

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.532.2:631.331

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-4-10



Разработка концептуальной технико-технологической модели машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля

Алексей Семенович Дорохов, академик РАН, д-р техн. наук

dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018

Алексей Викторович Сибирёв, д-р техн. наук

sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; ResearcherID: M-6230-2016

Александр Геннадьевич Аксенов, д-р техн. наук

1053vim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>; ResearcherID: V-5572-2017

Максим Александрович Мосяков[✉], канд. техн. наук

Maks.Mosyakov@yandex.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; ResearcherID: A-8482-2019

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Аннотация. Оптимальный вариант технологии машинного производства овощных культур, учитывающий экономические аспекты, определяется при всестороннем подборе операций процесса с использованием машинных комплексов хозяйства и наличии современных сортов и гибридов посадочного и посевного материала. Концептуальная технико-технологическая модель машинного производства лука, моркови и столовой свеклы позволит в долгосрочной перспективе развивать отрасль овощеводства и картофелеводства с учетом современных технологий возделывания культур, управления машинно-технологическими комплексами и повышения качества принимаемых технологических и производственных решений при машинном производстве овощей. Разработанная модель включает в себя структурные единицы (сорта, средства защиты, машинно-технологические комплексы), ресурсы (наличие семенного материала, машинно-технологических комплексов производства и севооборота), процессы и показатели качества работы. Модель учитывает совокупность элементов технологического способа получения продукции посредством транспортных, передаточных, диагностических и информационных средств. Представленная модель учитывает процессы производства (очередность, сроки реализации, организацию формы выполнения механизированных работ); требования к материальным, финансовым, трудовым и техническим ресурсам; документацию для каждого этапа работ операций и показатели качества, определяющие результаты работы каждого этапа. Функция машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля, представленная графом, определяет эффективность оптимального варианта машинного производства овощей и оценочную функцию технической характеристики машинного производства овощных культур и картофеля.

Ключевые слова: технологии машинного производства овощных культур, концептуальная технико-технологическая модель машинного производства, модель машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля

Формат цитирования: Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Разработка концептуальной технико-технологической модели машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 1. С. 4-10. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-4-10.

© Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., 2023

ORIGINAL PAPER

Developing a conceptual technological model of the commercial production of onions, carrots, beetroots, and potatoes

Aleksei S. Dorokhov, RAS Corresponding Member, DSc (Eng)

dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018

Alexey V. Sibirev, DSc (Eng)

sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; ResearcherID: M-6230-2016

Aleksandr G. Aksenov, CSc (Eng), Lead Research Engineer

1053vim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>; ResearcherID: V-5572-2017

Maksim A. Mosyakov, CSc (Eng), Senior Research Engineer

Maks.Mosyakov@yandex.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; ResearcherID: A-8482-2019

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 1-st Institutsky Proezd, Building 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract. The optimal technological variant for the production of vegetable crops can be determined, taking into account economic aspects. This variant presumes comprehensive selection of process operations using available machine systems and modern varieties and hybrids of planting material. To solve the development problems of the vegetable and potato growing industry in the long term, taking into account modern technologies for growing crops, managing machine-technological systems and improving the quality of technological and production decisions made in the machine production of vegetables, the authors have developed a conceptual technical and technological model for the machine production of onions, carrots and beetroots. The offered model includes structural units (varieties, means of protection, machine-technological systems), resources (availability of seed material, machine-technological systems of crop production and crop rotation), processes and performance indicators. The model takes into account the set of elements of the technological method for obtaining products by means of transport, transmission, diagnostic and information means, organized into integral technological systems of production subdivisions. The developed model will take into account a number of factors: the implementation of production processes (sequence, timing of implementation, and the type of performed mechanized operations); requirements for material, financial, labor and technical resources; documentation for each stage of operations and quality indicators that determine the performance results at each stage. The obtained function of the commercial production of onions, carrots, beetroots, and potatoes, presented by the graph, will help determine the efficiency and the evaluation of the optimal technical characteristics.

Keywords: technology for machine production of vegetable crops, conceptual technological model for machine production of onions, carrots, table beetroots, and potatoes, machine production model, machine production model for onions, carrots, beetroots, and potatoes

For citation: Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Developing a conceptual technological model of the commercial production of onions, carrots, beetroots, and potatoes. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(1):4-10. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-4-10>.

Введение. Основными функциями интеллектуально-го комплекса машин для производства овощных культур являются контроль и управление. Обеспечение контроля осуществляется созданием информационной модели производства овощных культур и функционального состояния машин.

Оптимальное решение определенной операции технологического производства овощных культур определяется совокупностью полноты информации исследуемого процесса.

Технологические и эксплуатационные показатели машин оказывают определяющее влияние на показатели эффективности производства и качество выполнения операций. Информация о свойствах материала, взаимодействующего с исполнительными элементами машинно-технологических комплексов, и об их параметрах обеспечит возможность повышения производительности и снижения себестоимости производства овощных культур. Однако увеличение базы знаний не является показателем и гарантией повышения качества принимаемых решений – как технологических, так и производственных.

Цель исследований: разработка концептуальной технико-технологической модели и структуры машинного производства овощных культур и картофеля.

Материалы и методы. Для создания инструмента принятия решений необходимо определить общую

классификацию объектов управления машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля, представленную в виде групп конструктивных элементов: единиц, ресурсов, процессов и показателей [1]. Данные элементы, учитываемые как в процессе, так и при контроле, необходимо использовать при разработке системы учета.

Результаты и их обсуждение. Концептуальная технико-технологическая модель машинного производства лука, моркови и столовой свеклы представлена в виде блок-схемы (рис. 1).

Упорядочение функций управления при машинном производстве овощных культур и картофеля позволяет учитывать выполнение процессов производства (очередность, сроки реализации, организацию формы выполнения механизированных работ); требования к материальным, финансовым, трудовым и техническим ресурсам; документацию для каждого этапа операций; показатели качества, определяющие результаты работы каждого этапа.

Концептуальная технико-технологическая модель машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля включает в себя:

– структурные единицы (сорта и гибриды лука, моркови, столовой свеклы и картофеля; средства их защиты; машинно-технологические комплексы);

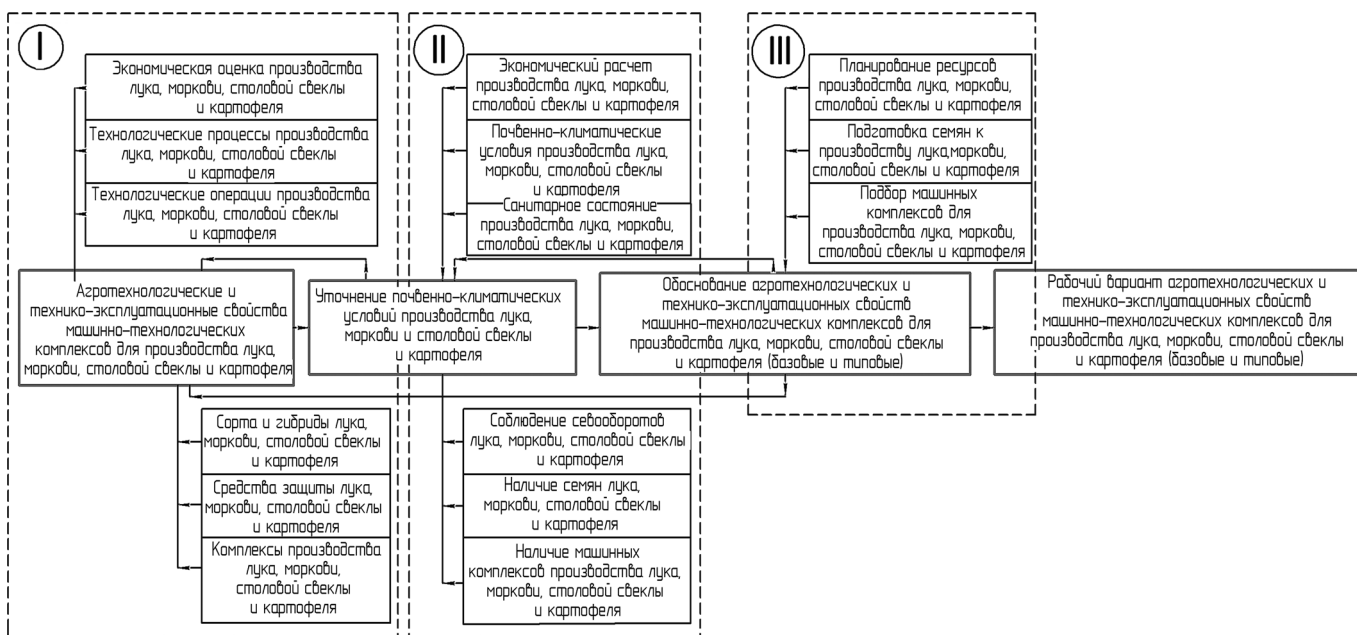


Рис. 1. Концептуальная технико-технологическая модель машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля

Fig 1. General conceptual technological model for the commercial production of onions, carrots, beetroots, and potatoes

– ресурсы (наличие семенного материала лука, моркови, столовой свеклы и картофеля; соблюдение севооборотов при производстве овощных культур и картофеля; наличие машинно-технологических комплексов производства);

– процессы производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля машинно-технологическими комплексами);

– показатели качества работы при производстве лука, моркови, столовой свеклы и картофеля машинно-технологическими комплексами.

При разработке концептуальной технико-технологической модели необходимы сопоставительные данные по техническим характеристикам комплексов машин как отечественного, так и зарубежного производства. Следует учитывать возможность агрегатирования машинно-технологических комплексов с энергетическим средством, качественные показатели выполнения технологического процесса, сведения о видах технического обслуживания (ТО), порядке выполнения операций ТО, способе регулировки и устранения неисправностей. Также необходимо учитывать большое разнообразие операций и видов технического обслуживания по отдельному машинно-технологическому комплексу машин для производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля¹ [2-3].

Технологическая составляющая модели машинного производства овощных культур представляет собой

совокупность способов и приемов взаимодействия функционирующих элементов комплексов машин с обрабатываемым материалом и получения готовой продукции. Кроме того, данная составляющая учитывает технологические операции по возделыванию, уборке, переработке и транспортированию товарной продукции к потребителю.

Технологии машинного производства овощных культур и картофеля включают в себя ряд операций [4, 5]:

1. Подготовка почвы (вспашка; фрезерование + выравнивание).
2. Подготовка посевного материала (инкрустация и дражирование семян).
3. Транспортировка посевного материала (загрузка в транспортное средство семян и удобрений; транспортировка к месту посева семян и удобрений).
4. Посев (загрузка сеялки; посев + внесение удобрений).
5. Орошение (укладка капельной ленты и трубопровода).
6. Уход за посевами (применение средств защиты растений).
7. Уборка (смотка капельной ленты; обрезка листьев лука и сорняков; подкапывание лука и укладка его в валок; подбор из валков и погрузка в ТС; транспортировка к месту хранения).
8. Послеуборочная доработка (отделение примесей, обрезка листьев, сортировка по фракциям; закладка на хранение).

Система S интеллектуального машинного производства овощных культур представляет собой систему элементов, отраженных на рисунке 2.

¹ Лобачевский Я.П. Машинная технология производства лука / Я.П. Лобачевский, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.

Совокупность указанных параметров представляет собой описание подпроцессов исследуемого технологического процесса производства овощных культур и картофеля. Построив блочную модель, можно перейти к математическому описанию процессов, происходящих в различных блоках.

Концептуальная модель машинного производства овощных культур и картофеля преобразуется в логическую модель путем определения набора соотношений между сущностями (понятиями) и атрибутами (свойствами).

Для объекта «Машинно-технологический комплекс – Овощные культуры и картофель» логическая модель машинного производства овощных культур и картофеля включает в себя [6-8]:

– оценку влияния агротехнических приемов возделывания овощных культур (лука, моркови, столовой свеклы и картофеля) [9-11];

– разработку методик сбора и обработки информации, необходимой для эффективного планирования и реализации системы защиты овощных культур и картофеля (рис. 3).

Исходные данные для технико-технологической модели интеллектуального машинного производства овощных культур должны содержать описание временных диаграмм выполнения отдельных технологических операций технологического процесса, а также информацию о распределении машин, рабочих органов, систем управления по операциям и длительности выполнения операций технологического

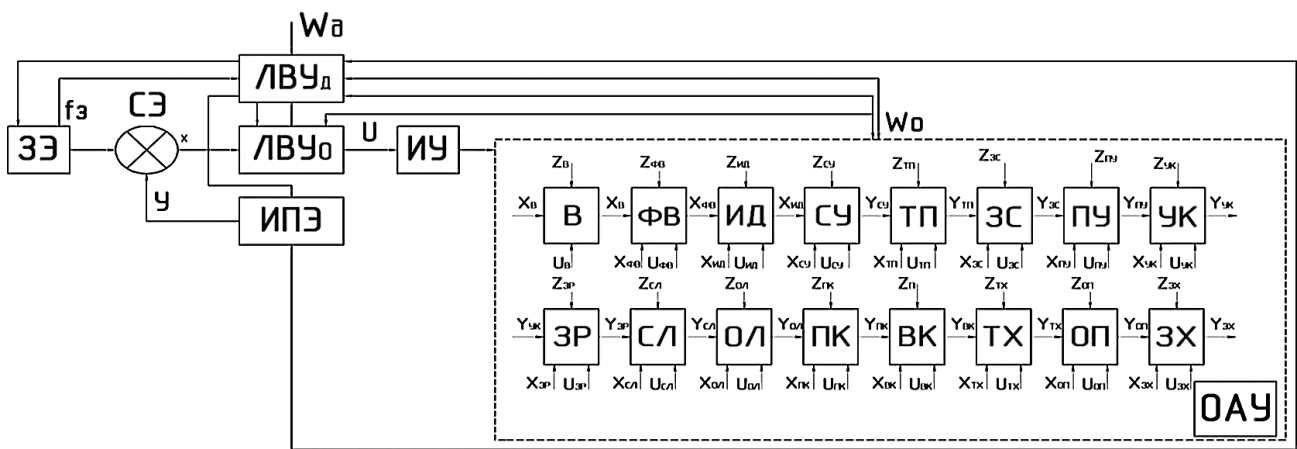


Рис. 2. Концептуальная технико-технологическая модель машинного производства овощных культур и картофеля:

- ЗЭ – задающий элемент; СЭ – сравнивающий элемент; ЛВУ – логически-вычислительные устройства (основное и дополнительное); ИУ – исполнительное устройство; ОАУ – объект автоматического управления;
- ИПЭ – измерительно-преобразовательный элемент; В – вспашка; ФВ – фрезерование + выравнивание;
- ИД – инкрустация и дражирование семян; СУ – загрузка в транспортное средство семян и удобрений;
- ТП – транспортировка к месту посева семян и удобрений; ЗС – загрузка сеялки; ПУ – посев + внесение удобрений;
- К – укладка капельной ленты и трубопровода; ЗР – применение средств защиты растений; СЛ – смотка капельной ленты;
- ОЛ – обрезка листьев лука и сорняков; ПК – подкапывание корнеплодов и укладка его в валок;
- ВК – подбор из валков и погрузка в транспортное средство; ТХ – транспортировка к месту хранения;
- ОП – отделение примесей, обрезка листьев, сортировка по фракциям; ЗХ – закладка на хранение;
- Хв, Хфв, Хид, Хсу, Хтп, Хзс, Хпу, Хук, Хзр, Хсл, Хол, Хпк, Хвк, Хтх, Хоп, Хзх – функции внешнего воздействия на технологические процессы (В, ФВ, ИД, СУ, ТП, ЗС, ПУ, УК, ЗР, СЛ, ОЛ, ПК, ВК, ТХ, ОП, ЗХ);
- Зв, Зфв, Зид, Зсу, Зтп, Ззс, Зпу, Зук, Ззр, Зсл, Зол, Зпк, Звк, Зтх, Зоп, Ззх – функции состояния перечисленных технологических процессов;
- Ув, Уфв, Уид, Усу, Утп, Узс, Упу, Уук, Узр, Усл, Уол, Упк, Увк, Утх, Уоп, Узх – функции управляющего воздействия перечисленных технологических процессов;
- Ув, Уфв, Уид, Усу, Утп, Узс, Упу, Уук, Узр, Усл, Уол, Упк, Увк, Утх, Уоп, Узх – результирующие параметры перечисленных технологических процессов

Fig. 2. Conceptual technological model of machine production of vegetable crops and potatoes:

- ЗЭ – master element; СЭ – comparing element; ЛВУ – logical computing devices – main and additional;
- ИУ – executive device; ОАУ – automatic control object; ИПЭ – measuring and converting element; В – plowing;
- ФВ – rotary tillage + leveling; ИД – seed encrustation and pelleting; СУ – loading seeds and fertilizers into the vehicle;
- ТП – transportation to the place of sowing and introducing fertilizers; ЗС – seeder feeding; ПУ – sowing + fertilizing;
- УК – laying drip tape and pipeline; ЗР – use of plant protection products; СЛ – drip tape coiling; ОЛ – pruning onion leaves and weeds;
- ПК – digging up root crops and swath making; ВК – picking up from swaths and loading into the vehicle;
- ТХ – transportation to the place of storage; ОП – separating impurities, pruning leaves, sorting by fractions; ЗХ – bookmark for storage;
- Хв, Хфв, Хид, Хсу, Хтп, Хзс, Хпу, Хук, Хзр, Хсл, Хол, Хпк, Хвк, Хтх, Хоп, Хзх – functions of external influence on technological processes;
- Зв, Зфв, Зид, Зсу, Зтп, Ззс, Зпу, Зук, Ззр, Зсл, Зол, Зпк, Звк, Зтх, Зоп, Ззх – functions of the state of technological processes;
- Ув, Уфв, Уид, Усу, Утп, Узс, Упу, Уук, Узр, Усл, Уол, Упк, Увк, Утх, Уоп, Узх – functions of the control action of technological processes;
- Ув, Уфв, Уид, Усу, Утп, Узс, Упу, Уук, Узр, Усл, Уол, Упк, Увк, Утх, Уоп, Узх – the resulting parameters of technological processes

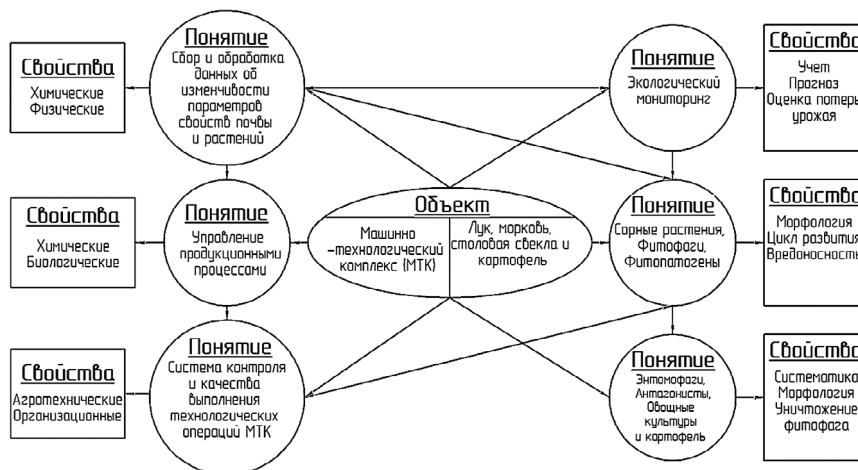


Рис. 3. Логическая технико-технологическая модель машинного производства овощных культур для объекта «Машинно-технологический комплекс – Овощные культуры и картофель»

Fig. 3. Logical technological model of machine production of vegetable crops for the control object “Machine and technological system – Vegetable crops and potatoes”

процесса производства овощных культур и картофеля [12-14].

Матрицу Q, описывающую распределение машин, рабочих органов, систем управления по операциям, можно представить в виде [11]:

$$Q = \begin{vmatrix} q_{11} & q_{1i} & q_{1ni} \\ q_{ji} & q_{ji} & q_{jnj} \\ q_{mi} & q_{mi} & q_{mmm} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где i – текущий код операции; j – код технологического процесса; n_j – число фаз в j-м технологическом процессе; m – число технологических операций; q_{ji} – шифр технологического комплекса машин, реализующего в j-м технологическом процессе i-ю операцию.

Длительность выполнения операций технологического процесса производства овощных культур и картофеля представлено как

$$T = \begin{vmatrix} t_{11} & t_{1i} & t_{1ni} \\ t_{ji} & t_{ji} & t_{jnj} \\ t_{mi} & t_{mi} & t_{mmm} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где t_{ji} – время реализации i-й операции.

Описание последовательности классов внешних воздействий, поступающих на вход технологического комплекса машин, может быть представлено в детерминированной и вероятностной формах [1]:

$$\begin{cases} \bar{I}_d = \{u_1, u_f, u_m\}, \\ \bar{I}_p = \{u_{p1}, u_{p1}, u_{pk}\}, \end{cases} \quad (3)$$

где f – порядковый номер класса внешних воздействий в общем потоке; u_f – тип внешнего воздействия, которому соответствуют определенная диаграмма или технологический процесс, представленный строкой в Q- и T-матрицах; m – количество внешних воздействий; u_p – частотный показатель типов внешних воздействий, характеризующий содержание отдельных типов в общем потоке; k – количество типов внешних воздействий.

Для формализованного описания технологического процесса производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля определим графы структуры системы, представленной на рисунке 4, в виде выражения:

$$\{Q_{i1}^2, Q_{i2}^2, Q_{i3}^2, Q_{i4}^2, Q_{i5}^2, Q_{ik}^n\}, \quad (4)$$

где Q_{ik}ⁿ – подсистема n-го уровня машинного производства лука, моркови и столовой свеклы.

Характеристики технологического процесса машинного производства овощных культур и картофеля представим в виде логической структуры технико-технологической модели машинного производств (рис. 4).

Функция машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля заключается в преобразовании исходного материала (семян овощных культур) в товарную продукцию и представлена как

$$Q : K \cap Q \cdot K_k, \quad (5)$$

где Q – матрица, описывающая распределение машин, рабочих органов, систем управления по операциям; K – множество параметров качества машинного производства овощных

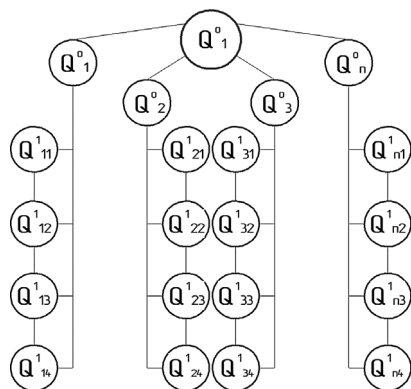


Рис. 4. Логическая структура технико-технологической модели машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля

Fig. 4. Logical structure of the technological model for the machine production of onions, carrots, beetroots and potatoes

культур, шт.; K_x – множество параметров типов внешних воздействий машинного производства овощных культур, шт.

В этом случае исходное и конечное состояние машинного производства овощных культур определяется множеством параметров качества: физико-механическими свойствами материала, взаимодействующего с рабочими органами машинно-технологических комплексов; почвенно-климатическими условиями; качественными показателями работы машинно-технологических комплексов; эксплуатационно-технологическими показателями машинно-технологических комплексов; конфигурацией обрабатываемого участка и т.д.

Выводы

Разработанная общая концептуальная технико-технологическая модель машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля, учитывающая

совокупность элементов технологического способа получения продукции (выполнение работ) посредством транспортных, передаточных, диагностических и информационных средств, организованных в технологические системы производственных подразделов выполнения технологического процесса, позволит определить эффективность того или иного варианта технологии машинного производства овощных культур.

Полученная функция машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля, представленная графом, позволяет определить эффективность оптимального варианта машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля, а также оценочную функцию технической характеристики машинного производства овощных культур и картофеля.

Список использованных источников

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В., Крючков В.А., Сазонов Н.В. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019 // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 28-40. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40>
2. Алдошин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ // Сборник докладов 1-й Международной научно-практической конференции «Горячинские чтения». 2013. С. 6-13. EDN: UNMDBP
3. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*. 2008;58(1):22-31. <https://doi.org/10.17221/708-rae>
4. Dongre A.U., Battase R., Dudhale S., Patil V.R., Chavan D. Development of potato harvesting model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017;4(10):1567-1570.
5. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. (Part I) *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012;18(2):304-314.
6. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. *Transactions of the CSAM*. 2017;48(11):146-155
7. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016;47(5):106-114.
8. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*. 1997;40(3-4):125-144. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01075-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01075-6)
9. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. Теоретические предпосылки повышения сепарирующей системы машины для уборки корнеплодов тепловой энергией системы отработавших газов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 1(61). С. 71-76. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-71-76>
10. Ларюшин Н.П., Кухарев О.Н., Кирюхина Т.А. Исходные положения при проектировании машин для уборки лука // Наука в центральной России. 2015. № 6(18). С. 48-58. EDN: VDRFPD
11. Калинин А.Б., Смелик В.А., Теплинский И.З., Первухина О.Н. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических

References

1. Izmaylov A.Y., Lobachevskiy Y.A., Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Kryuchkov V.A., Sazonov N.V. Modern agriculture technologies and equipment – trends of an AGRITECHNIKA 2019 exhibition. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020;87(6):28-40. (In Rus.) <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40>
2. Aldoshin N.V. Modelling the quality of mechanised operations. *Sb. dokladov 1-y Mezhduнародnoy nauch.-prakt. konferentsii "Goryachkinskie chteniya"*. 2013:6-13. (In Rus.)
3. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*. 2008;58(1):22-31. <https://doi.org/10.17221/708-rae>
4. Dongre A.U., Battase R., Dudhale S., Patil V.R., Chavan D. Development of potato harvesting model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017;4(10):1567-1570.
5. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. (Part I). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012;18(2):304-314.
6. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. *Transactions of the CSAM*. 2017;48(11):146-155.
7. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016;47(5):106-114.
8. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*. 1997;40(3-4):125-144. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01075-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01075-6)
9. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Theoretical background of increasing the separating system of a root harvesting machine with thermal energy of the exhaust gas system. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021;16(1):71-76. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-71-76> (In Rus.)
10. Laryushin N.P., Kuharev O.N., Kirjuhina T.A. Pre-requisites for designing onion harvesting machines. *Science in Central Russia*. 2015;6(18):48-58. (In Rus.)
11. Kalinin A.B., Smelik V.A., Teplinskiy I.Z., Pervukhina O.N. Choice and justification of ecological parameters in the agroecosystem for monitoring the technology of growing agricultural crops. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2015;39:315-319. (In Rus.)

процессов возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 315-319. EDN: UXWMTX

12. Ларюшин А.М. Качественные показатели выкапывающего устройства лукоборочной машины // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 3. С. 46-47. EDN: ISIFWN

13. Протасов А.А. Функциональный подход к созданию лукоборочной машины // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2011. № 2 (47). С. 37-43. EDN: RASTHN

14. Ларюшин Н.П., Ларюшин А.М. Энергосберегающая технология уборки лука // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 1. С. 55-56. EDN: KUBCXN

Вклад авторов

А.С. Дорохов – формулирование основной концепции исследования.

А.В. Сибирёв – разработка методологии исследования.

А.Г. Аксенов – табличное и графическое представление результатов, описание результатов и формирование выводов исследования.

М.А. Мосяков – подготовка начального варианта текста, формирование выводов, литературный и патентный анализ.

Авторы выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов подготовили рукопись. А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, М.А. Мосяков имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.06.2022; поступила после рецензирования и доработки 07.12.2022; принята к публикации 09.12.2022

12. Laryushin A.M. Qualitative indicators of the onion-harvesting machine digger. *Tractors and agricultural machinery*. 2008;3:46-47. (In Rus.)

13. Protasov A.A. Functional approach to onion harvester designing. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2011;2(47):37-43. (In Rus.)

14. Laryushin N.P., Laryushin A.M. Energy-saving technology for onion harvesting. *Russian Agricultural Sciences*. 2009;1:55-56. (In Rus.)

Contribution

A.S. Dorokhov – conceptualization.

A.V. Sibirev – methodology.

A.G. Aksenov – visualization, writing – original draft preparation (results and discussion, conclusion).

M.A. Mosyakov – writing – original draft preparation, formal (literature and patent) analysis.

The authors carried out theoretical studies and prepared a manuscript based on the results obtained. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Received 25.06.2022; revised 07.12.2022; accepted 09.12.2022