

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья
УДК 631.348:632.934.1
DOI: 10.66783/2782-3172.2026.47.88.010

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПРЫСКИВАНИЯ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Павел Николаевич Вылегжанин, Андрей Николаевич Козлов, Алексей Борисович Трушков
Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия
Автор, ответственный за переписку: Андрей Николаевич Козлов, dnka59@mail.ru

Аннотация

Актуальность исследования обусловлена необходимостью роботизации сельского хозяйства и внедрения технологий точного земледелия для снижения экологической нагрузки. Цель работы – разработка, расчет и испытание системы опрыскивания для малогабаритной роботизированной мобильной платформы на гусеничном шасси. В статье описана конструкция гидравлической системы с применением инжекторных форсунок для минимизации сноса капель. Проведены математические расчеты зависимости расхода жидкости, давления и скорости движения платформы. Разработано программное обеспечение для автоматизированного подбора режима работы установки (давления, объема и концентрации препарата) в зависимости от типа гербицида. Представлены результаты полевых испытаний платформы по уничтожению борщевика Сосновского, подтвердившие заявленную производительность и выявившие пути доработки гидросистемы. Сделан вывод о том, что внедрение подобных автономных комплексов позволяет автоматизировать опасные работы, обеспечить ресурсосбережение и повысить эффективность защиты растений.

Ключевые слова: малогабаритная мобильная платформа, беспилотный наземный аппарат, точное земледелие, система опрыскивания, роботизация АПК, гербициды, борщевик Сосновского, автоматизация

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Вылегжанин П. Н., Козлов А. Н., Трушков А. Б. Разработка системы опрыскивания для роботизированной мобильной платформы // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 2. С. 74–84. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.47.88.010.

DEVELOPMENT OF A SPRAYING SYSTEM FOR A ROBOTIC MOBILE PLATFORM

Pavel N. Vylegzhanin, Andrey N. Kozlov, Alexey B. Trushkov
Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
Corresponding author: Andrey N. Kozlov, dnka59@mail.ru

Abstract

The research urgency is due to the need for agriculture robotization and the introduction of precision farming technologies to reduce the environmental burden. The work purpose is to develop, calculate and test a spraying system for a small-sized robotic mobile platform on a tracked

chassis. The article describes the design of a hydraulic system using injection nozzles to minimize the droplet drift. The mathematical calculations of the dependence of fluid flow, pressure and speed of the platform movement have been carried out. Software has been developed for the automated selection of the plant's operating mode (pressure, volume and concentration of the drug) depending on the herbicide type. The authors present the results of the field tests of the Sosnovsky hogweed eradication platform, confirming the claimed performance and revealing the ways to refine the hydraulic system. It is concluded that the introduction of such autonomous complexes makes it possible to automate hazardous work, ensure resource conservation and increase the effectiveness of plant protection.

Keywords: small-sized mobile platform, unmanned ground vehicle, precision agriculture, spraying system, robotics, herbicides, Sosnovsky hogweed, automation

Funding: the study on which the article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Vylegzhanin PN, Kozlov AN, Trushkov AB. Development of a spraying system for a robotic mobile platform. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(2):74–84. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.47.88.010. (In Russ.).

Введение. Малогабаритная роботизированная мобильная платформа на гусеничном шасси – это компактный наземный беспилотный аппарат (UGV / БПА), предназначенный для перемещения в сложных условиях, выполнения различных задач с помощью установленного оборудования и работы в среде, где использование колесных аналогов или человека затруднено или опасно. Актуальность применения малогабаритных мобильных платформ в условиях современных сельскохозяйственных предприятий обусловлена глобальным трендом на цифровизацию и роботизацию агропромышленного комплекса, что позволяет эффективно решать задачи оптимизации трудовых ресурсов, повышения точности агротехнологий и снижения экологической нагрузки [1]. Особую значимость приобретает их интеграция в системы точного земледелия для дифференцированного внесения препаратов на основе данных бортовых сенсоров и карт полей, что минимизирует расход химикатов и предотвращает деградацию почв.

Материалы и методы. Испытания системы опрыскивания, разработанной для малогабаритной беспилотной гусеничной платформы, проводились на базе ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» [2–4]. Общий вид платформы с установленной на нее системой опрыскивания представлен на рисунке 1.

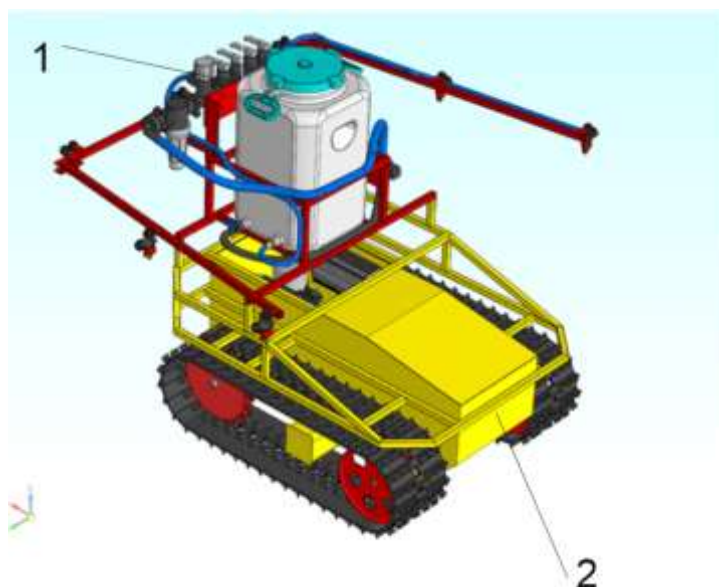


Рисунок 1. Мобильная роботизированная платформа:

1 – навесная система опрыскивания; 2 – роботизированная гусеничная мобильная платформа

Монтаж основных узлов системы опрыскивания произведен на сварном каркасе, изготовленном из профилированной металлической трубы (рисунок 2).

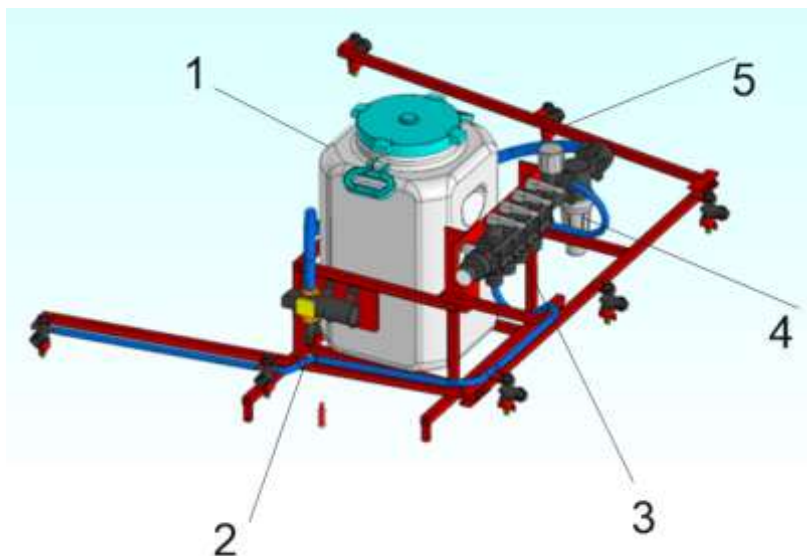


Рисунок 2. Система опрыскивания в транспортном положении:

1 – бак; 2 – насос; 3 – распределитель; 4 – регулятор давления с манометром и фильтром;
5 – штанга с форсунками

Боковые штанги опрыскивателя могут быть зафиксированы в транспортном и рабочем положении. В горизонтальной штанге устройства выполнены фланцы для крепления форсунок. В раме предусмотрена ниша для установки бака и пластина для крепления распределителя с регулятором давления. В боковой части рамы предусмотрен фланец крепления двигателя. Нижняя часть рамы вставляется в отверстия, изготовленные в остоле мобильной платформы. Гидравлическая схема системы представлена на рисунке 3.

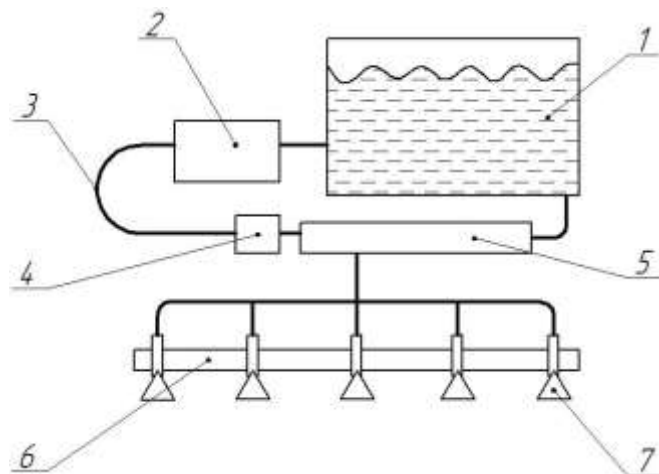


Рисунок 3. Элементы системы опрыскивания:

1 – бак; 2 – насос; 3 – магистраль высокого давления; 4 – регулятор давления с манометром;
5 – распределитель; 6 – штанга с форсунками; 7 – распылитель

Емкость бака ограничивается транспортной способностью и габаритами мобильной платформы. Основное требование к материалу бака – химическая устойчивость к реагентам,

поэтому было принято решение предварительно на экспериментальную установку смонтировать полиэтиленовый бак емкостью 50 литров.

Количество гидравлических линий распределителя предполагалось установить не менее трех, для обеспечения возможности отключения крайних секций опрыскивателя.

Результаты и обсуждение. Конструкцией был предусмотрен регулятор давления, необходимый для обеспечения постоянного давления в гидросистеме и регулировки давления при необходимости изменения режима работы установки. Мощность и производительность насоса выбиралась исходя из количества распылителей, их суммарного расхода и рабочего давления. Штанга с форсунками была установлена с небольшим консольным выступом за платформой, поэтому, исходя из особенностей конструкции опрыскивателя, было принято решение применить плоскоструйные инжекторные распылители. Их преимуществом является высокое противодействие сносу без уменьшения площади покрытия. Технические параметры форсунок представлены на рисунке 4.

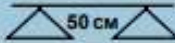
			ПРОИЗВОДИ- ТЕЛЬНОСТЬ РАСПЫЛИ- ТЕЛЯ Л/МИН	л/га 												
				4 КМ/Ч	5 КМ/Ч	6 КМ/Ч	7 КМ/Ч	8 КМ/Ч	10 КМ/Ч	12 КМ/Ч	16 КМ/Ч	18 КМ/Ч	20 КМ/Ч	25 КМ/Ч	30 КМ/Ч	35 КМ/Ч
AIXR110015 (100)	1.0	XC	0.34	102	81.6	68.0	58.3	51.0	40.8	34.0	25.5	22.7	20.4	16.3	13.6	11.7
	2.0	C	0.48	144	115	96.0	82.3	72.0	57.6	48.0	36.0	32.0	28.8	23.0	19.2	16.5
	3.0	C	0.59	177	142	118	101	88.5	70.8	59.0	44.3	39.3	35.4	28.3	23.6	20.2
	4.0	M	0.68	204	163	136	117	102	81.6	68.0	51.0	45.3	40.8	32.6	27.2	23.3
	5.0	M	0.76	228	182	152	130	114	91.2	76.0	57.0	50.7	45.6	36.5	30.4	26.1
	6.0	M	0.83	249	199	166	142	125	99.6	83.0	62.3	55.3	49.8	39.8	33.2	28.5
AIXR11002 (50)	1.0	XC	0.46	138	110	92.0	78.9	69.0	55.2	46.0	34.5	30.7	27.6	22.1	18.4	15.8
	2.0	VC	0.65	195	156	130	111	97.5	78.0	65.0	48.8	43.3	39.0	31.2	26.0	22.3
	3.0	C	0.79	237	190	158	135	119	94.8	79.0	59.3	52.7	47.4	37.9	31.6	27.1
	4.0	M	0.91	273	218	182	156	137	109	91.0	68.3	60.7	54.6	43.7	36.4	31.2
	5.0	M	1.02	306	245	204	175	153	122	102	76.5	68.0	61.2	49.0	40.8	35.0
	6.0	M	1.12	336	269	224	192	168	134	112	84.0	74.7	67.2	53.8	44.8	38.4
AIXR110025 (50)	1.0	XC	0.57	171	137	114	97.7	85.5	68.4	57.0	42.8	38.0	34.2	27.4	22.8	19.5
	2.0	VC	0.81	243	194	162	139	122	97.2	81.0	60.8	54.0	48.6	38.9	32.4	27.8
	3.0	VC	0.99	297	238	198	170	149	119	99.0	74.3	66.0	59.4	47.5	39.6	33.9
	4.0	C	1.14	342	274	228	195	171	137	114	85.5	76.0	68.4	54.7	45.6	39.1
	5.0	C	1.28	384	307	256	219	192	154	128	96.0	85.3	76.8	61.4	51.2	43.9
	6.0	M	1.40	420	336	280	240	210	168	140	105	93.3	84.0	67.2	56.0	48.0
AIXR11003 (50)	1.0	XC	0.68	204	163	136	117	102	81.6	68.0	51.0	45.3	40.8	32.6	27.2	23.3
	2.0	VC	0.96	288	230	192	165	144	115	96.0	72.0	64.0	57.6	46.1	38.4	32.9
	3.0	VC	1.18	354	283	236	202	177	142	118	88.5	78.7	70.8	56.6	47.2	40.5
	4.0	C	1.36	408	326	272	233	204	163	136	102	90.7	81.6	65.3	54.4	46.6
	5.0	C	1.52	456	365	304	261	228	182	152	114	101	91.2	73.0	60.8	52.1
	6.0	M	1.67	501	401	334	286	251	200	167	125	111	100	80.2	66.8	57.3

Рисунок 4. Технические параметры форсунок

Рабочее давление таких форсунок составляет диапазон от 1 до 6 бар. Объем внесения действующего вещества, как правило, небольшой, будет разбавляться водой до необходимой концентрации, поэтому необходимо снизить расход жидкости для увеличения запаса хода платформы и роста ее производительности. Как мы видим, расход реагента на один гектар зависит от давления в системе и скорости движения платформы, при этом давление сказывается на размере капли. Расчетная техническая скорость движения платформы не превышает 5 км/ч.

Минимальный расход жидкости (движение платформы с минимальной рабочей скоростью 4 км/ч обеспечивает форсунка AIXR110015) при рабочем давлении 1 бар составляет 102 л/га.

Рекомендуемое расстояние между распылителями может быть 50 см. Угол распыливания по техническим характеристикам форсунки составляет 110° . При длине штанги 3 м будет обеспечено покрытие полосы шириной 350 см (схема на рисунке 5). Минимальная высота распыливания над растением тогда составит 20 см.

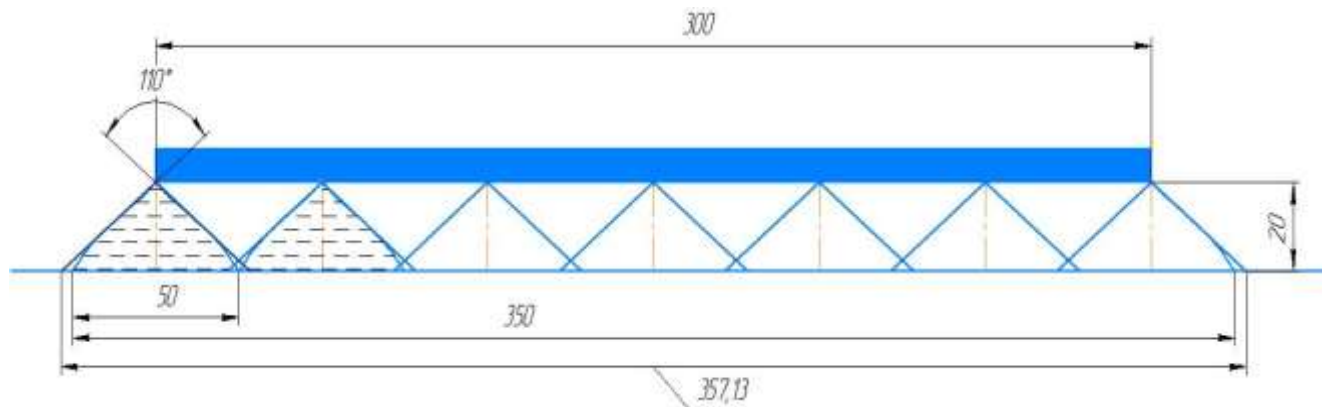


Рисунок 5. Схема распыливания

Согласно схеме распыливания необходимо установить $N = 7$ форсунок. Производительность одной форсунки по техническому описанию составляет не менее 0,34 л/мин. Тогда для обеспечения стабильной работы системы при давлении 1 бар необходимо обеспечить минимальную производительность насоса не менее 2,4 л/мин. Определенные выше параметры системы представим в виде таблицы (таблица 1).

Таблица 1. Технические параметры системы опрыскивания мобильной роботизированной платформы

Характеристика	Обозначение	Величина	Размерность
Количество форсунок	N	7	шт
Объем бака	Q	50	л
Ширина покрытия одной форсункой	m	50	см
Норма внесения препарата	n	0,5	л/га
Текущее давление в системе	P	1	бар
Расчетная техническая скорость обработки	V	4,0	км/ч

Для заданной нормы внесения препарата и характеристик работы системы определим ее производительность. Расчеты производятся по параметрам, приведенным в таблице 1. Время покрытия t одного гектара форсункой определим по формуле

$$t = 1000 \cdot \frac{60}{V \cdot m} = 300 \text{ мин.} \quad (1)$$

Текущую производительность форсунки W определим, интерполируя табличные данные, тогда сможем установить расход форсунки (рисунок 6). Расход смеси на один гектар ($V_{\text{впр}}$) можем определить по выражению

$$V_{\text{впр}} = t \cdot W = 102 \text{ л/га.} \quad (2)$$

Расчетное время опорожнения бака $t_{\text{опр}}$ составит

$$t_{\text{опр}} = \frac{Q}{W \cdot N} = 21 \text{ мин}, \quad (3)$$

где N – количество работающих форсунок.

Получим время непрерывной работы системы опрыскивания при движении машины с заданной скоростью.

За это время машина пройдет путь $S_{\text{опр}}$:

$$S_{\text{опр}} = \frac{t_{\text{опр}} \cdot V}{60} = 1.4 \text{ км}. \quad (4)$$

Площадь обработки составит A :

$$A = m \cdot N \cdot V \cdot \frac{t_{\text{опр}}}{60000} = 0.49 \text{ га}. \quad (5)$$

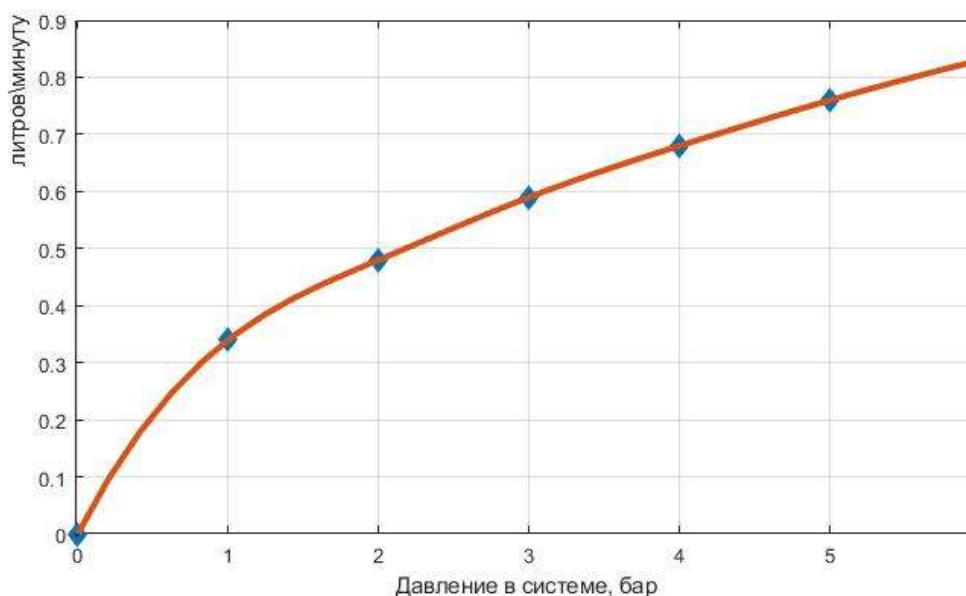


Рисунок 6. Зависимость производительности распылителя AIXR110015 от давления в системе

Нормы внесения препаратов изменяются в зависимости от типа препарата, стадии вегетации, точно могут быть определены только в результате отдельных исследований. Для проведения расчета примем норму внесения препарата $n = 0,5$ л/га. Для внесения необходимого объема препаратов нужно подобрать режим работы установки – скорость движения и соответствующее давление в системе опрыскивания, которое будет находиться в рабочем диапазоне форсунки.

Требуемую концентрацию приготавливаемого раствора C можно определить из отношения

$$C = \frac{n}{V_{\text{впр}} - n} \approx 0.052 \%. \quad (6)$$

Определим объем вещества, вносимого на бак раствора Vd :

$$Vd = C \cdot Q = 2,5 \text{ л}. \quad (7)$$

Для внесения препарата по норме необходимо выполнить работу A_m на площади

$$A_m = \frac{c}{n} = 0,5 \text{ га.} \quad (8)$$

Время работы тогда откорректируется:

$$t_m = A_m \cdot 1000 \cdot \frac{60}{m \cdot N \cdot V} = 21,4 \text{ мин,} \quad (9)$$

где t_m – реальное время работы установки с текущими параметрами работы.

Тогда изменится требуемый расход форсунки W_m и придется изменить давление в системе, либо изменить скорость движения:

$$W_m = \frac{vd+Q}{N \cdot t_m} = 0,35 \text{ л/мин.} \quad (10)$$

Давление жидкости в системе определим по функции интерполяции, оно составит в таком случае 1.06 бар.

Производительность установки при заданных и рассчитанных параметрах составит

$$W_T = S \cdot \frac{60}{t_m} = 1,4 \text{ га/час.} \quad (11)$$

С учетом времени перезарядки бака, которое по оценке может составить 5-10 минут, производительность работы платформы составит:

$$W_T = S \cdot \frac{60}{t_m+10} = 0,95 \text{ га/час.} \quad (12)$$

Для оптимизации работы установки была написана программа, учитывающая все приведенные факторы и некоторый перечень гербицидов [4–5]. Для опрыскивания участков, заросших борщевиком, предполагалось использовать составы, приведенные в таблице 2. Для приготовления раствора использовалась чистая вода и действующее вещество. Раствор заливался в бак опрыскивателя. В зависимости от нормы внесения, скорости движения платформы и давления в системе программа позволяла рассчитать необходимый объем действующего вещества в растворе.

Таблица 2. Составы для обработки участков с борщевиком

Препарат	Норма внесения	Назначение
Делегат	8-10 г/га	земли с/х назначения
Напалм	3,75 л/га	земли с/х назначения
Арабеск	0,5 л/га	земли с/х назначения
Метметил	8-10 г/га	земли с/х назначения
Атрон про	2 кг/га	земли не с/х назначения

Скриншот программы представлен на рисунке 7.

Рисунок 7. Скриншот интерфейса программы

Для удобства использования интерфейс программы составлен из нескольких зон. В верхней зоне пользователю предлагается выбрать тип используемого гербицида и норму его внесения на гектар. В левой зеленой панели вводятся технические параметры самой системы опрыскивания – это число форсунок, давление в системе, ширина покрытия и рабочий объем бака.

Затем над правым зеленым полем программы пользователю необходимо внести предполагаемую среднюю рабочую скорость работы платформы, после чего будут предварительно рассчитаны обработанная территория при опорожнении бака и требуемый объем или масса выбранного ранее препарата, который необходимо растворить в баке. После уточнения внесенного объема реагента в бак и указания времени заправки платформы необходимо нажать кнопку «Рассчитать» на лицевой панели программы. В результате расчета определится необходимое текущее давление в системе, которое требуется установить для выполнения требуемой нормы внесения реагента. Будут также определены основные показатели работы установки, в том числе ее производительность. Логика работы программы может быть интегрирована в бортовой контроллер платформы, чтобы автоматически регулировать давление в системе при изменении скорости движения платформы (например, при движении на подъем или при маневрировании, развороте, при снижении напряжения батареи, при снижении нагрузки в результате опорожнения бака и т. д.).

Заключение. Полевые испытания установки (рисунок 8) по опрыскиванию борщевика Сосновского гербицидом не только подтвердили заявленные характеристики производительности работы установки, но и выявили некоторые технические недоработки гидравлической системы, над устранением которых коллективом авторов данной статьи ведется активная работа. Гербициды сплошного действия полностью подавили рост борщевика Сосновского. Для оценки эффективности применения препаратов и всестороннего изучения экологических, биологических и экономических аспектов применения требуется проведение дополнительных специальных исследований. Полевые испытания работы

установки показали высокий потенциал разработки, которая при условии обеспечения автономности работы может полностью автоматизировать процесс опрыскивания.



Рисунок 8. Полевые испытания платформы с опрыскивателем



Рисунок 9. Результаты работы гербицида сплошного действия спустя три недели после опрыскивания

Внедрение малогабаритных мобильных платформ представляет собой стратегически важное направление развития сельского хозяйства, обеспечивающее комплексную автоматизацию рутинных и опасных видов работ, существенное ресурсосбережение и повышение устойчивости производственных процессов в условиях современных экономических и экологических вызовов [6–7].

Список источников

1. Современные научные достижения региональной модернизации сельского хозяйства / И. П. Чупина, Е. В. Зарубина, Н. Н. Симачкова [и др.] // International Agricultural Journal. 2024. Т. 67. № 2. DOI: 10.55186/25876740_2024_8_2_4. EDN AIUOEZ.
2. Вылегжанин П. Н., Козлов А. Н. Проектирование механического привода малогабаритной гусеничной машины // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания : материалы XIX Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», Киров, 09 февраля 2026 года. Киров, 2026. С. 94–99. EDN LCCTED.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669132 Российская Федерация. «Управление движением мобильной гусеничной платформы» : № 2024667588 : заявл. 30.07.2024 : опубл. 14.08.2024 / А. В. Гребнев, А. Н. Козлов, П. Н. Вылегжанин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет». EDN EETZJI.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024682155 Российская Федерация. Расчет технологического режима работы системы опрыскивания : № 2024668342 : заявл. 02.08.2024 : опубл. 18.09.2024 / А. Н. Козлов, Е. С. Сироткин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет». EDN RPYDLZ.
5. Вылегжанин П. Н., Козлов А. Н., Трушков А. Б. Определение эффективных параметров работы системы опрыскивания мобильной роботизированной платформы // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания : материалы XIX Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», Киров, 09 февраля 2026 года. Киров, 2026. С. 100–104. EDN MXXMRA.
6. Носов В. В., Франк И. А. Автоматизация в сельском хозяйстве: возможности и вызовы на пути к инновациям // Менеджмент в АПК. 2025. № 2 (18). С. 29–37. DOI: 10.35244/2782-3776-2025-18-2-29-37. EDN POLURL.
7. Беков Т. Н. Цифровые и инновационные технологии в сельском хозяйстве // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2022. № 7. С. 126–131. DOI: 10.26104/NNTIK.2022.22.93.027. EDN ETRLWM.

References

1. Chupina IP, Zarubina EV, Simachkova NN, et al. Modern scientific achievements of regional modernization of agriculture. International Agricultural Journal. 2024;67(2). DOI: 10.55186/25876740_2024_8_2_4. EDN AIUOEZ. (In Russ.).
2. Vylegzhanin PN, Kozlov AN. Projektirovaniye mekhanicheskogo privoda malogabaritnoy gusenichnoy mashiny = Design of the mechanical drive of a small-sized tracked vehicle. In: Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley dvigateley vnutrennego sgoraniya: materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezheniye = Improving the performance of internal combustion engines: materials of the XIX international scientific and practical conference Science – Technology – Resource Conservation, Kirov, February 09 2026. Kirov: Vyatka State Pedagogical University; 2026. P. 94–99. EDN LCCTED. (In Russ.).
3. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2024669132 Rossiyskaya Federatsiya. Upravleniye dvizheniyem mobil'noy gusenichnoy platformy. 2024667588: zayavleno 30.07.2024: opublikovano 14.08.2024. AV Grebnev, AN Kozlov, PN Vylegzhanin; zayavitel' Vyatskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet. EDN EETZJI. (In Russ.).
4. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2024682155 Rossiyskaya Federatsiya. Raschet tekhnologicheskogo rezhima raboty sistemy opryskivaniya: 2024668342:

zayavleno 02.08.2024: opublikovano 18.09.2024. AN Kozlov, ES Sirotkin; zayavitel' Vyatskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet. EDN RPYDLZ. (In Russ.).

5. Vylegzhanin PN, Kozlov AN, Trushkov AB. Opredeleniye effektivnykh parametrov raboty sistemy opryskivaniya mobil'noy robotizirovannoy platformy = Determination of effective parameters of the spraying system of a mobile robotic platform. In: Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley dvigateley vnutrennego sgoraniya: materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezheniye = Improving the performance of internal combustion engines: materials of the XIX international scientific and practical conference Science – Technology – Resource Conservation, Kirov, February 09 2026. Kirov; 2026. P. 100–104. EDN MXXMRA. (In Russ.).

6. Nosov VV, Frank IA. Automation in agriculture: opportunities and challenges on the way to innovation. Menedzhment v APK. 2025;(2):29–37. DOI: 10.35244/2782-3776-2025-18-2-29-37. EDN POLURL. (In Russ.).

7. Bekov TN. Digital and innovative technologies in agriculture. Nauka, novyye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana = Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan. 2022;(7):126–131. DOI: 10.26104/NNTIK.2022.22.93.027. EDN ETRLWM. (In Russ.).

Информация об авторах

Вылегжанин Павел Николаевич, кандидат технических наук, доцент, врио директора института инженерии и агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017

e-mail: ooo_avto43@mail.ru

Козлов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017

e-mail: dnka59@mail.ru

Трушков Алексей Борисович, инженер, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017

Information about the authors

Pavel N. Vylegzhanin, candidate of technical sciences, associate professor, acting director of the Institute of Engineering and Agrobiotechnology of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Avenue, Kirov, 610017, the Russian Federation

e-mail: ooo_avto43@mail.ru

Andrey N. Kozlov, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of General Technical Disciplines of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Avenue, Kirov, 610017, the Russian Federation

e-mail: dnka59@mail.ru

Alexey B. Trushkov, engineer of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Avenue, Kirov, 610017, the Russian Federation

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

10.06.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

17.06.2026

принята к публикации / accepted for publication

25.06.2026