

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ РОСТА, КОЛИЧЕСТВА И КАЧЕСТВА ВЫРАЩИВАЕМОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЛЕСОПИТОМНИКАХ**

Д.В. Кормилицын, Д.Ю. Войтов, О.В. Кормилицына, В.В. Бондаренко  
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
г. Мытищи, Россия, e-mail: kormilicin@bmstu.ru

**Аннотация.** Представлен автоматизированный комплекс для инвентаризации посадочного материала в лесных питомниках с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Приведены результаты исследований условий роста и оценки параметров сеянцев с закрытой и открытой корневыми системами на соответствие требованиям в питомниках Московской и Вологодской областей.

**Ключевые слова.** Автоматизированный комплекс, БПЛА, стереокамера ZED 2i, инвентаризация посадочного материала, лесной питомник, сопротивление пенетрации почвы, параметры сеянцев.

## **AUTOMATED COMPLEX FOR ESTIMATION OF GROWTH CONDITIONS, QUANTITY AND QUALITY OF GROWING PLANTING MATERIAL IN FOREST NURSERIES**

D.V. Kormilitsyn, D.Y. Voytov, O.V. Kormilitsyna, V.V. Bondarenko  
Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University,  
Mytischki, Russia, e-mail: kormilicin@bmstu.ru

**Abstract.** An automated complex for inventory of planting material in forest nurseries using an unmanned aerial vehicle (UAV) is presented. The results of studies of growth conditions and estimation of parameters of seedlings with closed and open root systems for compliance with the requirements in nurseries of the Moscow and Vologda regions are presented.

**Keywords:** Automated complex, UAV, ZED 2i stereo camera, planting material inventory, forest nursery, soil penetration resistance, seedling parameters.

Инвентаризация в лесных питомниках является ежегодным мероприятием по оценке количества и качества выращиваемого посадочного материала в соответствии с действующими стандартом и правилами [2]. Проведение инвентаризации осуществляется

методом диагональных ходов на учетных отрезках посевных строк или пробных площадках [3]. Вручную определяется количество посадочного материала и его параметры, отдельно фиксируются объем и качество стандартных экземпляров. Этот достаточно трудоемкий процесс нуждается в автоматизации, которая позволит ускорить процесс сбора данных, повысить точность измерений, оптимизировать агротехнические мероприятия и повысить эффективность управления питомником.

В связи с этим, целью наших исследований являлась экспресс-оценка условий роста и автоматизация инвентаризации посадочного материала в лесных питомниках.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение сопротивления пенетрации почвы;
- проектирование и реализация технологии съемки с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА);
- обработка информации с помощью специализированного программного обеспечения для реконструкции трехмерной модели исследуемого объекта;

Оценка состояния почвенных условий роста посадочного материала с использованием общепринятых показателей требует не только полевых, но и достаточно продолжительных лабораторных исследований. Поэтому вызывает интерес применение экспресс-методов диагностики, позволяющих непосредственно на объекте исследований получить данные и провести их анализ. Немаловажным условием проведения подобных исследований является сохранение почвенного покрова практически в ненарушенном состоянии, что особенно важно при изучении корнеобитаемой зоны. Таким диагностическим показателем является сопротивление пенетрации, который позволяет оценить способность почвы препятствовать (сопротивляться) внедрению в нее зонда конической формы, тем самым моделируя проникновение корней растений [4]. Чем больше значения сопротивления пенетрации почвы, тем меньше длина и распространение корней в почвенном профиле. Наряду с оценкой состояния почв в лесных питомниках, необходимо определять количество и качество выращиваемого посадочного материала, т.к. от этого зависят дальнейшие этапы процесса лесовосстановления. В настоящее время открываются широкие перспективы использования в лесном хозяйстве современных методов мониторинга, основанных на применении БПЛА [1]. Развитие данного направления может стать основой для автоматизации инвентаризации посадочного материала в лесопитомниках.

Наши исследования проводились в лесных питомниках Сергиево-Посадского и Дмитровского филиалов Мособллес, а также в Вологодском селекцентре – филиале САУ лесного хозяйства ВО «Вологдалесхоз», расположенных в районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов и южно-таежном районе европейской части Российской Федерации соответственно. Исследуемый посадочный материал был представлен двухлетними сеянцами ели европейской (*Picea abies* (L.) H.Karst.) с открытой (ОКС) и закрытой (ЗКС) корневыми системами. Определение параметров посадочного материала (диаметра стволика, высоту надземной части, длину корневой системы) традиционным способом проводилось с помощью штангенциркуля и линейки в соответствии с ГОСТ Р 58004-2017 [3]. Для разработки автоматизированного комплекса инвентаризации посадочного материала был собран БПЛА на котором устанавливалась стереокамера Zed 2i. Измерение сопротивления пенетрации

почвы осуществлялась пенетрографом (Penetrograph, Eijkelkamp) через каждые 5 см до глубины 70 см, объемной влажности почвы – влагомером (Moisture meter HH2, WET Sensor, Delta-T Devices Ltd.) с 10-и кратной повторностью. Исследования проводились в период с 2019 по 2025 гг.

В результате проведенных исследований установлено, что почвы изучаемых лесных питомников имеют легко- и среднесуглинистый гранулометрический состав. Объемная влажность почвы при определении сопротивления пенетрации почвы составляла 25-32 %. Значения сопротивления пенетрации почвы Дмитровского и Сергиево-Посадского лесопитомников представлены рисунке 1.

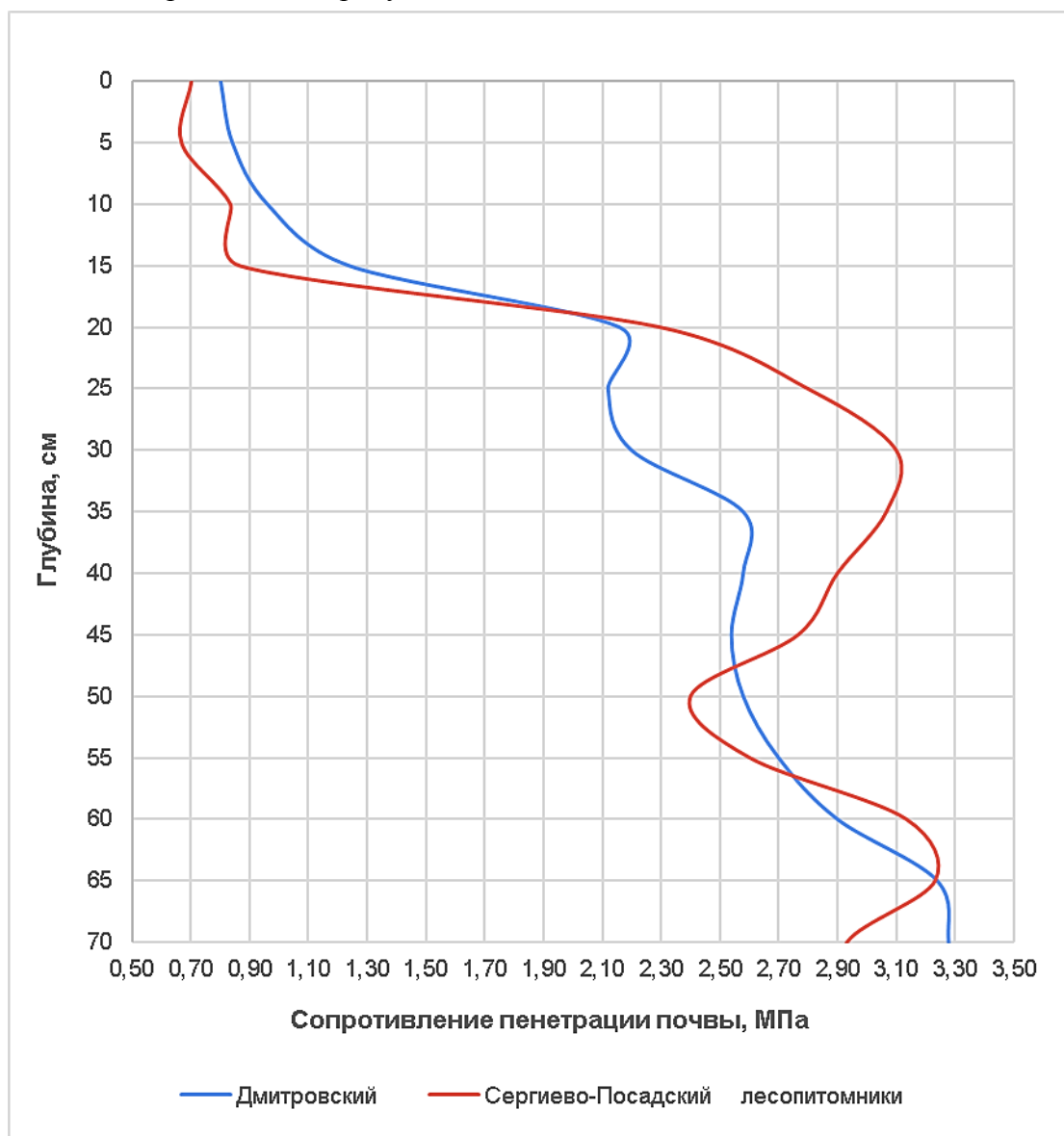


Рисунок 1 – Изменение сопротивления пенетрации почвы по глубине в Дмитровском и Сергиево-Посадском лесопитомниках

Согласно полученным данным в пахотном слое почвы до глубины 10 см значения сопротивления пенетрации не превышают 1,0 МПа, что соответствует достаточно благоприятным условиям роста корней сеянцев. На глубине 10-15 см наблюдается увеличение данного показателя до 1,24 МПа – средние условия, а с глубины 15-20 см происходит значительное увеличение значений сопротивления пенетрации почвы до значений,

превышающих 2 МПа, т.е. условия для развития корневых систем становятся неблагоприятными и критическими, и связано это с формированием плотной, плохо влаго- и воздухопроницаемой подплужной подошвы. Относительное распространение корней в пахотном горизонте глубиной до 15 см составляет 75-60 % и снижается до 15-5 % на глубине 15-20 см. Таким образом, длина корневой системы сеянцев может достигать не менее 10-15 см, что соответствует ГОСТ 3317-90 и дает возможность применять их для посадки на почвах с избыточным и нормальным увлажнением.

Автоматизированный комплекс инвентаризации посадочного материала с использованием БПЛА основан на технологии определения свойств объектов и представляет собой совокупность аппаратной и программной части, где аппаратная часть отвечает за получение изображения реального объекта, а программная – за его обработку. Для реализации поставленных задач был собран БПЛА, на который устанавливалась стереокамера Zed 2i. Структурная схема компонентов БПЛА для выполнения поставленных задач приведена на рисунке 2.

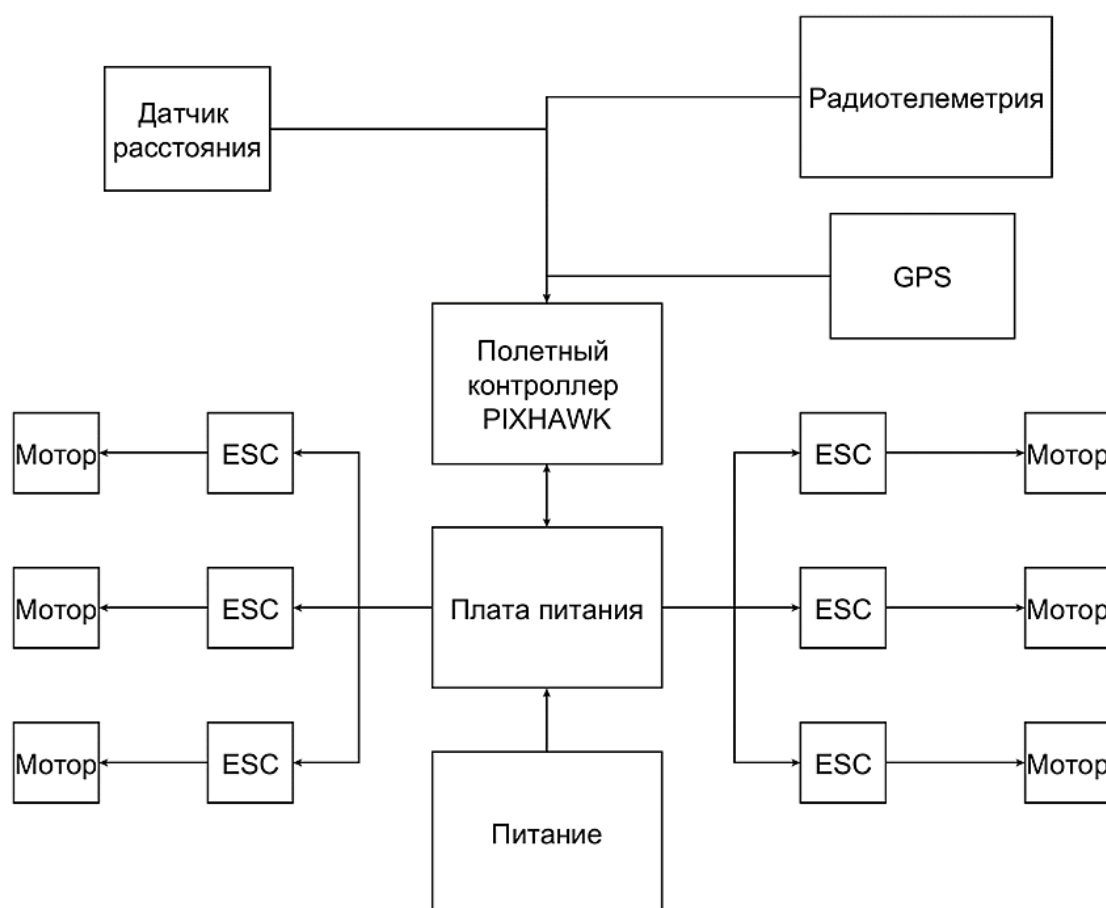


Рисунок 2 – Структурная схема компонентов БПЛА

БПЛА с установленной на нем стереокамерой осуществлял полеты над исследуемыми полями питомников на разной высоте (от трех до семи метров). На высоте трех метров достигался баланс между детализацией съемки и охватом объекта съемки. С использованием специализированного программного обеспечения стереокамеры ZED 2i была реализована процедура реконструкции трехмерной модели исследуемого объекта. Обработка модели

представляет собой совокупность алгоритмов, которые на основе трехмерной модели определяют заданные объекты (рисунок 3).

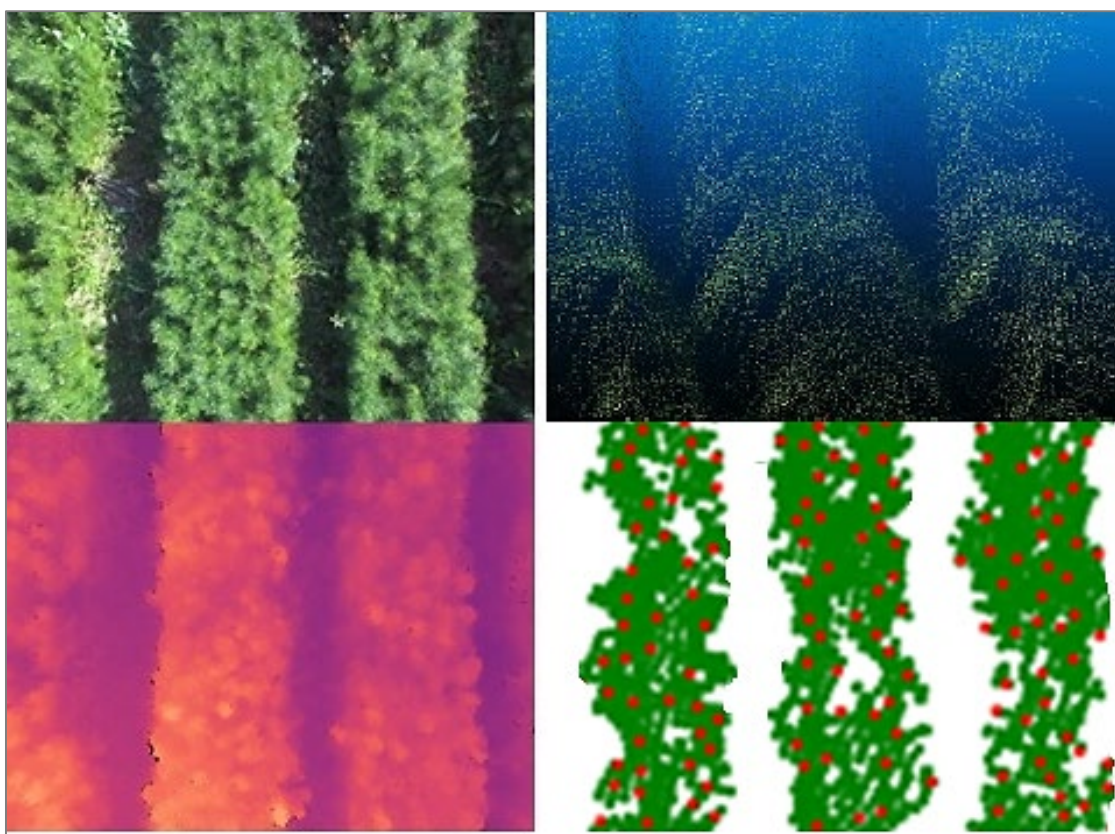


Рисунок 3 – Визуализация технологии определения свойств объектов

Завершающим этапом применения автоматизированного комплекса для инвентаризации посадочного материала является определение количества и параметров сеянцев, а также их проверка на соответствие стандартам.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- оценка условий роста посадочного материала в лесных питомниках с помощью определения сопротивления пенетрации почвы может являться оперативным способом определения потенциальной возможности развития корневых систем сеянцев. Полученные значения этого показателя до 1,24 МПа свидетельствуют о благоприятных и средних условиях роста до глубины 15 см;
- разработанный автоматизированный комплекс для инвентаризации посадочного материала с использованием БПЛА позволяет оценить количество и параметры сеянцев, значительно сократив продолжительность определения, а также учесть все имеющиеся на площади поля экземпляры растений;
- обработка полученных данных проводится с помощью специализированного программного обеспечения и предоставляет возможность визуализации результатов для планирования и проведения мероприятий по улучшению условий роста, количества и качества посадочного материала.

### Список литературы

1. Алексеев А.С., Данилов Ю.И., Никифоров А.А., Гузюк М.Е., Киреев Д.М. Опыт применения беспилотного летательного аппарата для инвентаризации и оценки опытных лесных культур Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2020. № 2. С. 46-58.

2. ГОСТ Р 58004-2017. Лесовосстановление. Технические условия = Reforestation. Specifications: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 ноября 2017 г. № 1847-ст: введен впервые: дата введения 2018-06-01 / разработан Федеральным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства». – Москва: Стандартинформ, 2018. – 32 с.

3. Приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024 (ред. от 03.08.2023) Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления (Зарегистрировано в Минюсте России 11.02.2022 N 67240) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025). – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202110024> (дата обращения: 15.05.2025).

4. Шеин, Е.В. Курс физики почв / Е.В. Шеин. – М.: МГУ, 2005. – 432 с.

### References

1. Alekseev A.S., Danilov Y.I., Nikiforov A.A., Guzyuk M.E., Kireev D.M. Experience of using an unmanned aerial vehicle for inventory and assessment of experimental forest crops of the Lisinskaya part of the training and experimental forestry of the Leningrad region // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry, 2020. № 2. P. 46-58.

2. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia from 29.12.2021 No.1024 (ed. from 03.08.2023) On approval of the Rules of reforestation, form, composition, procedure for approval of the reforestation project, grounds for refusal of its approval, as well as requirements to the format in electronic form of the reforestation project (Registered in the Ministry of Justice of Russia 11.02.2022 N 67240) (with amendments and additions, effective from 01.03.2025). – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202110024> (date of reference: 15.05.2025).

3. GOST P 58004-2017. Reforestation. Specifications: national standard of the Russian Federation: official edition: approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from November 28, 2017 № 1847-st: introduced for the first time: date of introduction 2018-06-01 / developed by the Federal budgetary institution «All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry». – Moscow: Standardinform, 2018. – 32 p.

4. Shein, E.V. Course of soil physics / E.V. Shein. – MSU, 2005. – 432 p.