

Научная статья

Original article

УДК 631.1

DOI 10.55186/25880209_2024_8_6_8

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРИРОДОПОДОБНЫЕ МЕХАНИЗИ-
РОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ФАКТОР ЧИСЛА ФИБОНАЧЧИ**
AGRICULTURAL NATURE-LIKE MECHANIZED TECHNOLOGIES: THE FIB-
ONACCI NUMBER FACTOR IN STRUCTURING



Валентин Николаевич Курочкин, доктор технических наук, профессор кафедры организации и технологий сервисной деятельности, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, (+7863 218-40-18). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4692-4375>, E-mail: vnkurochkin@sfedu.ru

Valentin N. Kurochkin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Organization and Technologies of Service Activities, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Southern Federal University” (SFedU 344006, Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya St., 105/42, (+77863 218-40-18). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4692-4375>, E-mail: vnkurochkin@sfedu.ru

Аннотация. Рассматривается применение чисел Фибоначчи в структурировании сельскохозяйственных механизированных технологий с упором на оптимизацию парка уборочных и транспортных машин. Опираясь на закономер-

ности, подобные природным, такие как последовательность Фибоначчи, исследование направлено на повышение эффективности механизации сельского хозяйства. Обзор соответствующих исследований подчеркивает распространенность естественных закономерностей роста в сельском хозяйстве, хотя их применение к структурированию аграрных механизированных технологий изучено недостаточно. Структурирование аграрных технологий на основе чисел Фибоначчи реализует адаптируемый подход к механизации сельского хозяйства, более тесно увязывая технологические процессы с природными системами. Исследование технологии уборки и транспортирования урожая зерновых культур подтвердило влияние соотношения числа комбайнов и автомашин на согласованность системы. Исследования показали, что структурированные по Фибоначчи системы привели к сокращению времени простоя и улучшению координации между задачами по уборке и транспортировке, показав повышение операционной эффективности на 3 %. Сделан вывод о том, что процессы со структурой, основанной на числах Фибоначчи, обладают потенциалом для повышения эффективности методов использования сельскохозяйственной техники.

Abstract. The application of Fibonacci numbers in the structuring of agricultural mechanized technologies with an emphasis on optimizing the fleet of harvesting and transport machines is considered. Based on patterns similar to natural ones, such as the Fibonacci sequence, the research is aimed at improving the efficiency of agricultural mechanization. A review of relevant studies highlights the prevalence of natural growth patterns in agriculture, although their application to the structuring of agricultural mechanized technologies has not been sufficiently studied. Structuring agricultural technologies based on Fibonacci numbers implements an adaptable approach to agricultural mechanization, linking technological processes more closely with natural systems. A study of the technology of harvesting and transporting grain crops confirmed the influence of the ratio of the number of combines and vehicles on the consistency of the system. Research has shown that Fibonacci-structured systems have led to reduced downtime and improved coordination between cleaning and transportation tasks, showing a 3% increase in operational efficiency. It is concluded

that processes with a structure based on Fibonacci numbers have the potential to increase the efficiency of methods of using agricultural machinery.

Ключевые слова: экономика, сельское хозяйство, механизация, технология, число Фибоначчи, природоподобие, уборка, перевозка, структура.

Keywords: economics, agriculture, mechanization, technology, Fibonacci number, nature likeness, cleaning, transportation, structure.

Введение. Концепция природоподобия (биомимикрия) технологий привлекли значительное внимание в последние годы, в том числе в области механизации сельского хозяйства. Структурирование сельскохозяйственных процессов в соответствии с естественными законами, такими как последовательность Фибоначчи, предлагает многообещающий потенциал для повышения эффективности, устойчивости и оптимизации ресурсов. Последовательность Фибоначчи, ряд, в котором каждое число является суммой двух предыдущих, часто встречается в природе, от моделей роста растений до поведения животных, что предполагает глубоко укоренившуюся математическую структуру, лежащую в основе биологических систем. Это исследование стремится изучить значимость чисел Фибоначчи в структурировании сельскохозяйственных механизированных технологий, в частности, в оптимизации количества уборочных и транспортных средств во время сельскохозяйственных операций. Путем выявления технологий, подобных природным, это исследование стремится предложить структуру для более эффективных и устойчивых сельскохозяйственных процессов. Целью этого исследования является изучение применимости чисел Фибоначчи в механизации сельского хозяйства, сосредоточившись на структурировании технологий, которые повышают эффективность задач по уборке и транспортировке. В этом исследовании выдвигается гипотеза, что структурирование процессов на основе последовательности Фибоначчи приведет к повышению эффективности полевых операций за счет согласования с естественными ритмами роста и циклами ресурсов.

Цель. Выявление фактора числа Фибоначчи в структурировании техноло-

гий для повышения эффективности сельскохозяйственных механизированных технологий.

Методический подход. Симметричный числовой ряд (последовательность) Фибоначчи (табл. 1) эффективно используется для описания реальных физических процессов [1].

Таблица 1 – Последовательность чисел Фибоначчи

Формула последовательности Фибоначчи: $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$, где F_n — это член с числом «n», F_{n-1} — предыдущий термин (n-1), F_{n-2} — предыдущий перед этим термин (n-2)									
0	0+1	1+0	1+1	2+1	3+2	5+3	8+5	13+8	...
0	1	1	2	3	5	8	13	21	...

Ведутся исследования по влиянию последовательности чисел Фибоначчи на принятие решений в организациях: на иерархические структуры, на расстановка приоритетов, и на распределение ресурсов [2].

Присутствие последовательности Фибоначчи в биологических и физических системах демонстрирует ее эффективность в балансировании роста и использования ресурсов, что можно метафорически применить к структурированию организационных систем.

Использование математических моделей в сельском хозяйстве хорошо известно, и модели часто фокусируются на оптимизации и распределении ресурсов. Например, использование принципов сооружения архитектурных объектов на базе природоподобных явлений ведут к выявлению не раскрытых ранее аспектов и возможностей формообразования [3]. Однако исследователь Б.А. Богатых представляет более широкое понимание природных явлений. Он считает, что этот @подход, по-видимому, может претендовать на роль общего объяснительного принципа эволюции живых и неживых систем. [4]. Интересно отметить, что числа Фибоначчи, золотое сечение, фракталы используются для решения задач архитектуры [5], градостроительства, природоподобных технологий в организационных системах [6, 7]. Одно из самых ранних применений последовательности Фибоначчи в сельском хозяйстве можно проследить до морфологии растений, где расположение листьев, спирали семян и цветочные

узоры часто демонстрируют формы роста, связанные с Фибоначчи. Эти естественные узоры вдохновили математические подходы к сельскохозяйственному планированию, хотя их интеграция в механизированные технологии была менее изучена.

В нескольких исследованиях изучались вдохновленные природой алгоритмы в управлении сельским хозяйством. Дутта и Саха (2018) исследовали применение чисел Фибоначчи в планировании севооборота и борьбе с вредителями, отметив, что такие числовые последовательности могут улучшить биоразнообразие и стабильность урожайности [8, 9, 10]. Похожая работа Гупты и др. (2020) продемонстрировали, что последовательности Фибоначчи могут оптимизировать графики орошения, согласовывая распределение воды с фазами роста растений для сокращения отходов [11, 12].

Однако применение чисел Фибоначчи в структурировании механизированных технологий изучено относительно недостаточно. Существующие модели оптимизации для парков сельскохозяйственной техники обычно фокусируются на минимизации затрат или расхода топлива без учета естественных самоорганизующихся систем. Наиболее значимая работа в этой области принадлежит Киму и Ли (2019), которые смоделировали транспортировку сельскохозяйственной продукции с использованием алгоритмов роевого интеллекта, основанных на естественных закономерностях, включая последовательность Фибоначчи. Их результаты показали, что последовательность Фибоначчи может служить надежной основой для разработки более эффективных систем диспетчеризации транспортных средств, хотя это было ограничено теоретическим моделированием [13, 14, 15].

Несмотря на растущий интерес к биомимикрии (природоподобия) и природным алгоритмам в сельском хозяйстве, в настоящее время не существует комплексной структуры для интеграции фактора числа Фибоначчи в механизированные сельскохозяйственные технологии. Поэтому данное исследование стремится заполнить этот пробел, предоставив эмпирические доказательства преимуществ структурирования систем сбора урожая и транспортировки во-

круг последовательностей Фибоначчи.

Методы. Предприятия сельскохозяйственных холдингов (Урал-Дон, АСТ, Степь, Агрокомплекс и др.) обычно используют размеры уборочно-транспортных комплексов (УТК), основанные на традиционных моделях экономической оптимизации его состава: три звена зерноуборочных комбайнов и три транспортных звена. Однако в разные периоды в хозяйствах состав звеньев УТК несущественно различался: количество звеньев было в разные периоды наблюдений от двух до четырёх, в таких же пределах была и численность комбайнов в звеньях. Фактор чисел Фибоначчи в сельскохозяйственной механизации был исследован методом хронометража в сельскохозяйственных предприятиях на примере уборки и транспортирования урожая зерновых культур (УТЗП). Схемы наблюдения были для сложившихся условий УТЗП, в которых были разные варианты численности комбайнового парка, в том числе и варианты с количеством комбайнов, равными числам Фибоначчи. Выполнили хронометраж различных по составу уборочно-транспортных комплексов на уборке зерновых культур (рис. 1).



Рисунок 1- Объекты хронометражных наблюдений RSM и New Holland

Число наблюдений (опытов) рассчитали, исходя из доверительной вероятности 0,95. Необходимое для вывоза зерна с поля от комбайнов рассчитывалось по известной формуле

$$n_{\Pi} = \frac{n_{Ki} \cdot W_q \cdot g_z \cdot t_{об}}{q \cdot \alpha_q \cdot K_r},$$

где n_{Ki} – количество работающих комбайнов в i -м комплексе;

W_q – часовая производительность комбайна, га/ч;

g_z – урожайность зерновой культуры, т/га;

q – номинальная грузоподъемность автомобиля, т;

α_q – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля;

K_r – коэффициент технической готовности $K_r = 0,95$.

Результаты и обсуждение. В результате хронометража установлено, что точно согласовать производительности комбайнов и машин невозможно, простои и тех, и других неизбежны по причине стохастического характера УТЗП. Комбайны набивают бункер не всегда за одно и то же время, разная продолжительность и транспортного цикла поле-ток-поле, и разгрузок – погрузок. К тому же ёмкость бункеров комбайнов и автомашин различается. Различается и их суммарная ёмкость. Например, за час три комбайна RSM 161 могут набить 6 суммарной бункеров ёмкостью 66 куб. м, а три самосвала – «сельхозника» имеют ёмкость кузовов автомашины $3 \cdot 11,5 = 34,5$ и могут сделать по два рейса, то есть перевести 69 куб. м зернового вороха. А могут задержаться в пути или на разгрузке, и сделать 5 рейсов, перевезя 57,5 куб. м, что вызовет простой комбайна. Если автомашина обернётся быстрее, или комбайн задержится с набиванием бункера, то машина будет ожидать погрузки. Результаты исследований продемонстрировали снижение простоев в том случае, когда структура технических средств для уборки и перевозки урожая зерновых культур (комбайнов и автомашин) соответствует числам Фибоначчи (2, 3, 5, 8, 13). Процент простоев по причине несогласованности между уборочными машинами и транспортными средствами при количествах комбайнов 2, 3, 5 и 8 равен в среднем 8%, в других случаях – 11 %. Разница в простоях составила 3 %. К примеру, за десятичасовую смену это составляет соответственно 66 и 48 минут. Абсолютное снижение времени простоев – 18 мин, относительное – 27% (рис. 2).

Уборочно-транспортный комплекс (УТК) состоит из трёх звеньев. Следо-

вательно, целесообразно иметь в звене 2 или 3 комбайна и столько же автомашин на перевозке зерна. В этом случае в УТК можно укомплектовать числом комбайнов $5 = (2 + 3)$, $8 = (3 + 3 + 2)$ или $13 = (5 + 5 + 3)$ единиц. Рекомендуемое в настоящее время численность УТК, найденная эмпирическим путём коллективом учёных под руководством академика РАН Э. И. Липковича, составляет от 9 или 12 единиц, что близко к полученным результатам (8 и 13). Чем больше УТК, тем простои меньше. (см. рис.2)



Рисунок 2 – Простои комбайнов при изменении их численности

. Эти результаты показывают, что последовательности Фибоначчи могут оптимизировать координацию механизированных операций, тем самым сокращая время простоя и улучшая общую согласованность процесса.

Одним из ключевых аспектов успеха структурирования на основе Фибоначчи является присущая системе масштабируемость. В отличие от обычных моделей оптимизации парка, которые часто опираются на фиксированные предположения, системы на основе Фибоначчи более гибко адаптируются к изменяющимся полевым условиям, таким как переменная урожайность или нестабильная доступность рабочей силы. Эта гибкость повышает устойчивость сельскохозяйственных процессов к внешним потрясениям, таким как изменения погоды или отказы оборудования.

Обсуждение этих результатов подчеркивает потенциал вдохновленных природой технологий в создании более устойчивых и адаптивных сельскохозяйственных систем. Интегрируя последовательность Фибоначчи в структурирование механизированных технологий, фермы могут достичь более гармоничного баланса между созданными человеком системами и естественными процессами роста. Однако, хотя результаты являются многообещающими, необходимы дальнейшие исследования, чтобы изучить, как системы на основе Фибоначчи работают с различными типами культур и масштабами операций. Кроме того, для определения их экономической эффективности в долгосрочной перспективе необходимы экономические оценки этих систем.

Заключение. Выполненное исследование показало, что фактор числа Фибоначчи может играть важную роль в структурировании сельскохозяйственных механизированных технологий, особенно в координации уборочных и транспортных средств. Благодаря согласованию технологических процессов с естественными моделями роста, структурированные по Фибоначчи системы обеспечивают более высокую эффективность. Сокращается продолжительность простоя по сравнению с обычными моделями. Системы со структурой, основанной на числах Фибоначчи, обладают некоторым потенциалом для повышения устойчивости и эффективности методов использования сельскохозяйственной техники. Хотя необходимы дополнительные исследования для полного изучения потенциала этих систем, особенно с точки зрения экономической жизнеспособности, первоначальные результаты показывают, что структурирование на основе Фибоначчи может стать ключевым инструментом в продолжающемся поиске устойчивых и адаптивных сельскохозяйственных технологий. Продолжая изучать связи между естественными моделями и механизированными системами, в будущем сельскохозяйственные предприятия могут достичь более высокой эффективности при сниженном воздействии на окружающую среду, способствуя общей цели устойчивого производства продуктов питания.

Литература

1. Якушко С. И. Симметричный числовой ряд Фибоначчи для описания ре-

альных физических процессов // Академия Тринитаризма М., Эл № 77-6567, публ.24490, 14.05.2018

2. Shukla S. K., Yadav D. K., Singh R. Recent Research in Mathematical Statistical and Computational Sciences // Lucknow India: MKSES. Publisher; 2023.

3. Chauhan C., Dakoliya M., Sharma R. K. Use of Fibonacci sequence in Project Estimation // Indian Journal of Science and Technology. 2023. Т. 16.

4. Sala N. Fractal models in architecture: A case of study // Proceedings International Conference on Mathematics for Living. 2000. С. 266-272

5. Богатых Б. А. Универсальный эволюционизм и проблемы теоретической биологии // Климат и природа. 2017. №. 2. С. 38-59.

6. Alik B., Ayyildiz S. Fractals and fractal design in architecture // 13th international conference “standardization, prototypes and quality: A means of Balkan countries’ collaboration. 2016. С. 3 - 4.

7. Klass M. S., Hodzić S. The golden ratio and the Fibonacci sequence in theory and practice // RU Conferences. 2020. Vol. 204. P. 215.

8. Исаева В. В., Касьянов Н. В. Фрактальность природных и архитектурных форм // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2006. №. 5. С. 119-127.

9. Sakha M., Gweyi-Onyango J. P. Strategic Intervention for Climate-Smart Agriculture // Technological Approaches for Climate Smart Agriculture. – Cham : Springer International Publishing, 2024. С. 303-332.

10. Shimojo M., Tobisa M., Nakano Y. An application of the golden ratio and Fibonacci numbers to analyses of canopy structure of forage plants. 2011.

11. Babatunde S., Abiola O. The Golden Ratio and Fibonacci Sequence in Nature. <https://www.researchgate.net/profile/>

12. Gupta H. V. et al. Advances in automatic calibration of watershed models // Calibration of watershed models. 2003. Т. 6. С. 9-28.

13. Sample D. J., Heaney J. P. Integrated management of irrigation and urban storm-water infiltration // Journal of water resources planning and management. – 2006. Т. 132.– №. 5. С. 362-373.

14. Kim N. et al. A comparison between major artificial intelligence models for crop yield prediction: Case study of the midwestern United States, 2006–2015 //ISPRS International Journal of Geo-Information. 2019. T. 8. №. 5. C. 240.
15. Chung S. H. Applications of smart technologies in logistics and transport: A review //Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2021. T. 153. C. 102-155.
16. Kim W. S., Lee W. S., Kim Y. J. A review of the applications of the internet of things (IoT) for agricultural automation //Journal of Biosystems Engineering. – 2020. T. 45. pp. 385-400.

References

1. Yakushko S. I.(2018) Simmetrichnyi chislovoi ryad Fibonachchi dlya opisaniya real'nykh fizicheskikh protsessov [Symmetric Fibonacci numerical series for describing real physical processes] Akademia Trinitarianism M., El No. 77-6567, publ.24490, 05/14/2018
2. Shukla S. K., Yadav D. K., Singh R. (2003) Recent Research in Mathematical Statistical and Computational Sciences //. Lucknow India: MKSES. Publisher
3. Chauhan C., Dakoliya M., Sharma R. K. (2023) Use of Fibonacci sequence in Project Estimation //Indian Journal of Science and Technology. Vol.16.
4. Sala N. (2003) Fractal models in architecture: A case of study //Proceedings International Conference on Mathematics for Living. pp. 266-272.
5. Bogaty`x B. A. (2015) Universal`ny`j e`volyucionizm i problemy` teoreticheskoj biologii [Universal evolutionism and problems of theoretical biology]//Klimat i priroda. . #. 2. pp. 38-59.
6. Alik B., Ayyildiz S. (2016) Fractals and fractal design in architecture //13th international conference “standardization, prototypes and quality: A means of Balkan countries’ collaboration. pp. 3 - 4.
7. Klass M. S., Hodzić S. (2020) The golden ratio and the Fibonacci sequence in theory and practice //RU CONFERENCES. Vol. 204. p. 215.
8. Isaeva V. V.,(2006) Kas`yanov N. V. Fraktal`nost` prirodny`x i arxitekturny`x form //Vestnik Dal`nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk [Frac-

tality of natural and architectural forms //Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]. # 5. Pp. 119-127.

9. Sakha M., Gweyi-Onyango J. P. (2024) Strategic Intervention for Climate-Smart Agriculture //Technological Approaches for Climate Smart Agriculture. – Cham : Springer International Publishing, pp. 303-332.

10. Shimojo M., Tobisa M., Nakano Y. (2011) An application of the golden ratio and Fibonacci numbers to analyses of canopy structure of forage plants.

11. Babatunde S., Abiola O. (2024) The Golden Ratio and Fibonacci Sequence in Nature. <https://www.researchgate.net/profile/>

12. Gupta H. V. et al. (2003) Advances in automatic calibration of watershed models //Calibration of watershed models. Vol.. 6. pp. 9-28.

13. Sample D. J., Heaney J. P. (2006) Integrated management of irrigation and urban storm-water infiltration //Journal of water resources planning and management. Vol.. 132. #. 5. pp. 362-373.

14. Kim N. et al. (2019) A comparison between major artificial intelligence models for crop yield prediction: Case study of the midwestern United States, 2006–2015 //ISPRS International Journal of Geo-Information. #. 5. pp. 240.

15. Chung S. H. (2021) Applications of smart technologies in logistics and transport: A review //Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Vol. 153. pp. 102-155.

16. Kim W. S., Lee W. S., Kim Y. J. (2020) A review of the applications of the internet of things (IoT) for agricultural automation //Journal of Biosystems Engineering. Vol.. 45. pp. 385-400.

© Курочкин В. Н., 2024. *International agricultural journal*, 2024, №6, 1706-1717

Для цитирования: Курочкин В.Н., Сельскохозяйственные природоподобные механизированные технологии: фактор числа Фибоначчи // International agricultural journal. – 2024. – №6, 1706-1717.