

УДК 631.3:004.9:331.45

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (сельскохозяйственные науки)

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Котелевская Елена Анатольевна

к.т.н., доцент

Scopus Author ID: 788 241

РИНЦ SPIN-код: 6276-1524

9183119059@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина 13

Туманова Марина Ивановна

к.т.н., доцент

Scopus Author ID: 676 203

РИНЦ SPIN-код: 1927-7090

tumanova-kgau@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина 13

Лобачев Илья Андреевич

Студент

Ilya.lob.2004@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина 13

Редун Павел Иванович

Студент

rpi1406@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина 13

Статья посвящена исследованию возможностей модернизации роботизированных систем навозной очистки в животноводстве на примере модели Lely Discovery 120 Collector. На фоне растущей цифровизации агропромышленного комплекса представлена сравнительная характеристика робота и традиционной скреперной установки УС-15. Проведен анализ эксплуатационных параметров, энергозатрат, конструкции, гигиенических преимуществ и автономности. Предложено техническое решение по дооснащению робота системой лидара RPLIDAR A2M12 уже к имеющимся (предположительно) ультразвуковыми датчиками HC-SR04. Модернизация направлена на повышение точности пространственного ориентирования, обеспечение безопасного функционирования в условиях динамической

UDC 631.3:004.9:331.45

4.3.1 Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (agricultural sciences)

IMPLEMENTATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE OPERATION OF A LIVESTOCK FACILITY

Kotelevskaya Elena Anatolyevna

Cand.Tech.Sci., docent

Scopus Author ID: 788 241

RSCI SPIN-code: 6276-1524

9183119059@mail.ru

Kuban State Agrarian University, 13 Kalinina, Krasnodar, 350044, Russia

Tumanova Marina Ivanovna

Cand.Tech.Sci., docent

Scopus Author ID: 676 203

RSCI SPIN-code: 1927-7090

tumanova-kgau@mail.ru

Kuban State Agrarian University, 13 Kalinina, Krasnodar, 350044, Russia

Lobachev Ilya Andreevich

Student

Ilya.lob.2004@mail.ru

Kuban State Agrarian University, 13 Kalinina, Krasnodar, 350044, Russia

Redun Pavel Ivanovich

Student

rpi1406@mail.ru

Kuban State Agrarian University, 13 Kalinina, Krasnodar, 350044, Russia

This article examines the modernization of robotic cleaning systems in livestock farming, using the Lely Discovery 120 Collector as a case study. Within the context of accelerating digitalization in agriculture, the study presents a detailed comparison between the robot and the traditional US-15 scraper system. Operational performance, energy consumption, hygiene benefits, and structural design are analyzed. A technical upgrade is proposed through the integration of the RPLIDAR A2M12 lidar sensor and HC-SR04 ultrasonic modules. This enhancement aims to improve spatial orientation, reduce reaction time to obstacles, and increase operational safety in dynamically changing environments. A hybrid sensor model is introduced, with a cost assessment for integration. Findings show that the upgraded robot achieves significantly greater precision and adaptability than the base model. The proposed

среды, а также сокращение времени реакции на препятствия. Представлена модель работы гибридной сенсорной системы и расчет стоимости интеграции. Установлено, что робот, оснащенный системой смешанной навигации, демонстрирует более высокую эффективность и точность по сравнению с базовой моделью. Данный подход соответствует задачам цифровой трансформации сельского хозяйства, обеспечивая не только рост производительности, но и улучшение условий содержания животных. Результаты исследования могут быть применены в проектировании и модернизации современных автоматизированных комплексов для животноводства

Ключевые слова: ЦИФРОВИЗАЦИЯ, АПК, ЖИВОТНОВОДСТВО, КРУПНЫЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ, РОБОТ-УБОРЩИК, МОДЕРНИЗАЦИЯ, LELY DISCOVERY 120 COLLECTOR, ТЕХНОЛОГИЯ, ЛИДАР

solution aligns with the goals of digital transformation in agriculture by increasing system productivity and improving animal welfare. The presented results are applicable in the development and refinement of intelligent, automated livestock management systems, supporting the transition to precision livestock farming

Keywords: DIGITALIZATION, OF AGRICULTURE, LIVESTOCK FARMING, LARGE-SCALE LIVESTOCK FACILITIES, MANURE CLEANING ROBOT, MODERNIZATION OF LELY DISCOVERY 120 COLLECTOR, LIDAR, TECHNOLOGY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-210-018>

Введение. Роботизация в животноводстве, аналогично другим отраслям становится важным направлением, способствующим повышению эффективности и устойчивости агропромышленного комплекса (рис.1). В условиях растущего спроса на продовольствие и недостаточного количества рабочей силы на животноводческих предприятиях, автоматизация технологических процессов на фермах позволит оптимизировать трудозатраты, снизить издержки и повысить производительность труда, так как современные технологии становятся неотъемлемой частью современного агробизнеса.



Рисунок 1 – Индекс цифровизации отраслей экономики за 2021 год

Когда речь идёт о цифровизации агропромышленного комплекса (АПК) России, подразумевается комплексная трансформация с/х отрасли, включающую интеграцию цифровых инструментов в производство, переработку, логистику и сбыт продукции. Специфика АПК характеризуется высокой степенью неопределённости, связанной с погодными условиями, биологическими циклами и рыночными колебаниями, что делает цифровизацию не просто технологической, но и стратегически важной задачей.

Согласно докладу Минсельхоза РФ (2023), в России уже реализуется программа «Цифровое сельское хозяйство», в рамках которой ведётся внедрение таких технологий, как спутниковый мониторинг, агроаналитика, роботизация процессов, дистанционный контроль за техникой и посевами. Кроме того, активно развиваются системы точного земледелия, при которых обработка почвы, внесение удобрений и орошение осуществляются на основе данных, полученных с датчиков и спутников [1]. Животноводство как ключевой сектор АПК также претерпевает существенные изменения. Современный роботизированный животноводческий комплекс представляет собой высокотехнологическое предприятие, где значительная часть операций передана

интеллектуальным системам и дистанционно управляемым механизмам. Из основных направлений, претерпевающих изменения выделяют технологические процессы: кормление, доение, мониторинга здоровья животных, санитарной обработки и управления микроклиматом. В центре их функционирования заложен принцип адаптации производственных мощностей под конкретные параметры каждой особи или группы животных.

Внедрение новых технологических решений в агропромышленном комплексе (АПК) происходит на двух уровнях: автоматизация и цифровизация. Существенным отличием цифровизации от автоматизации, является другая концептуальная основа. Так, если цель автоматизации состоит в увеличении процента механизации основных процессов и замещении человеческого труда, то цифровизация предполагает формирование целой экосистемы, в которой данные становятся ключевым ресурсом, а координация процессов осуществляется посредством цифровых моделей и алгоритмов.

Цель исследования. Совершенствование технологического процесса уборки навоза на животноводческих комплексах путем модернизации робота модели Lely Discovery 120 Collector.

Материалы и методы. Методологической основой исследования стал системный подход, предполагающий оценку потенциала цифровизации, технических характеристик систем распознавания препятствий, включая количественные методы (статистический анализ, экономическое моделирование, сравнительный анализ).

Одной из перспективных технологий на молочных фермах стали роботизированные системы уборки навоза, поскольку своевременная уборка животноводческого комплекса оказывает существенное влияние на здоровье животных, микроклимат в помещениях и общую гигиену производственной среды. Передовым решением в этой области стал Lely

Discovery 120 Collector — роботизированный навозоуборочный аппарат нового поколения. Принцип функционирования данной системы основан на автономном перемещении по запрограммированному маршруту с помощью интегрированной системы датчиков.

Процесс очистки включает предварительное увлажнение навоза фронтальными и задними форсунками для разжижения отходов. Скребки направляют навоз к всасывающему отверстию в корпусе робота, где происходит его сбор посредством вакуумного механизма. В точке разгрузки происходит автоматическое опорожнение накопительного бака и пополнение резервуаров для воды. После выполнения всех операций робот возвращается к зарядной станции (рис.2).

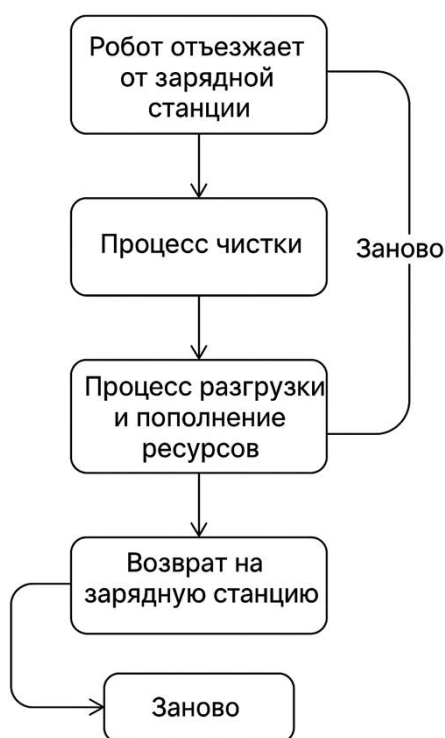


Рисунок 2 – Технологический процесс робота-уборщика

В современных условиях развития АПК актуальность приобретает модернизация существующих систем навозоудаления. Усовершенствование технологического процесса считается рациональным

для установок, уже имеющих большую адаптированность к работе и дальнейшие перспективы в развитии. В связи с этим предоставляется целесообразным провести сопоставление традиционной скреперной установки с роботом-уборщиком. Для реализации данного исследования необходимо подобрать скреперную установку, соответствующую параметрам существующего коровника (табл. 1).

Таблица 1 – ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Параметры	Значения
Количество коров на ферме, голов	100
Число животных в ряду, голов	50
Количество кала, выделяемого одним животным, кг/голов*сутки	35
Количество мочи, выделяемое одним животным, кг/голов*сутки	20
Влажность навоза, %	87-88
Плотность навоза, %	1000
Длина навозоприемного канала, м	60
Скорость скрепера, м/с	0,05

Рассчитаем выход навоза от животных, находящихся на ферме, кг/год по формуле:

$$G_r = (q_k + q_m) \cdot D \cdot m, \quad (1)$$

где

q_k – количество кала, выделяемого одним животным в течение суток, составляет (табл.1) $q_k=35$ кг/гол·сут;

q_m – количество мочи, выделяемой одним животным в течение суток, составляет (табл.1) $q_m=20$ кг/гол·сут;

D – число дней накопления навоза, составляет $D=365$ сут;

m – число животных в помещении, составляет (табл.1) 100 гол.

Тогда:

$$G_r = (35 + 20) \cdot 365 \cdot 100 = 2007500 \text{ кг.}$$

Суточный выход навоза на ферме, кг.

$$G_{\text{сут}} = \frac{G_r}{365} = \frac{2007500}{365} = 5500 \text{ кг.}$$

Для того, чтобы подобрать скреперную установку, рассчитаем подачу скреперной установки, кг/с,

$$Q_c = \frac{V_c \cdot \rho \cdot \varphi}{T_{\text{ц}}}, \quad (2)$$

где

V_c – расчетная вместимость скрепера, м³; рекомендуют $V_c = 0,25 \text{ м}^3$;

ρ – плотность навоза, кг/м³; составляет (табл.1) $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

φ – коэффициент заполнения скрепера, составляет $\varphi = 1$;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность одного цикла, с;

$$T_{\text{ц}} = \frac{2L_k}{V_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где

L_k – длина одного навозоприемного канала, м; принимается (табл.1) равной длине секции коровника, в нашем примере $50 \cdot 1,2 = 60 \text{ м}$;

$V_{\text{ср}}$ – средняя скорость скрепера, составляет (табл.1) $V_{\text{ср}} = 0,05 \text{ м/с}$.

Отсюда, количество циклов равно:

$$T_{\text{ц}} = \frac{2 \cdot 60}{0,05} = 2400 \text{ с}$$

Подача скреперной установки составит:

$$Q_c = \frac{0,25 \cdot 1000 \cdot 1,0}{2400} = 0,104 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Часовая подача скрепера:

$$Q_c = \frac{Q_c \cdot 3600}{1000} = 0,374 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$$

Число рабочих циклов скрепера вычисляем по формуле:

$$Z = \frac{m_p \cdot K_{\text{сут}}}{V_c \cdot \rho \cdot \varphi}, \quad (4)$$

где

m_p – число животных в ряду, составляет (табл.1) $m_p = 50 \text{ гол}$;

$K_{\text{сут}}$ – суточный выход навоза от одного животного, составляет (табл.1) $K_{\text{сут}} = 55 \text{ кг/гол}\cdot\text{сут.}$

Тогда число рабочих циклов скрепера:

$$Z = \frac{50 \cdot 55}{0,25 \cdot 1000 \cdot 1,0} = 11$$

Скреперная установка убирает навоз в одном канале шириной 1,8 м и глубиной 0,2 м.

Общее сопротивление движению скреперной установки, Н,

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (5)$$

где

P_1 – сопротивление движению рабочей ветви, Н;

$$P_1 = [(G_n + G_c)W_c + q \cdot L \cdot f_n] \cdot g, \quad (6)$$

где

G_n – масса навоза, перемещаемого скрепером, кг;

$$G_n = V_c \cdot \rho, \quad (7)$$

$$G_n = 0,25 \cdot 1000 = 250 \text{ кг}$$

где

G_c – масса скрепера, кг; составляет $G_c = 190 \text{ кг}$;

W_c – приведенный коэффициент сопротивления перемещению навоза и скрепера, составляет $W_c = 1,9$;

q – масса одного погонного метра каната, составляет $q = 0,4$;

L – длина контура, м; составляет $L = 170 \text{ м}$;

f_n – коэффициент трения каната о навоз, составляет $f_n = 0,5$;

g – скорость свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

Тогда сопротивление движению рабочей ветви:

$$P_1 = [(250 + 190)1,9 + 0,4 \cdot 170 \cdot 0,5] \cdot 9,81 = 8535 \text{ Н}$$

Сопротивление перемещению холостой ветви, Н:

$$P_2 = (G_c \cdot W_c + qL f_n)g \quad (8)$$

$$P_2 = (190 \cdot 1,9 + 0,4 \cdot 170 \cdot 0,5) \cdot 9,81 = 3875 \text{ Н}$$

Сопротивление на преодоление инерции, Н:

$$P_3 = (2G_c + qL) \frac{V_{cp}}{t}, \quad (9)$$

где

t – время разгона, с, принимаем $t=5$ с;

$$P_3 = (2 \cdot 190 + 0,4 \cdot 170) \frac{0,05}{5} = 5,0 \text{ Н.}$$

Усилие натяжения набегающей ветви троса, Н;

$$P_4 = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{e^{\mu\alpha} - 1}, \quad (10)$$

где

e – основание натуральных логарифмов, $e = 2,71$;

μ – коэффициент трения троса о ролик, рекомендуют $\mu = 0,1$;

α – угол охвата ролика тросом, составляет $\alpha = 80^\circ$.

Отсюда, усилие натяжения набегающей ветви троса:

$$P_4 = \frac{8535 + 3875 + 5}{2,71^{0,1 \cdot 80} - 1} = \frac{12410}{2981 - 1} = 4,0 \text{ Н.}$$

Общее сопротивление скреперной установки:

$$P_c = 8535 + 3875 + 5 + 4 = 12419 \text{ Н.}$$

Требуемая мощность двигателя, Вт вычисляется по формуле:

$$N = \frac{P_c \cdot V_{cp}}{\eta}, \quad (11)$$

где

η – КПД передачи, составляет $\eta = 0,80$.

Тогда мощность двигателя, необходимая под данные условия составляет:

$$N = \frac{12419 \cdot 0,05}{0,80} = 776 \text{ Вт.}$$

Исходя из выполненных расчетов, выбираем скреперную установку УС – 15, техническая характеристика которой представлена в таблице 2.

Таблица 2 – ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКРЕПЕРНОЙ
УСТАНОВКИ УС-15

Характеристика	Показатель
Подача, т/ч	1,26
Ширина захвата скреперов, м	1,8-3,0
Длина контура, м	170
Число рабочих органов	2
Скорость рабочего органа, м/с	0,05
Установленная мощность электродвигателя, кВт	1,1
Масса, кг	2511

Проведем сравнительный анализ существующих решений, а именно скреперной установки УС-15 и робота модели Lely Discovery 120 Collector. Начнем с энергопотребления. Для робота по заявленным характеристикам максимально может составлять 3 кВт/день [2]. Энергопотребление скреперной установки вычислим по следующей формуле:

$$P_{\text{скрепер}} = P_{\text{уст}} \cdot T_{\text{ц}} \cdot N, \quad (12)$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установки, составляет $P_{\text{уст}}=1,1$ кВт;

$T_{\text{ц}}$ – время одного цикла, составляет $T_{\text{ц}}=2400 \text{ с} = 40 \text{ мин} = 2/3 \text{ ч}$;

N – количество циклов в день, составляет $N=11$.

Подставим значение:

$$P_{\text{скрепер}} = 1,1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 11 = 8,07 \text{ кВт}$$

Таким образом, энергопотребление робота в 2,69 раза меньше, чем у скреперной установки.

Из других ключевых преимуществ робота можно выделить: отсутствие необходимости монтажа направляющих или модификации пола - робот самостоятельно ориентируется в пространстве с помощью системы датчиков и встроенных алгоритмов навигации. Тем самым обеспечивается полная автономность работы, снижение травм копыт благодаря отсутствию цепей на полу, возможность настраиваемых зон и графика

очистки коровника. Кроме того, в отличие от традиционных скребковых систем, перемещающих навоз по каналам, данный робот засасывает жидкую фракцию навоза в специальный резервуар. Как результат мы получаем более чистый коровник, в том числе в местах, недоступных для скрепера и меньше беспокойства животных в процессе работы [3].

В контексте цифровизации АПК актуальность приобретает возможность модернизации оборудования в сторону внедрения систем с гибкой модификацией и адаптацией к новым задачам. Так, в рамках дооснащения рассматриваемого навозоуборочного аппарата предлагается интеграция системы лидара в корпус роботов-уборщиков как логичный шаг в эволюции автоматизированных систем животноводства (рис.3).

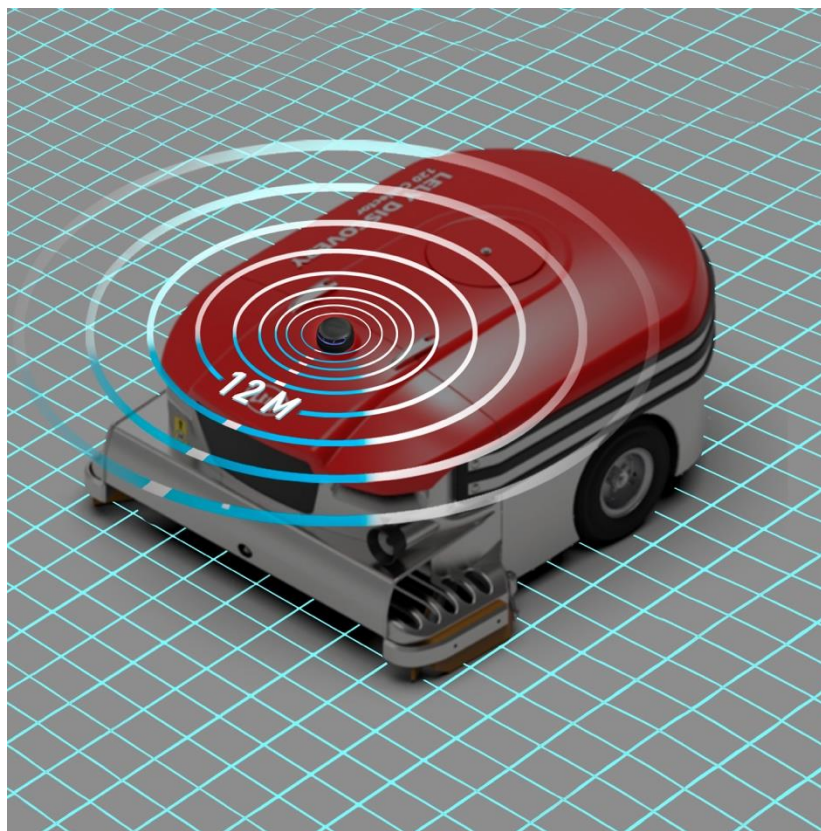


Рисунок 3 – Модернизированная модель робота-навозоуборщика

Lely Discovery 120 Collector, изначально предназначенный для автоматической уборки навоза, уже обладает системой навигации. Однако лидарная технология способна существенно повысить точность

пространственной ориентации и безопасность его функционирования. Лидар (от англ. Light Detection and Ranging) представляет собой активный сенсор, использующий лазерные импульсы для построения трёхмерной карты окружающей среды. Благодаря 360-градусному сканированию, система обеспечивает точное определение расположения объектов, их формы и расстояния в режиме реального времени.

Для обеспечения высокой точности навигации и безопасности движения выбираем модели дальномеров: RPLIDAR A2M12 и HC-SR04, где RPLIDAR A2M12 представляет собой лазерный дальномер, обеспечивающий круговое сканирование пространства с заявленной частотой работы 10 Гц и устройство формирует точную карту окружения в радиусе 12 м [4]. У модели HC-SR04 рабочая дальность до 4 метров и принцип работы основан на измерении времени прохождения ультразвукового сигнала до препятствия и времени отраженного сигнала обратно. Сравнительная характеристика представлена в таблице 3.

Таблица 3 – СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ

Характеристика	RPLIDAR A2M12	HC-SR04
Дальность действия	до 12 м	до 4 м
Частота сканирования	10 Гц	40 Гц
Угол обзора	360°	15°
Потребляемая мощность	5 Вт	0.05 Вт
Стоимость	Высокая	Низкая

Алгоритмическая последовательность работы модернизируемого робота установки реализуется следующим образом: лазерный диод генерирует импульс когерентного излучения, который направляется системой Beam Steering в требуемое пространственное положение. После прохождения через промежуточную плоскость изображения, где осуществляется его коррекция, луч проходит через широкоугольный объектив, формирующий требуемое поле сканирования. Отраженное от

объектов излучение регистрируется приемной системой для последующей обработки.

Таблица 4 – СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БАЗОВОЙ И
МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

Характеристики	Базовая модель	Модернизированная модель
Система навигации	ультразвуковые датчики	ультразвуковые датчики + система Lidar
Радиус сканирования	до 7 метров	12 метров
Точность позиционирования	средняя	высокая
Обнаружение препятствий	локальное	360° обзор
Построение детальной 3д модели помещения	отсутствует	автоматически
Точность распознавания объектов со сложными структурами	средняя	высокая
Распознавание динамических объектов с учетом траектории их движения	нет	да

Преимущества интеграции лидара в конструкцию Lely Discovery 120 Collector представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Преимущества модернизированной модели Lely discovery 120
Collector

Для наглядного сравнения эффективности лидарной системы рассмотрим существующие решения на основе 2 моделей дальномеров. В качестве базового варианта для сравнения выбран ультразвуковой датчик HC-SR04 средних характеристик, который может быть установлен в роботе. Устройство работает на расстоянии до 4 метров и функционирует по принципу измерения времени прохождения ультразвукового сигнала до препятствия и времени отраженного сигнала обратно.

В качестве модернизированной системы выбран лазерный дальномер RPLIDAR A2M12. Прибор обеспечивает круговое сканирование пространства с частотой 10 Гц и формирует точную карту окружения в радиусе 12 метров. Чтобы сравнить их показатели, смоделируем ситуацию, изображенную на рисунке 5.

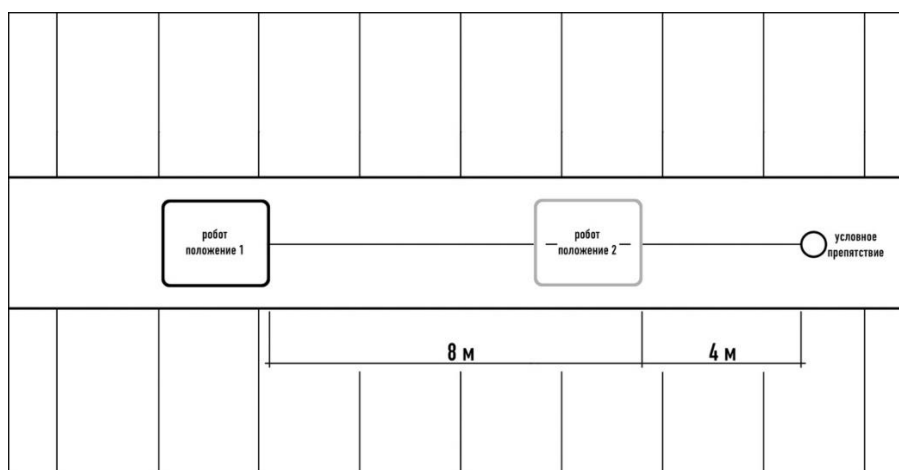


Рисунок 5 – Рабочая ситуация

Для обеспечения безопасной работы системы проведены расчеты временных параметров работы датчиков. В частности, для лидара RPLIDAR A2 M12 определены следующие характеристики: из заявленных данных частота сканирования составляет $f=10$ Гц, отсюда период сканирования составит:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \text{ Гц}} = 0,1 \text{ с} \quad (13)$$

Исходя из того, что препятствие может быть расположено по любую сторону от лидара – время обнаружение объекта условно приравнивается к периоду сканирования и составляет 0,1 секунду.

Параметры работы ультразвукового датчика будут вычисляться при заданных условиях, а именно робот должен приблизиться на расстояние, позволяющее определять препятствие на расстоянии 12 метров от начальной точки. Так как радиус действия датчика ограничен 4 метрами, расстояние сближения составит 8 метров при заданной средней скорости движения робота $v_{\text{робот}} = 0,15$ м/с. Время движения вычислим по формуле:

$$t_{\text{движения}} = \frac{l}{v_{\text{робот}}}, \quad (14)$$

где

l – расстояние, на которое робот должен проехать, прежде чем ультразвуковые датчики будут способны обнаружить препятствие, $l = 8$ м.

Отсюда, время, затраченное на движение робота равно:

$$t_{\text{движения}} = \frac{8}{0,15} = 53,33 \text{ с}$$

Время обнаружения препятствия ультразвуковым датчиком в пределах досягаемости составит $t_{\text{ультразвук}} = 0,01$ сек.

Общее время необходимое для обнаружение роботом, оснащенным исключительно ультразвуковым датчиком, рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{движения}} + t_{\text{ультразвук}} \quad (15)$$
$$t_{\text{общ}} = 53,33 + 0,01 = 53,34 \text{ с}$$

Зная время, при котором модернизированная и базовая модель способны обнаружить препятствие, находящиеся на расстоянии 12 метров, можно вычислить разницу между ними:

$$\Delta t = t_{\text{общ}} - t_{\text{лидар}} \quad (16)$$
$$t_{\text{общ}} = 53,34 - 0,1 = 53,24 \text{ с}$$

Установлено, что применение лидарной установки RPLIDAR A2M12 демонстрирует свои преимущества на дальних расстояниях. Отмечено

существенное сокращение времени обнаружения препятствий - робот получит информацию о преграде, расположенной в 12 метрах от себя на 53,24 секунды быстрее, что позволит заблаговременно спланировать маршрут объезда и минимизировать риск возможных столкновений. Внедрение установки способствует повышению общей эффективности работы установки и качества навигации в сложных условиях эксплуатации (в динамически изменяемых условиях). Возможность дооснащения робота считается вполне обоснованной, по ценовым характеристикам по отношению к общей стоимости робота прибавка составит:

$$P = \frac{w_{lidar}}{w_{робот}} \cdot 100, \quad (17)$$

где

w_{lidar} – стоимость лидара, составляет $w_{lidar} = 34800$ рублей;

$w_{робот}$ – стоимость робота навозоуборщика Lely discovery 120 Collector, составляет $w_{робот} = 2500000$ рублей.

В результате расчета установлено, что модернизация робота увеличит его стоимость на:

$$P = \frac{34800}{2500000} \cdot 100 = 1,39\%$$

Вывод. В процессе выполнения работы установлено, что использование гибридной системы навигации, объединяющей лидарные установки совместно с ультразвуковыми датчиками считается целесообразным. Ключевым преимуществом является разделение зон ответственности с переплетением зон влияния. Так, лидар обеспечивает глобальную навигацию и точное позиционирование в пространстве, в то время как ультразвуковые датчики эффективно справляются с задачей локального обнаружения препятствий на малых расстояниях. Считается, что комплементарность технологий позволит достичь максимальной эффективности при оптимальном соотношении затрат, планируется, что внедрении технологии лидара имеет значительный потенциал для

цифровой трансформации с/х. Гибридная система способствует созданию более комфортных условий для животных и персонала, что делает заявленное техническое решение хорошим инструментом повышения экономической эффективности совместно с учитываемыми принципами эргономики рабочего пространства.

Список литературы:

1. Цифровизация сельского хозяйства — основной тренд развития отрасли [Электронный ресурс] // FoodSmi. — 2023. — Режим доступа: <https://foodsmi.com/statistika-i-issledovaniya-/tsifrovizatsiya-selskogo-khozyaystva-osnovnoy-trend-razvitiya-otrasli/> (дата обращения: 5 мая 2025 г.);
2. Lely. Робот-аспиратор навоза Lely Discovery Collector [Электронный ресурс] // Viatek Group. — 2020. — Режим доступа: https://viatekgroup.com/wp-content/uploads/2020/07/lely_discovery_collector.pdf (дата обращения: 5 мая 2025 г.);
3. Робот для уборки в коровнике Lely Discovery 120 Collector [Электронный ресурс]: каталог // Ясногорские фермы: сайт. — Режим доступа: <https://yasnogorfarms.ru/catalog/novozoudalenie/robot-dlya-uborki-v-korovnike-lely-discovery-120-collector/> (дата обращения: 12.05.2025).
4. Slamtec. Lidar A2 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.slamtec.com/en/Lidar/A2> (дата обращения: 5 мая 2025 г.).

References:

1. Cifrovizacija sel'skogo hozjajstva — osnovnoj trend razvitija otrasli [Jelektronnyj resurs] // FoodSmi. — 2023. — Rezhim dostupa: <https://foodsmi.com/statistika-i-issledovaniya-/tsifrovizatsiya-selskogo-khozyaystva-osnovnoy-trend-razvitiya-otrasli/> (data obrashhenija: 5 maja 2025 g.);
2. Lely. Robot-aspirator navoza Lely Discovery Collector [Jelektronnyj resurs] // Viatek Group. — 2020. — Rezhim dostupa: https://viatekgroup.com/wp-content/uploads/2020/07/lely_discovery_collector.pdf (data obrashhenija: 5 maja 2025 g.);
3. Robot dlja uborki v korovnike Lely Discovery 120 Collector [Jelektronnyj resurs]: katalog // Jasnogorskie fermy: sajt. — Rezhim dostupa: <https://yasnogorfarms.ru/catalog/novozoudalenie/robot-dlya-uborki-v-korovnike-lely-discovery-120-collector/> (data obrashhenija: 12.05.2025).
4. Slamtec. Lidar A2 [Jelektronnyj resurs]. — Rezhim dostupa: <https://www.slamtec.com/en/Lidar/A2> (data obrashhenija: 5 maja 2025 g.).