

УДК 631.171

UDC 631.171

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА: АКСИОМАТИКА, ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ

MATHEMATICAL MODELING OF THE AGRICULTURAL TECHNOLOGICAL SYSTEM OF MACHINE USE IN THE FIELD OF CROP PRODUCTION: AXIOMATICS, A GENERALIZED MODEL

Постолова Дарья Сергеевна
Соискатель
SPIN-код: 6973-4503
Darina_ss@mail.ru

Postolova Darya Sergeevna
RSCI SPIN-code: 6973-4503
Darina_ss@mail.ru

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Российская Федерация)

Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd, Zernograd, Russian Federation

Курочкин Валентин Николаевич
Доктор технических наук, профессор
SPIN-код: 3356-9473
ORCID: 0000-0003-4692-4375
valentin952@mail.ru
Южный Федеральный Университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Kurochkin Valentin Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor
RSCI SPIN-code:3356-9473
ORCID: 0000-0003-4692-4375
valentin952@mail.ru
Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Сельскохозяйственные технологические системы растениеводства характеризуются сложностью, стохастическим характером, пространственной распределённостью, напряжённостью функционирования. Наиболее напряжённым из них является уборочно-транспортный процесс. Для обеспечения его рационального функционирования предполагается математическое моделирование с последующей цифровизацией. В статье с целью разработки обобщённой математической модели вначале установлена аксиоматика математического моделирования данного типа систем, затем разработана обобщённая математическая модель на базе известных моделей профессоров А.И. Уёмова и Ю.И. Черняк и теоретических разработок академика Э.И. Липковича

Agricultural technological systems of crop production are characterized by complexity, stochastic nature, spatial distribution, and intensity of functioning. The most stressful of them is the harvesting and transportation process. To ensure its rational functioning, mathematical modeling with subsequent digitalization is assumed. In the article, in order to develop a generalized mathematical model, the axiomatics of mathematical modeling of this type of systems was first established, then a generalized mathematical model was developed based on the well-known models of professors A.I. Uemov and Yu.I. Chernyak and theoretical developments of academician E.I. Lipkovich

Ключевые слова: СИСТЕМА; ПРОЦЕСС; СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО; РАСТЕНИЕВОДСТВО; УБОРКА УРОЖАЯ; ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ УРОЖАЯ; ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН; ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО; СЕРВИС

Keywords: SYSTEM; PROCESS; AGRICULTURE; CROP PRODUCTION; HARVESTING; CROP TRANSPORTATION; COMBINE HARVESTER; VEHICLE; SERVICE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-198-024>

Введение. Сельскохозяйственное производство России имеет интенсивный характер, позитивно развивается, а продукция его растениеводческой подотрасли является лидирующим объектом экспорта. Выручка от реализации зерна, маслосемян, крупяных культур обеспечивают страну валютной выручкой, а сельскохозяйственные предприятия – прибылью. Однако растениеводство зависит от погодных и климатических условий, его производственные процессы распределены в пространстве и времени. Обусловленная этими факторами стохастичность и напряжённость функционирования при производстве продукции растениеводства порождает необходимость его рациональной реализации за счёт оптимизации управления на цифровой основе. Наиболее напряжённым из них является уборочно-транспортный процесс, поэтому его исследование актуально.

Материалы и методы исследования. Объект исследования представляет собой технологическую систему - совокупность множества существующих в фазовом пространстве состояний системы подсистем (зерноуборочная, транспортная, сервисная) и элементов (транспортных средств, зерноуборочных машин, тракторов, прицепного и навесного оборудования к тракторам и к другим мобильным энергетическим средствам, оборудования для выполнения операций технического обслуживания и ремонта). Элементы, в свою очередь, могут рассматриваться как технические подсистемы, состоящие из агрегатов, узлов, механизмов, деталей и т.п. Технологическая система выполняет операции по обработке входящего потока требования на обслуживание [1, 2].

Следовательно, входящий процесс реализуется параметрами входящего потока требований на обслуживание. В случае

<http://ej.kubagro.ru/2024/04/pdf/24.pdf>

сельскохозяйственного процесса в растениеводстве входящим потоком требований является массив обрабатываемой почвы, хлебостой, скашиваемая зелёная масса, предназначенные к перевозке с поля или места временного складирования сельскохозяйственных грузов, а именно: биомасса (зерновой ворох, зерно крупяных, технических и кормовых культур, зелёная масса на корм скоту, незерновая часть урожая - НЧУ), средства агрохимии (минеральные удобрения, минеральные стимуляторы роста и подкормки, средства защиты растений, различные сельскохозяйственные гербициды), биосредства (органические удобрения, биоорганические средства для защиты растений, препараты из органики для стимулирования роста растений) [3,4,5].

Выходными параметрами рассматриваемой технологической системы является обслуженный поток упомянутых выше по тексту требований.

С целью математического моделирования сельскохозяйственной технологической системы машиноиспользования в отрасли растениеводства рассмотрели аксиоматику.

Аксиома 1. Сельскохозяйственная технологическая система машиноиспользования функционирует во времени, множество i -моментов времени $t_i \subseteq T$, то есть принадлежит множеству T .

Аксиома 2. Множество T является подмножеством действительных чисел на основе допустимости гипотезы о дискретности времени. Следовательно, аксиома: множество T является подмножеством множества действительных чисел.

Аксиома 3. Множество T является конечным, так как сельскохозяйственные процессы ограничены во времени.

Допущение 1. Для целей математического моделирования сельскохозяйственной технологической системы машиноиспользования в отрасли растениеводства допустили, что счётное множество T имеет

моменты времени, которые можно разместить на оси времени пространственно-временного континуума.

Исходя из аксиом и принятого допущения, рассматриваемая сельскохозяйственная технологическая система машиноиспользования в отрасли растениеводства функционирует в дискретном времени, поэтому допускает цифровизацию.

Допущение 2. Множество состояний исследуемой системы $t_i \subseteq T$ представляет собой множество точек конечного временного периода, который включает в себя переход(ы) системы из одной фазы развития в другую. В этом случае на данном отрезке времени система функционирует в непрерывном времени.

При первом описанном подходе к моделированию может быть разработана цифровая модель рассматриваемой системы.

Аксиома 4. Функционирование системы заключается в обслуживании проступающих на вход системы требований на обработку хлебного или иного массива (например, срез и обмолот дискретного потока стеблей растений с последующим обмолотом зерна и измельчения стеблей), перевозку порций зерна или иного сельскохозяйственного продукта к местам складирования и хранения.

Результаты и их обсуждение. Обслуживание требований в рассматриваемом случае выполняет технологическая система машиноиспользования в отрасли растениеводства. В нашем случае, технологическая система - это частный случай сложной системы, теоретико-множественное представление которой (то есть в символах теории множеств) имеет входные X , выходные Y параметры, между которыми установлено обобщающее отношение пересечения (М. Месарович, 1978) [6]

$$S \subseteq X \times Y, S \subseteq X \cap Y. \quad (1)$$

где X - множество входных параметров – требований на

обслуживание;

Y - множество выходных параметров – обслуженных требований.

Между X и Y существует отношение пересечения, обозначенное в формуле (1) символом \cap . Графически пересечение интерпретировано на рисунке 1.

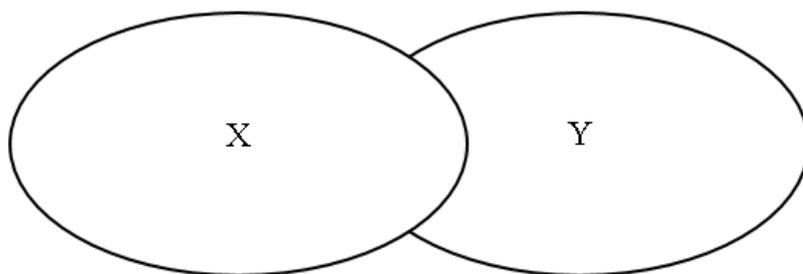


Рисунок 1 – Пересечение множеств X & Y

Для $S \stackrel{\text{def}}{\equiv} \langle A, B, R \rangle$ случая неоднородной уборочно-транспортной системы, когда имеются уборочная A и транспортная B подсистемы формула системы может иметь вид (2):

(2)

где A, B - подсистемы, части системы;

R - отношения связи между подсистемами, частями системы.

Однако, рассматриваемая система, в этом плане имеет особенности, которые заключаются в том, что некоторые взаимодействия осуществимы только в отношении некоторых элементов. Например, технический сервис выполняется применительно к машинам и их оборудованию, а транспортный сервис – только для зерноуборочных машин. Описанный вариант отношений применим только к элементам подсистем рассматриваемой системы, и не применяется к системе в целом, в теории систем описывается методами математической лингвистики в форме синтагмы:

$$S \stackrel{\text{def}}{\equiv} \langle \{a_i, \eta, b_k\} \rangle \quad (3)$$

$$\alpha_i \in A, \eta \in R, b_k \in B \quad (4)$$

где $\{\alpha_i, r_i, b_k\}$ – элементы новой системы, образованной из элементов исходных множеств A и B .

Элементы рассматриваемой системы имеют свойства или атрибуты. Например, трактор, зерноуборочный комбайн, транспортное средство имеет технико-экономические показатели, технические характеристики: производительность, расход топлива, скорость движения, число оборотов, массу, геометрические размеры (рис. 2).



Рисунок 2 – Элементы подсистемы уборки, имеющие атрибуты

Атрибуты Q_A дополняют элементы системы (А. Холл, 1975) [7]

$$S \equiv \langle A, Q_A, R \rangle \quad (5)$$

Рассматриваемая система, как отмечено выше, характеризуется разнородностью подсистем (уборочная, транспортная, сервисная), общих и применимых только к одной подсистеме отношений, атрибутами.

Следовательно, её математическое описание соответствует

математическому определению системы А.И. Уёмова [8] через понятия «вещи, отношения, атрибуты» (А.И. Уёмов, 1978), где $\&$ - область пересечения, a_i – элементы (части, компоненты), r_j – связи (отношения):

$$S \underset{\text{def}}{=} [\{a_i\} \& \{r_j(q_j)\}], a_i \in A, r_j \in R, q_j \in QR \quad (6)$$

$$S \underset{\text{def}}{=} [\{a(q_j)_i\} \& \{r_j\}], a_i \in A, \eta \in R, q_j \in Q, r_j \in R. \quad (7)$$

где q_i – свойства, которые характеризуют связи (отношения) r_j .

Рассматриваемая система – это организованное множество, имеющее цель, то есть целесообразная системам Z (Р. фон Берталанфи, 1969 [9]; В. Н. Садовский, 1970 и др.), [10] а при математическом описании интерпретируется языком исследователя («наблюдателя») L_N (У.Р. Эшби, 1959) [11].

Ю.И. Черняк даёт следующее математическое описание системы с учётом наблюдателя и цели системы [12]:

$$S \underset{\text{def}}{=} \langle A, Q_A, R, Z, N, L_N \rangle \quad (8)$$

где Z – цель, совокупность или структура целей.

Схематически отобразили исследуемую сельскохозяйственную технологическую систему машиноиспользования в отрасли растениеводства на примере уборочно-транспортного процесса.



Рисунок 3 – Подсистемы сельскохозяйственной технологической уборочно-транспортной системы

Как мы видим, в формуле (8) отсутствует оператор машин и

оборудования (см. рис. 2), а также не отражено наличие в изучаемой системе не только части *A* (подсистема уборки), но и части *B* (подсистема транспортировки) и *C* (подсистема сервиса). Исходя из отмеченных представлений о системе, математическое описание сельскохозяйственной технологической системы машиноиспользования в отрасли растениеводства – это отображение на математическом языке объектов (уборочно-транспортные машины и оборудование), отношений (между элементами системы) и их свойств (атрибутов оборудования, машин и их операторов - *Ч*) [13]. С учётом этого формула (8) может быть дополнена операторами *B*, *C* и *Ч*. Подставив данные математические операторы *Ч*, *Q_ч* в (8) получили следующую обобщённую математическую модель сельскохозяйственной технологической системы машиноиспользования в отрасли растениеводства:

$$S \stackrel{\text{def}}{=} \langle A, Q_A, B, Q_B, C, Q_C, R, Z, N, L_N, Ч, Q_ч \rangle \quad (9)$$

Полученная обобщённая математическая модель соответствует современному определению «сложная система» [14].

Для обеспечения рационального функционирования предполагается математическое моделирование с последующей цифровизацией. В статье с целью разработки обобщённой математической модели вначале установлена аксиоматика математического моделирования данного типа систем, затем разработана обобщённая математическая модель на базе известных моделей А.И. Уёмова и Ю.И. Черняк.

Литература

1. Липкович, Э. И. и др. Уборочно-транспортный и заготовительный процесс в районном агропромышленном объединении: основы организации и математическое моделирование: методические рекомендации // Липкович Э.И., Курочкин В.Н., Сергеева Л.М., Штейн В.Л., Тимофеев Ю.А. – Москва: ВАСХНИЛ, 1986.
2. Курочкин, В.Н. Проблемы обеспечения надёжности и эффективности функционирования технологических систем эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: ВИМ, 1993 г.
3. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник / под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 848 с.
4. Курочкин, В.Н. Анализ эффективности организации использования машинно-тракторного парка и концепция развития инженерной инфраструктуры. – Зерноград:

ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2004. – 134 с.

5. Курочкин В. Н. Управление стратегическим развитием вертикально интегрированных структур аграрно-промышленного комплекса регионального кластера. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», 2017. – 193 с.

6. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем /М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. – М.: Мир, 1973.

7. Holl A.D. A methodology for systems engineering. New York, 1965

8. Уёмов, А. И. Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, 1978.

9. Ludwig von Bertalanffy. General system theory: foundation, development, applications. New York, 1969.

10. Садовский, В.Н. Основания общей теории систем: логико-методологический анализ. – М.: Наука, 1974.

11. W. Ross Ashby, An Introduction to Cybernetics, Chapman & Hall, London, 1956.

12. Черняк, Ю. И. Системный анализ в управлении экономикой. М.: Экономика, 1975.

13 Курочкин В.Н. Эффективность и надёжность функционирования сложных организационных систем. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2010.

14. Курочкин В.Н. Понятие сложной системы: современное определение // В сб. научных статей по материалам III Международной научно-практической конференции. Уфа: ООО "Научно-издательский центр "Вестник науки". 2023. – С.: 71-75

References

1. Lipkovich, E. I. i dr. Uborochno-transportny`j i zagotovitel`ny`j process v rajonnom agropromy`shlennom ob`edinenii: osnovy` organizacii i matematicheskoe modelirovanie: metodicheskie rekomendacii // Lipkovich E`I., Kurochkin V.N., Sergeeva L.M., Shtejn V.L., Timofeev Yu.A. – Moskva: VASXNIL, 1986.

2. Kurochkin, V.N. Problemy` obespecheniya nadyozhnosti i e`ffektivnosti funkcionirovaniya texnologicheskix sistem e`kspluatacii mashinno-traktornogo parka. – М.: VIM, 1993 g.

3. Teoriya sistem i sistemny`j analiz v upravlenii organizacijami: spravochnik / pod red. V.N. Volkovoj i A.A. Emel`yanova. – М.: Finansy` i statistika, 2009. – 848 s.

4. Kurochkin, V.N. Analiz e`ffektivnosti organizacii ispol`zovaniya mashinno-traktornogo parka i koncepciya razvitiya inzhenernoj infrastruktury`. – Zernograd: FGBOU VPO AChGAA, 2004. – 134 s.

5. Kurochkin V. N. Upravlenie strategicheskim razvitiem vertikal`no integrirovanny`x struktur agrarno-promy`shlennogo kompleksa regional`nogo klastera. – Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzhenerny`j institut FGBOU VO «Donskoj GAU», 2017. – 193 s.

6. Mesarovich M. Teoriya ierarxicheskix mnogourovnevny`x sistem /M. Mesarovich, D. Mako, I. Takaxara. – М.: Mir, 1973.

7. Holl A.D. A methodology for systems engineering. New York, 1965

8. Uyomov, A. I. Sistemny`j podxod i obshhaya teoriya sistem. – М.: My`s`l`, 1978.

9. Ludwig von Bertalanffy. General system theory: foundation, development, applications. New York, 1969.

10. Sadovskij, V.N. Osnovaniya obshhej teorii sistem: logiko-metodologicheskij analiz. – М.: Nauka, 1974.

11. W. Ross Ashby, An Introduction to Cybernetics, Chapman & Hall, London, 1956.

12. Chernyak, Yu. I. Sistemny`j analiz v upravlenii e`konomikoj. М.: E`konomika, 1975.

13 Kurochkin V.N. E`ffektivnost` i nadyozhnost` funkcionirovaniya slozhny`x

organizacionny`x sistem. – Rostov-na-Donu: Rostizdat, 2010.

14. Kurochkin V.N. Ponyatie slozhnoj sistemy`: sovremennoe opredelenie // V sb. nauchny`x statej po materialam III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ufa: ООО "Nauchno-izdatel'skij centr "Vestnik nauki". 2023. – S.: 71-75