

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-133-140>

УДК 630*232.427:004.896



РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА В ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИИ

Р.А. Хахаев[✉], В.А. Савченкова

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), Мытищинский филиал; 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, 1, Россия

Аннотация. Цель исследований – автоматизация процесса создания лесных культур. Объектом исследований является проектно-техническое решение автономного лесовосстановительного робота для посадки семян хвойных лесных культур (сосна, ель). Деградация и опустынивание земель являются значимой проблемой для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. Более 100 млн га земель сельскохозяйственного назначения находятся под угрозой утраты плодородных свойств в связи с масштабными показателями деградации и опустынивания. Нехватка квалифицированных кадров и низкопроизводительный ручной труд не позволяют максимально эффективно использовать сжатые сроки проведения лесовосстановительных работ. В настоящее время остро требуются передовые разработки в области технических и хозяйственно-экономических аспектов лесокультурного дела. Все известные серийные модели лесовосстановительных машин используют ручной труд оператора для подачи семян к рабочим органам аппарата для дальнейшего высаживания в грунт по ходу движения машины. В связи с этим производительность данных комплексов напрямую зависит от личных навыков оператора и ограничивается ими. Применение автономного беспилотного робота – такого, как как разрабатываемый комплекс «Святобор», исключит человеческий фактор, стандартизирует качество посадки семян, будет способствовать максимально эффективному использованию сроков лесовосстановительных и лесоустроительных работ. Одновременно с вопросом стандартизации качества высадки семян значительная экономия времени и ресурсов достигается отсутствием необходимости подготовки почвы за счет внедрения машинного зрения, использования гусеничной платформы робота и специального плуга, выполняющего вскрытие плодородного слоя непосредственно в месте высадки каждого семени. В статье изложена концепция устройства комплекса «Святобор» включая основные элементы и этапы его подготовки к выполнению работ. Приведены результаты разработки бережного захвата семян хвойных лесобразующих пород.

Ключевые слова: лесовосстановительная машина, деревосажательная машина, посадочная машина, автоматизация лесного хозяйства, беспилотник, лесовосстановление, робототехника, лесовосстановительный робот

Формат цитирования: Хахаев Р.А., Савченкова В.А. Применение автономных роботизированных комплексов в лесовосстановлении // Природообустройство. 2024. № 4. С. 133-140. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-133-140>

Original article

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS ROBOTIC COMPLEX IN REFORESTATION AND AFFORESTATION

P.A. Khakhaev[✉], V.A. Savchenova

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National research university)¹. Mytishchi branch; 141005, Moscow region, Mytishchi, 1st Institutskaya str., 1. Russia

Abstract. The purpose of the study is to automate the process of creating forest cultures. The object of the research is the design and technical solution of an autonomous reforestation robot for planting seedlings of coniferous forest crops (pine, spruce). Land degradation and desertification is a significant problem for ensuring food security in the Russian Federation. More than 100 million hectares of agricultural land are at risk of loss of fertility due to large-scale degradation and desertification. The lack of qualified personnel and low-productivity manual labor do not allow for the most effective use of the tight deadlines for reforestation work. At present, there is an urgent need for advanced developments in the field of technical and economic aspects of forest culture. All known serial models of reforestation machines use the manual labor of the operator

to feed seedlings to the working bodies of the device for further planting in the ground in the direction of the machine. In this regard, the productivity of these complexes directly depends on and is limited by the personal skills of the operator. The use of an autonomous unmanned robot, such as the Svyatobor complex being developed, will eliminate the human factor, standardize the quality of planting seedlings, and use the terms of reforestation and forest management work as efficiently as possible. Along with the issue of standardizing the quality of planting seedlings, significant savings in time and resources are achieved by eliminating the need for soil preparation due to the introduction of machine vision, the use of a robot track platform and a special plow that performs opening of the fertile layer directly at the place of planting each seedling. The article describes the concept of the Svyatobor complex, including the main elements and stages of its preparation for work. The results of the development of careful capture of seedlings of coniferous forest-forming species are presented.

Keywords: reforestation machine, wood-planting machine, planting machine, forestry automation, drone, reforestation, robotics, reforestation robot

Format of citation: Khakhaev R.A., Savchenkova V.A. Development of an autonomous robotic complex in reforestation and afforestation // *Prirodoobustrojstvo*. 2024. № 4. P, 133-140. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-133-140>

Введение. С середины XX в. активно стала распространяться идея механизации процесса создания лесных насаждений.

Начиная с 60-х гг. были разработаны десятки моделей, которые в той или иной мере автоматизировали способы скарификации грунта и подачи семян. Механизм их работы подробно описан в трудах ряда отечественных и зарубежных ученых [1-3]. Реализованные модели посадочных машин имеют одну общую характерную черту: на всех моделях используется труд оператора, который вручную из заготовленного бункера подает сеянец в посадочный механизм (рис. 1).

К аналогичным системам можно отнести M-Planter и EcoPlanter. Они представляют собой головки на стрелу манипулятора с барабанами, в которые сеянцы заряжаются оператором вручную до начала работы [4]. Этот этап ручного

труда является фактором, значительно ограничивающим производительность всех типов лесопосадочных машин. Фактически у всех моделей с задокументированными характеристиками производительность указывается в пределах до 340-350 высаженных сеянцев за эффективный час работы. Только несколько моделей заявили более высокие характеристики производительности, но результат их работы признан неудовлетворительным. Например, лесопосадочная Serlachius в соответствии с заявленной характеристикой показала производительность в 1100 сеянцев за эффективный час [5], однако задокументированы опасения по поводу качества посадки.

Аналогично канадская машина ReFor-ester 1978 г., выполненная на базе армейского бронетранспортера, должна была показать производительность в 2500 сеянцев за эффективный

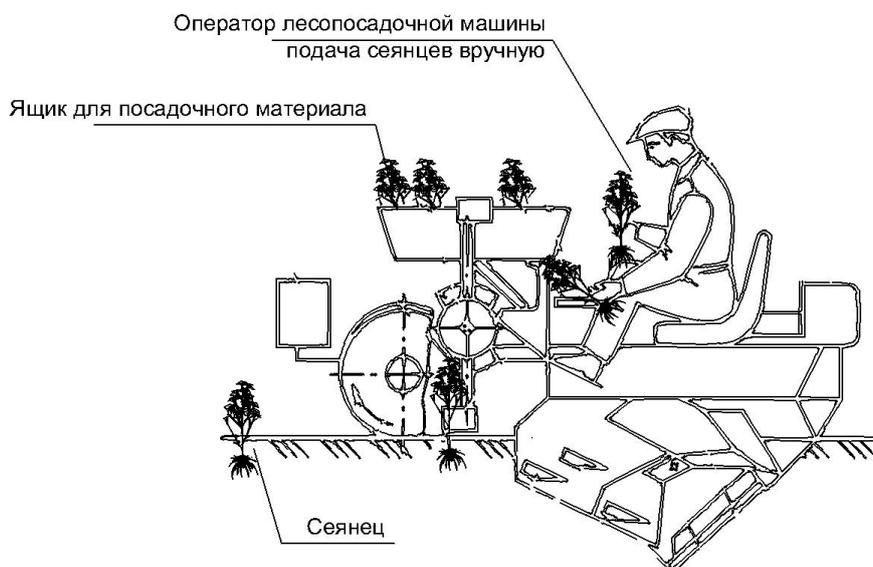


Рис. 1. Схема посадки лесных культур лесопосадочной машиной

Fig. 1. The scheme of planting forest crops by a planting machine

час работы [6], но она также не соответствовала нормам высева. Максимальной задокументированной выработки в соотношении правильно высаженных семян (60-66%) к общему количеству высаженных за эффективный час работы добилась шведская компания SCA Silva Nova [7]. Ее машина с системой подачи семян PLS заявила производительность порядка 1770 семян в час. Используемая ими система PotLinkSystem (PLS) состояла из горшков, соединенных друг с другом по длине. Сеянцы должны были доставляться в зону производства работ, где портативный робот загружал семена в горшки PLS. Около 70 горшков были соединены в одну ленту, после чего робот заполнял горшки рассадой. Эта система подачи была довольно сложной, в связи с чем производительность машины SilvaNova с системой подачи PLS в соответствии с документацией достигала 1100 семян за эффективный час работы. Примерно аналогичные характеристики заявлены на сайте компании, эксплуатирующей лесопосадочную машину PlantmaX (1000-2500 семян за час работы).

К менее оптимистичным цифрам производительности можно прийти, если замерить количество выполненной работы по хронометражу представленных рекламных видеороликов работы PlantmaX. Это логично, так как принцип ее работы построен на все той же технологии подачи семян к посадочным органам оператором вручную, что согласно подтвержденным характеристикам аналогичных машин не может иметь высокую производительность в пересчете на эффективный час работы.

М.К. Асмоловским [8] проведено исследование производительности лесопосадочных машин с подачей семян вручную (рис. 2).

Выявлено, что главным критерием является время, за которое рабочий успеваеет поместить сеянец у приемного столика для его последующего зажима в захвате и переноса в образованное сошником посадочное место.

Назревшая в мировой практике необходимость создания лесопосадочных машин, интерес к беспилотным технологиям [9-13] и сформулированный М.К. Асмоловским вопрос достижения предела производительности в последнее время становятся еще более острыми на фоне снижения квалифицированных рабочих кадров, вовлеченных в процесс создания лесов.

Таким образом, актуальность и цель исследований обоснованы принципиально новой концепцией развития науки в области создания лесопосадочных машин. Современной наукой достигнут значительный прогресс в создании

и обучении искусственного интеллекта, машинного зрения, применения различных датчиков и приводов. В целях повышения эффективности восстановления лесных ресурсов все эти технологические достижения внедрены на стадии проектирования архитектуры автономного робота «Святобор» для лесоразведения и лесовосстановительных работ [14], разработка которого является научной новизной исследования.

Материалы и методы исследований.

В ходе обзорного анализа научных трудов применены описательный и сравнительный методы. Экспериментальная часть работы выполнена с применением метода конструирования. Обозначено геометрическое размещение элементов комплекса, ориентированных относительно друг друга. Приведен алгоритм действия предложенной конструкции.

Объектом исследований является проектно-техническое решение автономного лесовосстановительного робота (рис. 3).

Результаты и их обсуждение. Впервые разработана система лесовосстановительного робота «Святобор», имеющая следующие элементы:

1. Квадрокоптер, оснащенный приемником системы позиционирования и высотомером.

2. Тандем гусеничных машин.

2.1. Ведущая гусеничная машина комплекса со следующими элементами:

- плуг для вскрытия опада на колесном валу;
- стальной клин на колесном валу для устройства гнезда для высадки семян в почву;
- бак с топливом;
- дизель-генератор.

2.2. Ведомая гусеничная машина комплекса со следующими элементами:

- кассета из 5 бункеров с механизмом замещения пустого бункера;



Рис. 2. Искусственное лесовосстановление ручным способом с помощью меча Колесова

Fig. 2. Artificial reforestation by hand using the Kolesov sword

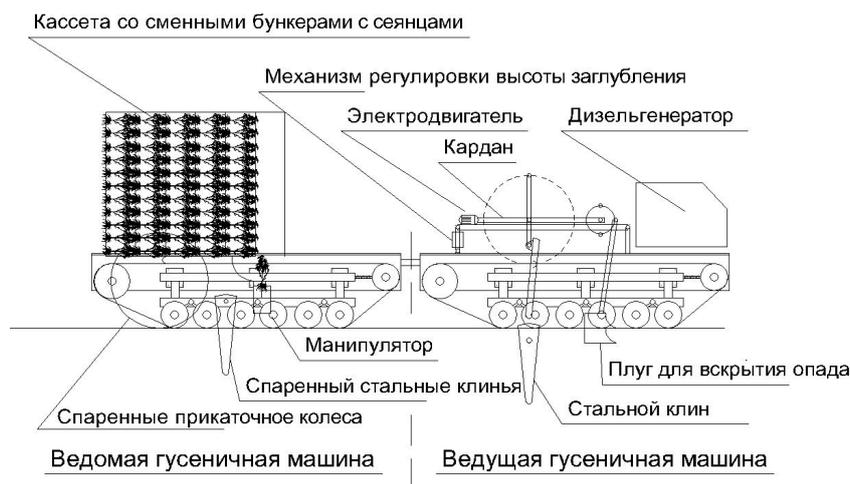


Рис. 3. Устройство лесовосстановительного комплекса «Святобор»

Fig. 3. Arrangement of the Svyatobor reforestation complex

– механизм высаживания (подвижный манипулятор, посадочная труба);

– два спаренных стальных клина, симметрично расположенных на коленах для первичного прижатия корневой системы сеянца;

– два симметрично расположенных спаренных прикаточных колеса для уплотнения грунта в зоне шейки сеянца;

– блок программного управления комплексом.

Подготовка комплекса «Святобор» к выполнению работ включает в себя следующие этапы:

1. С помощью квадрокоптера, оснащенного приемником системы позиционирования и высотомером, осуществляется облет и определяются координаты и контрольный промер высот (определяются непроходимые участки – резкие овраги, буреломы, непреодолимые участки исключаются из траектории) захватки, назначенной для выполнения работ по лесовосстановлению.

2. В программу расчета загружаются такие исходные данные, как тип почвы, количество и тип сеянцев на 1 га, координаты захватки.

3. Программой выполняется оптимальный расчет траектории движения гусеничных машин комплекса.

4. Гусеничные машины комплекса выстраиваются в последовательный тандем, стыкуются и синхронизируются.

5. Регулируется ширина бункера по средней высоте сеянца. Бункер заполняется сеянцами вручную.

6. Загружаются бункеры с сеянцами в подвижную кассету на платформу ведомой гусеничной машины.

7. Оператор в ручном режиме с помощью пульта управления выставляет тандем машин на начальную точку траектории.

8. Программой сверяются фактические координаты ведущей гусеничной машины комплекса с начальной точкой траектории, и при необходимости уточняется расчет траектории движения.

9. Механизмы высаживания на гусеничных машинах комплекса переводятся в рабочее положение.

10. Оператор дает команду к выполнению программы.

Алгоритм работы всего механизма заключается в следующем:

1. Передвижение машины осуществляется в соответствии с рассчитанной траекторией.

2. Все элементы связаны синхронизированной трансмиссией и работают одновременно с целью оказания манипулятивного воздействия в одной и той же точке по очереди по мере продвижения гусеничных машин комплекса над этой точкой. Глубина воздействия механизма непосредственно на точку высадки определяется высотомером и корректируется соответствующим приводом по вертикали.

3. Первым элементом, воздействующим на точку посадки, является плуг для вскрытия опада. Плуг опускается ниже уровня земли. Гусеничная машина своим ходом вместе с плугом производит вскрытие и перемещение в стороны верхнего слоя почвы.

4. Вторым элементом, воздействующим на точку посадки, является стальной клин, который внедряется в почву на участке, расчищаемом плугом от опада. При воткнутом стальном клине во время постоянного поступательного движения гусеничной машины происходит образование гнезда высадки сеянцев в почве.

5. На место высадки перемещается ведомая гусеничная машина комплекса, оснащенная

манипулятором выемки сеянцев из бункера, посадочной трубой, спаренными стальными клиньями для уплотнения почвы у корня сеянца и спаренными прикаточными колесами для уплотнения почвы в зоне шейки сеянца.

6. В ведомой гусеничной машине комплекса манипулятор осуществляет захват одного сеянца в бункере и перемещает его в посадочную трубу. В момент совмещения по вертикали посадочной трубы и гнезда в почве, образованного стальным клином ведущей гусеничной машины, осуществляется сброс сеянца.

7. По мере непрерывного движения гусеничной машины в точке высадки сеянца оказываются спаренные стальные клинья на общем коленвале, которые погружаются в почву по сторонам рядом с гнездом высадки сеянца. По мере движения гусеничной машины вместе со стальными клиньями, заглубленными в почву, происходит уплотнение почвы у корня сеянца.

8. По мере непрерывного движения гусеничной машины в точке высадки сеянца по сторонам рядом с гнездом высадки сеянца оказываются спаренные прикаточные колеса. По мере непрерывного движения гусеничной машины осуществляется уплотнение почвы в зоне шейки сеянца.

9. С целью исключения попадания гусеничных машин на участки с критическим уклоном комплекс снабжен высотомером для выявления резкого перепада высот на пути движения. После его активации осуществляется оповещение оператора и происходит перерасчет траектории движения.

10. С целью исключения удара о препятствие гусеничных машин ведущая машина комплекса снабжается датчиками определения

препятствий и машинным зрением. После их активации осуществляется оповещение оператора и происходит перерасчет траектории движения.

11. Для передачи оператору объективной визуальной информации гусеничные машины комплекса оснащаются видеокамерами с функцией передачи потокового видео (рис. 4).

Важным этапом конструирования является разработка максимально бережного захвата сеянца. В ходе исследований проведена сравнительная оценка биометрических показателей 2-летних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и 3-4-летних сеянцев ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.). Средняя длина надземной части составила 13 см, корневой системы – 18 см, диаметр корневой шейки – 2,4 мм. Между стволиками сеянцев в разуплотненном состоянии принято расстояние 4-7 мм.

Мягкий захват манипулятора сконструирован из следующих элементов: компрессор (марка) 2,5 бара для миниаэрографии, ресивер, электромагнитные клапаны на впуск и стравливание воздуха (марка), патрубки и расширяемые резиновые элементы. Управление осуществлялось на базе платы Arduino UNO R3 с микроконтроллером ATmega328P. В качестве расширяющегося элемента захвата были испытаны разные типы резины: латекс (Natural Rubber Latex 60%, сертификат соответствия № ЕАЭС RU С-СО. НВ32.В.00240/20), подвулканизированный латекс (REVULTEX LAN960) и карбоксилированный акрилонитрилбутадиеновый каучук (Carboxylated Acrylonitrile Butadiene Copolymer). Эксперимент показал, что латекс и карбоксилированный акрилонитрилбутадиеновый каучук являются недолговечными и быстро разрушаются при резком нагнетании воздуха. Подвулканизированный

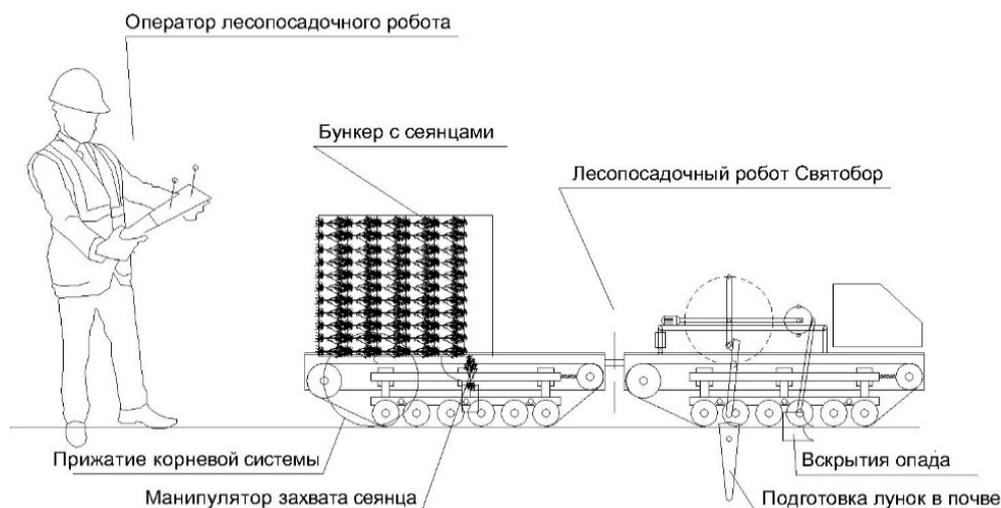


Рис. 4. Схема посадки лесных культур с помощью робота

Fig. 4. The scheme of planting forest crops using a robot

латекс показал неравномерное раздутие, однако позволил провести эксперимент с захватом сеянца. В ходе эксперимента выяснилось, что 100% сеянцев с открытой корневой системой в пучке мягким манипулятором захватить невозможно, так как силы захвата мягкого манипулятора не хватает, чтобы вытащить сеянец со спутавшимися корнями. С учетом этого был разработан манипулятор с жесткими захватами.

В фрагменте пластикового короба из самозатухающего ПВХ пластика 40 × 40 длиной 100 мм была выполнена перегородка, на которую смонтированы два электромагнита (LS-P50/27) для отдельного управления двух подвижных элементов. На концах подвижных элементов с помощью клея смонтированы мягкие губки для повышения трения и более бережного захвата. К каждому электромагниту (LS-P50/27) подведен датчик приближения. Управление осуществлялось на базе платы Arduino UNO R3 с микроконтроллером ATmega328P. При попадании сеянца в зону захвата сигнал от датчика поступает на микроконтроллер, в свою очередь отправляющий сигнал на срабатывание электромагнита, в зоне которого оказался сеянец. Проведенная серия экспериментов показала, что электромагниты не создают достаточного усилия, чтобы сеянец можно было вытащить из пучка. Мягкие губки на концах захватов были заменены на насечки, что тоже не привело к положительному результату. Однако уже были определены габариты между органами манипулятора, позволяющие отделять сеянцы по одному при вводе захватов манипулятора в пучок сеянцев.

Далее был произведен выбор типа датчика. Всего существует несколько типов бесконтактных датчиков: геркон, оптические, индуктивные и емкостные. Геркон и индуктивные датчики были исключены сразу, так как срабатывают на магнитное поле или на присутствие металла. Оптические датчики подразделяются на несколько типов: барьерные, рефлекторные и диффузионные. Могли бы подойти также емкостные типы бесконтактных датчиков. Для установления наиболее подходящего типа датчика для манипулятора были испытаны следующие модели: HLC1395-002 (датчик диодно-транзисторный), назначения), TCRT1010 (датчик оптический), QRE1113 (фототранзистор),

QRD111 (датчик оптический рефлекторный), TCRT5000 (датчик оптический барьерный), CNY70 (оптопара широкого

В контейнер T-178 пластиковый 9 × 6 × 1,8 см (тип «Gamma») были помещены два втягивающих соленоида (ZYE1-0530Z DC12V)

навстречу друг другу поперек главной оси захватов. При срабатывании соленоиды прижимают захваты друг к другу. Концы захватов были выполнены в форме плоских гарпунов. Испытания такого макета показали, что в 70-80% случаев итерации происходит успешный захват одного сеянца с ОКС из пучка с надежным его удержанием до момента вытаскивания из пучка. Однако данные соленоиды показали значительный нагрев в работе и были заменены более компактными соленоидами (MC0320L).

Таким образом, экспериментальным путем были определены оптимальные габариты захватов сеянцев, расстояние между ними, форма и габариты захватывающего конца, система приводов. Была создана в программном комплексе Shapr 3D-модель, распечатанная на 3D-принтере (Maestro SOLO) из пластика полимолочной кислоты (PLA, 200712074-1, Transparent plastic).

Манипулятор имел три пары захватов, расположенных со смещением по вертикальной проекции, чтобы полностью перекрывать щель бункера с сеянцами. Каждая пара захватов была выполнена с изменением вылета на 2 мм с целью уточнения наилучших показателей экспериментальным путем.

У каждой пары захватов смонтировано два датчика приближения (рис. 5).

Программа микроконтроллера была написана таким образом, что при попадании сеянца в зону срабатывания одного из датчиков, срабатывала именно эта пара захватов, для двух других ход засчитывался, как холостой.

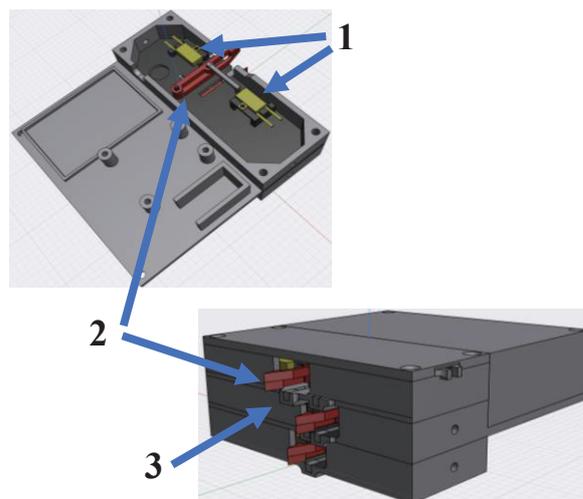


Рис. 5. Схема устройства манипулятора для захвата сеянцев:

1 – втягивающие соленоиды;

2 – захваты; 3 – оптические датчики

Fig. 5. Diagram of the manipulator device for capturing seedlings:

1 – retracting solenoids; 2 – grippers; 3 – optical sensors

Выводы

В ходе очередного этапа исследований будет осуществлена оценка стоимости комплекса и проведена апробация его в производственных условиях, чтобы адекватно определить вероятность его массового применения в ходе мероприятий по лесовосстановлению путем посадки семян лесобразующих пород.

Впервые разработанный комплекс будет способствовать решению одной из важнейших задач стратегического развития Российской Федерации, а именно: в ходе создания автономных роботизированных комплексов прорабатываются технологии машинного обучения, искусственного интеллекта, накапливается опыт реализации архитектуры автономной робототехники, что является большим заделом на будущее в рамках импортозамещения.

Испытания манипулятора с жесткими захватами семян и электромагнитными

приводами проведены в рамках Всероссийской акции «Посади лес» 14 мая 2023 г. на территории ГКУ КО «Износковское лесничество», Калужская область. В ходе испытания опытного образца манипулятора отработаны механизмы и уточнены габаритные размеры, которые требуют усовершенствования. Одними из важных выводов по результатам испытания стали слабость реакции оптических датчиков при дневном свете и резкое ухудшение работы манипулятора при загрязнении его плодородным грунтом.

С целью исключения загрязнения и ухудшения работы оптических датчиков при налипании грязи было принято решение переработать конструкцию манипулятора с жесткими захватами типа «Гарпун». Разработаны модель с толкателем в центральной части между захватами и 3D-модель в программном комплексе Sharp.

Список использованных источников

1. **Бобков Д.А., Никифоров А.И., Мухлынин Д.Н.** Российский опыт и особенности правового регулирования лесомелиоративных насаждений (лесополос) на землях сельскохозяйственного назначения // *Аграрное и земельное право*. 2020. № 8. С. 65-67.
2. **Владимиров И.А., Хайбулина Э.Р.** Правовой режим земель сельскохозяйственного назначения // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. Т. 9, № 1. С. 142-144.
3. **Драпалюк М.В., Стасюк В.В., Зеликов В.А.** Новые конструкции универсальных лесопосадочных машин для посадки семян с открытой и закрытой корневой системой // *Лесотехнический журнал*. 2021. Т. 11, № 4 (44). С. 112-123. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/10>
4. **Rottensteiner C., Stampfer K.** Mechanisierte Pflanzung von Forstballenpflanzen // *Universität für Bodenkultur Wien Department für Wald und Bodenwissenschaften Institut für Forsttechnik*. Wien, 2009. № 77 (7).
5. Equipment for reforestation and timber stand improvement // *Forest Service Equipment Development Center*. Fort Missoula, Montana, 1980. P. 266.
6. **Rantala J., Harstela P., Saarinen V. – M., Tervo L.** A techno economic evaluation of Bracke and M-Planter tree planting devices // *Silva Fennica*. 2009. № 43 (4). Pp. 659-667.
7. **Ersson T.** Possible concepts for mechanized tree planting in Southern Sweden – an introductory essay on forest technology // *Sveriges lantbruksuniversitet*. Umea, 2010. P. 54.
8. **Бартенев И.М., Попов И.В.** Современное развитие конструкций лесопосадочных машин за рубежом // *Лесотехнический журнал*. 2014. Т. 4, № 2 (14). С. 203-216.
9. **Асмоловский М.К.** Состояние и перспективы механизации посадки лесных культур // *Труды Белорусского ГТУ*. 2015. № 1 (174). С. 119-123.
10. **Алябьев А.Ф.** Оценка эффективности технологических комплексов машин и создание новых средств

References

1. **Bobkov D.A., Nikiforov A.I., Mukhlynin D.N.** Russian experience and features of legal regulation of forest reclamation plantations (forest belts) on the lands of agricultural appointments. 2020. № 8. P. 65-67.
2. **Vladimirov I.A., Khaibulina E.R.** Legal regime of agricultural lands // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019. V. 9, No 1. P. 142-144.
3. **Drapalyuk M.V., Stasyuk V.V., Zelikov V.A.** (2021) New designs of universal forest planting machines for planting seedlings with an open and closed root system. *Forest engineering journal*, Vol. 11. No. 4 (44). P. 112-123. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/10>
4. **Rottensteiner C.** Mechanisierte Pflanzung von Forstballenpflanzen. *Universität für Bodenkultur Wien Department für Wald und Bodenwissenschaften Institut für Forsttechnik*. Wien. 2009. p. 77.
5. Equipment for reforestation and timber stand improvement. *Forest Service Equipment Development Center*. Fort Missoula, Missoula, Montana. 1980. 266 p.
6. **Rantala J.** A techno economic evaluation of Bracke and M-Planter tree planting devices. *Silva Fennica*. 2009. no. 43 (4). P. 659-667.
7. **Ersson T.** Possible concepts for mechanized tree planting in Southern Sweden – an introductory essay on forest technology. *Sveriges lantbruksuniversitet*. – Umea, 2010. 54 p.
8. **Bartenev I.M., Popov I.V.** Modern development of structures of forest planters abroad / I.M. Bartenev, I.V. Popov // *Forest Engineering Journal*. 2014. V. 4. – № 2(14). P. 203-216.
9. **Asmolovskij M.K.** *Sostoyanie i perspektivy mekhanizacii posadki lesnyh kultur* [Status and prospects of mechanization planting] *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. Minsk: BGTU. 2015. no. 1(174). P. 119-123.
10. **Alyabjev A.F.** Evaluation of the efficiency of technological complexes of machines and the creation of new mechanization tools for reforestation. Moscow. 2011. 39 p.

механизации для лесовосстановления: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2011. 39 с.

11. **Бартенев И.М.** Автоматизация процесса посадки растений // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 75. – С. 13. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/33.pdf>.

12. **Селименков Р.Ю., Миронов А.В.** Эффективность инновационных технологий в воспроизводстве лесов // Проблемы развития территории. 2011. № 3 (55). С. 51-58.

13. **Коршунов Н.А., Савченкова В.А., Перминов А.В., Конюшенков М.Е.** Перспективные направления применения беспилотных авиационных систем в лесном комплексе // Лесохозяйственная информация. 2022. № 2 (23). С. 34-46.

14. Свидетельство о регистрации электронного ресурса 2023621092 от 4 апреля 2023 г. Архитектура автономного робота Святобор для лесоразведения и лесовосстановительных работ / Р.А. Хахаев. М.: ОФЭРНиО, 2023.

Об авторах

Руслан Анатольевич Хахаев, аспирант; orcid: 0000-0003-2595-4591; xaxaev.ruslan@gmail.com

Вера Александровна Савченкова, д-р с.-х. наук, доцент ВАК, Researcher ID: Y-3167-2019 orcid: 0000-0001-8593-7887; v9651658826@yandex.ru;

11. **Bartenev I.M.** Automation of planting process. Scientific Journal of KubSAU. Krasnodar: 2012, no. 75. 13 p. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/33.pdf>.

12. **Selimenkov R.Yu., Mironov A.V.** Efficiency of innovative technologies in forest reproduction. Problems of territory's development. Vologda. VolNC RAS. 2011. no. 3 (55). P. 51-58.

13. **Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Perminov A.V., Konyushenkov M.E.** Promising areas of application of unmanned aircraft systems in the forest complex. Forestry information. Moscow: FBU "VNIILM" 2022. no. 2. P. 34-46.

14. *Certificate of registration of electronic resource* no. 2023621092 dated 04.04.2023. Architecture of the autonomous robot Svyatobor for afforestation and reforestation works / R.A. Khakhaev. M OFERNiO, 2023.

About the authors

Ruslan A. Khakhaev, graduate student; orcid: 0000-0003-2595-4591; xaxaev.ruslan@gmail.com

Vera A. Savchenkova, DSc (Agro), associate professor of the Higher Attestation Commission, Researcher ID: Y-3167-2019 orcid: 0000-0001-8593-7887, v9651658826@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Хахаев Р.А., Савченкова В.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 24.03.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 28.07.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 28.07.2024

Khakhaev R.A., Savchenkova V.A. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.