

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА DIGITAL TRANSFORMATION OF FORESTRY

Шапкин В.С., преподаватель СПО кафедры информационных технологий, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Скворцова Е.И., преподаватель СПО кафедры информационных технологий, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Рябобык В.С., студент 1 курса ФКНТ, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Shapkin V.S., teacher of secondary vocational education, Department of Information Technology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Skvortsova E.I., teacher of secondary vocational education, Department of Information Technology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Ryabobyk V.S., 1st year student, Faculty of Computer Science and Technology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация: Статья подводит итоги масштабной цифровой трансформации лесного комплекса России, которая обещает революционные изменения в управлении, мониторинге и защите лесных ресурсов. Важным шагом станет запуск Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) в 2025 году, обеспечивающей интеграцию передовых технологий, таких как дистанционное зондирование, ИИ и блокчейн. Статья подчеркивает комплексных систем обнаружения вредителей, использующих ультразвуковые и оптические методы для раннего выявления угроз экосистеме. Основное внимание уделяется проблемам несанкционированной вырубki, обнаружению лесных пожаров и угроз здоровью лесов, последствиям деятельности вредителей и технологическим решениям, направленным на их своевременное выявление. Применение данных из спутников и дронов, а также автоматизация управления и использование больших данных будут способствовать повышению эффективности и устойчивости лесного хозяйства, что имеет критическое значение как для экологии, так и для экономических интересов страны.

Abstract: The article summarizes the results of a large-scale digital transformation of the forestry complex in Russia, which promises revolutionary changes in the management, monitoring and protection of forest resources. An important step will be the launch of the Federal State Information System of the Forestry Complex (FGIS LC) in 2025, which will ensure the integration of advanced technologies such as remote sensing, AI and blockchain. The article emphasizes integrated pest detection systems using ultrasound and optical methods for the early detection of threats to the ecosystem. The main focus is on the problems of unauthorized logging, detection of forest fires and threats to forest health, the consequences of pest activity and technological solutions aimed at their timely detection. The use of data from satellites and drones, as well as automation of

management and the use of big data will contribute to increasing the efficiency and sustainability of forestry, which is critical for both the ecology and economic interests of the country.

Ключевые слова: лесной комплекс, спутниковые данные, короеды, феромонные ловушки, видеосветоловушки

Keywords: forest complex, satellite data, bark beetles, pheromone traps, video light traps

Лесной комплекс России стоит на пороге революционных изменений благодаря масштабной цифровой трансформации. Внедрение инновационных технологий радикально преобразует методы управления, мониторинга и защиты лесных ресурсов, формируя принципиально новую экосистему лесного хозяйства. Особое значение приобретают комплексные системы обнаружения вредителей, интегрирующие ультразвуковые технологии и оптические системы наблюдения, которые позволяют выявлять угрозы на ранних стадиях и минимизировать экономический и экологический ущерб. Полномасштабная цифровизация лесного комплекса начнется с января 2025 года с запуском Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК), которая объединит существующие технологические решения в единую интегрированную платформу.

Лесной комплекс является стратегически важным сектором российской экономики, обеспечивающим существенный вклад в ВВП страны и затрагивающим различные отрасли промышленности. Цифровая трансформация этого сектора направлена на решение множества актуальных проблем, включая повышение эффективности управления, борьбу с незаконными вырубками, оперативное обнаружение пожаров и вредителей, а также обеспечение устойчивого лесопользования.

Ключевые направления цифровизации лесного хозяйства включают создание единой информационной системы, внедрение технологий дистанционного зондирования, автоматизацию процессов учета и контроля, а также разработку и применение инновационных инструментов для мониторинга состояния лесов. Эти направления реализуются через развитие таких платформ как ФГИС ЛК, ЛесЕГАИС и "Интерактивная карта Леса России", которые становятся фундаментом для создания цифровой экосистемы лесного хозяйства.

Цифровизация обеспечивает переход к концепции «Индустрия 4.0», предполагающей взаимодействие лесных машин и оборудования с системами получения, обработки, анализа и хранения больших данных. Этот подход трансформирует традиционные практики лесного хозяйства, делая их более эффективными, прозрачными и экологически устойчивыми.

Технологическая база цифровой трансформации лесного комплекса включает множество инновационных решений. Большие данные и системы распределенного реестра применяются для создания интерактивных карт и учета древесины. Искусственный интеллект и нейротехнологии используются для прогнозирования пожаров, обнаружения незаконных рубок и оптимизации транспортной сети. Новые производственные технологии, такие как программа ForestTech Accelerator, внедряются в крупных лесоперерабатывающих компаниях.

Промышленный интернет реализуется через технологию "умный завод", предлагающую комплексные технологические решения для оптимизации работы оборудования и управления полным циклом бизнес-процессов. Робототехника представлена комплексами полностью автоматизированных участков с использованием антропоморфных, коллаборативных и

мобильных роботов. Технологии беспроводной связи обеспечивают внедрение мобильных спутниковых станций для удаленной работы в условиях лесозаготовки, проведения исследований и пожаротушения.

Технологии дистанционного зондирования и мониторинга играют ключевую роль в цифровой трансформации лесного комплекса, предоставляя высокоточные данные о состоянии лесных массивов и создавая основу для принятия обоснованных управленческих решений.

Спутниковые данные и аэрофотосъемка являются основными источниками информации для мониторинга лесного покрова на больших территориях. Спутниковый мониторинг в России охватывает более 250 миллионов гектаров лесов в 40 регионах, обеспечивая регулярное получение актуальных данных о состоянии лесного фонда. Эти данные используются для создания цифровых карт, выявления изменений в лесных массивах и обнаружения незаконных рубок.

Система ИСДМ-Рослесхоз (Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства) является примером эффективного использования спутниковых данных. Эта федеральная государственная информационная система предназначена для мониторинга лесных пожаров и контроля достоверности сведений о таких пожарах, поступающих от региональных диспетчерских служб.

Технология LiDAR (Light Detection and Ranging) произвела революцию в инвентаризации лесов, позволяя получать точную трехмерную информацию о лесных массивах. Часть лучей лидара отражается от веток, верхушек деревьев и полога леса, часть – от поверхности земли, обеспечивая детальные данные о структуре лесного покрова.

Технология "АрбоЛиДАР" позволяет моделировать характеристики лесных массивов, используя непараметрические методы оценки и данные лидара, аэрофотоснимков и пробных площадей с GPS/GLONASS-координатами. По сравнению с традиционной лесной инвентаризацией, лидар обеспечивает более высокое пространственное разрешение и точность измерений, что приводит к экономии ресурсов при проведении инвентаризации и последующем планировании лесных операций.

Мультиспектральное сканирование анализирует отражение света в различных спектрах, позволяя "заглянуть" под полог леса и оценить состояние древостоя. Эта технология особенно эффективна для раннего выявления болезней и вредителей, а также для оценки общего состояния растительности.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали незаменимым инструментом для детального мониторинга лесных территорий. Оснащенные камерами, сенсорами и системами LiDAR, дроны предоставляют высокоточные данные о состоянии лесов в режиме реального времени. Они используются для создания ортофотопланов, трехмерных моделей местности, обнаружения очагов пожаров и незаконных рубок, а также для мониторинга здоровья деревьев.

Российские ученые разработали методы выявления деревьев, поврежденных опасными вредителями, на ранних стадиях заражения по снимкам с БПЛА, используя алгоритмы глубоких нейронных сетей YOLO. В ходе исследования сравнивались три архитектуры - YOLOv2, YOLOv3 и YOLOv4, с наилучшими результатами, показанными архитектурой YOLOv4, достигающей средней точности до 95%.

ИСДМ-Рослесхоз – ключевая среди нескольких российских систем раннего обнаружения лесных пожаров. Она круглосуточно интегрирует наземные, авиационные и космические данные, позволяя оперативно выявлять возгорания.

ИСДМ-Рослесхоз объединяет метеоданные, наземные, авиационные и космические наблюдения для комплексного анализа. Система генерирует объективную информацию о пожарах, автоматически проверяя достоверность спутниковых данных через обратную связь.

ГИС являются важным инструментом для обработки и визуализации лесных данных, объединяя разнородную информацию на единой платформе. Эти системы обеспечивают анализ пространственных данных, создание цифровых карт лесных территорий и моделирование развития экосистем, что способствует эффективному планированию лесохозяйственных мероприятий и принятию обоснованных решений.

Цифровые 2D/3D топокарты, создаваемые посредством аэрофотосъемки и специализированного сканирования, формируют основу для внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности в лесной отрасли, расширяя возможности визуализации и анализа данных о лесных ресурсах.

Цифровые технологии трансформируют управление лесозаготовкой и переработкой древесины, повышая эффективность с контролем всей производственной цепочки.

ГЛОНАСС/GPS-навигация интегрируется в лесозаготовительную технику для оптимизации маршрутов, повышения производительности и безопасности, минимизируя повреждение почвы и сохраняя древостой при планировании операций.

ГЛОНАСС/GPS-мониторинг лесозаготовительной техники в реальном времени обеспечивает оперативный контроль рабочих процессов и принятие решений в аварийных ситуациях.

Автоматизированные системы учета (например, ЛесЕГАИС) обеспечивают прозрачность оборота древесины и предотвращение незаконных рубок через электронный контроль заготовки, отслеживание перемещений и верификацию легальности происхождения сырья.

ЛесЕГАИС интегрируется с таможенными и налоговыми системами, обеспечивая сквозное отслеживание древесины от заготовки до потребителя или экспорта.

Цифровые платформы оптимизируют логистику лесного комплекса, обеспечивая планирование заготовок, маршрутизацию транспорта, управление складскими ресурсами и координацию участников производственной цепочки.

За последние 15–20 лет лесная отрасль осуществила переход от ручного труда к комплексной механизации процессов. Внедрение инноваций обеспечило удаленный мониторинг работ, автоматизацию управления древесными запасами, логистикой и сбытом, сделав сокращение человеческого участия ключевым вектором развития.

Автоматизация и роботизация деревообрабатывающих производств повышают производительность, качество продукции и безопасность труда, с активным внедрением промышленных роботов (Kuka, Universal Robots, Mi) в российскую отрасль.

Технология «умный завод» автоматизирует полный цикл производства — от сырья до выпуска продукции, оптимизируя оборудование и бизнес-процессы для повышения эффективности и сокращения затрат.

Блокчейн внедряется для отслеживания происхождения древесины, гарантируя неизменность и прозрачность данных о ее перемещении и переработке, что критично для противодействия незаконным рубкам и соблюдения международных стандартов цепочек поставок.

Своевременное выявление и борьба с лесными вредителями в России критически важны как для сохранения экосистем, так и для защиты экономических интересов страны, позволяя предотвратить утрату ценных лесных ресурсов.

Массовое размножение короедов, шелкопрядов и листоедов вызывает катастрофические повреждения российских лесов, стремительно снижая их продуктивность и разрушая экологическое равновесие экосистем.

Экономические потери от вредителей включают не только стоимость погибшей древесины, но и затраты на лесовосстановление, потерю экологических функций леса, снижение туристической привлекательности пострадавших территорий и другие косвенные ущербы. Поэтому разработка и внедрение эффективных систем обнаружения и мониторинга вредителей является одним из приоритетных направлений цифровизации лесного комплекса.

Традиционные методы обнаружения и контроля вредителей основаны на визуальном осмотре, использовании феромонных ловушек, отборе и анализе образцов, а также на проведении регулярных лесопатологических обследований. Эти методы требуют значительных трудовых ресурсов, времени и не всегда позволяют обнаружить заражение на ранних стадиях.

Ограничения традиционных методов включают субъективность оценки, невозможность охвата больших территорий, зависимость от погодных условий и сезонности, а также недостаточную оперативность получения информации. Эти ограничения стимулируют разработку и внедрение современных цифровых технологий для обнаружения и мониторинга вредителей.

Современные технологии обнаружения вредителей основаны на использовании дистанционного зондирования, специализированных датчиков, автоматизированных систем мониторинга и методов машинного обучения. Они позволяют обнаруживать заражение на ранних стадиях, охватывать большие территории и получать объективные данные о состоянии лесных насаждений.

Видеосветоловушки представляют собой эффективный инструмент для мониторинга численности и видового состава насекомых-вредителей. Они используют световое излучение для привлечения насекомых и камеры для фиксации их изображений, что позволяет автоматизировать процесс сбора данных о популяциях вредителей.

Энергосберегающая видеосветоловушка для мониторинга численности и вида насекомых-вредителей с передачей данных по беспроводному каналу связи представляет собой инновационное решение, обеспечивающее эффективный мониторинг в полевых условиях. Эта технология позволяет повысить эффективность защиты растений путем создания системы мониторинга насекомых-вредителей на основе видеосветоловушки с передачей данных по беспроводному каналу связи.

Система iSCOUT представляет собой ловушку для насекомых со встроенной электроникой (система камер, модем, источник питания с солнечной панелью) и липкой пластиной. Благодаря небольшому весу ее можно повесить в любом необходимом месте в поле.

Камера высокого разрешения делает снимки липкой пластины внутри ловушки, которые передаются через сеть на платформу FieldClimate, где они анализируются с помощью программного обеспечения искусственного интеллекта.

Акустические и ультразвуковые методы детекции основаны на регистрации звуков, производимых насекомыми-вредителями в процессе их жизнедеятельности. Эти методы позволяют обнаруживать вредителей в толще древесины, где они недоступны для визуального осмотра.

Интересно отметить, что грызуны воспринимают в основном высокочастотные звуки, с максимальной чувствительностью в диапазоне 20-50 кГц для крыс и 10-20 кГц для мышей. При общении между собой грызуны используют высокочастотные свисты, а самцы могут привлекать самок с помощью ультразвуковых сигналов. Это явление может быть использовано для разработки систем обнаружения грызунов и других вредителей.

Тепловизионные технологии становятся все более популярным решением для обнаружения вредителей в стенах и других скрытых местах. Эти технологии позволяют обнаруживать тепловые сигнатуры, создаваемые скоплениями насекомых или грызунов, а также выявлять зоны повышенной влажности, которые могут указывать на присутствие вредителей.

Тепловизоры не видят сквозь стены, но обнаруживают перепады температуры на поверхности, вызванные чем-то на другой стороне или внутри стены. Например, тепловизионная камера может обнаружить гнездо грызунов, которое генерирует тепло в течение длительного периода времени и вызывает нагревание стены изнутри.

Тепловизоры фиксируют тепловые аномалии, перепады влажности и структурные дефекты, выявляя места проникновения насекомых-вредителей в конструкции.

Комбинируя оптические, акустические и тепловизионные технологии, интегрированные системы обеспечивают комплексный мониторинг вредителей через единую платформу с автоматизированным анализом данных.

Интегрированные системы повышают точность обнаружения вредителей за счёт объединения данных с различных датчиков, работая в разнообразных условиях и минимизируя ложные сигналы.

Интеграция ультразвуковых датчиков и видеонаблюдения в единую систему позволяет эффективно выявлять вредителей в лесах и на деревообрабатывающих объектах.

Биоакустический анализ ультразвуковых сигналов насекомых-вредителей позволяет выявлять их по характерным акустическим маркерам, возникающим при питании, размножении и внутривидовой коммуникации.

Специфические реакции насекомых на ультразвуковые частоты (привлечение или избегание) позволяют манипулировать их поведением для контроля популяций вредителей.

Комбинируя ультразвуковое привлечение насекомых с видеонаблюдением, система синхронизирует акустическое воздействие и визуальную регистрацию активности вредителей.

Ультразвуковой модуль генерирует частоты, адаптированные к слуховым характеристикам целевых вредителей, например, 20-50 кГц для привлечения грызунов.

Ультразвуковые устройства типа "ЭкоСнайпер LS-925M" (130 дБ, 25-26 кГц, радиус действия до 230 м² для грызунов и 100 м² для насекомых) могут быть перенастроены для

генерации привлекающих сигналов вместо отпугивающих, создавая основу для систем мониторинга вредителей.

Оптический модуль системы использует высокочувствительные камеры, детектирующие движение и морфологию вредителей в видимом, инфракрасном и иных спектральных диапазонах, выбор которых определяется целями мониторинга и эксплуатационной средой.

Платформа iSCOUT использует 10-МП камеры для фиксации насекомых, передавая изображения через LTE в FieldClimate с последующей аналитикой на основе ИИ-алгоритмов.

Объединяя данные ультразвуковых и оптических сенсоров, система анализирует их с помощью ИИ-алгоритмов для распознавания видов вредителей, расчёта их плотности и прогнозирования роста популяций.

Алгоритмы компьютерного зрения типа YOLOv4 (точность ~95%) интегрируются в системы анализа данных для автоматической идентификации вредителей по изображениям с оптических модулей.

Цифровая трансформация российского лесного комплекса объединяет технологии дистанционного зондирования, ИИ, IoT и блокчейн для оптимизации управления ресурсами, повышая эффективность, прозрачность и экологическую устойчивость отрасли.

Комбинируя ультразвуковое привлечение насекомых с автоматизированной видеофиксацией, интегрированные системы позволяют оперативно выявлять вредителей на ранних стадиях заражения, предотвращая масштабные повреждения лесов.

Несмотря на правовые, технические и кадрово-финансовые барьеры, цифровизация лесного комплекса России развивается через систему госпрограмм, международных инициатив и дорожных карт, обеспечивая планомерное внедрение инноваций для достижения стратегических отраслевых целей.

Список литературы

1. Николай Казаков. Промышленное лесопользование цифровизация и автоматизация // Инфра-Инженерия. - 2023.
2. Информационные технологии в лесном хозяйстве. / В.Л. Черных, В.В. Сысеев // Учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. -378 с.
3. Лесоводство / С.В. Залесов, // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. -295 с.

References

1. Nikolay Kazakov. Industrial forest management: digitalization and automation // Infra-Engineering. - 2023.
2. Information technologies in forestry. / V.L. Chernykh, V.V. Sysuev // Study guide. - Yoshkar-Ola: MartSTU, 2000.
3. Forestry / S.V. Zalesov, // Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forest Engineering University. - Ekaterinburg: USFTU, 2020.