

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 637.115:637.11

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-37-42>

Левитирующая доильная платформа «Карусель»: концептуальные подходы к созданию

В.В. Кирсанов¹, Д.Ю. Павкин², С.В. Кирсанов³^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>² dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>³ sergejkirsanovv@gmail.com

Аннотация. Крупные животноводческие комплексы работают в основном на импортном технологическом оборудовании в автоматизированных роторных доильных залах, которые обеспечивают максимальную пропускную способность – от 100 до 500 гол/ч. Наиболее капиталоемкой составной частью роторной доильной установки «Карусель» является вращающаяся платформа, несущая на себе основную нагрузку (собственный вес и массу перемещаемых животных). Практически круглосуточный режим работы предопределяет значительный расход электроэнергии и износ приводных, опорных, направляющих колес и рельсов, замена которых является трудоемким процессом. Остро стоит вопрос об импортозамещении оборудования. С целью повышения эксплуатационной надежности работы доильной установки «Карусель», снижения капитальных затрат при монтаже, текущих затрат на техническое обслуживание и ремонт авторами предложено разработать ресурсосберегающую конструкцию вращающейся доильной платформы. Предложены технологическая схема левитирующей доильной платформы «Карусель» с использованием движителей, построенных на принципах магнитной левитации (безопорного вывешивания) на постоянных магнитах (магнитная сборка Хальбаха), и структурно-логическая модель магнитного подвеса доильной платформы. К преимуществам такой системы относится практическое отсутствие силы трения на перемещение грузовой платформы с животными, что потребует значительно меньшей мощности привода. При этом обеспечиваются бесшумность передвижения, существенно меньшие эксплуатационные затраты, связанные с необходимостью замены опорных катков, смазывания подшипников, обслуживания 2-3-тяговых электроприводов и др. Инновационная привлекательность разработки заключается в возможности создания кольцевого и линейного магнито-планирующего электрического транспорта в технологических установках для передвижения и обслуживания животных в доильных залах, перемещения роботизированных кормовогонов в кормоцехах, складских помещениях и на ферме.

Ключевые слова: доильная платформа «Карусель», левитирующая доильная платформа, схема левитирующей доильной платформы, модель магнитного подвеса доильной платформы, магнитные сборки, магнитная сборка Хальбаха

Для цитирования: Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Кирсанов С.В. Левитирующая доильная платформа «Карусель»: концептуальные подходы к созданию // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 3. С. 37-42. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-37-42>

ORIGINAL ARTICLE

Levitating 'Carousel' milking platform: conceptual approaches to its designing

V.V. Kirsanov¹, D. Yu. Pavkin², S.V. Kirsanov³^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹ kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>² dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>³ sergejkirsanovv@gmail.com

Abstract. Large dairy farms use mainly imported technological equipment in automated rotary milking parlors, which provide the maximum throughput capacity of 100 to 500 animals per hour. The most capital-intensive component of the rotary 'Carousel' milking parlor is a rotating platform carrying the main load (its own weight and the weight of the animals being moved). The nearly round-the-clock operation mode predetermines significant power consumption and wear of the drive, support, guide rollers and rails making it rather labor-intensive to replace

these parts. Therefore, an urgent issue is the import substitution of equipment. In order to increase the operational reliability of the rotary 'Carousel' milking parlor, to reduce capital costs during installation, and current costs for maintenance and repair, the authors proposed to develop a resource-saving design of the rotary milking platform. The paper presents the technological design of levitating milking platform of the 'Carousel' type with the use of movers operating on permanent magnets (Halbach array) on the magnetic levitation principle (unsupported suspension), and the structural and logical model of a magnetic suspension of the milking platform. The advantages of such a system include the practical absence of friction force to rotate the load-carrying platform with animals, which will require significantly lower drive power. In addition, we obtain quiet movement, significantly lower operating costs associated with the need to replace the support rollers, lubricate bearings, and maintain two or three electric traction drives, etc. The innovative attractiveness of the development lies in the possibility of designing circular and linear magneto-planning electric transport in technological installations to move and manage animals in milking parlors, and move robotic feed cars in feed shops, storage facilities, and around the farm.

Keywords: 'Carousel' milking parlor, levitating milking platform, scheme of levitating milking platform, magnetic suspension model of milking platform, magnetic assemblies, Halbach array

For citation: Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Kirsanov S.V. Levitating 'Carousel' milking platform: conceptual approaches to its designing. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(3):37-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-3-37-42>

Введение

Производство молока в России в 2023 г. незначительно увеличилось по сравнению с 2022 г. и составило 33,5 млн т, тогда как общий парк доильного оборудования снизился с 20,6 до 19,8 тыс. шт., что свидетельствует о снижении технической оснащенности сельхозтоваропроизводителей. Похожая ситуация наблюдается и в машинно-тракторном парке. Эту тенденцию можно характеризовать преимущественным ростом и укреплением крупных молочных хозяйств и комплексов численностью поголовья более 1200 гол. (ГК «ЭкоНива», Агрокомплекс им. Н.И. Ткачева, ГК «Агропромкомплектация» и др.), работающих в основном на импортном технологическом оборудовании фирм Де Лаваль (Швеция), ГЕА ФАРМ (Германия), Лели (Голландия) и др.¹. Крупные комплексы используют более высокопроизводительное доильное оборудование (установки «Параллель» и «Карусель»), что приводит к сокращению численности парка с одновременным ростом единичной мощности (производительности) технологического оборудования для обслуживания животных [1]. Данную тенденцию подтверждает и рост импортозависимости по оборудованию, которое для крупных ферм и комплексов составляет от 75 до 90% (доильные установки «Карусель», доильные роботы, кормомиксеры, оборудование для микроклимата и др.).

На фермах с поголовьем свыше 1000 гол. наибольшее распространение получили роторно-конвейерные доильные установки типа «Карусель»

вместимостью от 40 до 100 доильных мест. К достоинствам данных установок относится высокая производительность (от 120 до 500 гол/ч), рациональная рабочая поза операторов и малая зона их обслуживания, удобная логистика перемещения животных (вход и выход с одной стороны)².

Наиболее капиталоемкой составной частью роторной доильной установки «Карусель» является вращающаяся платформа, которая несет на себе основную нагрузку: собственный вес и массу перемещаемых животных. При этом в сумме масса одного скотоместа достигает 1200 кг и более, что предопределяет повышенный износ колесных движителей (рельс-колесо) и ведущих колес фрикционных передач электроприводов платформы³. Поэтому актуальной является разработка ресурсосберегающей конструкции самой платформы с использованием движителей, построенных на принципах магнитной левитации (безопорного вывешивания) на постоянных магнитах⁴.

Цель исследований: разработка методов построения ресурсосберегающей конструкции вращающейся доильной платформы «Карусель» на принципах магнитной левитации.

² Кузьмина Т.Н., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Гольяпин В.Я. и др. Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для животноводства: Каталог. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 172 с.

³ Доильная карусель AutoRotor PerFormer. URL: <https://agritech.ru/catalog/item/1471/> (дата обращения: 01.02.2024).

⁴ Андрей Повный. Магнитная левитация на транспорте – маглев, системы Хальбаха и Inductrack // Школа для электрика. URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/2565-magnitnaya-levitaciya-na-transporte.html> (дата обращения: 01.02.2024).

¹ Измайлов А.Ю., Цой Ю.А., Кирсанов В.В. Технологические основы алгоритмизации и цифрового управления процессами молочных ферм: Монография. М.: ИНФРА-М, 2019. 208 с.

Материалы и методы

Несмотря на многообразие форм расположения животных и предложенных технологических схем, современные доильные установки «Карусель» различаются в основном по способу расположения животных и расположению оператора (внутри платформы или снаружи) (рис. 1). Для хорошо подобранного поголовья большой численности рекомендуются «Карусели» с внешним доением, которые являются более компактными и производительными. К недостаткам их использования можно отнести быстрый выход животных из зоны видимости оператора, в то время как внутри платформы оператор всегда их контролирует и при необходимости может вмешаться в процесс доения (подключить заново доильный аппарат в случае его спадания и др.) [2].

Рассмотрим некоторые конструктивные особенности доильных платформ «Карусель» различных производителей (рис. 2-4). Наиболее известным является доильное оборудование фирм Де Лаваль, ГЕА ФАРМ, Боу Матик, Вайкато и др.

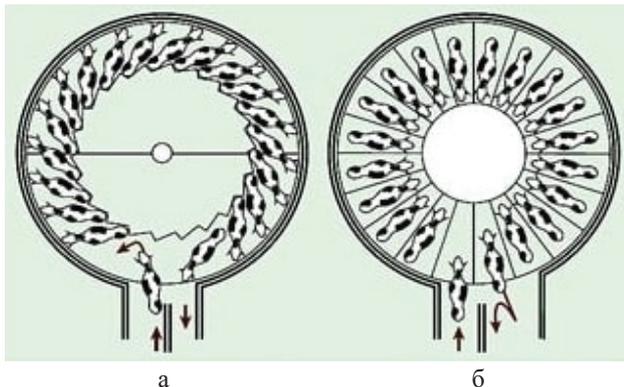


Рис. 1. Технологические схемы доильного зала «Карусель» с расположением оператора внутри платформы типа «Елочка» (а) и снаружи типа «Параллель» (б)

Fig. 1. Technological plans of the 'Carousel' milking parlor with the operator's location inside the 'Herringbone' type platform (a) and outside of the 'Parallel' type platform (b)

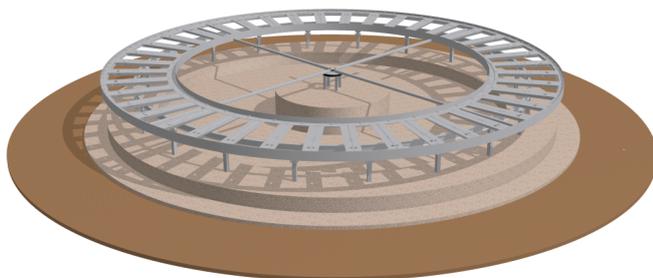


Рис. 2. Доильная платформа «Карусель» без стойл. Общий вид

Fig. 2. 'Carousel' milking platform without stalls. General view

Результаты и их обсуждение

Все вращающиеся доильные залы содержат типовую вращающуюся платформу, вмещающую от 30 до 100 коров. При создании такой конструкции могут возникать определенные сложности, связанные с большими размерами самой «Карусели» и высокой нагрузкой на движители [3]. Анализ существующих технологий показывает, что типичная «Карусель» состоит из бетонного основания, на котором устанавливают неподвижную часть и затем собирают вращающуюся платформу. Доильная «Карусель» опирается на конструкцию из нескольких изогнутых по окружности двутавровых балок. Между подвижным и неподвижным рельсами располагаются сцепленные с шагом 600 мм опорные Н-образные нейлоновые или полиуретановые колеса. Материал колес выбирают, исходя из максимального снижения шума при движении платформы и долговечности (рис. 3, 4). После сборки платформы на нее устанавливают опалубку и заливают бетоном для получения жесткой монолитной конструкции.

Данный способ проектирования, монтажа и эксплуатации доильной платформы имеет определенные проблемы и недостатки, связанные с точностью изготовления собираемой конструкции, а именно



Рис. 3. Движители доильной платформы – опорные колеса с рельсами (верхний рельс подвижный, нижний – неподвижный)

Fig. 3. Milking platform propulsors – support rollers with rails (the upper rail is movable, the lower rail is stationary)



Рис. 4. Боковые направляющие и опорные колеса (вид изнутри)

Fig. 4. Side rails and support rollers (inside view)

с точностью изгиба и сборки опорных двутавровых балок, которые должны точно копировать окружность для исключения возможных проблем при движении опорных колес. Кривизна балок может нарушаться при транспортировке их от места изготовления к месту монтажа, в процессе монтажа и др. К другим недостаткам данной конструкции можно отнести также регулировку расположения опорных колес, которые не движутся по идеальной траектории в виде окружности, могут сплющиваться в процессе эксплуатации, и их оси не направлены к центру «Карусели», что приводит к возрастанию механического сопротивления при перемещении и преждевременному их износу [4]. При этом происходит повышенная нагрузка на электропривод платформы, возникает нежелательный шум при движении, негативно влияющий на животных и обслуживающих их персонал. При выходе из строя одного или нескольких колес возрастает нагрузка на другие, что усугубляет проблему износа. Изнашиваются не только приводные, опорные и направляющие колеса, но и рельсы, которые также периодически подлежат достаточно трудоемкой замене.

Проблема износа значительно повышает частоту и трудоемкость проведения технического обслуживания и ремонтно-восстановительных работ, так как регулировка и техническое обслуживание движущихся колесных систем являются сложной и трудоемкой операцией. Для уменьшения материалоемкости, трудоемкости монтажных и ремонтно-восстановительных работ фирма Waikato предлагает вместо оцинкованной стали при изготовлении элементов доильной платформы применять композитные материалы – например, кевлар⁵.

С целью снижения указанных негативных явлений и недостатков следует изучить возможные альтернативные варианты разработки движителей платформы с использованием систем магнитной левитации [5]. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы может служить технология магнитного подвеса на постоянных магнитах [6]. Предпосылки для создания такой конструкции и построения подвеса на силах отталкивания постоянных магнитов были проанализированы С.А. Брюхановым [7] при создании магнито-левитирующих высокоскоростных транспортных средств в качестве альтернативы использования колесно-рельсовых движителей [8]. Особенностью создания левитирующей доильной платформы является

низкая скорость ее перемещения (4...10 м/мин), что, казалось бы, нивелирует актуальность использования технологии магнитного подвеса. Однако ограниченный срок службы движителей, обусловленный износом полиуретановых и нейлоновых опорных и боковых направляющих колес, рельсов (двутавровых балок), вызванный высокой загрузкой оборудования (20 ч в сутки) требует сложной замены, остановки «Карусели» на длительный период, наличия квалифицированного технического персонала и специального оборудования для проведения технического обслуживания и ремонта. Это актуализирует вопрос о повышении надежности движителей платформы на основе систем магнитного подвеса, который позволит также создать более равномерную нагрузку на платформу, исключить механический износ за счет ликвидации самой колесной системы «Рельс-колесо», значительно снизить требуемую мощность на привод платформы.

Технологическая схема магнитного подвеса представлена на рисунке 5.

Горизонтальные магнитные сборки Хальбаха 4, 5 обеспечивают левитацию (вывешивание платформы) за счет возникающих в них вертикальных сил отталкивания постоянных магнитов, боковая стабилизация платформы обеспечивается вертикальными магнитными сборками 1, 2 за счет возникающих в них горизонтальных сил отталкивания.

Используя элементы алгебры логики⁶, структурно-логическую модель магнитного подвеса доильной платформы «Карусель» можно записать как

$$Z_{мп2} = f [ВМП_{мпс} : (X^{мпв}_{1г} \dots X^{мпв}_{нг}) \wedge ВМП_{мпс} : (X^{мпв}_{1г} \dots X^{мпв}_{нг})] \wedge f [ГМП_{мпс} : (X^{мпг}_{1б} \dots X^{мпг}_{нб}) \wedge ГМП_{мпс} : (X^{мпг}_{1б} \dots X^{мпг}_{нб})] \wedge УЭП_{в} [(X_{уп1} \dots X_{упn})], \quad (1)$$

где ВМП_{мпс} – неподвижная система вертикального магнитного подвеса платформы; (X^{мпв}_{1г}...X^{мпв}_{нг}) – горизонтальные магнитные сборки неподвижной системы вертикального магнитного подвеса платформы; ВМП_{мпс} – верхняя подвижная система вертикального магнитного подвеса платформы; (X^{мпв}_{1г}...X^{мпв}_{нг}) – горизонтальные магнитные сборки верхней подвижной системы вертикального магнитного подвеса платформы; ГМП_{мпс} – неподвижная магнитная система горизонтальной боковой стабилизации платформы; (X^{мпг}_{1б}...X^{мпг}_{нб}) – вертикальные магнитные сборки неподвижной системы горизонтальной боковой стабилизации платформы; ГМП_{мпс} – подвижная магнитная

⁵ Дорощев А. Платформа для «карусели» // Сельскохозяйственные вести. 2020. № 2. URL: https://agri-news.ru/zhurnal/2020/22020/platforma-dlya-karuseli/?sphrase_id=2742 (дата обращения 10.01.2024)

⁶ Гуров С.И. Булевы алгебры, упорядоченные множества, решетки: Определения, свойства, примеры. Серия «Основы защиты информации»: Монография. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2013. 352 с.

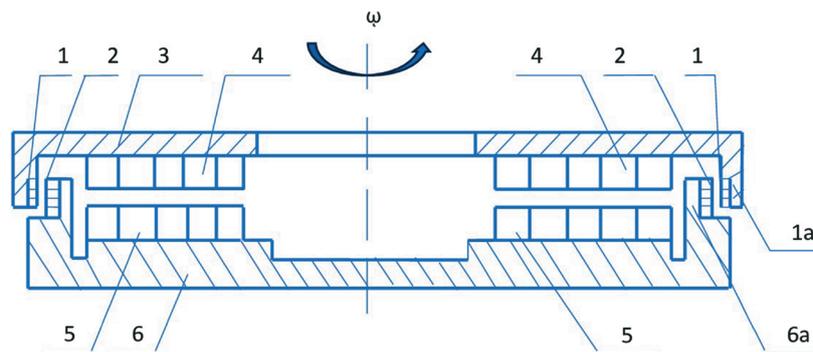


Рис. 5. Технологическая схема левитирующей доильной платформы «Карусель»:

- 1, 2 – вертикальная магнитная сборка Хальбаха подвижной и неподвижной системы горизонтальной боковой стабилизации платформы;
 1а – подвижная магнитная система горизонтальной боковой стабилизации платформы;
 3 – верхняя подвижная система вертикального магнитного подвеса платформы;
 4, 5 – горизонтальная магнитная сборка Хальбаха верхней подвижной и неподвижной системы вертикального магнитного подвеса платформы;
 6 – неподвижная система вертикального магнитного подвеса платформы;
 6а – неподвижная магнитная система горизонтальной боковой стабилизации платформы

Fig. 5. Technological plan of the levitating 'Carousel' milking platform:

- 1, 2 – vertical Halbach array of the movable and fixed system of horizontal lateral stabilization of the platform;
 1а – movable magnetic system of horizontal lateral stabilization of the platform;
 3 – upper movable system of vertical magnetic suspension (levitation) of the platform;
 4, 5 – horizontal Halbach array of the upper movable and fixed system of vertical magnetic suspension (levitation) of the platform;
 6 – fixed system of vertical magnetic suspension (levitation) of the platform;
 6а – fixed magnetic system of horizontal lateral stabilization of the platform

система горизонтальной боковой стабилизации платформы; ($X_{1в}^{мпг} \dots X_{пв}^{мпг}$) – вертикальные магнитные сборки подвижной системы горизонтальной боковой стабилизации платформы; УЭП_в – управляемый электропривод вращения платформы; ($X_{уп1} \dots X_{упп}$) – элементы управляемого электропривода вращения платформы.

Таким образом, реализация предложенной технологической схемы и структурно-логической модели позволит создать новую ресурсосберегающую конструкцию доильной платформы «Карусель» с использованием принципов магнитной левитации, обеспечить существенное снижение энергозатрат на привод и издержек на техническое обслуживание и ремонт платформы, обеспечить комфортное бесшумное передвижение животных.

Выводы

1. С учетом перспективности использования крупных форм хозяйствования в отрасли молочного животноводства актуальной проблемой при модернизации существующих и строительстве новых

ферм (1000 гол. и более) является создание высокопроизводительных отечественных доильных установок типа «Карусель» с повышенными эксплуатационными свойствами.

2. Анализ конструктивных решений доильных установок «Карусель» показывает, что наиболее капиталоемким, высоконагруженным и материалоемким узлом данного типа оборудования является вращающаяся доильная платформа, работающая практически в круглосуточном режиме. Это вызывает износ опорных и направляющих колес и рельсов, требующих периодической замены и постоянного проведения трудоемкого технического обслуживания и ремонта.

3. Для повышения эксплуатационной надежности работы доильной установки «Карусель», снижения капитальных затрат при монтаже, текущих затрат на техническое обслуживание и ремонт целесообразно разработать ресурсосберегающую конструкцию вращающейся доильной платформы, построенную на принципах магнитной левитации.

Список источников

1. 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. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18>
2. Тареева О.А. Анализ способов оптимизации работы доильных установок типа «Карусель» // *Вестник НГИЭИ*. 2013. № 4 (23). С. 122-130. EDN: QBJDWX
3. Вращающаяся доильная станция, комплект для ее монтажа и способы ее монтажа и эксплуатации: Патент RU2551565 C2 / А. Куртеманш; заяв. № 2012128038/13; опублик. 27.05.2015. Бюл. № 15. EDN: WHGXHW
4. Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Миронова А.В. Основные направления повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17, № 1. С. 41-50. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50>
5. Зайцев А.А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания // *Транспортные системы и технологии*. 2015. Т. 1, № 2. С. 5-15. EDN: VKWIAH
6. Транспортная система: Патент RU2643900 C1 / Ю.Ф. Антонов, А.А. Зайцев; заяв. № 2016138885; опублик. 06.02.2018. Бюл. № 4. EDN: KVNBNZ
7. Устройство магнитной левитации на постоянных магнитах: Патент RU2743104 C1 / С.А. Брюханов; заяв. № 2020106525; опублик. 15.02.2021. Бюлл. № 5. EDN: DLKZTJ
8. Магнитолевитационное транспортное средство: Патент RU2724030 C1 / Т.С. Зименкова, С.А. Казначеев, А.С. Краснов; заяв. № 2019125403; опублик. 18.06.2020. Бюл. № 17. EDN: YCJNTW

Информация об авторах

Владимир Вячеславович Кирсанов¹, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор; kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

Дмитрий Юрьевич Павкин², канд. техн. наук; dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Сергей Владимирович Кирсанов³, sergejkirsanovv@gmail.com
^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Вклад авторов

В.В. Кирсанов – общая концепция написания, план подготовки и просмотра материалов по статье, предложил использовать технологию магнитного подвеса;
 Д.Ю. Павкин – выполнил анализ конструктивных особенностей доильной платформы «Карусель», возникающих проблем и отказов при эксплуатации;
 С.В. Кирсанов – обосновал технологическую схему и предложил структурно-логическую модель доильной платформы «Карусель» на принципах магнитной левитации.
 Статья поступила 06.02.2024, после рецензирования и доработки 27.04.2024; принята к публикации 29.04.2024

References

1. Morozov N.M., Kirsanov V.V., Tsench Yu.S. Historical and analytical assessment of automation and robotization for milking processes. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(1):11-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18>
2. Tareeva O.A. Analysis of optimization of milking units “Carousel”. *Vestnik NGIEI*. 2013;4:122-130. (In Russ.)
3. Courtemanche A. Rotary milking station, kit for its mounting and methods of its mounting and operation: patent, RU2551565 C2, 2015. (In Russ.)
4. Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Mironova A.V. Increasing the operating lifetime of wearable working bodies of agricultural machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(1):41-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50>
5. Zaitsev A.A. Cargo-carrying transport platform based on magnetic levitation: experience of creation. *Transportation Systems and Technology*. 2015;1(2):5-15. (In Russ.)
6. Antonov Yu.F., Zaitsev A.A. Transport system: patent RU2643900 C1, 2018. (In Russ.)
7. Bryukhanov S.A. Magnetic levitation device on permanent magnets: patent RU2743104 C1, 2021. (In Russ.)
8. Zimenkova T.S., Kaznacheev S.A., Krasnov A.S. Magnetic-levatory vehicle: patent RU2724030 C1, 2020. (In Russ.)

Author Information

Vladimir V. Kirsanov¹, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

Dmitriy Yu. Pavkin², PhD (Eng); dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Sergey V. Kirsanov³, sergejkirsanovv@gmail.com
^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Centre VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy Proezd Str., 5.

Author Contribution

V.V. Kirsanov – conceptualization, literature review, planning investigation of the use of magnetic suspension (levitation) technology;
 D.Yu. Pavkin – study of the design features of the ‘Carousel’ milking platform, problems and failures during its operation;
 S.V. Kirsanov – justification of the technological scheme; structural and logical modeling of the milking platform ‘Carousel’ operating on the principles of magnetic levitation.

Received 06.02.2024, Revised 27.04.2024, Accepted 29.04.2024