

УДК 004.03 + 630*3

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-383-393

Информационная система управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»: структура, оценка эффективности

Васенёв М.Ю.

Поволжский государственный технологический университет
Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, ул. Панфилова, д. 17
E-mail: AspIVS16.20@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся технико-технологической модернизации лесного комплекса Российской Федерации. Отмечается ряд проблем, сдерживающих развитие данной отрасли, среди которых и относительно низкий уровень автоматизации и цифровизации процессов. Выделяются наиболее актуальные направления научных изысканий и разработок в области лесной промышленности и лесного хозяйства, рассматриваются существующие достижения отечественных и иностранных исследователей. Приводится и описывается структура информационной системы управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0». Даются комментарии к схеме: рассматриваются задача по оценке качества транспортировки леса с использованием метода многокритериального анализа TOPSIS, вопрос о прогнозировании ресурса агрегатов лесной машины. Предлагается группа показателей для оценки эффективности системы. Делаются выводы, отмечается необходимость формирования более комфортных условий для модернизации лесной науки и образования, увеличения объёма инвестиций в лесной комплекс Российской Федерации.

Ключевые слова: лесной комплекс, автоматизация и цифровизация, Индустрия 4.0, TOPSIS, эффективность системы

Для цитирования: Васенёв М.Ю. 2022. Информационная система управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»: структура, оценка эффективности. Экономика. Информатика, 49(2): 383–393. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-383-393

Harvesting Management Information System Within the Frameworks of the «Industry 4.0»: Structure, Estimate of Efficiency

Mikhail Yu. Vasenev

Volga State University of Technology
Russia, 424000, Yoshkar-Ola, Panfilova St., b. 17
E-mail: AspIVS16.20@gmail.com

Abstract. This article considers questions concerning the techno-technological modernization of the Russian Federation forest complex. There are mentioned many problems restraining the progress of this sector, among them is the lower level of automation and digitalization of processes. There are highlighted the most actual trends of scientific researches and developments in the area of forest industry and forestry, there are considered current achievements of native and foreign explorers. There is provided and described the structure of harvesting management information system within the frameworks of the «Industry 4.0» conception. There are given some comments to the scheme: the task of logging quality estimation with the use of the multiple criteria analysis TOPSIS, a question of the resource forecasting of the forest machine units are considered. The indicator set for the estimate of harvesting system efficiency is suggested. There are made some conclusions, the requirement of forming more comfortable conditions for the modernization of forest science and education, enlargement of the investment amount in the Russian forest complex is mentioned.

Keywords: forest complex, automation and digitalization, Industry 4.0, TOPSIS, system effectiveness



For citation: Vasenev M.Yu. 2022. Harvesting Management Information System Within the Frameworks of the «Industry 4.0»: Structure, Estimate of Efficiency. Economics. Information technologies, 49(2): 383–393 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-383-393

Введение

В настоящее время вклад лесного комплекса в экономику РФ существенно ниже аналогичного показателя других стран, схожих по объемам запасов и заготовки древесины (например, в Швеции и Финляндии этот показатель составляет до 5 % ВВП, в России – 0,5 % на 2019 год). Отчасти это связано с тем, что отечественный производитель преимущественно нацелен на сегменты производства с низкой добавленной стоимостью (кругляк и пиломатериалы), что влечёт за собой недоиспользование экспортного потенциала. Одновременно с этим существуют проблемы, которые сдерживают развитие лесного комплекса России [Постановление Правительства РФ №1769, 2021], среди них:

- нехватка актуальных сведений об имеющихся лесных ресурсах;
- недостаточная эффективность системы охраны и защиты лесов;
- ограниченный объем внутреннего рынка продукции переработки леса;
- недостаточный уровень материально-технического, научного обеспечения;
- относительно низкий уровень автоматизации и цифровизации процессов отрасли.

Остановимся на последнем пункте. Что позволит преодолеть техническое отставание лесной отрасли, приступить к её технологической трансформации?

Что если для более глубокого понимания и исследования процессов в лесной отрасли обратиться к возможностям системного анализа?

Помимо этого стоит также обратиться к технологиям концепции «Индустрия 4.0», ныне уже являющейся синонимом цифровой трансформации; явлением, которое требует определённого пересмотра взглядов на устоявшиеся тренды в той или иной отрасли.

Итак, *целью* данной работы является рассмотрение информационной системы управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0».

В связи с этим необходимо решить следующие *задачи*:

1. Провести обзор существующих разработок отечественных и иностранных исследователей в области лесозаготовок.
2. Привести и описать структуру рассматриваемой системы и дать необходимые комментарии.
3. Предложить показатели для оценки эффективности данной системы.

Системный анализ в области лесозаготовок

Какие направления «рассматривает» системный анализ в лесной промышленности? Можно выделить следующие (также примем во внимание тенденции лесного хозяйства, эти отрасли взаимопересекаются в ряде аспектов) [Tóth, 2020]:

- Управление лесом и планирование.
- Оценка состояния лесов и проблемы обезлесивания.
- Транспортировка леса и лесоматериалов, цепочки поставок.
- Моделирование распространения лесных пожаров, их прогнозирование, а также оценка рисков.
- Оценка влияния инфраструктуры в местах лесозаготовительных работ на местобитания диких животных.
- Применение технологий «data science» и машинного обучения в лесной отрасли.
- Автоматизация лесозаготовительной техники и повышение производительности труда лесозаготовительных бригад.

- Сокращение производственного травматизма рабочих и операторов ЛЗМ.
- Оценка влияния изменения климата на лесные ресурсы и т. д.

Далее рассмотрим некоторые существующие достижения отечественных и иностранных исследователей.

Коллективом учёных института космических исследований РАН была разработана Информационная система ВЕГА-Лес. Она позволяет получать информацию о качественных и количественных характеристиках лесных насаждений. Например, о повреждениях лесов пожарами, площади и степени повреждений лесов под воздействием различных природных факторов, объемах промышленной рубки леса, бюджете углерода в лесах [ИС ВЕГА-ЛЕС, 2020].

Во Всероссийском научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства были разработаны алгоритмы расчетов запасов углерода в биомассе лесов, поглощения углерода биомассой лесов, эмиссий углерода, вызванных антропогенными и природными факторами [Мальшева и др., 2020].

В институте экологии и природопользования Казанского федерального университета была разработана информационная система «Флора», содержащая информацию о видовом составе, эколого-ландшафтной характеристике растительных сообществ, встречающихся на территории республики Татарстан. Данные из ИС можно экспортировать в экспертные системы программы Juice, для постобработки флористических списков и классификации с целью выявления экосистемного разнообразия и определения категорий экотопов по EUNIS Habitat Classification [Шайхутдинова, Рогова, 2020].

В Амурском филиале WWF была создана цифровая платформа «Кедр». С её помощью можно выявлять незаконные рубки в кедрово-широколиственных лесах на основе автоматического анализа космических снимков для вегетационного и снежного периода. Сопоставляя эти снимки с границами разрешенного лесопользования, система выявляет изменения лесного полога. Также необходимо отметить, что данная система доступна к использованию не только лесоинспекторам, но и частным лицам, которые могут принимать участие в отслеживании лесоизменений через существующее мобильное приложение [Система КЕДР, 2017].

Компанией «Системы компьютерного зрения» было разработано мобильное приложение Smart Timber по измерению плотного объема круглого леса. В его основе лежит нейросеть, которая позволяет получать сведения о габаритах и КПД штабеля. Данный программный продукт повышает точность измерений объемов поступающей древесины. Кроме этого, можно отметить снижение влияния субъективного фактора на процесс оценивания [SmartTimber, 2020].

Уделяется большое внимание разработке систем *поддержки принятия решений (СППР)* для задач, касающихся *оптимального планирования пути при транспортировке леса*. Например, системы CADIS, ORTEC, MaxTour, FastTRUCK и т. д. Не будем заострять внимание на каждой из них ввиду того, что они обладают примерно схожими функциями. Перечислим некоторые из них: совместное планирование транспортных процессов, оценка перевозимых объёмов древесины, принятие решений по распределению сортиментов, отслеживание лесозаготовительных машин (ЛЗМ) и сортиментовозов с помощью спутниковых систем позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), управление цепочками поставок и т. д. [Mirowski et al., 2016].

Ещё одно из распространённых направлений – *использование технологии LIDAR*, как инструмента для исследований в лесной отрасли. Чаще всего она применяется для задач таксации, таких как подсчёт количества деревьев на территории, оценка их высоты, толщины ствола, формы кроны и т. д. На первоначальном этапе платформой-носителем лазерного сканера являлись самолёты, в данный момент чаще всего используются беспилотные летательные аппараты, ввиду довольно широкого распространения и относительной дешевизны. Помимо задач таксации, решения на основе LIDAR-технологии используют для раннего выявления очагов пожаров, планирования лесных дорог с учётом рельефа территории, для координации задач заготовки и вывозки леса и даже выявления насекомых-вредителей леса. Примеры систем: Trestima, ForestIQ [Trestima, 2022].

Как уже было сказано ранее, широкое распространение получают *беспилотные летательные аппараты*, в том числе и автономные. Помимо топографических задач, целей мониторинга – они применяются для распыления ядохимикатов против вредителей, распространения семян, опыления деревьев и т. д. [Feng, Audy, 2020].

Широко применяется *технология RFID* для отслеживания потоков необработанных лесоматериалов до лесопилок, например, RFID-метки могут наноситься как на отдельные сортименты, так и на сортиментовозы. После приезда в точку назначения, метка в автоматическом режиме считывается сканером, информация о поступлении одновременно поступает как к отправителю, так и к получателю груза. Также RFID-метки могут использоваться для упрощения наведения рабочей головки манипулятора ЛЗМ на дерево и для получения информации о нём (порода, диаметр и т. д.) [Васенёв, 2018].

Структура информационной системы управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»

В рамках предыдущей статьи информационная система управления (ИСУ) лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0» была представлена в общем виде [Васенёв, 2019]. Далее представим её более подробную структуру (рис. 1).

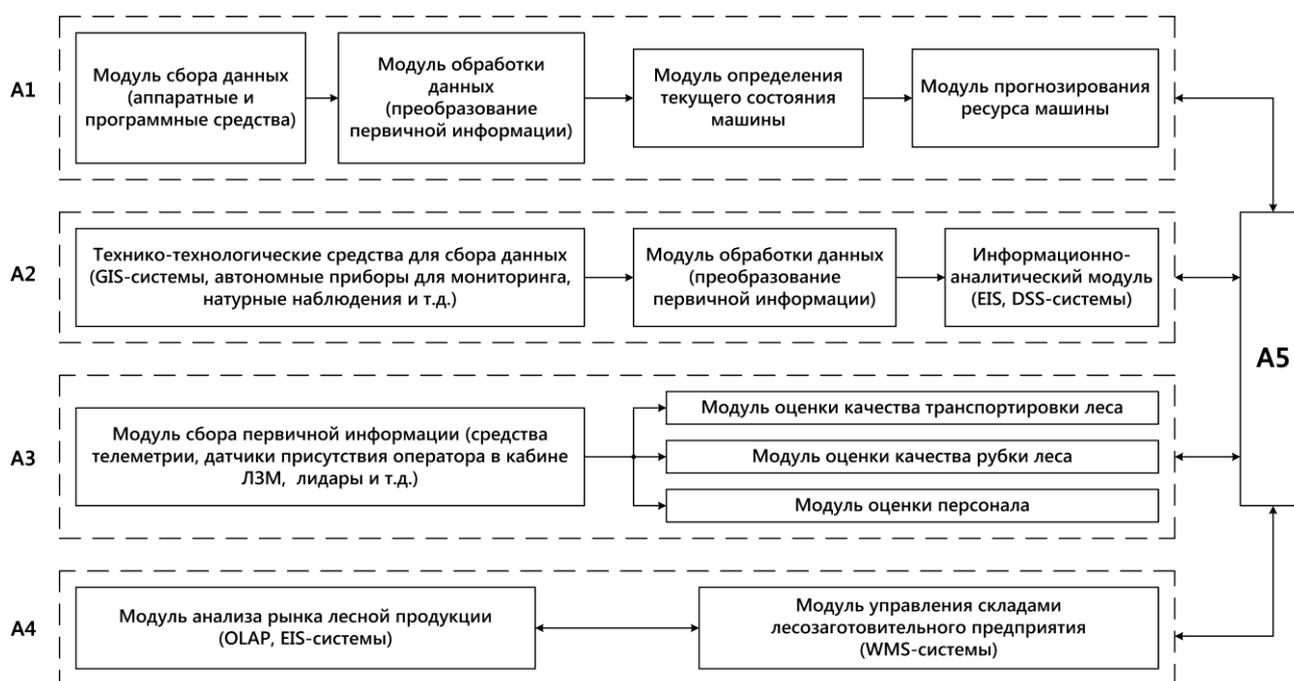


Рис. 1. Структура ИСУ лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»
 Fig. 1. Harvesting MIS structure within the frameworks of the «Industry 4.0» conception

Далее кратко опишем каждую подсистему:

- *система анализа данных о состоянии парка машин (A1)*. Осуществляет сбор и анализ информации о состоянии ЛЗМ. На основе полученных данных позволяет спрогнозировать возможные отказы компонентов и агрегатов. В дальнейшем это может помочь продлить их технический ресурс, а также сократить количество простоев техники. Более того, это даст избежать поломок некоторых важных узлов и механизмов, которые в свою очередь могут оказаться причиной серьёзных происшествий;

- *система агрегирования информации об окружающей среде (A2)*. Осуществляет сбор различных данных, например, о состоянии почвы, рельефе территории лесозаготовок. Информация о погодных условиях, о предпочтительных деревьях для рубки, скорости роста молодняка также принимаются во внимание;

- *система оценки эффективности рубки леса, его транспортировки (A3)*. Позволяет синхронизировать работу ЛЗМ, спланировать их перемещение по территории лесозаготовок. Это, в свою очередь, влияет на эффективность рубок, а также уменьшает негативный урон почвам. Формирует оптимальные маршруты для транспортировки древесины до мест хранения и складирования;

- *система взаимодействия с лесопромышленными предприятиями (A4)*. Позволяет формировать приоритеты на вырубку деревьев в зависимости от требований потребителей. Решает задачи планирования и управления процессами снабжения, производства, складирования и доставки товаров;

- *система управления лесозаготовками (A5)* – объединяет и анализирует информацию, полученную от всех систем и машин.

Комментарии к схеме

1. Многокритериальное принятие решений

Многокритериальный анализ является инструментом, с использованием которого принимаются решения в различных ситуациях. То есть посредством анализа конкретного набора альтернатив и выбора среди них наиболее предпочтительного предоставляется помощь лицу, принимающему решение (ЛПР) [Петросян и др, 2012].

Выбор наиболее предпочтительного решения проиллюстрируем на примере задачи по оценке качества транспортировки леса (см. систему A3).

В общем виде данная задача может быть представлена в виде матрицы D :

$$D = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & \left(\begin{matrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & & \dots \\ A_m & \left(\begin{matrix} x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right) \end{matrix} \right), \end{matrix}$$

где $A_1 - A_m$ – набор альтернатив; $C_1 - C_n$ – критерии, по которым оценивается каждая альтернатива; x_{ij} – значение критерия; m, n – число альтернатив/критериев. Кроме того, у каждого

критерия есть свой вес w_i ($i = 1..n$), причём $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Существуют различные методы для решения данной задачи, в рамках данной работы остановимся на методе *TOPSIS*, на его «классической» версии. Этот метод довольно прост, обладает хорошей вычислительной эффективностью, а также универсален. Из недостатков – некоторая субъективность (необходима корректная обработка результатов экспертных оценок при определении весов показателей).

В чём заключается смысл данного метода? Самая подходящая альтернатива должна находиться ближе всех остальных альтернатив к позитивному идеальному решению и дальше всех от негативного идеального решения [Аннадурдыев, 2018].

Алгоритм метода [Krohling, Pacheco, 2015]:

Шаг 1. Формирование матрицы нормализованных значений (r_{ij}).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1..m; j = 1..n$$

Шаг 2. Формирование матрицы взвешенных нормализованных значений (p_{ij}).

$$p_{ij} = w_i * r_{ij}, i = 1..m; j = 1..n$$



Шаг 3. Нахождение идеальных положительного и негативного решений.

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-),$$

где

$$p_j^+ = (\max_i p_{ij}, j \in J_1; \min_i p_{ij}, j \in J_2)$$

$$p_j^- = (\min_i p_{ij}, j \in J_1; \max_i p_{ij}, j \in J_2).$$

Шаг 4. Определение L2-норм для положительного и негативного идеальных решений.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j^+ - p_{ij})^2},$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j^- - p_{ij})^2}.$$

Шаг 5. Расчёт относительной близости к положительному идеальному решению

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}.$$

Шаг 6. Упорядочивание альтернатив согласно величине относительной близости.

Рассмотрим следующий пример:

Постановка задачи*
 Problem statement

N	Наименование критерия	Альтернативы					↑↓	Вес критерия
		1	2	3	4	5		
1	Суммарная производительность сортиментовозов (м ³)	200	250	180	300	360	max	0.1
2	Суммарная производительность погрузочно-разгрузочных машин (м ³)	80	45	70	60	90	max	0.1
3	Расстояние до верхнего склада (м)	700	500	500	1000	900	min	0.2
4	Расстояние вывозки к потребителю (км)	120	100	100	200	300	min	0.13
5	Качество лесных дорог (от 1 до 5)	2	3	3	2	2	min	0.17
6	Своевременность доставки грузов (%)	80	80	90	75	70	max	0.25
7	Себестоимость перевозок сортиментовозом (руб/км)	110	120	90	110	120	min	0.05

*Примечание: численные значения величин являются приближенными

Опустим промежуточные значения и представим результат в виде диаграммы. Как можно заметить из рис. 2., наилучшей альтернативой является вариант N3.

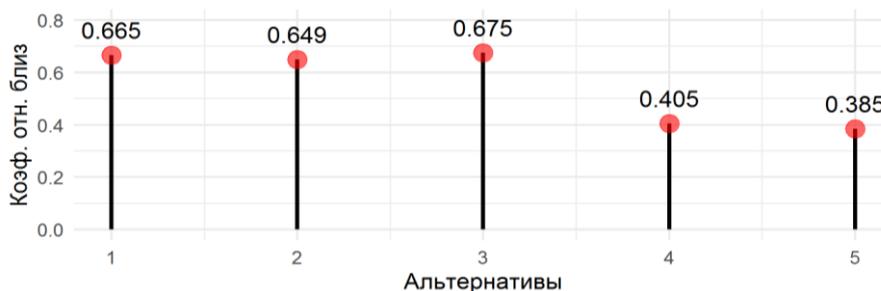


Рис. 2. Результаты работы метода TOPSIS
Fig. 2. Working results of TOPSIS method

2. К вопросу о прогнозировании ресурса агрегатов ЛЗМ

Тема прогнозирования ресурса отдельных компонентов машины и самой машины довольно обширна, и рассмотреть её невозможно в рамках одной статьи, да и, наверное, ряда статей. Поэтому остановимся на вопросе определения остаточного ресурса одного из наиболее важных агрегатов ЛЗМ – кране-манипуляторе.

Некоторая современная лесная техника изначально оснащена регистратором параметров работы кране-манипуляторной установки (КМУ). В этом случае необходимая информация может передаваться удалённо через имеющиеся каналы связи через определённые промежутки времени или вноситься в базу данных посредством считывания параметров из памяти устройства на месте функционирования техники [Каминский и др., 2015].

Если ЛЗМ не оснащена таким устройством, то в таком случае наработка КМУ оценивается как:

$$N_T = C * \left(\frac{Q_{cp} * R_{cp}}{M_{cp}} \right)^3,$$

где N_T – текущее значение характеристического числа, C – число рабочих циклов, выполненных от начала эксплуатации, Q_{cp} – среднее значение массы поднимаемого груза, R_{cp} – среднее значение вылета, M_{cp} – максимальный грузовой момент [РД 10-112-2-09, 2009].

Число рабочих циклов, выполненных от начала эксплуатации, определяется как:

$$C = n * k * T,$$

где n – число циклов, выполняемых за смену, T – общее число смен, выработанных от начала эксплуатации, k – коэффициент запаса.

Время t , в течение которого КМУ может функционировать в указанном режиме, приближенно определяется как:

$$t = (N_H - N_T) / C_1 * \left(\frac{Q_{cp} * R_{cp}}{M_{cp}} \right)^3,$$

где N_H – нормативное значение характеристического числа, C_1 – число рабочих циклов/год.

Остальные дефекты КМУ, такие как нарушение лакокрасочного покрытия, коррозия несущих элементов, деформации конструкций манипулятора, ослабление болтовых соединений и т. п., а также повреждения механизмов КМУ – можно выявить с использованием методов неразрушающего контроля. Например, вихретоковый, ультразвуковой, магнитографический и магнитопорошковый методы.



Электронные компоненты КМУ, датчики, энкодеры (датчики угла поворота) могут быть протестированы с помощью *средств бортовой диагностики* (при наличии) или с помощью *средств внешней диагностики* (стенды, автосканеры) [Madzhov, 2019].

3. К вопросу об оценке эффективности системы

Оценку эффективности системы предлагается проводить с помощью следующих показателей:

а) *Производительность (за выбранный период)*

$$P = \sum_{i=1}^N V_i,$$

где V_i – объём рубок i -ого рода деревьев, м³.

При необходимости можно раскрыть данный показатель, например, разделить объёмы по качеству сырья, диаметру сортимента и т. д.

б) *Эффективность производственного цикла*

$$MCE = \frac{T_p}{T_p + T_{qc} + T_{tr} + T_s} \rightarrow 1,$$

где T_p – время производства (рубки), T_{qc} – время контроля качества, T_{tr} – время перемещения продукции, T_s – время хранения.

в) *Уровень автоматизации процессов*

$$La = \frac{Pa}{Ps} * 100\%,$$

где Pa – количество автоматизированных технологических процессов, Ps – общее количество процессов.

г) *Уровень механизации труда*

Ряд операций на лесозаготовках до сих пор осуществляется немеханизированным способом, несмотря на то, что уже давно существуют тенденции постепенного избавления от ручных работ. На каком-то предприятии просто нет возможности закупить комплекс ЛЗМ, где-то операции заготовки леса осуществляются на гористых местностях, на которых не осуществляется применение техники или отсутствуют средства для её приобретения (такая техника уже существует, например, трелевочная канатная система Larix 3T) [Шошин, 2021].

Для того чтобы оценить данную величину, воспользуемся следующей формулой:

$$Lm = \frac{T_m}{T_m + T_r} * 100\%,$$

где T_m и T_r – трудоёмкость механизированная и немеханизированная, соответственно.

д) *Уровень экологичности рубок*

$$Le = \frac{Sc}{S_{rec}} * 100\%,$$

где Sc – суммарная площадь рубок, включая лесные дороги, S_{rec} – площадь рекультивированных земель, включая лесовосстановительные работы, га.

Также хочется отметить, что данный список показателей не является окончательным и может меняться в зависимости от требований производства. Могут быть добавлены такие показатели как: снижение брака при рубках, трудоёмкость, снижение затрат на осуществление технологических операций, улучшение использования материальных ресурсов, различные экономические, эргономические показатели и т. д.

Заключение

Методы системного анализа, технологии «Индустрии 4.0» в лесной отрасли позволят добиться того необходимого прорыва, который так необходим и ожидаем в ближайшие годы. Согласно стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, налоговые поступления от предприятий ЛПК должны будут вырасти с 91 до 189 млрд рублей, причём вклад ЛПК в экономику страны должен составить 1 % ВВП (2019 г. – 0,5 % ВВП) [Бюллетень EastRussia, 2021].

На данном этапе промедление в технологической модернизации будет оказывать негативное влияние на экономическое благосостояние не только какого-то отдельного предприятия ЛПК, но и всей страны в целом. Именно поэтому сегодня как никогда необходимо сплочение усилий государственных структур и ведомств, крупного и малого бизнеса, научных институтов и отдельных разработчиков для создания надлежащих решений и необходимых продуктов для лесного комплекса России.

Как было отмечено выше, в Российской Федерации уже есть большой задел касательно технологического и технического переоснащения лесной отрасли. Необходимо лишь только сформировать более комфортные условия для модернизации лесной науки и образования, повысить инвестиционную привлекательность сферы исследований и разработок, а также эффективности капиталовложений в указанную сферу, что в итоге позволит обеспечить технологический и интеллектуальный прорыв в соответствии с мировым уровнем [Распоряжение правительства РФ, №312-р, 2021].

Список источников

- Система КЕДР. URL: <https://amurinfocenter.org/tools/projects/sistema-keдр/> (дата обращения 19.04.2022).
- Segezha Group завершила тестирование мобильного приложения Smart Timber по измерению плотного объема круглого леса. URL: <https://www.connect-wit.ru/> (дата обращения 19.04.2022).
- TRESTIMA™ forest inventory system. URL: <https://trestima.fordaq.com/> (дата обращения 19.04.2022).
- "Мет. рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Часть 2. Краны стреловые общего назначения и краны-манипуляторы грузоподъемные. РД 10-112-2-09". URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_238359/ (дата обращения 21.04.2022).
- Бюллетень EastRussia: пятничный эксклюзив – лесная отрасль. URL: <https://www.eastrussia.ru/material/byulleten-eastrussia-pyatnichnyy-eksklyuziv-lesnaya-otrasl/> (дата обращения 22.04.2022).
- Распоряжение правительства РФ от 11 февраля 2021 года N 312-р. «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения 22.04.2022).
- Постановление Правительства РФ от 18.10.2021 N 1769 "О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации "Развитие лесного хозяйства". URL: <https://base.garant.ru/402946026/> (дата обращения 19.04.2022).
- ИС ВЕГА-ЛЕС. URL: <http://forest.geosmis.ru/> (дата обращения 19.04.2022).

Список литературы

- Аннадурдыев М.Ш. 2018. Применение метода TOPSIS при выборе маркетингового посредника. Кант. 2 (27).
- Васенев М.Ю. 2018. Перспективные направления автоматизации современных лесозаготовительных машин. Системы. Методы. Технологии. 3(39): 125–129.
- Васенёв М.Ю. 2019. «Индустрия 4.0»: использование информационных технологий для снижения техногенного воздействия лесозаготовительных машин. International Journal of Open Information Technologies. 7(10): 50–58.
- Каминский Л., Пятницкий И., Федоров И. 2015. О повышении безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов. Основные средства. 5: 104–108.



- Мальшева Н.В., Золина Т.А., Филипчук А.Н. 2020. Инструментарий ГИС в оценке поглощения, эмиссий и баланса углерода бореальных лесов России. Цифровые технологии в лесном секторе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС: 99–101.
- Петросян М.О., Зеленков П.В., Ковалев И.В., Ефремова С.В. 2016. Методы многокритериального анализа решений. Решетневские чтения. 20
- Шайхутдинова Г.А. Рогова Т.В. 2020. Электронные базы данных о биоразнообразии в обеспечении требований лесопромышленного комплекса по стандартам FSC. Цифровые технологии в лесном секторе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС: 166–168.
- Шошин А.О. 2021. Новые технологические решения при разработке заболоченного лесосечного фонда мобильными канатными трелевочными установками. Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2 (246).
- Feng, Y., & Audy, J.-F. 2020. Forestry 4.0: a framework for the forest supply chain toward Industry 4.0. *Gestão & Produção*. 27(4)
- Madzhov S. 2019. Diagnosis of Machines in the Forestry Systems. *Journal of Environmental Science and Engineering B* 8: 103–107.
- Mirowski, L., Ghaffariyan, M. R., Wise, A., Acuna, M., & Turner, P. 2016. Reducing transport costs through optimised transport planning: a case study using the FastTRUCK software tool. In *Australasian Conference on Information Systems*.
- Renato A. Krohling, André G.C. Pacheco. 2015. A-TOPSIS – An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. *Procedia Computer Science*. 55: 308–317.
- Tóth S. 2020. The 17th Symposium on Systems Analysis in Forest Resources: An Introduction and Synthesis. *Forest Science*. 66(4): 424–427.

References

- Annadurdyev M. Sh. 2018. The application of TOPSIS method in the selection of marketing intermediary. *Kant*. 2(27).
- Vasenev M. Yu. 2018. Perspective trends of modern logging machines automation. *Systems. Methods. Technologies*. 3(39): 125–129.
- Vasenev M. Yu. 2019. «Industry 4.0»: information technologies utilization for reducing the man-made impact of tree harvesting machines. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. 7(10): 50–58.
- Kaminskiy L., Pjatnitskiy I., Fedorov I. 2015. On safety benefits of exploiting cargo cranes. *Osnovnie Sredstva*. 5: 104–108.
- Malysheva N.V., Zolina T.A., Filipchuk A.N. 2020. GIS tools in the absorption estimate, emissions and carbon balance of Russian boreal forests. *Digital technologies in forest complex: all-Russian scientific-technical conference proceedings*. 2020. SPb: Polytech-PRESS: 99–101.
- Petrosyan M. O., Zelenkov P. V., Kovalev I. V., Efremova S. V.. 2016. Methods of multicriteria decision analysis. *Reshetnev Readings*. 20.
- Shaikhutdinova G.A., Rogova T.V. 2020. Electronic databases about biodiversity in support requests of forest administration (by standards FSC). *Digital technologies in forest complex: all-Russian scientific-technical conference proceedings*. 2020. SPb :Polytech-PRESS: 166–168.
- Shoshyn A. O. 2021. New technological solutions for standing skyline in waterlogged areas. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*. 2 (246): 224–235.
- Feng, Y., & Audy, J.-F. 2020. Forestry 4.0: a framework for the forest supply chain toward Industry 4.0. *Gestão & Produção*. 27(4)
- Madzhov S. 2019. Diagnosis of Machines in the Forestry Systems. *Journal of Environmental Science and Engineering B* 8: 103–107.
- Mirowski, L., Ghaffariyan, M. R., Wise, A., Acuna, M., & Turner, P. 2016. Reducing transport costs through optimised transport planning: a case study using the FastTRUCK software tool. In *Australasian Conference on Information Systems*.
- Renato A. Krohling, André G.C. Pacheco. 2015. A-TOPSIS – An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. *Procedia Computer Science*. 55: 308–317.
- Tóth S. 2020. The 17th Symposium on Systems Analysis in Forest Resources: An Introduction and Synthesis. *Forest Science*. 66(4): 424–427.



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Васенёв Михаил Юрьевич, аспирант кафедры информационно-вычислительных систем, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mikhail Yu. Vasenev, Postgraduate Student, Information and Computing Systems Department, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia