

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 631.3:005, 631.17:005

DOI 10.31857/S2500262724040123 EDN FKRBAN

**СИСТЕМА МАШИН КАК ФАКТОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**© 2024 г. **В. М. Коротченя**¹, кандидат экономических наук, **Ю. С. Ценч**¹, доктор технических наук,
Я. П. Лобачевский², доктор технических наук, академик РАН¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5, стр. 1
E-mail: valor99@gmail.com; vimasr@mail.ru²Российская академия наук,
119991, Москва, Ленинский просп., 32А
E-mail: lobachevsky@yandex.ru

В статье предложен принцип формирования системы машин с использованием в качестве методологии системной инженерии, объектно-процессуального подхода моделирования технических систем. Центральное понятие системы машин – научно-технический прогресс (НТП): система машин должна одновременно способствовать прогрессу в агропромышленном комплексе (АПК) и отражать его. Представлены определение системы машин, ее функции, главная цель, архитектура, заинтересованные стороны, внешняя среда. Система машин позиционируется как смешанная система, сочетающая в себе концептуальную, содержательную и физическую компоненты. Концептуальной частью служит информационный продукт – собственно система машин, представленная в виде компьютерной программы, веб-сайта, стандартов, баз данных, на бумажном носителе и др. Физической компонентой выступает группа экспертов по разработке системы машин. В условиях рыночной экономики система машин должна строиться не на основе конкретных марок и моделей технических средств, а на базе их типажей, определение которых целесообразно проводить на основе разделения характеристик технических средств на функциональные и нефункциональные. Для обоснования типажей машин сформирован примерный перечень видов нефункциональных характеристик сельскохозяйственной техники. Построены диаграммы архитектуры системы машин и разработки типажей сельскохозяйственных машин. Архитектура системы машин – это сочетание структуры системы машин и деятельности экспертов по разработке системы машин, которое обеспечивает выполнение системой машин своих функций, главные из которых – систематизация сельскохозяйственных машин и технологий и формирование у заинтересованных сторон представлений о состоянии и направлениях НТП в АПК.

**THE MACHINE SYSTEM AS A FACTOR OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS
IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX****V. M. Korotchenya**¹, **Yu. S. Tsench**¹, **Ya. P. Lobachevsky**²¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
109428, Moscow, 1-i Institutskii proezd, 5, str. 1
E-mail: valor99@gmail.com; vimasr@mail.ru²Russian Academy of Sciences,
119991, Moscow, Leninskii prosp., 32A
E-mail: lobachevsky@yandex.ru

The article proposes a principle for forming a machine system using the object-process approach to modeling technical systems as a methodology of systems engineering. It has been shown that the central concept of a machine system is scientific and technological progress (STP): a machine system should simultaneously promote progress in the agro-industrial complex (AIC) and reflect it. The article presents a definition of a machine system, its functions, main goal, architecture, stakeholders, and external environment. A machine system is positioned as a mixed system that combines conceptual, substantive, and physical components. The conceptual part is an information product – the machine system itself, presented in the form of a computer program, website, standards, databases, on paper, etc. The physical component is a group of experts in developing a machine system. It has been shown that in a market economy, a machine system should be built not on the basis of specific brands and models of technical means, but on the basis of their types. A definition of the type was proposed based on the division of technical means characteristics into functional and non-functional. To substantiate the machine types, an approximate list of types of non-functional characteristics of agricultural machinery was formed. Diagrams of the architecture of the machine system and the development of types of agricultural machines were constructed. The architecture of the machine system is a combination of the structure of the machine system and the activities of experts in the development of the machine system, which ensures the performance of the machine system of its functions, the main ones being the systematization of agricultural machines and technologies and the formation of ideas among interested parties about the state and directions of scientific and technological progress in the agro-industrial complex.

Ключевые слова: система машин, сельскохозяйственные машины, агропромышленный комплекс, сельскохозяйственные технологии, научно-технический прогресс, системная инженерия, объектно-процессуальная методология, функциональные и нефункциональные характеристики машин, архитектура системы машин.

Keywords: system of machines, agricultural machines, agro-industrial complex agricultural technologies, scientific and technological progress, systems engineering, Object-Process Methodology, functional and non-functional characteristics, architecture of the system of machines.

Развитие комплексной механизации сельского хозяйства побудило в 50-е годы 20 века необходимость перехода от разработки единичных машин к созданию комплексов и систем машин. Первые системы машин для сельскохозяйственного производства формировались на основе марок и моделей технических средств [1]. В связи с переходом к рыночной экономике была предпринята попытка разработки системы машин для растениеводства и животноводства на основе типажей машин [2, 3]. Под типажом понималась совокупность технических, технологических, эксплуатационных, экологических, экономических характеристик машин [4, 5]. В работах [6, 7] система машин определена как научно обоснованная совокупность технических средств с комплексом гармонизированных параметров, учитывающая региональные, почвенно-климатические, производственные и другие условия применения. В качестве очередного этапа НТП и развития систем машин рассматривается цифровизация сельского хозяйства, внедрение средств роботизации, искусственного интеллекта, их интеграцию в системы машин [8].

Цель исследования – разработка концептуальной основы системы сельскохозяйственных машин и технологий для обеспечения НТП в АПК.

Методика. В качестве методологии формирования системы машин использовали системную инженерию, концептуальное моделирование систем. На ее основе сформулированы определение системы машин, ее функции, главной цели, архитектуры и др. Определение понятия типажа машин (технологий) построено на основе разделения характеристик технических средств на функциональные и нефункциональные.

В статье речь идет в основном о растениеводстве, но предлагаемая организация системы машин может быть использована и в отношении животноводства, и других отраслей АПК.

Результаты и обсуждение. В соответствии с методологией системной инженерии ниже представлены: определение системы сельскохозяйственных машин и технологий, ее функции, главная цель, заинтересованные стороны, внешняя среда, архитектура.

Система сельскохозяйственных машин и технологий (для краткости – система машин) – это инженерная система, выполняющая следующие функции:

систематизация (классификация) сельскохозяйственных машин и технологий и последующее выявление приемлемой достигнутой степени технического совершенства классифицируемых объектов с учетом достижений НТП;

формирование у заинтересованных сторон представлений о состоянии и направлениях НТП в агропромышленном комплексе (АПК);

обеспечение совместимости (физической, цифровой, межбрендовой) и возможности сетевого подключения соответствующих групп сельскохозяйственных машин в рамках проведения технологических операций в растениеводстве и животноводстве;

предложение (технико-экономическое моделирование) альтернативных вариантов набора сельскохозяйственных технологий и машин для реализации того или иного проекта в сельском хозяйстве.

Отметим, что система машин – это смешанная система, сочетающая в себе концептуальную и физическую компоненты [6, 9, 10]. Концептуальной частью является информационный продукт – собственно система машин, представленная в виде компьютерной программы, веб-сайта, стандартов, баз данных, на бумажном носи-

теле и др. Физической компонентой выступает группа экспертов по разработке системы машин.

Группа экспертов, непосредственно разрабатывающая систему машин, рассматривается как неотъемлемый элемент системы. Эксперты определяют профессиональный и в то же время субъективный аспект системы машин (различные группы экспертов, вероятнее всего, предложат различные варианты системы машин). Они очень тесно интегрированы с самой системой машиной, периодически вносят в нее необходимые изменения и, возможно, в той или иной степени контактируют с ее пользователями. Преимущество включения группы экспертов в систему машин будет очевидно при рассмотрении архитектуры системы машин, где будут раскрыты выполняемые экспертами процессы.

Рассмотрим функции системы машин. Формулировка первой функции наиболее близка к редакции системы машин 2012 года [2]. На основе классификации сельхозмашин и технологий и степени их технического совершенства дается определение типажа. Типаж определяется как приемлемая достигнутая степень технического совершенства классифицируемых групп машин.

Приемлемый уровень достигнутого технического совершенства устанавливается экспертами. Приемлемость зависит от технической целесообразности в контексте состояния технико-технологического обеспечения АПК. При этом возможно использовать понятие технологической парадигмы, то есть наиболее широко используемых технологий в отрасли [10]. Невзирая на глобализацию, достижения мирового НТП внедряются неравномерно: развивающиеся и развитые экономики будут отличаться своими технологическими парадигмами (в нашем случае – в АПК).

По итогам разработки классификаций и типажей машин и технологий эксперты должны представить в интересах пользователей системы машин анализ состояния и направлений НТП в АПК (вторая функция системы).

Обеспечение совместимости и возможности сетевого подключения сельхозмашин отражает третью функцию системы машин. Совместимость должна быть физической, цифровой (включая сетевую), межбрендовой. Выполнение данной функции требует организации сотрудничества между производителями сельхозтехники, в том числе разных стран, на основе принятия стандартов (например, ISO 11783, известного как ISOBUS). Благодаря совместимости и сетевому подключению машины могут взаимодействовать друг с другом в ходе выполнения необходимых технологических операций.

Наконец, функция технико-экономического моделирования различных вариантов технологической реализации конкретного проекта в растениеводстве или животноводстве (например, возделывания определенной культуры на том или ином поле) позволит хозяйствам использовать систему машин в их практической деятельности. Тем самым хозяйства будут осведомлены о достижениях НТП в АПК и смогут более эффективно применить их на практике.

Изложенные функции системы машин обеспечивают достижение ее главной цели – содействие НТП в АПК. Выбор данной цели, как всякий выбор, является субъективным и отражает ценности выбирающего субъекта. На наш взгляд, в основе системы машин должна лежать идея совершенствования/эволюции технических систем. Такой подход соответствует теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), опирающиеся на законы развития техники [11]. Можно также сослаться на японскую философию и практику кайдзен (постоянное улучшение), используемую во многих компаниях, таких как Toyota.

Разработчики системы машин могут также применить подход стратегического менеджмента для разработки миссии, стратегического видения и ценностей системы машин. Такие формулировки в отношении технического оснащения сельского хозяйства России приведены в статье [12]. Вследствие этого в качестве ценностей системы машин могут использоваться понятия продовольственной безопасности, конкурентоспособности отечественной сельхозтехники и др.

Система машин должна как способствовать НТП, так и отражать его. На современном этапе технического развития речь идет о создании роботизированных, интеллектуальных машин, способных самостоятельно взаимодействовать друг с другом в ходе выполнения технологических операций. Ключевыми концепциями при этом становятся киберфизическая система и интернет вещей.

Если раньше до возникновения точного земледелия сельхозмашина представляла собой физическую систему, то приход точного (цифрового) сельского хозяйства привел к развитию киберфизических систем в АПК, когда к физическим процессам машины добавились информационные потоки [13]. Скажем, в ЕС 70...80 % всех продаваемых новых сельхозмашин содержат тот или иной компонент точного сельского хозяйства (<https://cordis.europa.eu/article/id/400295-precision-farming-sowing-the-seeds-of-a-new-agricultural-revolution>). В свою очередь, в результате соединения множества технических средств посредством компьютерной сети был создан интернет вещей, в том числе в сегменте сельскохозяйственных технологий [14]. Появилось понятие подключенного сельского хозяйства (connected agriculture), умных подключенных продуктов [15]. Современная сельхозтехника представлена киберфизическими системами, которые с целью реализации того или иного проекта в растениеводстве или животноводстве соединены в рамках интернета вещей. Это приводит к огромному массиву собираемых данных. По оценкам экспертов, на каждое хозяйство в 2014 году приходилось в среднем 190 тыс. произведенных точек данных в день, а к 2050 году, как ожидается, каждое хозяйство будет генерировать около 4,1 млн точек данных ежедневно (<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/03/16/a-roadmap-for-building-the-digital-future-of-food-and-agriculture>).

Опираясь на концепцию интернета вещей, ряд авторов выдвигают идею о смене парадигмы инженерной разработки технических систем. Так, во-первых, проектирование любого технического средства должно исходить из начального условия, что данное средство будет частью интернета вещей. Во-вторых, объединение технических устройств в интернет вещей позволит в режиме реального времени получать данные об их работе и благодаря этому проектировать более совершенные системы [16].

Указанное изменение инженерной парадигмы выражено в выделении отдельной функции системы машин (в списке функций она третья).

Заинтересованными сторонами разработки системы машин выступают:

производители и покупатели сельхозтехники, которые заинтересованы в наличии конкурентоспособных сельхозмашин, отвечающих современным требованиям НТП, включая необходимость обеспечения совместимости и сетевого подключения;

хозяйства, осуществляющие сельскохозяйственную деятельность, которые получают возможность технико-экономического моделирования различных вариантов технологической реализации их конкретных проектов;

представители государства, которые разрабатывают и реализуют государственную политику в области развития и поддержки сельского хозяйства и которые заинтересованы в содействии НТП в АПК;

группа экспертов – сообщество специалистов, которые обладают соответствующими профессиональными знаниями и непосредственно участвуют в разработке системы машин. Как правило, эксперты являются представителями заинтересованных научных, образовательных, коммерческих и других организаций.

Идеологом, инициатором или заказчиком разработки системы машин может быть группа лиц, предприятий или ведомств из приведенного списка заинтересованных сторон. Существует также возможность учреждения отдельной организации, которая будет обладать правами собственности на систему машин и взимать плату со своих клиентов за пользование данным продуктом интеллектуальной собственности. Непосредственные бенефициары (пользователи) системы машин – производители и покупатели сельхозтехники.

Как информационный продукт система машин разрабатывается экспертами. Внешнюю среду системы машин составляют первые три группы представленных выше заинтересованных сторон, главные из которых – это пользователи системы машин.

Для представления архитектуры системы машин будем использовать объектно-процессуальную методологию концептуального моделирования систем (Object-Process Methodology, OPM) [17].

Под архитектурой системы машин будем понимать сочетание структуры системы машин и деятельности экспертов по разработке системы машин, которое обеспечивает выполнение системой машин своих функций. Определение понятия архитектуры системы заимствовано из объектно-процессуальной методологии и адаптировано к специфике системы машин [17].

Структура системы машин представляет собой форму системы – статический, независимый от времени аспект системы. По своей структуре система машин содержит физическую составляющую (группу экспертов) и концептуальную (информационный продукт). Физическая компонента демонстрирует поведение, а концептуальная выражает определенный смысл [12, 17].

Поведение, демонстрируемое физической компонентой, заключается в целенаправленной деятельности экспертов, разрабатывающих систему машин. Деятельность экспертов отражает динамический, зависимый от времени аспект системы и состоит из конкретных процессов, представленных ниже.

Общий смысл системы машин как информационного продукта состоит в том, что она выражает суждение группы экспертов о состоянии НТП в АПК по группам машин и технологий и позволяет использовать данную информацию в практических целях.

На рис. 1 изображена объектно-процессуальная диаграмма (Object-Process Diagram, OPD) архитектуры системы машин. Преимуществом объектно-процессуальной методологии (Object-Process Methodology, OPM) для концептуального моделирования систем является одновременное использование формализованного графического и текстового представлений модели. При этом между визуальным и языковым представлениями имеется взаимно однозначное соответствие, что приводит к одинаковому пониманию модели разными специалистами, владеющими методологией OPM. Текстовое описание моделируемых систем производится с помощью объектно-процессуального языка (Object-Process Language, OPL), в основе которого лежит английский

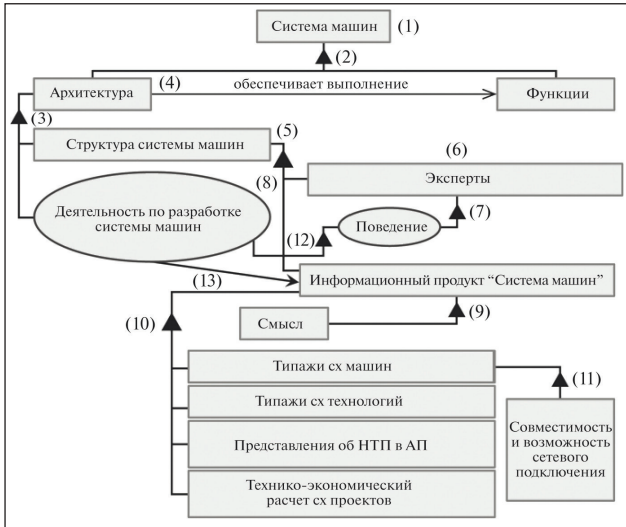


Рис. 1. Объектно-процессуальная диаграмма архитектуры системы машин.

язык. Для создания диаграмм OPD и соответствующего описания OPL используется специальная компьютерная программа OPCAT.

Прямоугольники на диаграмме OPD обозначают объекты, эллипсы – процессы, а связи между ними представлены стрелками. Методология OPM изложена в работе ее автора [17] и международном стандарте ISO 19450:2024.

Текст OPL для пояснения рис. 1 следующий (номера в скобках указывают на порядковое обозначение на диаграмме):

Система машин является физическим объектом (1). Система машин характеризуется (обладает) Функциями и Архитектурой (2). Архитектура характеризуется (обладает) Структурой системы машин и Деятельностью по разработке системы машин (3). Архитектура обеспечивает выполнение Функций (4). Структура системы машин состоит из Экспертов и Информационного продукта «Система машин» (5). Эксперты являются физическим объектом (6). Эксперты характеризуются (обладают) Поведением (7). Эксперты осуществляют Деятельность по разработке системы машин (8). Информационный продукт «Система машин» характеризуется (обладает) Смыслом (9). Информационный продукт «Система машин» состоит из Типажей сельскохозяйственных машин, Типажей сельскохозяйственных технологий, Представлений об НТП в АПК и Техничко-экономического расчета сельскохозяйственного проекта (10). Типажи сельскохозяйственных машин характеризуются (обладают) Совместимостью и возможностью сетевого под-

ключения и по меньшей мере еще одной характеристикой (11). Деятельность по разработке системы машин – это Поведение (12). Деятельность по разработке системы машин приводит к созданию Информационного продукта «Система машин» (13).

Важной категорией является типаж машин. Объектно-процессуальная диаграмма разработки типажей сельхозмашин представлена на рис. 2. Ввиду происходящей в настоящее время цифровизации сельского хозяйства в диаграмме машины рассматриваются в качестве киберфизических систем.

В основе разработанной концептуальной схемы лежат следующие положения. Для разработки типажей машин эксперты выполняют три процесса применительно к данным киберфизическим системам: 1) классификация; 2) определение характеристик технических средств (функциональных, нефункциональных, типоразмерного ряда); 3) экспертная оценка их нефункциональных характеристик с учетом характеристик типоразмерного ряда, в результате которой формируется типаж соответствующей категории машин.

Классификацию машин необходимо производить с той степенью детализации, чтобы в итоге выйти на конечные категории машин, для которых предполагается разработка типажа.

Например, все машины можно разделить на следующие группы: мобильные энергетические средства; почвообрабатывающие машины; посевные и посадочные машины; машины для ухода за растениями; уборочные машины; машины для послеуборочной обработки; ...; общие технические средства для реализации цифрового сельского хозяйства (инфраструктура: облачные вычисления, оборудование для интернета вещей, приемники спутниковой навигации и др.). Далее, например, почвообрабатывающие машины подразделяются на плуги, глубокорыхлители, бороны, культиваторы, луцильники, катки, фрезы, комбинированные машины и др. Наконец, бороны содержат конечные категории, для которых создаются типажи: бороны зубовые, бороны дисковые. Таким образом, типаж формируется для борон зубовых (дисковых), а не для борон в целом.

С целью получения типажей все характеристики машин делятся на функциональные, нефункциональные, характеристики типоразмерного ряда. Различение функциональных и нефункциональных характеристик или требований является частью системной инженерии [18].

Функциональные характеристики описывают функции машины (что машина делает), а нефункциональные характеристики – как хорошо машина выполняет эти свои функции (в контексте инженерного проектирования оба вида характеристик называются требованиями [19]). Характеристики типоразмерного ряда задают масштабирование машины от ее мало- до крупногабаритных вариантов.

Под типажом той или иной категории сельскохозяйственных машин будем понимать экспертную оценку ее функциональных и нефункциональных характеристик, которая с учетом характеристик ее типоразмерного ряда соответствует приемлемому достигнутому уровню НТП в ее производстве. Возможно формировать текущий или перспективный типаж. В первом случае речь идет о соответствии экспертных оценок текущему состоянию прогресса, а во втором – предполагаемому будущему (например, на 5 лет).

Функции сельхозмашины предполагаются относительно постоянными во времени. При возникновении новой функции, что указывает на НТП, целесообразно пересмотреть классификацию машин – посредством

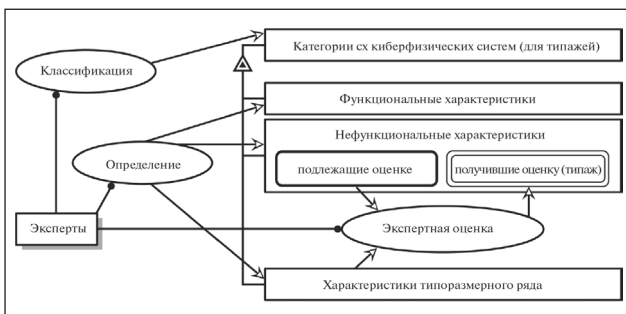


Рис. 2. Объектно-процессуальная диаграмма разработки типажей сельскохозяйственных машин.

Виды нефункциональных характеристик сельскохозяйственной техники

Нефункциональные характеристики	Примеры показателей
Производительность	Обрабатываемая площадь в единицу времени
Качество выполнения технологических операций	Степень крошения почвенного пласта, равномерность обработки почвы по глубине, гребнистость поверхности почвы, степень заделки пожнивных остатков и др. (для обработки почвы)
Надежность	Наработка на отказ
Эффективность использования ресурсов	Материалоемкость, расход топлива
Почвенно-климатические ограничения	Ограничения по использованию техники в тех или иных агротехнических зонах
Экологическая безопасность	Предельное значение давления техники на почву
Совместимость (физическая, цифровая, межбрендовая) и возможность сетевого подключения	Соответствие международному стандарту ISO 11783 (ISOBUS)
Информационная безопасность	Соответствие международному стандарту по информационной безопасности ISO/IEC 27001
Простота управления	Виды автоматизации управления: ручное управление, полуавтомат, полный автомат
Ценовая доступность	Необходима разработка показателей, наподобие индекса доступности жилья, или проведение специальных исследований по ценовой доступности сельхозтехники, таких как [20]

Данный перечень является примерным. Эксперты определяют его исчерпывающий состав и соответствующие показатели для той или иной категории сельхозтехники.

включения в нее новой категории машин, введения понятия поколений машин. Например, при появлении функции автопилота, которым оснащается трактор, нужно ввести новую категорию машин (система автоматического вождения), и уже для нее разрабатывать типаж.

Тем не менее, при создании типажа необходимо привести перечень всех функций соответствующей категории машин, и все данные функции должны опосредованно получить свое отражение в типаже. Например, нефункциональная характеристика по качеству работы машины должна отражать качество выполнения каждой функции машины, и, соответственно, типаж должен включать в себя необходимый уровень качества для каждой функции согласно текущему состоянию НТП.

Примерный перечень видов нефункциональных характеристик сельхозтехники приведен в таблице. На языке ТРИЗ нефункциональные характеристики используются для описания идеального конечного результата для соответствующей категории сельхозмашин [11]. Иными словами, с их помощью выражается понятие технического совершенства.

При разработке типажей необходимо также учитывать возможное влияние характеристик типоразмерного ряда сельхозмашин на нефункциональные характеристики. Например, размеры машины в пределах типоразмерного ряда напрямую влияют на производительность. То же касается давления машины на почву (экологи-

ческая безопасность). В свою очередь, совместимость (за исключением агрегатирования) и возможность сетевого подключения, информационная безопасность, простота управления от типоразмерного ряда не зависят. В конечном счете типаж должен быть представлен таким образом, чтобы в нем отражались требования/достижения НТП в рамках типоразмерного ряда соответствующей категории машин.

Типажи сельскохозяйственных технологий формируются аналогично типажам машин. Под типажом того или иного вида сельскохозяйственных технологий будем понимать совокупность экспертных оценок значений его нефункциональных характеристик, которые делаются группой специалистов и соответствуют приемлемому достигнутому уровню НТП в области данных технологий.

Нефункциональные характеристики технологий соответствуют элементам идеального конечного результата сельского хозяйства и выражают степень технологического совершенства [21]. К таким характеристикам относятся: урожайность (продуктивность), качество сельскохозяйственной продукции, ценовая доступность продовольствия, эффективность использования ресурсов, эффективность уборки, сохранение урожая, реализация самоисполнения, безопасность продовольствия для здоровья людей, экологическая безопасность, почвенно-климатические и погодные ограничения и др.

Технологии так же, как и машины, подлежат классификации. Верхним уровнем может послужить традиционное разделение технологий по назначению: обработка почвы, посев/посадка, уход за растениями, уборка, послеуборочная обработка и др. [7]. Дальнейшая разбивка данных групп может содержать виды сельхозкультур. Подобно машинам, классификацию технологий нужно осуществлять до уровня, для которого предусмотрена разработка типажа.

Для реализации возможности технико-экономического моделирования использования альтернативных технологий при выполнении конкретного сельскохозяйственного проекта требуется проведение отдельного исследования. В мировой научной литературе прецеденты разработки указанного инструментария имеются. Можно сослаться на имитационную модель на основе математического метода Монте-Карло «FARMSIM», которая, в частности, дает для хозяйства прогнозную (*ex-ante*) оценку экономического эффекта от применения тех или иных альтернативных технологий в рамках планируемого проекта в растениеводстве или животноводстве [22].

Попытка получить решение на основе технико-экономического планирования сельскохозяйственной деятельности осуществляется и в отечественных исследованиях. На данный момент реализована возможность подбора вариантов агротехнологии с использованием компьютерной программы [23].

Создание такого инструмента моделирования в рамках системы машин позволит сделать ее привлекательной и практичной для хозяйств в планировании их сельскохозяйственной деятельности.

Представленное видение системы машин может быть расширено и уточнено. Например, можно дополнительно указать, что изучение экспертами состояния НТП в АПК и последующая разработка типажей должны включать регулярный анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы, в том числе протоколов испытаний сельхозтехники. Для решения данных задач также возможно проведение собственных полевых исследований.

Выводы. Представленная концепция системы машин может быть использована в качестве аналитического инструмента для содействия НТП в любой отрасли экономики. Ее можно также применять для анализа эволюции технических систем с учетом уровня и состояния техники и технологий в исследуемых исторических периодах.

Центральным понятием системы машин является научно-технический прогресс: система машин должна одновременно способствовать прогрессу в агропромышленном комплексе (АПК) и отражать его.

Структура системы машин представляет собой совокупность типажов технических средств. Типажи выражают приемлемое достигнутое их техническое совершенство. В основе формирования типажа лежит экспертная оценка функциональных и нефункциональных характеристик определенной группы машин, которая соответствует современному состоянию НТП.

Архитектура системы машин – это сочетание структуры системы машин и деятельности экспертов по разработке системы машин, которое обеспечивает выполнение системой машин своих функций.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование финансировалось за счет бюджетных средств ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература.

1. Елизаров В. П., Бейлис В. М. Разработка системы машин и технологий // ВИМ: история механизации (1930–2005 гг.) / состав. В. И. Анискин, Г. Н. Губанов, М.: «Издательство ВИМ», 2005. С. 110–133.
2. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Растениеводство / Ю. Ф. Лачуга, И. В. Горбачев, А. А. Ежевский и др. М.: ВИМ, 2012. Т. 1. 304 с.
3. Бейлис В. М., Московский М. Н., Лавров А. В. Система технологий и машин в современных условиях // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 70–72.
4. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С., Бейлис В. М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. № 12. С. 46–55.
5. Развитие системы машин – путь технического прогресса в сельскохозяйственном производстве / В. П. Елизаров, В. Г. Шевцов, В. М. Бейлис и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 6. С. 14–19.
6. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 4. С. 4–12.
7. Ценч Ю. С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 4–13.
8. Лобачевский Я. П., Бейлис В. М., Ценч Ю. С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3(36). С. 40–45.
9. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, В. М. Бейлис и др. // Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: ВИМ, 2019. Ч. 1. 228 с.
10. Коротченя В. М. История технологического развития сельского хозяйства (растениеводства) // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 7. С. 28–33.
11. Коротченя В. М. Стратегические основы догоняющего развития технического обеспечения сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. 2021. № 2. С. 9–17.
12. Nardelli P. H. J. Cyber-Physical Systems: Theory, Methodology, and Applications. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2022. 271 p.
13. Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming / A. Castrignanò, G. Buttafuoco, R. Khosla, et al. London: Academic Press, 2020. 459 p.
14. Porter M. E., Heppelmann J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition // Harvard Business Review. 2014. Vol. 92, No. 11. P. 64–88.
15. Hajjaj S. S. H., Gsangaya K. R. The Internet of Mechanical Things: The IoT Framework for Mechanical Engineers. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2022. 225 p.
16. Dori D. Model-Based Systems Engineering with OPM and SysML. New York: Springer, 2016. 411 p.
17. Dickerson C. E., Ji S. Essential Architecture and Principles of Systems Engineering. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2022. 238.
18. Boehm B., Kukreja N. An Initial Ontology for System Qualities // Insight. 2017. Vol. 20. No. 3. P. 18–28.
19. Shockley J. M., Dillon C. R., Shearer S. A. An economic feasibility assessment of autonomous field machinery in grain crop production // Precision Agriculture. 2019. Vol. 20. P. 1068–1085.
20. Коротченя В. М. Научные подходы к стратегии комплексного развития сельскохозяйственных технологий // АПК: экономика, управление. 2021. № 8. С. 44–51.
21. Bizimana J.-C., Richardson J. W. Agricultural technology assessment for smallholder farms: An analysis using a farm simulation model (FARMSIM) // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 156. P. 406–425.
22. Альт В. В., Исакова С. П. Планирование производства продукции растениеводства с применением цифровых технологий // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 3. С. 12–19.

Поступила в редакцию 27.06.2024
После доработки 15.07.2024
Принята к публикации 06.08.2024