добровольного доения коров // *Техника и оборудование для села*. 2014. N8. С. 33-36.
15. Морозов Н.М., Федоренко В.Ф., Кирсанов В.В., Мишуров Н.П., Гелетий Д.Г. Прогнозирование периодичности среднесрочных и длинных циклов развития техники и технологий на примере молочного животноводства // *Техника и оборудование для села*. 2022. N4(298). С. 8-13.
16. Кирсанов В.В., Кравченко В.Н. Пути совершенствования оборудования для доения и первичной обработки молока // *Трактора и сельскохозяйственные машины*. 2005. N9. С. 41.
17. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Рузин С.С., Цымбал А.А. Сравнительная технико-экономическая оценка автоматизированных и роботизированных доильных установок // *Агроинженерия*. 2020. N3(97). С. 39-43.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Kirsanov V.V. Analiz tsiklichnosti razvitiya tekhniki i tekhnologiy v razlichnykh tekhnologicheskikh ukladakh na primere molochnogo zhivotnovodstva [A method for determining stretching patterns of a group of stems in plant materials]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2021. N2. 54-58 (In Russian).
2. Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A., Kormanovskiy L.P. Kontseptsiya sozdaniya doil'nogo robota, sovместimogo s otechestvennym doil'nym oborudovaniem [The concept of creating a milking robot, compatible with domestic milking equipment]. *Vestnik VNIIMZH*. 2016. N3(23). 13-20 (In Russian).
3. Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Starovoytov S.I., Kynev N.G. Tendentsii razvitiya progressivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhniki v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Trends in the development of advanced machine technologies and machinery in agricultural production]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 150-156 (In Russian).
4. Besier J., Schupbach-Regula G., Wellnitz O., Bruckmaier R.M. Technical note: Effects of attachment of hind teats before cleaning and attachment of front teats on milking characteristics in automatic milking systems. *Journal of dairy science*. 2017. 100. 3091-3095 (In English).
5. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 94-100 (In Russian).
6. Fedorenko V.F., Kirsanov V.V., Mishurov N.P. Analiz razlichnykh variantov primeneniya doil'nykh robotov v molochnom zhivotnovodstve [Analysis of different options of use of milking robots in dairy livestock]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N7(289). 33-37 (In Russian).
7. Tsench Yu.S., Maslov G.G., Trubilin E.G. K istorii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [On the history of agricultural machinery development]. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2018. N3(47). 117-123 (In Russian).
8. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda

- (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
9. Shlyaytser G. Komu boks, a komu i karusel'? [Some sees it boxing, others see it the carousel?] *Novoe sel'skoe khozyaystvo*. 2011. N6. 46-51 (In Russian).
 10. Vinnitski S., Yugovar L., Morozov N.M. Effektivnost' kompleksnoy robotizatsii ferm KRS v Respublike Pol'sha [The cattle farms complex robotics effectiveness in the Republic of Poland]. *Vestnik VNIIMZH*. 2017. N2(26). 220-225 (In Russian).
 11. Bruckmaier R.M., Macuhova J., Meyer H.H.D. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: a review. *Livestock production science*. 2001. 72. 169 (In English).
 12. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
 13. Wildridge A.M., Thomson P.C., Garcia S.C., Jongman E.C., Kerrisk K.L. Transitioning from conventional to automatic milking: Effects on the human-animal relationship. *Journal of dairy science*. 2020. 103. 1608-1619 (In English).
 14. Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Petrenko A.P. Funktsional'no-stoimostnyy analiz robotizirovannykh sistem i vybor al'ternativnykh variantov dobrovol'nogo doeniya korov [Value analysis of robotic systems and alternative choice of voluntary milking of cows]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2014. N8. 33-36 (In Russian).
 15. Morozov N.M., Fedorenko V.F., Kirsanov V.V., Mishurov N.P., Geletiy D.G. Prognozirovaniye periodichnosti srednesrochnykh i dlinnykh tsiklov razvitiya tekhniki i tekhnologiy na primere molochnoy zhivotnovodstva [Forecasting the periodicity of medium-term and long cycles of development of machinery and technologies using the example of dairy farming]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 8-13 (In Russian).
 16. Kirsanov V.V., Kravchenko V.N. Puti sovershenstvovaniya oborudovaniya dlya doeniya i pervichnoy obrabotki moloka [Ways to improve milking equipment and primary milk processing]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2005. N9. 41 (In Russian).
 17. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Ruzin S.S., Tsymbal A.A. Sravnitel'naya tekhniko-ekonomicheskaya otsenka avtomatizirovannykh i robotizirovannykh doil'nykh ustanovok [Comparative technical and economic assessment of automated and robotized milking plants]. *Agroinzheneriya*. 2020. N3(97). 39-43 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Морозов Н.М. – обоснование структурной оценки капиталоемкости различных путей и отдельных этапов перехода от ручного к роботизированному доению, введение условной единицы капиталоемкости;
 Кирсанов В.В. – использование графоаналитического метода оценки капиталоемкости модернизации доильного оборудования, определение семи основных путей перехода от ручного до роботизированного доения;
 Ценч Ю.С. – историко-аналитическая оценка основных этапов модернизации доильного оборудования с указанием общей продолжительности путей и отдельных ее этапов.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Morozov N.M. – substantiation of a structural assessment of the capital intensity of various ways and individual stages of the transition from manual to robotic milking, the introduction of a conventional unit of capital intensity;
 Kirsanov V.V. – use of a graph-analytical method for assessing the capital intensity of milking equipment upgrade, identifying seven main ways to move from manual to robotic milking;
 Tsench Yu.S. – historical and analytical assessment of the main stages of milking equipment modernization, indicating the total duration of the paths and modernization individual stages.
 The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

15.12.2022
 27.02.2023