

А. А. Жешко¹, В. В. Голдыбан¹, С. Л. Герасюто²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

²ООО «Робототехника и облачные технологии»

г. Минск, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМОЙ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности построения имитационной модели процесса внесения твердых минеральных удобрений, представлена динамическая, поэлементная схема модуля для внесения удобрений и схема роботизированной платформы.

Ключевые слова: минеральные удобрения, роботизированная платформа, штанговые рабочие органы, движение по междурядьям.

A. A. Zheshka¹, V. V. Haldyban¹, S. L. Herasiuta²

¹RUE “SPC NAS of Belarus of Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

²LLC “Robotics and cloud Technologies”

Minsk, Republic of Belarus

FEATURES OF BUILDING A SIMULATION MODEL OF THE PROCESS OF APPLYING SOLID MINERAL FERTILIZERS BY A ROBOTIC PLATFORM

Abstract. The article discusses the features of building a simulation model of the process of applying solid mineral fertilizers, presents a dynamic and piecemeal scheme of a module for applying fertilizers and a scheme of a robotic platform.

Keywords: mineral fertilizers, a robotic platform, rod-type working bodies, row-by-row movement.

Введение

Решение задач роботизации и интеллектуализации технологических процессов применения удобрений и химических средств защиты растений приобретает в настоящее время особую значимость. Причиной тому можно считать доступность и сравнительную простоту «вхождения» в программирование современных микроконтроллеров, что стало возможным ввиду широкой популяризации программно-аппаратных средств для прототипирования моделей и систем. Учитывая, что выполнение процессов по внесению средств химизации в обозримом будущем станет возможным переложить на роботизированную технику, в работах широкого круга исследователей наблюдается интерес к поиску наиболее перспективных технических решений в данной сфере [1, 2, 3]. Это направление научных исследований следует считать перспективным, поскольку в настоящее время наблюдается дефицит операторов сельскохозяйственной техники, что требует поиска путей выполнения части механизированных работ за счет комплекса роботизированных технических средств. Для снижения расходов на выполнение механизированных работ роботизированными платформами целесообразно стремиться к использованию их групп для проведения конкретных сельскохозяйственных операций, где один из элементов группы является ведущим и оснащается наиболее дорогостоящим оборудованием для реализации автономного дви-

жения, а другие элементы являются ведомыми и реализованы с использованием более простой программно-аппаратной части.

В настоящей работе представлен краткий обзор существующих роботизированных технических средств, в общем виде представлена поэлементная схема, динамическая и имитационная модель роботизированного разбрасывателя минеральных удобрений.

Основная часть

В настоящее время роботизированные платформы разрабатываются по модульному принципу. Модуль для внесения удобрений как правило монтируется непосредственно на платформе (рисунки 1, а и рисунок 2). Также существуют технические решения, в которых модуль прицепного или полуприцепного типа агрегируется с универсальным роботизированным техническим средством (рисунок 1, б).

Организация движения роботизированных платформ по рабочему участку, как правило, базируется на методе одновременной локализации и картирования (SLAM). Для этих целей применяются лазерные сканеры, стереокамеры, инфракрасные и ультразвуковые датчики, одометры, электронные компасы и гироскопы, модули GPS/ГЛОНАСС/BeiDou и другие средства. Принципы, на которых строятся алгоритмы перемещения по рабочему участку, зависят от особенностей выполняемой технологической операции. Например, при обработке междурядий пропашных культур основным критерием, который влияет на выбор алгоритма перемещения робота, является перемещение движителя по междурядьям так, чтобы исключить травмирование культурных растений. Навигационными ориентирами при этом могут служить облака точек культурных растений, зарегистрированных с помощью LiDAR или стереокамеры, между которыми пристраивается траектория движения.



Рисунок 1 – Роботизированные платформы для внесения твердых минеральных удобрений



Рисунок 2 – Роботизированная платформа для внесения химических средств защиты растений и жидких минеральных удобрений

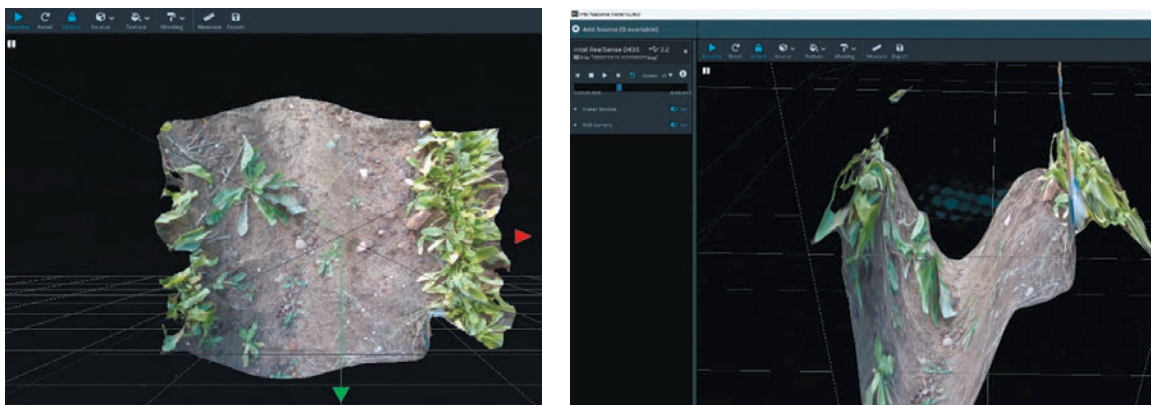


Рисунок 3 – Визуализация результатов тестирования стереокамеры в программе RealSense Viewer

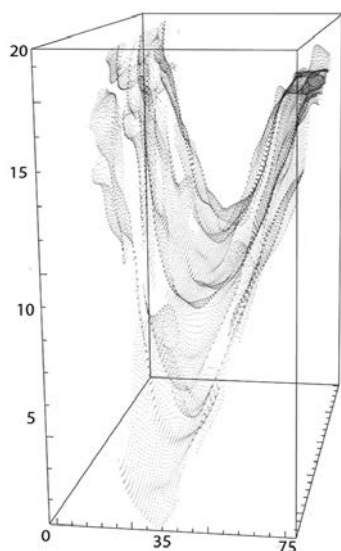


Рисунок 4 – Трехмерная интерпретация облака точек междурядья

Реализация алгоритма движения при обработке пропашных культур осложняется наличием в междурядьях сорных растений. Для повышения точности построения маршрута целесообразно совместно с лазерным сканером использовать стереокамеру, например, RealSense. Далее, путем комплексирования данных облаков точек, – корректировать траекторию движения робота. Результаты тестирования работы камеры RealSense, установленной на роботизированной платформе, записывались в файлы с расширением bag. Такой формат используется для передачи сообщений ROS (Robot Operating System) и в данном случае применяется для записи и хранения данных со стереокамеры, последующей визуализации и математической обработки.

На рисунке 3 представлена визуализация результатов тестирования стереокамеры в программе RealSense Viewer.

Результаты математической обработки представлены на рисунке 4 в виде трехмерной интерпретации облака точек междурядья. Для получения уравнения, аппроксимирующего геометрическую форму междурядья, использовали модель линейной регрессии вида:

`lm = LinearModelFit[data, (x^# & /@ Range[0, 3]) ~ Join~ (y^# & /@ Range[1, 6]), {x, y}],`
 |модель линейной регрессии |диапазон |соединить |диапазон

где `x^# & /@ Range[0, 3]` и `y^# & /@ Range[1, 6]` – диапазоны, в которых производится аппроксимация, таким образом, поиск подходящей функции необходимо осуществлять в виде полинома шестой степени, тогда

$$z = -3,17 + 1,67x + 2,0x^2 - 1,73x^3 + 0,23y + 0,12y^2 + 0,08y^3 - 0,072y^4 - 0,02y^5 + 0,002y^6.$$

На рисунке 5 представлена поэлементная схема модуля для внесения удобрений к роботизированной платформе в наиболее общем виде. Модуль для внесения удобрений всегда имеет накопительную емкость, которая, в зависимости от агрегатного состояния удобрений, может представлять собой бак для жидкости либо кузов для сыпучих видов удобрений. Основными характеристиками накопительных емкостей являются геометрические параметры и вместительность.

Также важнейшим элементом модуля удобрений выступает дозатор, который предназначен для регулируемой подачи потока жидких либо твердых минеральных удобрений к рабочим органам.

Вспомогательными элементами являются сводообрушители и побудители, которые сводят к минимуму зависание и сводообразование в накопительных емкостях, застой сыпучего мате-



Рисунок 5 – Поэлементная схема модуля для внесения удобрений

риала в «мертвых» зонах. Также довольно важным конструктивным элементом является подающее устройство. Распределяющее устройство для сыпучих видов удобрений представляет собой центробежный диск или штанговый шнековый распределитель. Для жидких удобрений для этих целей применяют штанги с установленными на них форсунками.

Динамическая схема модуля для внесения удобрений представлена на рисунке 6.

В соответствии со схемой, представленной на рисунке 6, модуль для внесения минеральных удобрений в нормальных условиях эксплуатации представляет собой динамическую систему, которая функционирует в условиях постоянно изменяющихся внешних воздействий. В вероятностно-статистическом смысле внешние факторы, оказывающие влияние на технологические, энергетические и прочностные характеристики, являются случайными величинами.

Для того чтобы выявить взаимосвязь входных и выходных переменных, а также определить характер их протекания необходимо составить расчетную схему. Внешними воздействиями являются внешние управляющие воздействия и возмущения, например, силы и их моменты, ускорения и перемещения. Эти составляющие приложены к различным точкам платформы и вызваны такими факторами как сопротивление почвы $Z(t)$, сопротивление перекачиванию $\Psi(t)$, колебания от роботизированной платформы $\zeta(t)$, физико-механические свойства удобрений $R(t)$.

Выходными являются параметры, определяющие энергетические характеристики $E(t)$, качественные показатели работы $V(t)$ и производительность роботизированной платформы $W(t)$.

Представим производительность роботизированной платформы W_{rzb} как функцию от ширины захвата B_{rzb} , грузоподъемности Q_{rzb} и рабочей скорости движения v_{rzb} , т. е. $W_{rzb} = f(B_{rzb}, Q_{rzb}, v_{rzb})$. Для этого выразим аналитически коэффициент использования времени смены τ_{udb} , который определяется как отношение времени основной работы по внесению удобрений t_{rbt} к действительному времени смены t_{dsm} , т. е. $\tau = t_{rbt} / t_{dsm}$.

Чистое время работы равно времени, затрачиваемому на внесение удобрений. Так, если объем бункера модуля для внесения удобрений обозначить как V_{rzb} , то при внесении минеральных удобрений плотностью γ_{udb} время t_{rzb} на внесение удобрений определится как

$$t_{rzb} = \frac{\gamma_{udb} V_{rzb}}{q_{udb}} = \frac{Q_{rzb}}{q_{udb}}, \quad (1)$$

где t_{rzb} – время, затрачиваемое на внесение удобрений за одну загрузку, ч; V_{rzb} – объем бункера, м³; γ_{udb} – плотность минеральных удобрений, кг/м³; q_{udb} – часовой расход удобрений, кг/ч; Q_{rzb} – грузоподъемность модуля для внесения удобрений, кг.

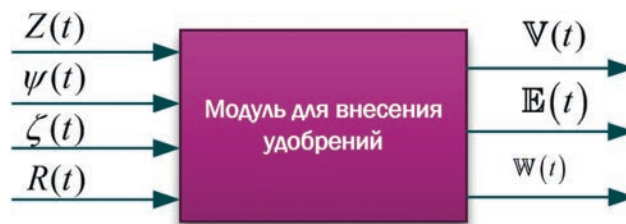


Рисунок 6 – Динамическая схема модуля для внесения удобрений

Учитывая, что расход удобрений в единицу времени (кг/ч) определяется как

$$q_{udb} = \frac{B_{rzb} H_{udb} v_{rzb}}{10}, \quad (2)$$

где B_{rzb} – ширина захвата, м; H_{udb} – норма внесения минеральных удобрений, кг/га; v_{rzb} – рабочая скорость движения, км/ч, формула для определения времени на внесение удобрений за одну загрузку примет следующий вид:

$$t_{rzb} = \frac{10 q_{udb} V_{rzb}}{B_{rzb} H_{udb} v_{rzb}} = \frac{10 Q_{rzb}}{B_{rzb} H_{udb} v_{rzb}} = \sum_{i=1}^{n_{crz}} t_{rzb i}, \quad (3)$$

где n_{crz} – количество циклов разбрасывания удобрений на рабочем участке.

Для определения количества циклов запишем

$$n_{crz} = \frac{10^4 Q_{rzb}}{B_{rzb} H_{udb} L_{gon}}, \quad (4)$$

где L_{gon} – средняя длина гона рабочего участка, м; $t_{rzb i}$ – время на выполнение i -го хода на рабочем участке, которое можно определить по формуле

$$\sum_{i=1}^{n_{crz}} t_{rzb i} = \sum_{i=1}^{n_{crz}} \frac{60 L_{gon}}{10^3 v_{rzb}} = \frac{3}{50} \sum_{i=1}^{n_{crz}} \frac{L_{gon}}{v_{rzb}}. \quad (5)$$

Для нахождения массы навески удобрений, внесенной за 1 рабочий ход $Q_{rzb i}$, запишем

$$Q_{rzb i} = \frac{1}{10^4} B_{rzb} H_{udb} L_{gon}. \quad (6)$$

Формулы (1) – (6) использованы для вычисления параметров имитационного моделирования процесса внесения минеральных удобрений роботизированной платформой. Диаграммы состояния движения платформы и состояния потока удобрений в кузове представлены на рисунке 7.

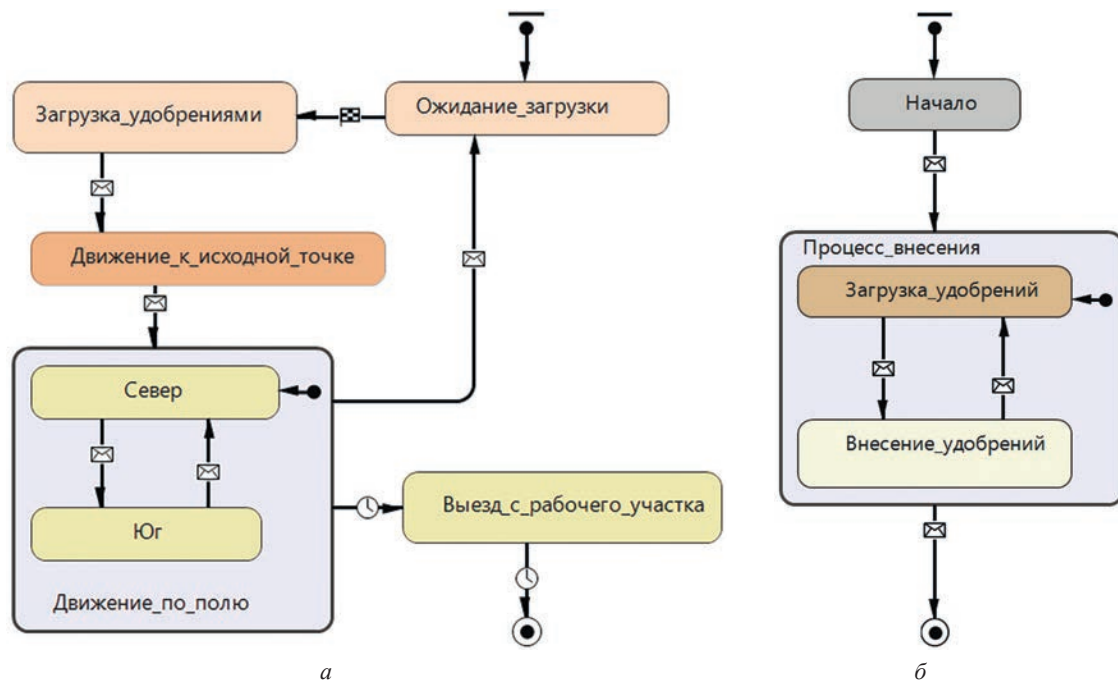


Рисунок 7 – Элементы имитационной модели процесса прямооточного внесения удобрений:
а – диаграмма состояния движения разбрасывателя; б – диаграмма состояния потока удобрений в кузове

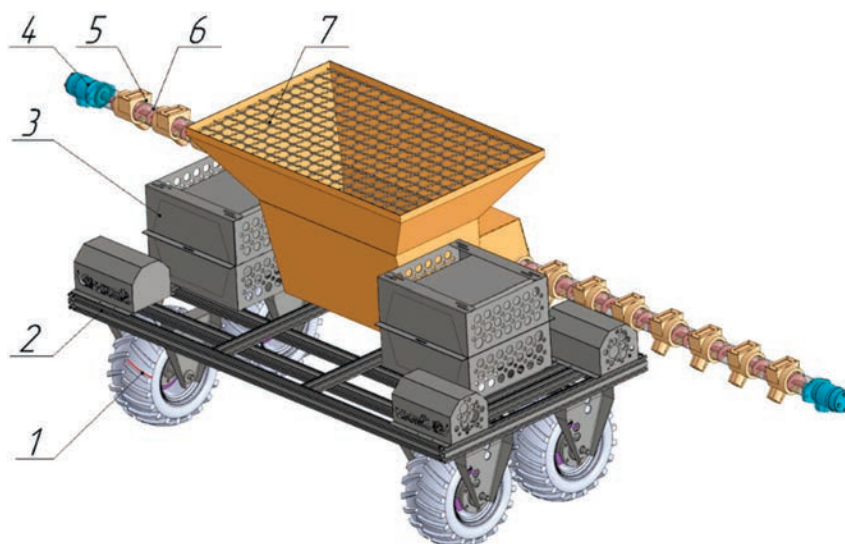


Рисунок 8 – Схема роботизированной платформы с модулем для внесения удобрений:
 1 – колесный ход; 2 – рама; 3 – отсеки для аккумуляторных батарей; 4 – электродвигатели; 5 – дозаторы;
 6 – штанговые рабочие органы; 7 – бункер

Как видно из рисунка 7, а, в начале работы в бункер машины загружают удобрения, платформа перемещается в исходную точку на рабочем участке, после чего осуществляются челночные рабочие ходы. В момент опорожнения бункера платформа приостанавливается и осуществляется ее дозагрузка удобрениями непосредственно на рабочем участке. Для контроля уровня удобрений в бункере осуществляется обработка событий диаграммы состояния потока удобрений, представленной на рисунке 7, б. По завершению обработки осуществляется выезд с рабочего участка.

Роботизированная платформа с оборудованием для внесения твердых минеральных удобрений состоит из колесного хода 1, рамы 2, отсеков для аккумуляторных батарей 3, электродвигателей для привода шнеков 4, дозаторов 5, штанговых рабочих органов 6 и бункера 7 (рисунок 8).

Заключение

Роботизированная платформа является универсальным средством для выполнения различных технологических операций в растениеводстве. Для внесения твердых минеральных удобрений на платформу монтируется модуль, который состоит из штанговых распределяющих рабочих органов и бункера. Для внесения жидких минеральных удобрений или пестицидов на платформу монтируется модуль, состоящий из бака и штанг с форсунками.

Список использованных источников

1. The design of general purpose autonomous agricultural mobile-robot: Agrobot in Agro-Geoinformatics (Agro-geoinformatics) / H. Durmus, E. O. Gunes, M. Krc, B. B. Ustundag // Fourth International Conference on July, 2015. – P. 49–53.
2. Greenhouse partner robot system in Robotics (ISR) / K. Kashiwazaki, Y. Sugahara, J. Iwasaki [et al.] // International Symposium on and 2010 6th German Conference on Robotics (ROBOTIK), June 2010. – P. 1–8.
3. Amer, G. Design and operation of Wi-Fi agribot integrated system: in Industrial Instrumentation and Control (ICIC) / G. Amer, S. M. M. Mudassir, M. A. Malik // International Conference on, May 2015. – P. 207–212.