

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 631.171:62-503.57

doi: 10.28983/asj.y2024i7pp132-137

**Применение теории графов в технологии получения жмыха подсолнечного**

**Игорь Евгеньевич Припоров, Руслан Евгеньевич Иванайский**

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

e-mail: i.priporov@yandex.ru

**Аннотация.** Анализ исследований и практика показывают, что производство комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий на более качественном уровне не представляется возможным из-за низкого качества выполнения обязательных типовых процессов обработки сырья (очистка, измельчение и др.), которые и определяют технологическую эффективность всего производства комбикормов. Появляется проблема по совершенствованию комбикормового производства качественных концентрированных кормов в сыпучем и гранулированном видах, и в составе комбикорма на основе общей теории систем применительно к точной, прецизионной технологии животноводства (приготовление кормов). Целью исследований является совершенствование технологии приготовления жмыха подсолнечного за счет применения теории графов. В системном подходе понятие система является более широким, она включает в себя структуру, функцию, состояние, связь и др. Для повышения срока хранения белкового корма была предложена технология его получения по патенту № 2735625 с применением мультимедийных устройств, а также функциональная структура его приготовления и на основе математических методов моделирования многоуровневых иерархических систем смоделирован процесс его получения. Анализ созданных технологических линий получения кормов показал их непригодность для приготовления жмыха подсолнечного. Теория графов направлена на проектирование или модернизацию технологии его получения при разном сочетании технических устройств и выявление структуры технических средств входящих в нее. Использование МИС позволяет координировать все технологические процессы в линии (очистка семян подсолнечника от примесей, экструдирование их с получением жмыха, измельчение и обработка озоном) и повысить его качество для высокобелкового корма. На основе системного анализа и МИС составлена функциональная структура его приготовления, например патент №2735625 РФ, в которой функциональной структурой является очистка семян для приготовления жмыха с последующей его обработкой озоном и все управляемы для повышения срока его хранения.

**Ключевые слова:** белковый комбикорм; жмых подсолнечный; системный анализ; технология; теория графов; мультимедийные устройства

**Для цитирования:** Припоров И. Е., Иванайский Р. Е. Применение теории графов в технологии получения жмыха подсолнечного // Аграрный научный журнал. 2024. № 7. С. 132–137. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp132-137>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Application of graph theory in the technology of sunflower meal production**

**Igor E. Priporov, Ruslan E. Ivanaisky**

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

e-mail: i.priporov@yandex.ru

**Abstract.** Analysis of research and practice show that the production of compound feeds in agricultural enterprises at a higher quality level is not possible due to the poor quality of the mandatory standard processing processes of raw materials (cleaning, grinding, etc.), which determine the technological efficiency of the entire production of compound feeds. There is a problem of improving the feed production of high-quality concentrated feed in bulk and granular forms, and in the composition of compound feed based on the general theory of systems in relation to precise, precision technology of animal husbandry (feed preparation). The purpose of the research is to improve the technology of cooking sunflower meal through the application of graph theory. In the system approach, the concept of a system is broader, it includes structure, function, state, communication, etc. To increase the shelf life of protein feed, a technology for its production was proposed under patent No. 2735625 using multimedia devices, as well as the functional structure of its preparation, and the process of its production was modeled based

© Припоров И. Е., Иванайский Р. Е., 2024



on mathematical modeling methods of multilevel hierarchical systems. The analysis of the created technological lines for obtaining feed showed their unsuitability for the preparation of sunflower meal. Graph theory is aimed at designing or modernizing the technology of its production with a different combination of technical devices and identifying the structure of the technical means included in it. The use of a multi-level hierarchical system allows you to coordinate all technological processes in the line (cleaning sunflower seeds from impurities, extruding them to produce meal, grinding and ozone treatment) and improve its quality for high-protein feed. Based on system analysis and a multi-level hierarchical system, a functional structure of its preparation has been compiled, for example, patent No. 2735625 of the Russian Federation, in which the functional structure is the purification of seeds for the preparation of meal with subsequent ozone treatment and all are controlled to increase its shelf life.

**Keywords:** protein compound feed, sunflower meal, system analysis, technology, graph theory, multimedia devices

**For citation:** Priporov I. E., Ivanaisky R. E. Application of graph theory in the technology of sunflower meal production. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(7):132–137. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp132-137>.

**Введение.** Приготовление кормов на крупных предприятиях не решает проблемы, так как в каждом хозяйстве требуются комбикорма с учетом качества исходных компонентов, а также на перевозку исходного сырья и готовых комбикормов расходуются значительные средства [8].

Изучение опыта применения разных технологий на фермах КРС показало усложненность технологических схем их подготовки, что повышает энергоемкость и металлоемкость процесса, снижает качество смесей. Недостаточные объемы производства концентрированных кормов и нехватка надежных и высокопроизводительных машин вынуждают специалистов хозяйств вносить совершенствования серийной техники, которые используют кормовые ресурсы региона. Однако данные действия повышают в 1,5–2,0 раза капитальные затраты и прямые издержки на приготовление кормов, приводят к удорожанию себестоимости конечной продукции [2].

Для реализации преимуществ приготовления комбикормов [10, 11] хозяйства нуждаются в надежных, простых в эксплуатации и сравнительно недорогих агрегатах для производства концентрированных кормов из местного сырья [1].

В комбикормовой промышленности непрерывно повышаются требования к совершенствованию технологии [3] получения жмыха подсолнечного.

Любая технология использует системный подход к проектированию, в основе которых лежит системная последовательность принятия решений. Методики проектирования базируются на системном анализе, который учитывает воздействия машин в технологической линии на материал. Стохастический характер воздействия каждой машины на частицы материала при выполнении технологического процесса требует определенного подхода к реализации принципа системной стратегии приготовления [7] жмыха подсолнечного.

Цель исследований – совершенствование технологии приготовления жмыха подсолнечного за счет применения теории графов.

**Материалы и методы.** Проведенный анализ технологий приготовления жмыха подсолнечного (патенты № 2524258 РФ, № 2646092 РФ, № 2636474 РФ, № 2328171 РФ) показали, что в большинстве случаев в них: отсутствует возможность его получения с длительным сроком хранения; имеются ограничения перерабатываемого продукта по количеству жира; узкий ассортимент выпускаемой продукции; множество регулировочных заслонок приводит к трудоемкому регулированию потока материала в бункера для добавок; сложное регулирование потока материала; при многообразии норий приводит к трудоемкому их обслуживанию.

Системный подход [12, 13] как новый метод анализа организаций является дополнением для соединения анализа системы с позиций бихевиоризма и механики, позволяет рассмотреть организацию как единое целое по достижению максимальной эффективности системы, даже при наличии компонентов противоречивых стремлений. Он дополняет другие подходы, которые используются в теории организаций и управления [4, 9].

В связи с этим он служит методом комплексного изучения сложных объектов и процессов с точки зрения того, как они устроены, в каких отношениях и связях находятся их части, какая функция частей и объекта в целом, характер взаимодействия с окружающей средой [4, 9].

Он является совокупностью методов и средств для исследования свойства, структуры функции объектов, явлений. Их представляют в виде системы со сложными межэлементными



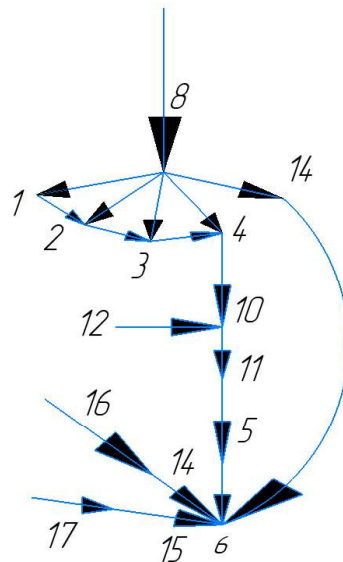
взаимосвязями, взаимовлиянием элементов на систему и окружающую среду, а также влияние ее на структурные элементы. Система определяется в виде комплекса взаимодействующих элементов  $f_1, f_2, \dots, f_n$  [6, 8, 9].

**Результаты исследований.** Проведенный анализ системных исследований показал его отсутствие в технологии получения жмыха подсолнечного. Для повышения срока его хранения была предложена технология его получения по пат. № 2735625 с применением мультимедийного устройства.

Предположим, система  $S$  [7] линия получения белкового корма по патенту № 2735625 РФ имеет элементы  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_{10}, a_{11}, a_{14}, a_{16}, a_8, a_{12}, a_{15}$  и  $a_0$  – окружение системы  $S$ . В роли элементов – технические устройства (1, 2, 3, 4, 10, 11, 14, 16, 8, 12, 17, 15). Введем множества  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_{10}, a_{11}, a_{14}, a_{16}, a_8, a_{12}, a_{15}\}$  и  $B = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_{10}, a_{11}, a_{14}, a_{16}, a_8, a_{12}, a_{15}\}$ . В множестве  $B$  каждый элемент характеризуется входными и выходными величинами. Входными величинами являются физико-механические свойства семян подсолнечника, конструктивно-режимные параметры технических устройств, выходными – готовый материал, то есть белковый корм. Введем  $r_{ij}$  для обозначения способа зависимости входных  $a_j$  от выходных величин элемента  $a_i$  и  $r_{ij}$  обозначим через  $R$ . Способ зависимости – динамический. Система определяется множеством  $S = \{A, R\}$  и образует систему. В качестве технических устройств выступают: машина вторичной очистки, экструдер, кондиционер, измельчитель жмыха, смеситель, блок управления, анализатор и дозатор измельченного жмыха, дозатор питательных микроэлементов, многоканальный блок формирования оптимальной нормы его дозирования и питательных микроэлементов, компрессор, аэризатор, анализатор его смешивания и питательных микроэлементов, счетчик ионов.

Структурные схемы позволяют исследовать систему для выявления их общих закономерностей (определение степени и близости связи отдельных элементов и выявление принятия проектных решений, которые обеспечивают оптимальную организацию связи). Они выявляют ряд комплексов элементов, находящихся в одинаковой взаимосвязи, и выполняют сходные функции и связи между ними. С помощью анализа их выявляется иерархичность структуры системы [4].

Составим структурную схему линии получения белкового корма по патенту № 2735625 РФ с использованием теории графа (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Граф получения белкового корма по патенту РФ №2735625:** 1 – машина вторичной очистки; 2 – экструдер; 3 – кондиционер; 4 – измельчитель; 5 – смеситель; 6 – емкость для хранения и выдачи готового корма; 8 – блок управления; 10 – дозатор измельченного жмыха (ИЖ); 11 – дозатор питательных микроэлементов (ПМЭ); 12 – многоканальный блок формирования оптимальной нормы дозирования ИЖ и ПМЭ; 14 – аэризатор; 15 – анализатора смешивания ИЖ и ПМЭ; 16 – счетчик ионов

**Figure 1 – Graph for obtaining protein feed according to RF patent No. 2735625:** 1 – secondary purification machine; 2 – extruder; 3 – air conditioner; 4 – chopper; 5 – mixer; 6 – container for storing and dispensing finished feed; 8 – control unit; 10 – crushed meal dispenser (IP); 11 – micronutrient dispenser (PME); 12 – multi-channel unit for forming the optimal dosage rate of IL and PME; 14 – air ionizer; 15 – analyzer for mixing IL and PME; 16 – ion counter



Теория графа позволяет спроектировать систему получения белкового корма при разном сочетании технических устройств, выявить структуру техники входящих в нее, и повысить длительный срок его хранения (см. рисунок 1).

Приведем многоуровневую иерархическую систему (МИС) получения жмыха подсолнечного по патенту РФ № 2735625 (рисунок 2).

В качестве элемента, который составляет систему, выступает блок управления, то есть мультимедийное устройство, контролирующее все процессы в технологической линии его приготовления и при необходимости в случае нештатной ситуации остановить процесс.

МИС позволяет координировать все технологические процессы в линии (очистка семян подсолнечника от примесей, экструдирование их с получением жмыха, измельчение и обработка озоном) и повысить качество жмыха подсолнечного для высокобелкового корма (см. рисунок 2).

На основе системного анализа и МИС составим функциональную структуру его приготовления по патенту № 2735625 РФ. В качестве функциональной структуры выступают очистка семян для приготовления жмыха с последующей его обработкой озоном и все управляемы, что позволит главным образом повысить срок его хранения (рисунок 3).

Согласно лаборатории системного анализа [5] продолжительность жизненного цикла системы приготовления белкового корма (рисунок 4) определим событиями по управлению процессами получения семян подсолнечника, приготовления его (жмых подсолнечный) при определенной расстановке оборудования и озонирование приготовленного белкового корма. Система приготовления белкового корма «проявляется» в течение времени и осуществляет хранение приготовленный корм.



Рисунок 2 – МИС получения жмыха по патенту РФ № 2735625

Figure 2 - Multi-level hierarchical system for obtaining sunflower meal according to RF patent No. 2735625



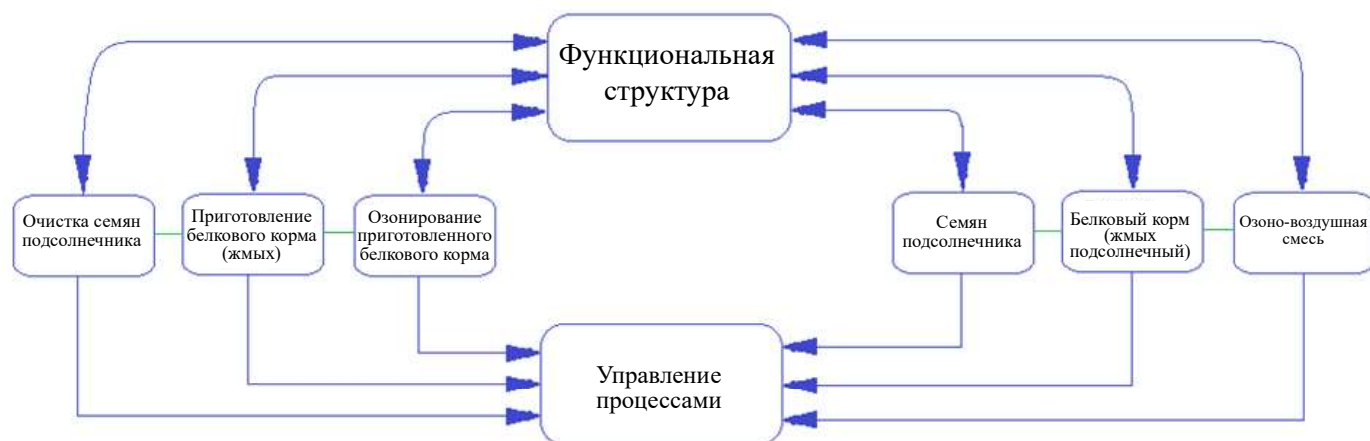


Рисунок 3 – Функциональная структура приготовления белкового корма по патенту РФ № 2735625  
 Figure 3 – Functional structure of protein feed preparation according to RF patent No. 2735625

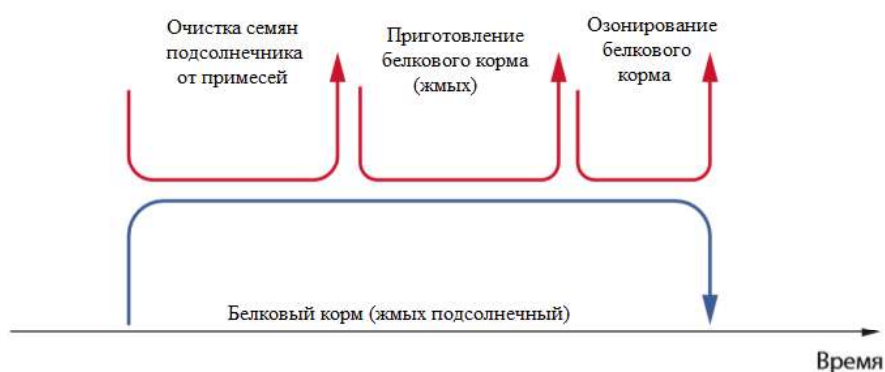


Рисунок 4 – Продолжительность жизненного цикла получения жмыха подсолнечного по патенту РФ №2735625  
 Figure 4 – Life cycle duration of sunflower meal production according to RF patent No. 2735625

**Заключение.** Анализ созданных технологических линий получения кормов показал их непригодность для приготовления жмыха подсолнечного.

Теория графов направлена на проектирование или модернизацию технологии его получения при разном сочетании технических устройств и выявление структуры технических средств входящих в нее, а также повышение длительности срока его хранения.

Использование МИС позволяет координировать все технологические процессы в линии (очистка семян подсолнечника от примесей, экструдирование их с получением жмыха, измельчение и обработка озоном) и повысить его качество для высокобелкового корма.

На основе системного анализа и МИС составлена функциональная структура его приготовления, например патент № 2735625 РФ, в которой функциональной структурой является очистка семян для приготовления жмыха с обработкой озоно-воздушной смесью и все управляемы для повышения срока его хранения.

В дальнейших исследованиях необходимо продолжить работу по совершенствованию линий приготовления белкового корма с использованием теории графов. Перспективным дальнейшей реализации полученных результатов исследований является внедрения в линию аэроионизатора с обоснованием режимным параметров достигается повышение длительного срока его хранения. Длительность хранения повышения за счет ионизации потоком воздуха корма под давлением 2 МПа и обеспечения турбулентного движения частиц корма с концентрацией легких отрицательных ионов  $3 \times 10^5$  в  $1 \text{ см}^3$  в течение 30 мин ежедневно 3–4 дня.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов С. Ю. Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств приготовления кормов в условиях малых форм хозяйствования: дис. ... д-ра техн. наук / Сергей Юрьевич Булатов. Княгинино: НИЖЕГОРОДСКИЙ ГИЭУ, 2018. 412 с.

2. Бурмага А. В. Повышение эффективности функционирования производственных процессов приготовления и раздачи смесей в системе механизированного кормления крупного рогатого скота: дис. ... д-ра техн. наук / Андрей Владимирович Бурмага. Благовещенск: ДальГАУ, 2014. 352 с.



3. Василенко В. Н. Научное обеспечение процессов производства полнораціонных коэкструдированных и экспандированных комбикормов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Василенко Виталий Николаевич. Воронеж: ВГТА, 2010. 44 с.
4. Кононюк А. Е. Системология. Общая теория систем. В 4 кн. Кн 1. К.: Освіта України. 2014. 564 с.
5. Лаборатория системного анализа. Системный подход и системный анализ. Санкт-Петербург. 53 с. Режим доступа: [https://system-laboratory.ru/assets/systems\\_analysis.pdf](https://system-laboratory.ru/assets/systems_analysis.pdf).
6. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.
7. Припоров И. Е. Системные исследования приготовления белковых комбикормов / И.Е. Припоров // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 1. С. 75-81. DOI: 10.31992/0321-4443-2019-1-75-80.
8. Садов В. В. Обоснование структуры и состава технологических линий для производства комбикормов в сельскохозяйственных предприятиях: дис. ... д-ра техн. наук / Виктор Викторович Садов. Барнаул: Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова. 2017. 294 с.
9. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. М.: Изд-во Наука, 1974. С. 93–245.
10. Aliiev E., Linko M., Aliieva O. Simulation of the process of expanded feed preparation // Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2022. Vol. 2. No. 5(36). P. 176–185. DOI: 10.32515/2664-262x.2022.5(36).2.176–185
11. Sergeyeva N. V., Ivakina E. G., Ovsyannikova E. A., Vasilchenko T. A., Chukhacheva E. V. Innovative feed preparation solutions // Improving energy efficiency, environmental safety and sustainable development in agriculture. International scientific and practical conference. London, 2022. P. 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012008.
12. Rina D. More, Archana S. Patil, Deepak S Dandwate, Umesh J. Tupe. A literature review on applications of graph theory in various fields // International journal for research trends and innovation. 2021. Vol. 6, Iss. 1. P. 1–8.
13. Prathik A., Uma K., Anuradha J. An Overview of application of Graph theory // International Journal of ChemTech Research. 2016. Vol. 9. No. 02. pp 242–248.

#### REFERENCES

1. Bulatov S. Yu. Development and improvement of technological lines and technical means of feed preparation in conditions of small forms of management: doctoral dissertation / Sergey Yuryevich Bulatov. Knyaginino: Nizhny Novgorod. 2018. 412 p. (In Russ.).
2. Burmaga A. V. Improving the efficiency of the functioning of production processes of preparation and distribution of mixtures in the system of mechanized feeding of cattle: doctoral dissertation / Andrey Vladimirovich Burmaga. Blagoveshchensk: DalGAU. 2014. 352 p. (In Russ.).
3. Vasilenko V. N., Frolova L. N., Mikhailova N. A., Dragan I. V., Tarkaeva D. A. Equipment for the production of high-performance compound feeds of the new generation. *Bulletin of Mechanical Engineering*. 2020;(6):86–87. (In Russ.). DOI: 10.36652/0042-4633-2020-6-86-87.
4. Kononyuk A. E. Systemology. General theory of systems. In 4 books. Book 1. Kiiiv: The Enlightenment of Ukraine, 2014. 564 p.
5. Laboratory of System Analysis. System approach and system analysis. St. Petersburg. 53c. Available at: [https://system-laboratory.ru/assets/systems\\_analysis.pdf](https://system-laboratory.ru/assets/systems_analysis.pdf).
6. Moiseev N. N. Mathematical problems of system analysis. Moscow: Nauka, 1981. 488 p.
7. Priporov I. E. System researches of preparation of protein compound feeds / I.E. Priporov. *Tractors and agricultural machines*. 2019;(1):75-81. (In Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2019-1-75-80.
8. Sadov V. V. Substantiation of the structure and composition of technological lines for the production of compound feeds in agricultural enterprises: doctoral dissertation / Viktor Viktorovich Sadov. Barnaul: Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 2017. 294 p. (In Russ.).
9. Sadovsky V. N. Foundations of the general theory of systems. Moscow: Nauka Publishing House, 1974:93–245.
10. Aliiev E., Linko M., Aliieva O. Simulation of the process of expanded feed preparation. *Central Ukrainian Scientific Bulletin*. 2022;2;5(36):176-185. DOI: 10.32515/2664-262x.2022.5(36).2.176-185.
11. Sergeyeva N. V., Ivakina E. G., Ovsyannikova E. A., Vasilchenko T. A., Chukhacheva E. V. Innovative feed preparation solutions. *Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture*. London, 2022:012008. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012008.
12. Rina D. More, Archana S. Patil, Deepak S Dandwate, Umesh J. Tupe. A literature review on applications of graph theory in various fields. *International Journal for Research Trends and Innovation*. 2021;6;(1):1–8.
13. Prathik A., Uma K., Anuradha J. An Overview of application of Graph theory. *International Journal of ChemTech Research*. 2016;9(02):242–248.

Статья поступила в редакцию 7.03.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024; принята к публикации 22.03.2024.

The article was submitted 7.03.2024; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 22.03.2024.

