

«Индустрия 4.0»: использование информационных технологий для снижения техногенного воздействия лесозаготовительных машин

М.Ю. Васенёв

Аннотация — В данной статье рассматривается актуальный вопрос о том, какие технологические изменения затронут современные лесозаготовительные машины и всю лесную промышленность в целом в рамках концепции «Индустрия 4.0». Раскрывается такое понятие как «Лесная промышленность 4.0», даётся характеристика её основополагающих компонентов, таких как: «Вещественное окружение», «Интернет леса», цепь поставок сырья «следующего поколения» и инструменты анализа данных. Даётся оценка изменениям, которые затронут аппаратно-программную составляющую техники и схема взаимодействия машин и систем в рамках концепции «Индустрия 4.0» (симбиоз машин, Интернета вещей и киберфизических систем). Приводится эмпирическая формула, с помощью которой можно оценить уровень соответствия технологического оснащения лесозаготовительной машины данной концепции, даются рекомендации по её применимости. Изложены основные неблагоприятные факторы, порождаемые лесной техникой, а именно: негативное воздействие на лесные почвогрунты и загрязнение почвы нефтепродуктами. Описываются методы, позволяющие снизить техногенное воздействие техники на окружающую среду, а также алгоритмы и формулы, необходимые для их реализации. Делаются выводы относительно перспектив внедрения технологий концепции «Индустрия 4.0» в деревозаготавливающих организациях и предприятиях России и в современных лесозаготовительных машинах. Приводятся основные факторы, тормозящие их развитие, среди которых, например, психологическая неготовность людей принять инновации, отсутствие необходимых компетенций и необходимость перестройки производственных схем, которые формировались годами.

Ключевые слова — лесозаготовительные машины, «Индустрия 4.0», технологические инновации, «Лесная промышленность 4.0», «Интернет леса».

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные лесозаготовительные машины (форвардер, харвестер) уже давно представляют собой сложный программно-аппаратно-технологический комплекс. Разработчики и производители техники пытаются облегчить работу операторов в рамках

сложных, а то и экстремальных условий леса, или совсем избавиться от них, сделав машину вовсе автономной или полностью автоматизированной. В рамках концепции «Индустрия 4.0» можно добиться ещё большей производительности и эффективности от лесозаготовительных машин. Как утверждает Д. Кетцзи: «... разница между теми, кто использует технологии Индустрии 4.0, и отказавшимися от их внедрения примерно такая же, как между людьми, применяющими для вычислений калькулятор и обычные счёты» [1].

Лесная промышленность в своём технологическом развитии (*оснащение машинами и оборудованием для лесозаготовки*) прошла три основных этапа [2]:

- «Лесная промышленность 1.0»: Животная тяга для транспортировки древесины, валка и обработка бревна с помощью бензопил и/или ручных инструментов и начало механизации.

- «Лесная промышленность 2.0»: Механизация, возникновение первых образцов лесозаготовительной техники, первоначально специализировавшихся на выполнении единичной функции.

- «Лесная промышленность 3.0»: Механизация и усложнение техники (возникновение комплексов машин) и появление автоматизированных функций, упрощающих работу оператора.

Сейчас, в рамках концепции «Индустрия 4.0» лесная промышленность переходит на очередной, *четвёртый* этап, который будет охарактеризован взаимодействием машин, систем и информации.

Итак, *цель* данной статьи - продемонстрировать, какие технологические изменения затронут современную лесную технику и лесную промышленность в целом в рамках концепции «Индустрия 4.0».

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- а) Дать характеристику такому понятию как «Лесная промышленность 4.0», её основным составляющим.

- б) Проиллюстрировать, как осуществляется взаимодействие машин и систем в рамках концепции «Индустрия 4.0», и какие изменения затронут аппаратно-программную составляющую техники.

- в) Предложить эмпирическую формулу для оценки уровня соответствия технологического оснащения лесной машины концепции «Индустрия 4.0».

Статья получена 2 августа 2019 г.

М.Ю. Васенёв – Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола (e-mail: AspIVS16.20@gmail.com).

д) Предложить новые методы, позволяющие снизить воздействие техники на окружающую среду.

II. ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ 4.0 И ЕЁ ХАРАКТЕРИСТИКА

J.-F. Gingras и F. Charlette [3], разработчики канадской компании FPInnovations, активно внедряющей достижения «Индустрии 4.0» представляют Лесную промышленность 4.0, как совокупность четырёх компонент:

а) «Вещественное окружение» (информация о рельефе в области рубки, расположении деревьев, погодных условиях и т.п., получаемая с помощью спутников, 3D LiDAR, дронов и т.д.). Например, для этих целей в 2014 году был запущен спутник WorldWide-3 [4]. В настоящее время во многих странах намечается тренд на применение дронов [5].

б) «Интернет леса» (по аналогии с Интернетом вещей). Авторы выделяют следующие типы взаимодействий (Vehicle-to-vehicle /V2V/, machine-to-machine /M2M/, vehicle-machine-to-infrastructure /V2I/M2I/). Основная проблема заключается в том, что производители программных и аппаратных продуктов пока неохотно вовлекаются в разработку необходимых компонентов для лесной отрасли, что не позволяет эффективно разрастаться «Интернету леса».

Ещё одна из проблем, по которой «Интернет леса» не может получить широкое развитие – это *отсутствие надлежащей инфраструктуры*. Большая часть областей лесозаготовок отдалена от населённых пунктов, и покрытие мобильными сетями ожидает желать лучшего. Не стоит упоминать даже про наличие сети 2G, где-нибудь в сибирской тайге, не говоря уже о сетях связи последующих поколений. Данная проблема характерна не только для Российской Федерации, но и для других лесных держав, например, Канады. Как отмечал J-F. Gingras в своём докладе на конференции Automated Vehicles 2018: Planning for Urban and Rural Transitions: «на территории Онтарио покрытие сотовой сетью составляет 43%, а в Британской Колумбии – всего 37%!». Возможно, с запусками проектов Starlink («бесплатный интернет для всех от Илона Маска»), европейским «OneWeb» или российским «Сфера» ситуация как-то поменяется [6].

в) *Инструменты анализа данных*. Основная цель этой составляющей «Лесной промышленности 4.0» – создать программно-аппаратные продукты, позволяющие более просто *сосредоточивать* и *стандартизировать данные*, полученные из различных источников (технологии и методы «Big Data», машинного обучения и искусственного интеллекта и пр.) [7]. Набор необработанной, первичной информации может и должен быть проанализирован с различных углов зрения, с целью принятия оптимального решения. Другая задача – разработка новых предсказывающих и предписывающих моделей с целью автоматического принятия решений в том случае, когда выявлены отклонения от первоначального плана действий.

а) *Цель поставок древесного сырья «следующего поколения»*. Количество легкодоступных территорий для рубки сокращается из года в год, и лесопромышленникам необходимо привлекать дополнительные группы рабочих для работы в тяжёлых условиях (например, на крутых откосах, гористых местностях и т.д.). Для этого *требуются* определённые *улучшения в области автоматизации* лесозаготовительных машин и оборудования. Такие разработки уже существуют и внедрены, например, технология «Intelligent Boom Tip» компании John Deere: количество джойстиков для управления манипулятором снижено с одного до двух, оператору теперь просто необходимо навести головку на желаемый объект, «вместо точечного» управления каждым гидроцилиндром [8].

Если обобщить основные цели, которые преследует данная составляющая, то это:

- выбор наиболее подходящих методов из области автоматизации машинного обучения и дополненной реальности, а также элементной базы для них, что позволит функционировать машинам даже в областях экстремальной лесозаготовки.
- разработка автономных машин, как для рубки, так и для перевозки леса.

III. ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И «ИНДУСТРИЯ 4.0»

Симбиоз машин, интернета вещей и киберфизических систем позволит добиться повышенного уровня эффективности лесозаготовок, продлить срок службы оборудования, облегчить работу обслуживающего персонала, лесозаготовительных бригад, повысить безопасность функционирования техники и т.д. (рис. 1).



Рис. 1. Взаимодействие машин и систем в рамках концепции «Индустрия 4.0»

Далее кратко опишем каждый из блоков схемы:

- *система управления лесозаготовками* – объединяет и анализирует информацию, полученную от всех систем и машин;

- *система агрегирования информации об окружающей среде*. Аккумулирует данные о состоянии почвы, рельефе территории лесозаготовки (на основе геоинформационных технологий); метеорологические данные, данные о продолжительности светового дня; данные о предпочтительных деревьях для рубки среди всей лесной массы (SLAM-метод), скорости роста молодняка и пр.;

- *система анализа данных о состоянии парка машин*. Собирает и анализирует информацию о состоянии лесозаготовительных машин, предсказывает предстоящие отказы компонентов и агрегатов, позволяя этим продлить их технический ресурс;

- *система оценки эффективности рубки леса, его транспортировки*. На основе определённых алгоритмов позволяет синхронизировать работу лесозаготовительных машин для повышения их производительности и эффективности рубки. Позволяет прокладывать оптимальные маршруты для транспортировки древесины до мест хранения и складирования;

- *система взаимодействия с лесопромышленными предприятиями*. В зависимости от запросов деревозаготавливающих и деревообрабатывающих предприятий формируются приоритеты на вырубку тех или иных видов деревьев.

Какие изменения затронут программно-аппаратную составляющую машин? Вряд ли произойдут какие-либо кардинальные перемены в их оснащении, например, это будут те же датчики, которые использовались повсеместно и поныне. Они так же станут измерять давление в гидросистеме манипулятора или температуру двигателя и трансмиссии и прочие традиционные характеристики, но информация, полученная от них, применяться будет эффективнее, чем сейчас, например, для прогностического обслуживания оборудования [9]. Ещё более широкое распространение получают методы нечёткой логики, машинного обучения, нейронных сетей, которые уже сейчас успешно применяются в системах контроля и управления.

А вот возросшее количество информации, необходимость доступа к облачным хранилищам, различным базам данных будут требовать более эффективной сетевой инфраструктуры. Сейчас максимально распространена сетевая технология CAN/CANopen и соответствующее ей оборудование, но существующие решения уже не могут удовлетворить растущие требования по пропускной способности и расширяемости. Будущее видится за сетевыми стандартами из категории Industrial Ethernet, например EtherCAT [10, 11]. Данный протокол отвечает требованиям, которые наиболее интересны мировым производителям лесной техники, а именно:

- независимость элементной базы от изготовителя и дистрибьютора оборудования;

- гибкость в выборе сетевой топологии;
- высокая пропускная способность;
- повышенная надёжность компонентов;
- жизнеспособность и перспективность технологии;
- широкие возможности по диагностике и сервису;
- поддержка технологии мировым сообществом.

Если говорить об аппаратно-механической составляющей лесных машин, то, вероятно, изменения затронут классические двигатели. Это связано с актуальной проблемой лесозаготовок на гористых местностях и на иных труднодоступных территориях.

IV. УРОВЕНЬ СООТВЕТСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ КОНЦЕПЦИИ «ИНДУСТРИЯ 4.0».

Данную величину можно представить с помощью следующей эмпирической формулы:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^N K_{imp} * F_i}{\sum_{i=1}^N K_{imp}} \quad (1)$$

где L – уровень соответствия технологического оснащения лесозаготовительной машины концепции «Индустрия 4.0»;

N – количество компонент;

K_{imp} – эмпирический коэффициент важности отдельной компоненты лесозаготовительной машины (см. таблицу 1);

F_i – показатель уровня соответствия отдельной компоненты лесозаготовительной машины концепции «Индустрия 4.0» (в пределах от 0 до 1; если компонента полностью отсутствует, то принимаем значение данного параметра за ноль).

Величина L может находиться в диапазоне от 0 (минимальное соответствие) до 1 (максимальное соответствие).

Сведём наиболее важные компоненты лесозаготовительных машин (*технологическое оснащение!*) и их эмпирические коэффициенты в следующую таблицу:

Таблица 1. Некоторые наиболее важные компоненты лесных машин и их эмпирические коэффициенты

| Компонента | K_{imp}^* |
|--|-------------|
| 1. Наличие аппаратного и программного обеспечения для реализации автоматизированных движений манипулятора (движение, захват, обход препятствий и т.п.) | 1 |
| 2. Наличие аппаратного и программного обеспечения, реализующего возможность автономного перемещения на основе данных, полученных от различных датчиков | 0.9 |
| 3. Наличие производительного, интеллектуального ПЛК в составе машины | 0.8 |
| 4. Наличие системы высокоточной спутниковой навигации | 0.7 |
| 5. Наличие эффективной сетевой инфраструктуры | 0.8 |
| 6. Наличие аппаратного и программного | 0.9 |

| | |
|--|-----|
| обеспечения, реализующего возможность действия в критической ситуации без участия человека, на основе данных, полученных от различных датчиков | |
| 7. Наличие системы дистанционного управления машиной | 0.7 |
| 8. Наличие системы оценки состояния оператора лесозаготовительной машины | 0.7 |

Продолжение таблицы 1

| | |
|---|------------|
| 9. Наличие системы беспроводной передачи информации | 0.8 |
| 10. Наличие системы круиз-контроля: - перемещение по лесным дорогам - перемещение по пересечённой местности | 0.6 0.7 |
| 11. Наличие в составе машины дополнительных средств очувствления для получения информации об окружающей среде | 0.8 |

* введены эмпирические коэффициенты, наиболее адекватно отражающие важность той или иной компоненты с точки зрения автора.

О применимости данной формулы. В стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года правительством подчёркивается [12], что: «Работающий парк машин и оборудования имеет большой износ, а зачастую морально устарел. Требуется активная техническая и технологическая модернизация лесохозяйственного производства». Да, разработки в этом направлении уже ведутся [13]. Но будут ли они отвечать современным технологическим тенденциям и веяниям – это остаётся важнейшим вопросом. Надеюсь, что данная формула поможет разработчикам такой техники не упустить важные составляющие и компоненты и сделать свои машины производительнее и эффективнее, что позволит соответствовать продукции именитых производителей из Европы и Америки.

Необходимо отметить, что часто при формировании парка лесных машин лесозаготовительного предприятия бывает сложно сделать окончательный выбор в пользу того или иного кандидата при сходстве основных характеристик (например, цена, производительность, грузоподъёмность и т.д.). Данная формула позволит учесть дополнительные факторы, которые часто не принимаются во внимание при подборе необходимой техники. Резюмируя, можно сказать, что предлагаемая формула может найти своё место и в иных областях знаний, например, в маркетинге.

V. «Индустрия 4.0» и воздействие ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Снижение техногенного влияния на окружающую среду – это один из лозунгов «Индустрии 4.0» [14]. Соответственно, и машины, функционирующие в рамках данной концепции, должны ему хотя бы в какой-то степени отвечать.

Также необходимо отметить тот факт, что сохранение плодородия лесных почв при проведении лесосечных работ является одной из важнейших задач лесозаготовительного производства. А наибольшее негативное воздействие на лесные почвогрунты при разработке лесосек оказывают именно машины. Под

воздействием их движителей почвогрунт уплотняется, минерализируется, разрушается его структура, образуется глубокая колея, уменьшаются пористость, аэрация, водопроницаемость, микробиологическая активность. Все эти факторы отрицательно влияют на процессы формирования будущих древостоев, снижают их продуктивность, а также способствуют изменению рельефа и снижают проходимость машин. Повышение проходимости и сохранение экологичности первичных транспортных путей является одной из важных проблем лесосечных работ.

В настоящее время специалистами в области лесной промышленности решение данной проблемы осуществляется следующими *способами* [15,16]:

- применением более рациональных схем разработки лесосек;
- минимизацией проходов трелевочных машин; защитой транспортных путей слоем порубочных остатков;
- применением машин с пониженным давлением на грунт.

Предложим свой метод для решения этой важной проблемы, оказывающей столь негативное воздействие на формирование и существование леса и ограничивающей потенциал применения техники.

Данный метод отличается от существующих тем, что позволяет избавиться от необходимости постоянного использования грузовых весов для оценки веса перевозимых сортиментов, что в свою очередь необходимо для получения значений номинального давления машины на грунт (в случае с форвардером). Помимо основной задачи, это сверх того позволит сократить длительность рабочего цикла машины, что приведёт к дополнительным экономическим выгодам.

Перед тем как перейти к подробному описанию самого метода, необходимо дать краткую характеристику используемым понятиям.

Несущая способность грунта/Ground bearing capacity (GBC) Несущая способность грунта – способность почвы оказывать сопротивление внешним силам. Данная величина характеризуется осадкой почвы (глубиной колеи) под внешней нагрузкой. В лесном хозяйстве, GBC определяется как максимально допустимое удельное давление колеса машины, не вызывающее повреждения почвы. Зависит от типа и структуры почвы, соотношения гумуса и скелета почвы, а также – её текущей влажности [17].

Таблица 2. Классы прочности грунта

| Классы прочности грунта | GBC, кПа |
|-------------------------|----------|
| 1. Твёрдый | >80 |
| 2. Средний | 60-80 |
| 3. Мягкий | 40-60 |
| 4. Очень мягкий | <40 |

Номинальное давление машины на грунт/Nominal ground pressure (NGP) (рис. 2). Определить данную величину можно по следующим формулам (формулы 2 и 3 предложены в источнике [18], там же определены все

необходимые характеристики, подробнее в [17]):

– для колеса

$$NGP = \frac{G_w}{R * b} (kPa), \quad (2)$$

где G_w – нагрузка на колесо, kN; R – радиус колеса без нагрузки, м; b – ширина шины, м.

– для пары колёс с гусеницей

$$NGP = \frac{2 * G_w + G_l}{B * (1.25 * R + L)} (kPa), \quad (3)$$

где G_l – вес машины, kN; B – ширина гусеницы, м; L – расстояние между осями, м.

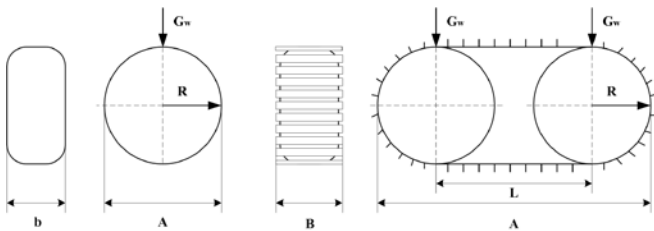


Рис. 2. Пояснения к формулам 2 и 3

Таблица 3. Типовое значение NGP* современных машин для сортиментной заготовки леса [19]

| Машина** | Типовое значение NGP, kPa |
|--|---------------------------|
| 1. Колёсный харвестер, две оси | >80 |
| 2. Колёсный харвестер, три оси | 50-70 |
| 3. Колёсный харвестер, четыре оси | 45-60 |
| 4. Гусеничный харвестер | <30 |
| 5. Колёсный форвардер, две оси | 80-100 |
| 6. Колёсный форвардер, три оси - с гусеницами на задних колёсах | 70-80 50-60 |
| 7. Колёсный форвардер, четыре оси | 50-60 40-50 |

* NGP сильно зависит от размера шины и типа машины

** NGP для полностью загруженной машины

Если в случае с харвестером для определения NGP не требуется никакого дополнительного оборудования, то в случае с форвардером необходимо как-то оценить вес перевозимого груза. Нельзя назвать это какой-то неразрешимой проблемой, т.к. сейчас многие современные машины уже оснащены датчиками веса грузового отсека или датчиком веса на стреле (в случае их отсутствия в базовой версии машины возможно дооснащение как самим производителем техники, представительским центром компании-производителя в регионе использования или самостоятельно владельцами техники) [20, 21].

Описание метода (рис. 3). Первым шагом является получение информации о состоянии почвы в области лесозаготовок. Это можно сделать как посредством диалога с оператором (внесение значения GBC в бортовой компьютер), так и посредством получения

данных машиной самостоятельно, посредством каналов связи (что является более предпочтительным, во избежание преднамеренного искажения истинных значений GBC, позволяющих перевезти большее количество древесины).

Если отсутствует возможность получения данных дистанционно, или полностью отсутствует информация о классе прочности грунта на территории лесозаготовок, то необходимое значение величины GBC можно измерить с помощью почвенного penetrometra.



Рис. 3. Обобщённый алгоритм предложенного метода

В случае отсутствия реакции на неоднократное предупреждение (их количество и временные рамки необходимо определить/согласовать с регулирующими

органами) производится отправка сообщения о нарушениях посредством любого из имеющихся каналов связи (GSM, спутниковая связь и т.д.) в структуры Министерства природных ресурсов и экологии РФ.

Конечно, этот метод не позволит остановить «лесных браконьеров», занимающихся хищнической рубкой леса; но сможет «уберечь» законопослушных арендаторов леса от возможных нарушений.

Погрешность метода и границы применения.

Погрешность метода определяется точностью применяемых датчиков веса, точностью данных о состоянии грунтов в области лесозаготовки и спецификациями к технике. Метод рекомендуется применять для колёсных и гусеничных лесных машин, относящихся к сортиментной технологии заготовки.

Ещё одна проблема, которую порождают лесозаготовительные машины – *загрязнение почвы нефтепродуктами*. Как отмечают О.Куницкая и Я.Щетнева, она влияет на весь комплекс морфологических, физических, физико-химических, биологических свойств почвы, определяющих ее плодородные и экологические функции. Изменение физических свойств почвы приводит к вытеснению воздуха нефтепродуктами, нарушению поступления воды, питательных веществ, а это является главной причиной торможения роста растений и их гибели. Более того, следствием нарушения водно-воздушного баланса является усиление эрозии почвы.

Иногда при работе с техникой из-за ошибок операторов происходит обрыв шлангов и утечка гидравлической жидкости, её объём зависит от вида машины: на манипуляторе - от 10 до 50 л, на харвестере, форвардере, скиддере и валочно-пакетирующей машине - от 100 до 300 л (оператор может не сразу заметить, что произошел обрыв) [22].



Рис. 4. Обобщённый алгоритм предложенного метода

В одной организации, выявив загрязнение, –

обязательно его ликвидируют, с помощью сорбентов того или иного типа или даже произведут рекультивацию почвы. А в другой – просто закидают область с нефтепродуктами еловым лапником и продолжают работать. Во избежание таких нарушений можно использовать следующий метод.

Следующий метод отличается от существующих тем, что для определения количества утекших нефтепродуктов не требуется дополнительного оборудования и/или персонала, осуществляющего наблюдение за данными происшествиями. Контроль осуществляется только на основании информации, полученной от датчиков, установленных в каждой лесозаготовительной машине (например, датчик уровня гидравлической жидкости, дизельного топлива и т.п.).

Описание метода (рис. 4). В случае выявления сверхнормативных утечек топлива/гидравлической жидкости производится оповещение оператора об аварийной ситуации, который должен будет ликвидировать сам/с помощью техников обрыв шлангов/пробитие бака и т.п. Одновременно с этим осуществляется информирование регулирующей организации. После получения сообщения о происшествии, на место «аварии» должны будут прибыть представители регулирующей организации для оценки её масштабов и/или контроля над результатами проведённой очистки местности.

Сбор статистики о происшествиях будет полезен как для предприятия-владельца техники (анализ работы оператора, выявление наиболее надёжных машин для работы и т.п.), так и для производителя техники (позволяет определить: при какой операции происходит поломка, наиболее уязвимый узел системы и т.п.).

Погрешность метода и границы применения. Погрешность метода определяется точностью применяемых датчиков. Метод рекомендуется применять как для колёсных, так и гусеничных лесных машин, относящихся к сортиментной технологии заготовки.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Подытоживая всё вышесказанное и отвечая на поставленный во введении вопрос: «Какие технологические изменения затронут современные лесозаготовительные машины и всю лесную промышленность в целом в рамках концепции «Индустрия 4.0»», можно прийти к следующим выводам:

Машины: информация, получаемая от датчиков, будет использоваться более эффективно, например, для прогнозирования ресурса техники. Возрастет количество автоматизированных функций (одна из самых желанных характеристик для лесозаготовительной машины – автоматизированный, а в идеале, автоматический кран-манипулятор, который сможет выполнять все

необходимые действия без вмешательства человека). Машины будут оснащаться дополнительными средствами осязания, которые ранее использовались отдельно (например, лидары). Кроме того, делается акцент в плане разработок оптимальных способов синхронизации лесной техники для повышения производительности. Появление абсолютно новых движителей или полностью беспилотных машин (с необходимой эффективностью) в ближайшее время пока вызывает некоторые сомнения.

Лесная промышленность: На данный момент по темпам цифровизации лесопромышленный комплекс отстает от многих отраслей промышленности. Но, как известно, любая модернизация – это всего лишь дело времени. Отсутствие надлежащей сетевой инфраструктуры – одна из основных проблем, которую необходимо решить в ближайшее время. Это позволило бы раскрыть весь потенциал современного оборудования и технологий. Широкое распространение беспилотных летательных аппаратов позволит упростить дистанционное зондирование территорий, выявление очагов пожаров, выявление случаев воровства древесины. Геоинформационные системы перейдут на новый этап развития и будут являться основным инструментом для решения задачи устойчивого управления лесным комплексом [23].

Как скоро технологии «Индустрии 4.0» будут повсеместно внедрены в деревозаготавливающих предприятиях и реализованы в машинах, произведенных на заводах Российской Федерации, – остается только догадываться.

Дешёвая рабочая сила – вот основной сдерживающий фактор, мешающий российским предприятиям быстрее производить модернизацию своего оборудования. Нельзя не отметить такие факторы, как:

- *Психологическая неготовность людей принять инновации и недостаток необходимых компетенций.* Часть работников, понимая значимость введения инноваций и модернизации оборудования, не вносит коррективы в свои действия, т.к. им не хватает умений, знаний, желания переучиваться и т.п.

- *Страх потерять работу и остаться невостребованным на рынке труда.* Например, даже «типовой» харвестер John Deere 1270 позволяет заменить 20 лесорубов с бензопилами.

- *Высокие экономические риски и нехватка частных/региональных венчурных фондов для поддержания разработок инноваторов.*

- *Отсутствие необходимой инфраструктуры и связей с иностранными поставщиками программного и аппаратного обеспечения (ввиду санкционных процессов и пр.)*

- *Необходимость перестройки производственных схем, которые формировались годами и т.д.* [24, 25].

Однако никак нельзя отрицать преимущества, которые позволяют приобрести технологии «Индустрии

4.0» [26]. И замешательство в их принятии может оказаться серьёзным ударом не только по экономическому благосостоянию какого-то отдельного предприятия, рассматриваемой отрасли, но и всей страны в целом.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Бодрышев С.В. Индустрия 4.0: реалии сегодняшнего дня // ИСУП. 2018. №4.
- [2] Васенёв М.Ю. Основные предпосылки и мотивационные факторы внедрения автоматизированных систем управления лесными машинами // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов IV Международной научной конференции /Томский политехнический университет. Томск: Изд-во ТПУ, 2017. С. 107-109.
- [3] Gingras J.-F., Charette F. FPInnovations' Forestry 4.0 Initiative. 2017.
- [4] Remmel T., Perera A. Mapping Forest Landscape Patterns. Springer, 2017. 333 p.
- [5] Tang L., Shao G. Drone remote sensing for forestry research and practices. Journal of Forestry Research. 2015. vol. 26. no. 4. pp. 791-797.
- [6] Liu J., Shi Y., Fadlullah Z.M., Kato N. Space-air-ground integrated network: A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. vol. 20, no. 4, pp. 2714-2741.
- [7] Serra-Diaz J.M., Enquist B., Maitner B., Merow C., Svenning J.-C. Big data of tree species distributions: how big and how good? Forest Ecosystems. 2018. 4:30.
- [8] Parker R., Bayne K., Clinton P. Robotics in forestry. New Zealand Journal of Forestry. 2016. vol. 60. no. 4. pp. 8-14.
- [9] Гавриков В. Индустрия 4.0: датчики ST предсказывают неисправности промышленного оборудования //Новости Электроники. 2018. №12.
- [10] Васенёв М.Ю. Промышленный Ethernet как фактор совершенствования лесозаготовительных машин// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». 2019. №1. С. 78-84.
- [11] EtherCAT Technology Group. URL: <https://www.ethercat.org/> (дата обращения 15.07.2019).
- [12] Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. URL: <http://government.ru/docs/all> (дата обращения 17.07.2019).
- [13] Воскобойников И.В., Кондратюк Д.В. Проблемы и перспективы производства лесных машин // Межотраслевой альманах – Деловая слава России. 2015. №49. С. 18-21.
- [14] Россия 4.0: четвертая промышленная революция как стимул глобальной конкурентоспособности URL: <https://tass.ru/pmef-2017/articles/4277607> (дата обращения 18.07.2019).
- [15] Киселёв Д.С. Уменьшение колебания при работе лесных машин на переувлажненных почвогрунтах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: Архангельск. 2013.
- [16] Вадбольская Ю.Е., Азаренок В.А. Снижение воздействия лесных машин на почву при рубках ухода //Леса России и хозяйство в них. 2015. № 3. С. 36-40.
- [17] Porsinsky T., Pentek T., Bosner A., Stankic I. Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils. Chapter 17. Croatian National GHG Inventory Report. 2012.
- [18] Mellgren P.G. Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association. 1980. pp. 1-13.
- [19] Owende P.M.O, Lyons J, Haarlaa R, Peltola A, Spinelli R, Molano J and Ward S.M. Operations protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. Project ECOWOOD. 2002. pp. 1-74.
- [20] Weight indicator for forestry forwarders. URL: www.agriexpo.online/prod/pousse-ab/product-182197-60072.html (дата обращения 20.07.2019).
- [21] Crane control with surefire benefits. URL: www.komatsuforest.com/forest-machines/our-forwarders/forwarder-options (дата обращения 20.07.2019).
- [22] Куницкая О., Щетнева Я. Влияние разливов горюче-смазочных материалов при лесозаготовительных работах на окружающую среду // ЛесПромИнформ. 2016. №4. С. 54-60.
- [23] Лоссан А. Лес в ожидании «цифры» // Лесная промышленность. 2019. №67.

- [24] Перан П. John Deere 1270 Harvester. URL: <https://topgearrussia.ru/reviews/> (дата обращения 25.07.2019).
- [25] Жанаштаев А. Индустрия 4.0: что мешает российским предприятиям внедрять новые технологии. URL: <https://rb.ru/opinion/industriya-40/> (дата обращения 25.07.2019).
- [26] Thoben K.D., Wiesner S., Wuest T. Industrie 4.0 and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. International Journal of Automation and Technology. 2017. vol. 11. no.1. pp. 4-16.

«Industry 4.0»: information technologies utilization for reducing the man-made impact of tree harvesting machines

M.Yu. Vasenev

Abstract – This article considers an actual question about which technological changes affect the modern logging machines and all forestry within the frameworks of «Industry 4.0» conception. There is disclosed the concept as «Forestry 4.0», is given the characteristic of its basis: «The Real Environment», «The Internet of Forest», «NextGen Fibre Supply Chain», «Data Analytics». There is given an assessment to changes, which involve a hardware-software component of technics and the scheme of interactions between machines and systems within the frameworks of «Industry 4.0» (symbiosis of machines, Internet of Things and cyber-physical systems). There is provided an empirical formula, by the means of it one can to estimate correspondence of logging machine's technique to this conception, and use recommendations are given. There are stated main unfavorable factors caused by forest technics, namely: negative impact on the ground and soil oil pollution. There are distinguished some models of «future» logging machines, their relevance for forestry on the current level of progress is estimated. There is discussed a point, tied to remotely-operated tree harvesting machines, are singled out existing combinations of telecontrolled machines. An urgency of their use is highlighted (where human performance is forbidden). There are made conclusions about prospects of «Industry 4.0» technologies adoption in Russian wood harvesting organizations and Russian-sourced logging machines. There are brought main factors, braked their progress, f.e.: psychological people' unreadiness to accept the innovations and absence of required skill set and necessity of engineering plans rebuilding, which were formed by years.

Keywords: logging machines, «Industry 4.0», technological innovations, «Forestry 4.0», «The Internet of Forest».

REFERENCES

- [1] Bodryshev S.V. Industry 4.0: today's realities. ISUP. 2018. no. 4.
- [2] Vasenev M.Yu. Main preconditions and motivational factors for adaptation forest machines automated control systems. Informatsionnye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noj sfere i meditsine: sbornik nauchnykh trudov IV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. Tomsk. TPU. 2017. pp. 107–109.
- [3] Gingras J.-F., Charette F. FPInnovations' Forestry 4.0 Initiative. 2017.
- [4] Rimmel T., Perera A. Mapping Forest Landscape Patterns. Springer, 2017. 333 p.
- [5] Tang L., Shao G. Drone remote sensing for forestry research and practices. Journal of Forestry Research. 2015. vol. 26. no. 4. pp. 791-797.
- [6] Liu J., Shi Y., Fadlullah Z.M., Kato N. Space-air-ground integrated network: A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. vol. 20, no. 4, pp. 2714-2741.
- [7] Serra-Diaz J.M., Enquist B., Maitner B., Merow C., Svenning J.-C. Big data of tree species distributions: how big and how good? Forest Ecosystems. 2018. 4:30.
- [8] Parker R., Bayne K., Clinton P. Robotics in forestry. New Zealand Journal of Forestry. 2016. vol. 60. no. 4. pp. 8-14.
- [9] Gavrikov V. Industry 4.0: ST sensors predict faults of industrial equipment. Novosti jelektroniki. 2018. no. 12.
- [10] Vasenev M.Yu. Industrial ethernet as improvement factor of logging machines. Vestnik of Volga state university of technology. Series «Materials. Constructions. Technologies. 2019. no. 1. pp. 78-84.
- [11] EtherCAT Technology Group. URL: <https://www.ethercat.org/> (accessed 15.07.2019).
- [12] About approval of Strategy of Russian timber complex development to 2030. Available at: <http://government.ru/docs/all> (accessed 17.07.2019).
- [13] Voskoboynikov I.V., Kondratyuk D.V. Problems and prospects of forest equipment production. Mezhotraslevoj al'manakh - Delovaya slava Rossii. 2015. no. 49. pp. 18-21.
- [14] Russia 4.0: the fourth industrial revolution as stimulus of global competitiveness. Available at: <https://tass.ru/pmef-2017/articles/4277607> (accessed 18.07.2019).
- [15] Kiselev D.S. Reduction of rutting on duty of forest machines on waterlogged lands: author's abstract of dissertation. Arkhangel'sk. 2013.
- [16] Vadbol'skaya Yu.E., Azarenok V.A. The reducing negative impacts of forest machinery on soils thinning. Lesa Rossii i khozyajstvo v nikh. 2015. no. 3. pp. 36-40.
- [17] Porsinsky T., Pentek T., Bosner A., Stankic I. Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils. Chapter 17. Croatian National GHG Inventory Report. 2012.
- [18] Mellgren P.G. Terrain Classification for Canadian Forestry. Canadian Pulp and Paper Association. 1980. pp. 1-13.
- [19] Owende P.M.O, Lyons J., Haarlara R., Peltola A., Spinelli R., Molano J. and Ward S.M. Operations protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. Project ECOWOOD. 2002. pp. 1-74.
- [20] Weight indicator for forestry forwarders. Available at: www.agriexpo.online/prod/ponsse-ab/product-182197-60072.html (accessed 20.07.2019).
- [21] Crane control with surefire benefits. Available at: www.komatsuforest.com/forest-machines/our-forwarders/forwarder-options (accessed 20.07.2019).
- [22] Kunitskaya O., Shchetneva Ya. An impact of fuels and lubricant spills by lumbering operations on environment. LesPromInform. 2016. no. 4. pp. 54-60.
- [23] Lossan A. Forest in expectation of digital technologies. Lesnaya promyshlennost'- Forestry. 2019. no. 67.
- [24] Regan P. John Deere 1270 Harvester. Available at: <https://topgearussia.ru/reviews/> (accessed 25.07.2019).
- [25] Zhanashtaev A. Industry 4.0: what disturbs Russian corporates to introduce new technologies. Available at: <https://rb.ru/opinion/industriya-40/> (accessed 25.07.2019).
- [26] Thoben K.D., Wiesner S., Wuest T. Industrie 4.0 and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. International Journal of Automation and Technology. 2017. vol. 11. no.1. pp. 4-16.