

Применение островковой интеллектуализации к эргатическим системам управления в лесной отрасли

И.В. Петухов^a, Л.А. Стешина^b, Ю.А. Ширнин^c, С.Я. Алибеков^d, Е.С. Шарапов^e, П.Н. Анисимов^f

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, 3, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл
^a PetuhovIV@volgatech.net, ^b SteshinaLA@volgatech.net, ^c ShirninYA@volgatech.net, ^d AlibekovSY@volgatech.net,
^e SharapovES@volgatech.net, ^f AnisimovPN@volgatech.net

^a <https://orcid.org/0009-0000-2365-4857>, ^b <https://orcid.org/0009-0006-1526-991X>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-4509-1324>,
^d <https://orcid.org/0009-0009-8994-4481>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-6500-5377>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-7789-2399>

Статья поступила 01.10.2024, принята 22.10.2024

Идеология интеллектуализации сложных процессов активно проникает во все сферы человеческой деятельности. Преимущества интеллектуализации абсолютно очевидны, однако, учитывая относительную новизну этих технологий, достаточно сложно говорить о развитии устойчивой методологии проектирования таких систем. В статье представлена концепция интеллектуализации, включающая терминологическое описание и методологическую связь интеллектуализации и автоматизации. Показано, что современный уровень развития технологий искусственного интеллекта не позволяет говорить о масштабной интеллектуализации эргатических систем управления (ЭСУ) на глобальном уровне. Приведен анализ на основе хайп-цикла Гартнера по технологиям искусственного интеллекта применительно к интеллектуализации лесных машин. Выявлены технологии интеллектуализации, которые могут быть использованы на практике, представлены примеры возможного их использования в отрасли. В качестве альтернативы глобальной интеллектуализации предложен подход «островковой» интеллектуализации, обоснована правомочность использования данного термина по аналогии с островковой автоматизацией. Показано, что, в соответствии с известным агентным подходом, всю систему интеллектуализации можно рассматривать через интеллектуализацию децентрализованных агентов, используя принцип проектирования «снизу-вверх». В соответствии с выбранным подходом, технологии рассматриваются как условно независимые применительно к тем подсистемам, где эффект от их использования будет превышать затраты на их внедрение. Представлена логика формирования агентных пар между подсистемами ЭСУ и интеллектуальными технологиями. Разработана схема алгоритма осуществления островковой интеллектуализации применительно к эргатическим системам управления. Отмечается, что в условиях постоянного развития интеллектуальных технологий и их движения по хайп-циклу Гартнера состав агентных пар «подсистема – интеллектуальный помощник» будет постоянно меняться.

Ключевые слова: интеллектуализация; эргатические системы управления; агентный подход; островковая интеллектуализация.

Application of island intelligence to ergatic control systems in the forest industry

I.V. Petukhov^a, L.A. Steshina^b, Yu.A. Shirnin^c, S.Ya. Alibekov^d, E.S. Sharapov^e, P.N. Anisimov^f

Volga State University of Technology; 3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, Republic of Marii El

^a PetuhovIV@volgatech.net, ^b SteshinaLA@volgatech.net, ^c ShirninYA@volgatech.net, ^d AlibekovSY@volgatech.net,
^e SharapovES@volgatech.net, ^f AnisimovPN@volgatech.net

^a <https://orcid.org/0009-0000-2365-4857>, ^b <https://orcid.org/0009-0006-1526-991X>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-4509-1324>,
^d <https://orcid.org/0009-0009-8994-4481>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-6500-5377>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-7789-2399>

Received 01.10.2024, accepted 22.10.2024

The ideology of intellectualization of complex processes actively penetrates into all spheres of human activity. The advantages of intellectualization are absolutely obvious, but given the relative novelty of these technologies, it is quite difficult to talk about the development of a sustainable methodology for designing such systems. The article presents the concept of intellectualization, including a terminological description and methodological connection between intellectualization and automation. It is shown that the current level of development of artificial intelligence technologies does not allow one to talk about large-scale intellectualization of ergatic control systems (ECS) at the global level. An analysis of Gartner's hype cycle on artificial intelligence technologies is provided in relation to the intellectualization of forestry machines. Intellectualization technologies that can be used in practice are identified, and examples of their possible use in the industry are presented. As an alternative to global intellectualization, the approach of "island" intellectualization is proposed, and the legitimacy of using this term by analogy with island automation is substantiated. It is shown that, in accordance with the well-known agent approach, the entire intellectualization system can be viewed through the intellectualization of decentralized agents using the bottom-up design principle. In accordance with the chosen approach, technologies are considered as conditionally independent, in relation to those subsystems where the effect of their use will exceed the costs of their implementation. The logic of forming agent pairs between ECS subsystems and intelligent technologies is presented. A scheme of an algorithm for implementing island intellectualization in relation to ergatic control systems has been developed. It is noted that in the context of the constant develop-

ment of intelligent technologies and their movement along the Gartner hype cycle, the composition of agent pairs "subsystem-intelligent assistant" will constantly change.

Keywords: intellectualization; ergatic control systems; agent-based model; island intellectualization.

Введение. Идеология повсеместной интеллектуализации все активнее навязывается как абсолютно естественный тренд современного общества. Логика процесса очевидна — технологии искусственного интеллекта позволяют обеспечить автоматизацию процессов, которые ранее были для автоматизации недоступны и оставались за человеком. Тем не менее, на практике зачастую интеллектуализация используется в крайне ограниченном масштабе. Причин тому множество — ограничения методологического, технологического и даже организационного плана. Кроме того, сложность объектов интеллектуализации также ограничивает ее возможности.

Целью статьи является оценка возможностей использования технологий интеллектуализации для эргатических систем управления (ЭСУ) в лесной отрасли.

Теоретический анализ. Большинство существующих систем управления — как технических, так и технологических, в том числе относящихся к лесному хозяйству, можно отнести к так называемым эргатическим системам. Под эргатической системой принято понимать систему, в состав которой, помимо технической части, входит человек или группа людей, определяя дополнительно социальные и психологические аспекты взаимодействия.

Эргатические системы относятся к классу сложных систем, которые обладают свойствами нелинейности, нестационарности, непрерывности, стохастичности и рядом других [1].

Сложность объекта приводит к сложности его формализованного представления и, соответственно, к его идентификации и управлению.

В структуре эргатической системы управления можно выделить следующие ключевые контуры (рис. 1):

- контур человеко-машинного управления — между человеком-оператором и технической системой;
- контур взаимодействия машины с предметом труда;
- контур организационного взаимодействия — регламенты, организационно-технологические документы;
- контур взаимодействия с внешней средой

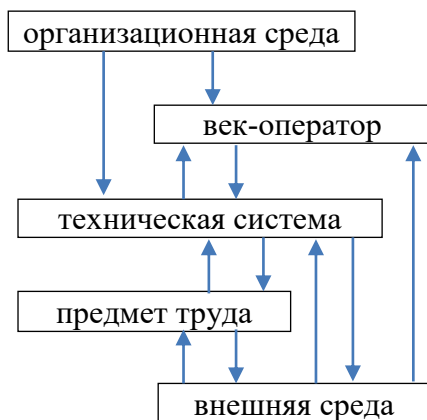


Рис. 1. Структура и связи в эргатической системе управления

Термин «интеллектуализация» традиционно относится вообще к психологии, однако в настоящее время чаще всего рассматривается применительно к техническим и человеко-машинным системам.

В ряде работ термин «интеллектуализация» можно считать тождественным термину «цифровизация».

Так А.А. Афанасьев обозначает явную взаимосвязь между автоматизацией как целью и цифровизацией как средством ее достижения. При этом автор под цифровизацией понимает «...конкретную форму научно-технического прогресса, связанную с совершенствованием производительных сил посредством использования цифровых технологий и средств ИКТ» [2].

В.А. Плотников рассматривает цифровизацию как этап научно-технической революции, опирающийся на использование данных в цифровой форме [3].

При этом отмечается, что термин «цифровизация» корректнее относить к организационным структурам, нежели техническим системам.

В зарубежной литературе термины «автоматизация» и «интеллектуализация» зачастую встречаются рядом, при этом интеллектуализация обозначает способ реализации автоматизации.

Следует отметить отсутствие явно формализованного методологического аппарата проведения процедур интеллектуализации ЭСУ.

Вместе с этим, очевидно, что в силу ранее представленных аргументов за основу методологии интеллектуализации может быть принята методология автоматизации.

Одним из основополагающих принципов автоматизации является представление реального мира в формализованном описании объектов и связей между ними.

При наличии значительного количества методологий проектирования, автоматизации и т. д., на наш взгляд, следует выделить несколько подходов, представляющих наибольший интерес в контексте рассматриваемой проблемы.

Так Г.Д. Волковой разработана методология автоматизации интеллектуального труда, основанная на последовательной разработке концептуальной, инфологической и даталогической моделей на абстрактном, объектном и конкретном уровнях [4].

Показано, что в плане автоматизации организационных и бизнес-процессов хорошие результаты демонстрирует методология RPA (Robotic Process Automation), позволяющая использовать алгоритмы и методы искусственного интеллекта [5].

Для ряда практических применений в области анализа и проектирования успешно используется методология ASSA (Automation of Stages of the System Analysis), позволяющая осуществлять формализацию сложно формализуемых этапов системного анализа, а также использовать современные неклассические информационные технологии [6].

Следует отметить, что традиционная иерархическая структура автоматизации не справляется с требованиями к обмену данными и управлению ими в режиме ре-

ального времени. В качестве альтернативы для удовлетворения таких требований представляется внедрение промежуточного программного обеспечения для интеллектуальной автоматизации MIA (*Middleware for Intelligent Automation*), которое включает в себя облачные функции, хранилище больших данных и программное обеспечение для интеграции [7].

Интеллектуальная автоматизация позволяет успешно сочетать автоматизацию с аналитикой и решениями, принимаемыми искусственным интеллектом, обеспечивающие интеллектуальное производство при одновременном повышении эффективности использования ресурсов. Однако проблемы на пути разработки интеллектуальной архитектуры включают отсутствие совместимости между системами, сложные этапы подготовки данных и неспособность одновременно обрабатывать как высокочастотные, так и большие объемы данных [8].

Таким образом, очевидно, что сегодня существуют значительные различия в использовании терминологического аппарата и методологических подходов для решения задачи интеллектуализации ЭСУ.

Основной причиной является то, что в последнее время наблюдается взрывной рост интереса к интеллектуальным технологиям, количества научных статей по данной тематике и при этом достаточно короткая история формирования направления.

В связи с этим обозначим, что в данной работе под терминологической конструкцией «интеллектуализация ЭСУ» мы будем понимать внедрение в ЭСУ технологий искусственного интеллекта, обеспечивающих их лучшие параметры функционирования, т. е. фактически интеллектуализацию мы считаем продвинутым этапом автоматизации, обеспечивающей управление технологическими процессами и техническими системами на основе интеллектуальных технологий.

Процесс автоматизации достаточно четко формализован в ГОСТах, в том числе общемашиностроительных. При этом общепризнанной и используемой методологии интеллектуализации ЭСУ в настоящее время не существует.

Традиционно принято выделять автоматизацию «масштабную» и «локальную». В ряде работ отечественных исследователей локальная автоматизация фигурирует под термином «островковая», или «поскутная» автоматизация.

Необходимость разработки универсального метода проектирования, позволяющего снизить общую трудоемкость проектно-технологических процедур и получить оптимум решения задачи проектирования отмечается в работе М.Н. Мантусова. Автор показывает преимущества «масштабной» автоматизации и остающуюся актуальной «островковую» автоматизацию [9].

Основной проблемой сложности масштабной автоматизации (и/или интеллектуализации) является тот факт, что для снижения затрат по производству сложной наукоемкой и капиталоемкой техники и формированию глобальных цепочек стоимости большинство предприятий используют принцип фрагментации производства и крупноузловой сборки [10].

В работе ученых Петрозаводского государственного университета предложено для снижения тяжести труда

операторов лесных машин *John Deere* использование технологий частичной автоматизации управления на основе опции IBC (*Intelligent Boom Control*). Авторы отмечают, что даже частичная автоматизация отдельных простейших функций по управлению манипулятором, снятая с человека, высвобождает психофизиологические ресурсы оператора, ослабляет влияние стереотипности выполняемых действий, сокращает утомляемость и снижение внимания, а также приводит, в конечном случае, к повышению производительности, точности и безопасности выполнения технологических процессов [11].

Целесообразность частичной автоматизации подтверждается использованием роботизированных систем наведения захватно-срезающего устройства (ЗСУ) лесозаготовительных машин, позволяющей также повысить скорость и точность наведения ЗСУ машины и снизить утомляемость оператора [12].

Частичная автоматизация имеет место и при реализации проектов по производству лесозаготовительной техники «Амкадор» [13; 14].

Таким образом, установлено, что в условиях современных реалий, требований импортозамещения и технологической независимости автоматизация и частичная интеллектуализация могут считаться вполне приемлемым вариантом.

Подходы к интеллектуализации ЭСУ. Итак, как было показано ранее, в основу методологии интеллектуализации ЭСУ может быть положена методология автоматизации технологических процессов и технических систем. Принято считать, что для обеспечения оптимального функционирования сложных систем важной фазой является определение целей и функций системы, а также взаимосвязей глобальной и локальных целей для выявления системы критериев их достижения [15].

Процесс построения дерева целей достаточно подробно описан в работе [16].

В большинстве литературных источников в качестве основной цели выделяют повышение производительности производственной системы.

В соответствии с технологией SMART известно, что конечная цель должна быть:

- конкретной (*Specific*);
- измеримой (*Measurable*);
- достижимой (*Achievable*);
- значимой (*Relevant*);
- иметь привязку ко времени (*Time bound*).

Институтом проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН предложена более продвинутая идеология проектирования интеллектуальной модели социокиберфизической системы в виде оптимизации построения трех деревьев: дерево целей «А», определяющее вектор формирования проектируемой модели; дерево информации «В», определяющее характеристики базы знаний, используемой для работы с данной моделью, и дерево задач «С», представляющее пути достижения целей из множества «А» согласно возможностям, определяемым множеством «В» [17].

Методология построения дерева целей активно используется и в лесном комплексе. Так показано, что в качестве конечной цели может выступать «повышение эксплуатационной эффективности машин и оборудования лесного комплекса» [18].

В работе Л.А. Стешиной для интеллектуальных средств поддержки оператора использовался функционально-целевой подход, предполагающий декомпозицию глобальной цели на локальные подцели нижнего уровня [19]. Как было предложено автором, глобальную цель «повышение эффективности ЭСУ» можно представить системой подцелей, включающих подцель «повысить уровень автоматизации и интеллектуализации».

Анализ показывает, что и в той, и в другой работе конечная цель сформулирована не в привязке к технологии SMART. В соответствии с данной технологией было бы целесообразно в качестве глобальной цели выделять конкретную цель, например, «повышение производительности на 10 %». С другой стороны, следует отметить, что повышение производительности далеко не всегда должно выступать в качестве глобальной цели.

Так в качестве глобальной цели вполне может выступать и цель, связанная непосредственно с самим процессом автоматизации и интеллектуализации. Подход «автоматизация ради автоматизации» или же «интеллектуализация ради интеллектуализации» вызывает активную критику многих авторов [20–23].

Безусловно, процесс ради процесса далеко не всегда предполагает получение конкретного конечного результата. С другой стороны, следует принимать во внимание тот факт, что производительность технологических систем на каждом этапе технологического уклада в определенный момент приходит к насыщению.

Принято считать, что производительность лесных машин также находится фактически в режиме насыщения, и дальнейшее увеличение производительности возможно прежде всего за счет резервов человека-оператора [24]. В свою очередь, производительность человека-оператора зависит от множества факторов, таких как опыт, возраст, физиологическое и психоэмоциональное состояние, превращая оператора в крайне нестабильную систему [25; 26]. Тогда и уровень производительности самой технологической человеко-машинной системы ввиду наличия человеческого фактора будет нестабильным.

В этих условиях повышение уровня интеллектуализации можно рассматривать в качестве стабилизирующей системы, снижающей влияние человеческого фактора.

Кроме того, интеллектуализация, как и автоматизация, позволяет обеспечить решение таких задач, как улучшение качества в управлении и повышение коэффициента готовности оборудования.

В качестве цели также можно обозначить увеличение количества функций (интеллектуальные функции — ИФ), выполняемых искусственным интеллектом.

В работе А.В. Алексеева и С.М. Евсеенко рекомендовано осуществлять кластеризацию интеллектуальных функций по отдельным целям с введением соответствующих весовых коэффициентов [27]. В качестве таких локальных целей могут использоваться, например:

- функциональная автономность (человеконезависимость);
- наличие элементов технического зрения;
- самодиагностика;
- обеспечение поддержки принятия решений;

- наличие базы знаний о самой системе и окружающей среде;
- обучение и накопление опыта в БЗ;
- обеспечение адаптивности к изменению параметров собственного состояния и окружающей среды;
- самостоятельное принятие решений в случае опасного развития ситуации;
- планирования возможного развития ситуации;
- оценка возможности/невозможности выполнения заданной миссии, достижения поставленной цели;
- обеспечение работоспособности с возможной деградацией качества функционирования;
- ситуационное управление.

При этом при формировании глобальной и локальных целей следует учитывать особенности так называемого хайп-цикла Гартнера, описывающего изменение ожиданий от использования новых технологий во времени (рис. 2).

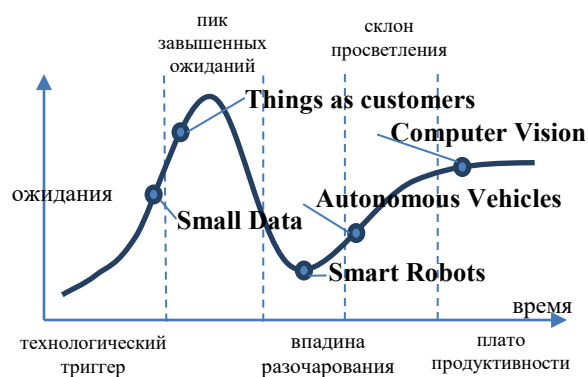


Рис. 2. Хайп-цикл Гартнера по технологиям искусственного интеллекта применительно к интеллектуализации лесных машин.

Применимость технологий для интеллектуализации лесных машин представлена ниже.

Small Data — нормирование наборов различных данных в системе и представление их в виде, полезном для принятия решений человеком. Например, прогнозирование объемов производства и отходов при осуществлении лесозаготовок [28].

Things as customers — реализация концепции «интернета вещей» IoT, когда отдельные подсистемы ЭСУ ведут себя, как локальные агенты. Например, для сбора различной информации об экологическом влиянии процессов лесопромышленной деятельности на экосистему [29; 30].

Smart Robots — направление, скорее, являющееся перспективным на сегодня для практического применения; ориентировано на повышение автономности лесных машин [31].

Computer Vision — системы распознавания объектов окружающего пространства. Могут использоваться, например, для идентификации и автоматической таксации деревьев [32].

Autonomous Vehicles — реализация концепции автономных транспортных средств, реализуемая, например, в виде беспилотных лесных или сельскохозяйственных машин [33].

Представленный хайп-цикл Гартнера адаптирован применительно к интеллектуализации лесных машин и

не отражает полный перечень технологий искусственного интеллекта и их распределение по шкале ожидаемый в общем виде.

Как следует из представленной схемы, применительно к лесной технике на данном этапе приемлемы лишь некоторые современные технологии интеллектуализации. При этом эти технологии достаточно обособлены.

В связи с этим возникает естественное решение — рассматривать данные технологии как независимые применительно к тем подсистемам, где эффект от их использования будет превышать затраты на их внедрение.

Тогда, в соответствии с известным агентным подходом (*agent-based model*), всю систему интеллектуализации можно рассматривать через интеллектуализацию децентрализованных агентов, используя принцип проектирования «снизу-вверх». Каждая подсистема ЭСУ будет представляться независимым агентом, поведение которого в итоге будет определять уровень интеллектуализации ЭСУ в целом (рис. 3).

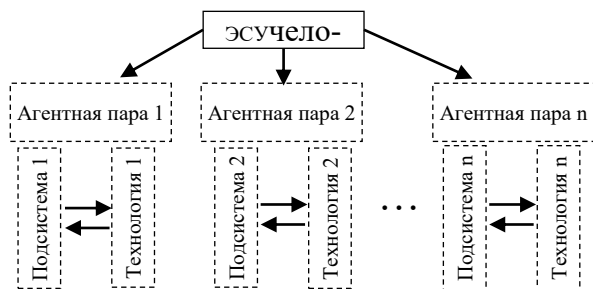


Рис. 3. Структура формирования агентных пар между подсистемами ЭСУ и интеллектуальными технологиями

Алгоритм интеллектуализации ЭСУ предполагает выявление таких агентных пар с учетом современного развития интеллектуальных технологий (рис. 4). Схема алгоритма основана на классической методологии принятия решений и адаптирована к условиям островковой интеллектуализации, не позволяющей использовать системные решения.

На предварительной стадии проектирования осуществляется подготовка формального описания объекта управления — его состава, структуры, основных характеристик. Процедура идентификации представляет большую сложность, так как предполагает переход к математическому описанию объекта и составлению модели объекта управления. Так как в данной работе считается, что интеллектуализация накладывается на уже существующую систему управления, вполне возможно, что формализация и идентификация объекта были уже проведены ранее. Определение целей интеллектуализации проводится в соответствии с ранее обозначенными подходами.

На следующей стадии следует выявить и определить набор проблемных ситуаций, который может быть результатом эксплуатации системы управления, например, через метод управления инцидентами. Каж-

дая подсистема управления, в которой имели место инциденты, становится потенциальным агентом модернизации — интеллектуализации. При этом в разработку пускаются только те агенты, интеллектуализация которых может быть реализована в технологии на текущем уровне хайп-цикла Гартнера.

Этап генерации решений в полной мере соответствует классической методологии системного анализа и предполагает генерацию альтернативных решений, анализ требуемых ресурсов и рисков недостижения результата, а также сравнение альтернативных решений. Сравнение альтернативных вариантов решений возможно, например, методом анализа иерархий.

На этапе принятия решений выбирают отдельные агентские пары с учетом ранжирования их привлекательности и приступают к разработке модели взаимодействия агентов. Сложность данного этапа заключается в необходимости технологического сопряжения агентных пар. При этом предпочтение отдается тем агентным парам, которые могут быть сопряжены в рамках одной технологии искусственного интеллекта. Это позволит в перспективе перейти к интеллектуализации глобального уровня. Данный этап может быть итерационным и потребовать пересмотра набора законченных агентских решений.

Этап реализации решений предполагает окончательный выбор законченных агентских решений и его обоснование, а также разработку информационно-технического сопряжения агентов. При осуществлении информационного и технического сопряжения агентов (агентных пар) также следует учитывать возможность последующей глобальной интеллектуализации. Т. е. при выборе способов, форматов и протоколов сопряжения следует отдавать предпочтение наиболее распространенным для возможной последующей унификации.

Процесс корректировки решений является итерационным, причем количество итераций не регламентируется, но более трех — скорее неэффективно. В состав блока входит прежде всего процесс оценки результатов интеллектуализации. Проблема заключается в том, что результат может быть существенно отложен во времени и при этом не иметь явного ресурсного выражения. Подпроцесс обратной связи замкнут на конечном пользователе эргатической системы управления и может включать анализ юзабилити примененных решений. Подпроцесс обновления системы интеллектуализации предполагает обновление программного обеспечения и его настройку в процессе эксплуатации. Улучшение и корректировка решений подразумевают системное управление процессом корректировки решений.

Представленная схема алгоритма островковой интеллектуализации является достаточно общей, но, в то же время, имеет определенную специфику, связанную с невозможностью поиска глобальных решений.

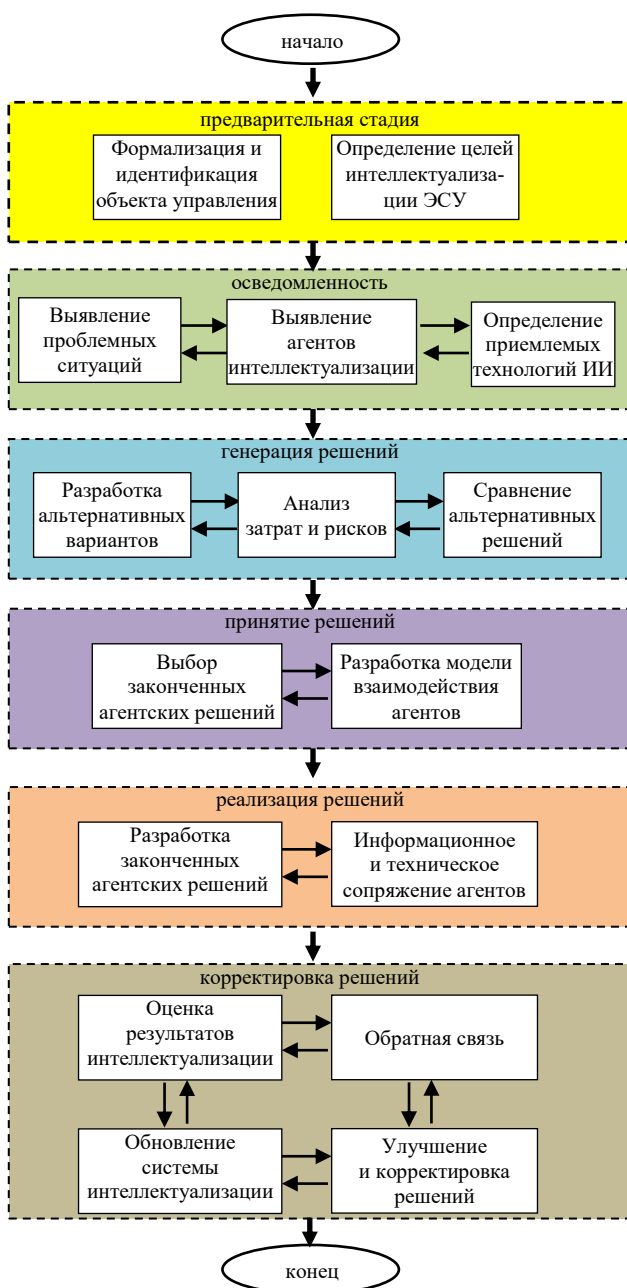


Рис. 4. Схема алгоритма осуществления островковой интеллектуализации ЭСУ

Заключение. Таким образом, очевидно, что дальнейшее развитие технологий искусственного интеллекта будет неизбежно вести к интеллектуализации большинства известных ЭСУ, в том числе и лесной техники. Основы интеллектуализации закладываются уже сейчас на уровне отдельных интеллектуальных технологий, используемых на практике.

Это напрямую связано с явными трендами перехода к цифровой экономике и конъюнктурному изменению.

Следует отметить, что такой подход сейчас не позволит осуществить полномасштабную интеллектуализацию всей ЭСУ в целом. В результате интеллектуализация носит так называемый островковый характер, по аналогии с автоматизацией.

Вместе с этим, следует учитывать тот факт, что в условиях постоянного развития интеллектуальных технологий и их движения по хайп-циклу Гартнера состав агентных пар «подсистема – интеллектуальный помощник» будет постоянно меняться.

Примерами достаточно удачной интеллектуализации являются, в первую очередь, разработки в области сельскохозяйственных машин, в том числе системы автономного вождения.

Так технологии *Cognitive Agro Pilot* по состоянию на 2023 г. использовались более чем на 1 тыс. комбайнов в 30 различных субъектах Российской Федерации. Однако платформой для этой технологии являются трактора «Кировец» К-7М, ПТЗ и МТЗ. А интеллектуальная платформа агроменеджмента «PCM Агротроник» интегрирована уже более чем в 17 тыс. таких агромашинок, как TORUM 785 и 750, RSM 161, T500, ACROS 595 Plus, ACROS 585, тракторы «Россельмаш» [34]. Есть положительные результаты внедрения роботехнического комплекса в сельскохозяйственный трактор ТК-3-180Д, включая автоматическую систему точного вождения через навигационную систему GPS/ГЛОНАСС, унифицированную систему машинного зрения «Эдельвейс», автоматическую систему управления переключением передач и бортовую информационно-управляющую систему верхнего уровня [35]. В данном случае можно констатировать именно островковую интеллектуализацию, несмотря на наличие информационно-управляющей системы верхнего уровня.

Использование искусственного интеллекта применительно к лесным машинам носит более ограниченный характер. На взгляд авторов, это связано с более сложным алгоритмом работы. Так передвижение лесной машины в лесном массиве со сложным ландшафтом более сложно, чем передвижение сельскохозяйственной машины по полю. Также в лесном массиве более сложно организовать внешний контроль технологического поля с использованием беспилотных летательных аппаратов. Кроме того, само технологическое поле в лесном массиве зачастую сложнее для системы машинного зрения в режиме распознавания и идентификации в силу зашумленности изображения, например, за счет подроста [36].

Таким образом, в пользу островковой интеллектуализации сегодня в качестве единственно оправданного и практически реализуемого решения выступают и данные аргументы. Кажется целесообразным трансферт уже имеющихся кейсов интеллектуализации в области сельскохозяйственных машин в лесную отрасль, анализ и адаптация таких решений.

Кроме того, очевидно, что будут совершенствоваться подходы глобальной интеллектуализации, что также является предметом будущей разработки.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-19-00568 «Методы и интеллектуальная система поддержки динамической устойчивости операторов эргатических систем», <https://rscf.ru/project/23-19-00568/>.

Литература

1. Железнов Э.Г., Комиссаров П.В., Цымай Ю.В. Исследование эргатических систем управления // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 37-41.
2. Афанасьев А.А. Цифровизация промышленности: теоретические основы и методология исследования // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13, № 8. С. 2537-2556.
3. Плотников В.А. Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы развития в российской экономике // Изв. С.-Петербург. гос. экономического ун-та. 2018. № 4 (112). С. 16-24.
4. Волкова Г.Д. Методология автоматизации интеллектуального труда: предпосылки, основания, результаты, проблемы. Часть 1 // Межотраслевая информационная служба. 2009. № 2. С. 9-20.
5. Ribeiro J. Robotic process automation and artificial intelligence in industry 4.0-a literature review // Procedia Computer Science. 2021. Vol. 181. P. 51-58.
6. Симанков В.С., Шпехт И.А. Методология автоматизации этапов системного анализа сложных систем // Информатика и системы управления. 2011. № 4. С. 149-156.
7. Coito T. A novel framework for intelligent automation // IFAC-Papers On Line. 2019. Vol. 52, № 13. P. 1825-1830.
8. Coito T. A middleware platform for intelligent automation: an industrial prototype implementation // Computers in industry. 2020. Vol. 123. P. 103329.
9. Мантусов М.Н. Разработка метода оптимизации конструкторско-технологического проектирования агрегатов самолета с использованием информационных технологий // Вестн. Воронежского гос. технического ун-та. 2011. Т. 7, № 11-2. С. 40-42.
10. Van Assche A., Gangnes B. Global value chains and the fragmentation of trade policy coalitions // Transnational Corporations Journal. 2019. Vol. 26, № 1. P. 30.
11. Соколов А.П. О влиянии частичной автоматизации управления манипуляторами на эргономические показатели лесозаготовительных машин // Лесной вестн. Forestry bulletin. 2023. Т. 27, № 1. С. 139-152.
12. Мохирев А.П., Мохирев И.А., Морозов Д.М. Роботизированная система наведения захватно-срезающего устройства на дерево // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 1 (29). С. 194-202.
13. Очиров С.З., Палкин Е.В. Производственные испытания нового харвестера тяжелого класса Amkodor FH3081 // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины: сб. ст. Всерос. науч.-практической конф. (10 марта 2021 г.). Красноярск, 2021. С. 197-201.
14. Черник К.Н., Черник Д.В., Коршун В.Н. Скандинавская система лесозаготовительных машин на российском рынке // Машиностроение: новые концепции и технологии: сб. тр. Всерос. науч.-практической конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (23 окт. 2020 г.). Красноярск, 2020. С. 207-209.
15. Симанков В.С., Шпехт И.А., Саакян Р.Р. Процедурно-ролевой алгоритм построения и анализа дерева целей сложной системы в задаче определения критериев их достижения // Информатика и системы управления. 2013. № 2. С. 64-72.
16. Kim I.S., Modarres M. Application of goal tree-success tree model as the knowledge-base of operator advisory systems // Nuclear Engineering and Design. 1987. Vol. 104, № 1. P. 67-81.
17. Юркевич Е.В., Крюкова Л.Н. Проектирование моделей-новый механизм в построении социкиберфизических систем // Информационные технологии в управлении: материалы конф. (6-8 окт. 2020 г.). СПб., 2020. С. 101-104.
18. Питухин А.В. Дерево целей и задач повышения эксплуатационной эффективности машин и оборудования лесного комплекса // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2010. № 193. С. 195-202.
19. Штешина Л.А. Методология комплексной разработки средств операторской поддержки лесных машин // Фундаментальные исследования. 2021. № 8. С. 70-75.
20. Ильинцева А.А., Чесноков М.А. Автоматизация бизнес-процессов как необходимое условие эффективности компании // Образовательная система: вопросы современного этапа развития научной мысли: сб. науч. тр. Казань, 2019. С. 229-233.
21. Прокина Е.Ю. Автоматизация бизнес-процессов // Контентус. 2022. № 6 (119). С. 35-43.
22. Гайворонская Я.В., Мирошниченко О.И., Мамычев А.Ю. Нескромное обаяние цифровизации // Legal Concept. 2019. Vol. 18, № 4. P. 40-47.
23. Морозов А.В. Субъектность и цифровизация // Глобальная экономика и образование. 2021. Т. 1, № 4. С. 99-107.
24. Chernykh D. The approach to training logging machinery operators // Journal of Applied Engineering Science. 2023. Vol. 21, № 1. P. 70-75.
25. da Silva Lopes E., Pagnussat M.B. Effect of the behavioral profile on operator performance in timber harvesting // International Journal of Forest Engineering. 2017. Vol. 28, № 3. P. 134-139.
26. Melander L., Ritala R. Separating the impact of work environment and machine operation on harvester performance // European Journal of Forest Research. 2020. Vol. 139, № 6. P. 1029-1043.
27. Алексеев А.В., Евсеенко С.М. Об интеллекте и определении степени интеллектуализации продукции и деятельности приборостроительного предприятия // Инновации. 2021. № 6. С. 36-47.
28. Munis R.A. Machine learning methods to estimate productivity of harvesters: mechanized timber harvesting in Brazil // Forests. 2022. Vol. 13, № 7. P. 1068.
29. Sanlı M. An Internet of Things Platform for Forest Monitoring // European Journal of Forest Engineering. 2023. Vol. 9, № 2. P. 80-87.
30. Singh R. Forest 4.0: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT) // Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences. 2022. Vol. 34, № 8. P. 5587-5601.
31. Gameiro T. Robots for Forest Maintenance // Forests. 2024. Vol. 15, № 2. P. 381.
32. Petukhov I., Steshina L., Tanryverdiev I. Remote sensing of forest stand parameters for automated selection of trees in real-time mode in the process of selective cutting // 2014 IEEE 11th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2014 IEEE 11th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2014 IEEE 14th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops. IEEE, 2014. P. 390-395.
33. Li Y., Cao Q., Liu F. Design of control system for driverless tractor // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2020. Vol. 309. P. 04001.
34. Погоньшев В.А., Ториков В.Е., Погоньшева Д.А. Вопросы совершенствования инженерно-технологической обеспеченности АПК в условиях цифровизации // Вестн. Брянской гос. с.-х. академии. 2023. № 3 (97). С. 51-59.
35. Лавров А.В. Оценка технического уровня сельскохозяйственного трактора ТК-3-180 при включении его в робототехнический комплекс // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 3. С. 85-90.
36. Петухов И.В. Сегментация перекрывающихся изображений деревьев на цифровых снимках лесных массивов // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2024. № 1. С. 126-140.

References

1. Zhelezov E.G., Komissarov P.V., Cymaj Yu.V. Research of ergatic control systems // *Modern High Technologies*. 2021. № 4. P. 37-41.
2. Afanas'ev A.A. Digitalization of industry: theoretical foundations and research methodology / *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2023. V. 13, № 8. P. 2537-2556.
3. Plotnikov V.A. Digitalization of production: the theoretical essence and development prospects in the russian economy // *Izv. S.-Peterb. gos. ekonomicheskogo un-ta*. 2018. № 4 (112). P. 16-24.
4. Volkova G.D. The methodology of automation of intellectual work: foundation, results, problems. Part I // *Mezhotraslevaya informacionnaya sluzhba*. 2009. № 2. P. 9-20.
5. Ribeiro J. Robotic process automation and artificial intelligence in industry 4.0-a literature review // *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 181. P. 51-58.
6. Simankov V.S., Shpekht I.A. Methodology for automating the stages of system analysis of complex systems // *Information Science and Control Systems*. 2011. № 4. P. 149-156.
7. Coito T. A novel framework for intelligent automation // *IFAC-Papers On Line*. 2019. Vol. 52, № 13. P. 1825-1830.
8. Coito T. A middleware platform for intelligent automation: an industrial prototype implementation // *Computers in industry*. 2020. Vol. 123. P. 103329.
9. Mantusov M.N. Working out a method optimization of engineering and technological designing aggregates of an airplane with using information technologies // *The Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2011. V. 7, № 11-2. P. 40-42.
10. Van Assche A., Gangnes B. Global value chains and the fragmentation of trade policy coalitions // *Transnational Corporations Journal*. 2019. Vol. 26, № 1. P. 30.
11. Sokolov A.P. Ergonomic evaluation of forestry crane partial automation system // *Forestry bulletin*. 2023. V. 27, № 1. P. 139-152.
12. Mohirev A.P., Mohirev I.A., Morozov D.M. Robotized system of pointing the gripper-cutting device on the tree // *Forestry Engineering Journal*. 2018. V. 8, № 1 (29). P. 194-202.
13. Ochirov S.Z., Palkin E.V. Production tests of the new Amkodor FH3081 heavy-duty Harvester // *Lesoeksploatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sb. st. Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (10 marta 2021 g.)*. Krasnoyarsk, 2021. P. 197-201.
14. Chernik K.N., Chernik D.V., Korshun V.N. Scandinavian logging machine system in the Russian market // *Mashinostroenie: novye koncepcii i tekhnologii: sb. tr. Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh (23 okt. 2020 g.)*. Krasnoyarsk, 2020. P. 207-209.
15. Simankov V.S., Shpekht I.A., Saakyan R.R. Procedural-role-playing algorithm for constructing and analyzing a tree of goals of a complex system in the task of determining criteria for their achievement // *Information Science and Control Systems*. 2013. № 2. P. 64-72.
16. Kim I.S., Modarres M. Application of goal tree-success tree model as the knowledge-base of operator advisory systems // *Nuclear Engineering and Design*. 1987. Vol. 104, № 1. P. 67-81.
17. Yurkevich E.V., Kryukova L.N. Model design is a new mechanism in the construction of socio-cyberphysical systems // *Informacionnye tekhnologii v upravlenii: materialy konf. (6-8 okt. 2020 g.)*. SPb., 2020. P. 101-104.
18. Pituhin A.V. Tree of goals and objectives for increasing the operational efficiency of machinery and equipment of the forestry complex // *Izvestia SPbLTA*. 2010. № 193. P. 195-202.
19. Steshina L.A. Methodology of integrated development of means of operator support for forest machines // *Fundamental research*. 2021. № 8. P. 70-75.
20. Il'inceva A.A., Chesnokov M.A. Automation of business processes as a necessary condition for company efficiency // *Obrazovatel'naya sistema: voprosy sovremennogo etapa razvitiya nauchnoj mysli: sb. nauch. tr. Kazan'*, 2019. P. 229-233.
21. Prokina E.Yu. Automation of business processes // *Kontentus*. 2022. № 6 (119). P. 35-43.
22. Gajvoronskaya Ya.V., Miroshnichenko O.I., Mamychev A.Yu. Indiscreet charm of digitalization // *Legal Concept*. 2019. Vol. 18, № 4. P. 40-47.
23. Morozov A.V. Subjectivity and digitalization // *Global economy and education*. 2021. V. 1, № 4. P. 99-107.
24. Chernykh D. The approach to training logging machinery operators // *Journal of Applied Engineering Science*. 2023. Vol. 21, № 1. P. 70-75.
25. da Silva Lopes E., Pagnussat M.B. Effect of the behavioral profile on operator performance in timber harvesting // *International Journal of Forest Engineering*. 2017. Vol. 28, № 3. P. 134-139.
26. Melander L., Ritala R. Separating the impact of work environment and machine operation on harvester performance // *European Journal of Forest Research*. 2020. Vol. 139, № 6. P. 1029-1043.
27. Alekseev A.V., Evseenko S.M. On intelligence and determining the degree of intellectualization of products and activities of an instrument-making enterprise // *INNOVATIONS*. 2021. № 6. P. 36-47.
28. Munis R.A. Machine learning methods to estimate productivity of harvesters: mechanized timber harvesting in Brazil // *Forests*. 2022. Vol. 13, № 7. P. 1068.
29. Sanlı M. An Internet of Things Platform for Forest Monitoring // *European Journal of Forest Engineering*. 2023. Vol. 9, № 2. P. 80-87.
30. Singh R. Forest 4.0: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT) // *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. 2022. Vol. 34, № 8. P. 5587-5601.
31. Gameiro T. Robots for Forest Maintenance // *Forests*. 2024. Vol. 15, № 2. P. 381.
32. Petukhov I., Steshina L., Tanryverdiev I. Remote sensing of forest stand parameters for automated selection of trees in real-time mode in the process of selective cutting // *2014 IEEE 11th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2014 IEEE 11th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2014 IEEE 14th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops*. IEEE, 2014. P. 390-395.
33. Li Y., Cao Q., Liu F. Design of control system for driverless tractor // *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences. 2020. Vol. 309. P. 04001.
34. Pogonyshev V.A., Torikov V.E., Pogonysheva D.A. Issues of improving the engineering and technological support of the agro-industrial complex in the conditions of digitalization // *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2023. № 3 (97). P. 51-59.
35. Lavrov A.V. Evaluation of the technical level of the TK-3-180 agricultural tractor when it is included in the robotic complex // *Tractors and Agricultural Machinery*. 2019. № 3. P. 85-90.
36. Petuhov I.V. Segmentation of Overlapping Tree Images in the Digital Photographs of Forest Areas // *Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal)*. 2024. № 1. P. 126-140.