



## Моделирование приготовления комбикормов-концентратов при изменении состава машин и комбикормовых агрегатов

**И. Е. Припоров**

*Кубанский государственный аграрный университет  
имени И. Т. Трубилина (г. Краснодар, Российская Федерация)*

✉ [i.priporov@yandex.ru](mailto:i.priporov@yandex.ru)

### **Аннотация**

*Введение.* Для ведения малых хозяйств актуальной является задача приспособления типовых комбикормовых агрегатов к местным кормам. Из семечек подсолнечника необходимо получать масло и жирный жмых для крупного рогатого скота. Универсальных прессов, которые подходили бы для этого, нет. Сложности вызывает и процесс измельчения жмыха. В связи с этим существует высокая необходимость в наборе специальных машин для данного вида операции.

*Цель исследования.* Разработка математической модели приготовления подсолнечного жмыха на участке и комбикормов-концентратов на комбикормовом агрегате, которая позволит определять оптимальный участок и агрегат с минимальными технико-экономическими показателями.

*Материалы и методы.* Разработанный алгоритм с учетом математической модели реализован в программе Microsoft Excel 2016. Результаты и расчеты по выбору рационального варианта машин для участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата представлены в тексте статьи. Техничко-экономические показатели и затраты на помещение цеха и его эксплуатацию рассчитаны согласно рекомендациям доктора технических наук, профессора В. В. Коновалова с учетом полученных выражений для технологического расчета.

*Результаты исследования.* В статье разработана математическая модель приготовления комбикормов-концентратов. Проведенные расчеты по выбору рационального варианта участка и комбикормового агрегата показали схемы машин, которые удовлетворяют поставленным задачам настоящего исследования.

*Обсуждение и заключение.* Для рассматриваемых условий эффективным вариантом среди представленных участков с экономической точки зрения являются участок и комбикормовый агрегат, представленные на схеме 1 (табл. 1). На основе разработанного алгоритма с учетом математической модели приготовления комбикорма-концентрата и программы для его реализации проведен технологический расчет участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата, а также рассчитаны их технико-экономические показатели и затраты на помещение цеха и его эксплуатацию, выбран рациональный вариант участка и комбикормового агрегата. Экономический эффект получен за счет снижения годовых эксплуатационных и прочих прямых издержек.

**Ключевые слова:** моделирование, животноводческие предприятия, жмых подсолнечный, корма местные, комбикорм-концентрат, комбикормовый агрегат

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



**Финансирование:** работа выполнена в рамках госбюджетной НИР.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность анонимным рецензентам.

**Для цитирования:** Припоров И. Е. Моделирование приготовления комбикормов-концентратов при изменении состава машин и комбикормовых агрегатов // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 2. С. 191–212. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202402.191-212>

## Modeling of the Producing Concentrated Compound Feed when Changing the Compound Feed Machinery

**I. E. Priporov**

*I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University  
(Krasnodar, Russian Federation)*

✉ [i.priporov@yandex.ru](mailto:i.priporov@yandex.ru)

### **Abstract**

**Introduction.** For small farms, an urgent task is to adapt standard compound feed machinery for producing the specified local feeds. It is necessary to use sunflower seeds for producing oil and fat sunflower meal for cattle. There are no universal presses suitable for producing sunflower meal. The process of crushing sunflower meal also causes difficulties. Therefore, we need a set of machines for this operation.

**Aim of the Study.** The article is aimed at developing a mathematical model for producing sunflower meal on the field plot and feed concentrates with the use of the compound feed machinery, and for determining the optimal field plot and machinery with minimal technical and economic indicators.

**Materials and Methods.** The developed algorithm in view of the mathematical model is implemented in the Microsoft Excel 2016 program. The results and calculations for the choice of rational option of machinery for producing sunflower meal on a field plot are presented in the text of the article. Technical and economic indicators and costs of the workshop and its operation are calculated according to the recommendations of Doctor of technical sciences, Professor V. V. Konovalov, but taking into account the expressions obtained for technological calculation.

**Results.** A mathematical model for producing concentrated compound feed is developed. The calculations carried out for the choice of a rational option of the field plot and the compound feed machinery showed the schemes of machines that meet the objectives of the study.

**Discussion and Conclusion.** For the conditions under consideration, an effective option among the presented field plots, from an economic point of view, is the field plot and compound feed machinery presented at the scheme 1 (table 1). Technological calculation of the sunflower meal production plot and the compound feed machinery was carried out based on the developed algorithm in view of the mathematical model for producing concentrated compound feed and the program for its implementation, their technical and economic indicators, and the costs of the workshop and its operation were calculated, and the rational option of the field plot and the compound feed machinery were selected. The economic effect of the selected field plot and compound feed machine was achieved by reducing annual operating and other direct costs, reduced costs.

**Keywords:** modeling, livestock enterprises, sunflower meal, local feed, concentrated compound feed, compound feed machinery

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Funding:** The study was carried out as part of the state budget research.

**Acknowledgements:** The authors would like to thank anonymous reviewers.

**For citation:** Priporov I.E. Modeling of the Producing Concentrated Compound Feed when Changing the Compound Feed Machinery. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(2):191–212. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202402.191-212>

**Введение.** Для повышения эффективности отрасли животноводства необходима кормовая база, которая обеспечивала бы фермы качественными кормами. Важная роль отводится технологиям, которые направлены на приготовление кормов на фермах [1]. Многие предприятия малых форм хозяйствования не производят покупку кормов, их приготовление происходит на месте в небольших комбикормовых агрегатах, которые выполняют разные технологические операции. Приготовление кормов непосредственно на животноводческих предприятиях позволяет снизить вероятность приобретения продукта плохого качества и затраты на его транспортирование, хранение и приготовление [2; 3]. Большое значение имеют использование в достаточном количестве концентрированных кормов и постоянный рост их питательности [4].

Перед малыми хозяйствами поставлена задача приспособления типовых комбикормовых агрегатов под местные корма. Из семечек подсолнечника необходимо получать масло и жирный жмых для крупного рогатого скота (далее – КРС). В настоящее время нет универсальных процессов, которые подходили бы для получения жмыха.

Цель исследования – разработать математическую модель приготовления жмыха подсолнечного на участке и комбикормов-концентратов на комбикормовом агрегате, позволяющую определять оптимальный участок и агрегат с минимальными технико-экономическими показателями.

**Обзор литературы.** Математическая модель (далее – ММ) эффективности использования потенциала животного, разработанная В. Ю. Фроловым и Д. П. Сысоевым, позволяет увязать технико-экономические показатели с коэффициентом эффективности системы. Приведенная ММ требует эмпирического установления характера изменения сомножителей коэффициента эффективности системы [4].

По мнению доктора технических наук, профессора В. В. Коновалова и его коллег, в модели показатели имеют зоотехническую и ветеринарную основу. На их взгляд, влияние породы и генетики, а также здоровья и особенностей животного возможно объединить. Для технической службы важны показатели, которые обеспечивают животное потребным количеством и качеством воды и корма [4].

В свою очередь В. В. Коновалов получил ММ, которая определяет молочную продуктивность коров при изменении технологических процессов на ферме и оценивает экономическую эффективность мероприятий с учетом соблюдения технологических требований [4]. Недостаток данной ММ в том, что она не позволяет увязать одновременно технологический расчет, технико-экономические показатели участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата (далее – КА) и затраты на помещение цеха, его эксплуатацию.

А. М. Валге и А. Н. Перекопский предложили целевую функцию ММ, которая позволяет определять влияние стоимостей различных видов кормов покупных

и собственного производства на рациональную структуру и стоимость всего его объема по заданному уровню молочной продуктивности коров [5]. Данная ММ не применима для приготовления жмыха подсолнечного. С. В. Вараксин, С. М. Доценко и Л. Г. Крючкова разработали экономико-математическую модель (далее – ЭММ) для оценивания функционирования системы приготовления кормовых продуктов разной физической формы с добавлением соево-зерновых композиций для малых ферм на стадии ее проектирования [6].

Другие ЭММ предложены профессорами С. М. Доценко и А. В. Бурмага для оценивания технологии приготовления продуктов на основе соево-растительных и тыквенно-зерновых композиций, которая позволяет на стадии их проектирования получить данные для эффективности функционирования системы<sup>1</sup> [7]. Предложенная авторами ЭММ не пригодна для приготовления комбикорма и жмыха из семян подсолнечника. С. Ю. Булатов и соавторы предложили ММ приготовления кормов для малых форм хозяйствования, которая позволяет выявить основные пути повышения эффективности их производства [8]. Ее недостаток в том, что она не пригодна для приготовления жмыха из семян подсолнечника, а также не учитывает технико-экономические показатели разработанного и предложенного оборудования для производства жмыха в условиях малых форм хозяйствования.

Проведенные исследования В. Д. Павлидиса позволили разработать стохастическую модель технологического процесса промышленного производства комбикормов, которая базируется на целостности технологической системы [9–11]. Данная модель не учитывает технико-экономические показатели приготовления комбикорма и жмыха из семян подсолнечника [12–14].

На основании проведенных исследований профессора А. В. Бурмага и др. получена ММ, которая позволяет провести оценку увлажненно-обогащенного состояния зерновки по равномерности ее насыщения питательными веществами [15], однако эта модель не пригодна для приготовления жмыха из семян подсолнечника.

П. Ю. Крупенин предложил ММ, которая описывает импульсный характер движения кормовой суспензии по каналам роторного аппарата с учетом блокировки его частицами проходного сечения между каналами ротора и статора и позволяет определять подачу роторного импульсного аппарата с погрешностью от 4 до 8 % [16]. Данная модель не позволяет приготовить подсолнечный жмых и не учитывает технико-экономические показатели.

Авторы исследования [17] разработали ММ для проведения исследований неявных переменных в сложной системе накопления и энтропии обменной энергии корма, принятия оптимальных инженерных решений по обоснованию и совершенствованию технологий возделывания, уборки и приготовления кормов, а также их эффективному использованию. Недостаток ММ – она охватывает большинство вопросов приготовления кормов, но не пригодна для приготовления подсолнечного жмыха.

Также существует ММ процесса смешивания жидких кормов в экспериментальной установке на основе теоретической механики и гидравлики [18]. Однако она неприменима для приготовления жмыха подсолнечного.

<sup>1</sup> Научно-практические основы технологии приготовления формованных кормовых продуктов с использованием тыквенно-зерновых композиций / С. М. Доценко [и др.]. Благовещенск : Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2017. 350 с.

Некоторыми исследователями рассмотрен системный подход применительно к технологическому процессу смешивания разных компонентов смеси, который представлен в виде детерминированной модели функционирования смесителя кормов периодического действия на всех этапах его работы: от их загрузки до приема и выгрузки готовой кормосмеси [19; 20].

В ряде исследований решается задача имитационного моделирования процесса смешивания двухкомпонентного материала [21–23]. Опыты проводились на моделях лопастных смесителей со стержневыми элементами и без них [24–26].

Ученые описали зависимость между мощностью смесителя и степенью измельчения продукта, частотой вращения шнека, коэффициентами трения, количеством витков на единицу длины и шириной шнековой ленты [27–29].

В том числе была предложена ММ дискретных процессов для описания потока комбикорма и генерации воздействий управления. В совокупности с разработанной пробной аппаратной реализацией блока управления (на базе интегрированной платы Arduino) открываются перспективы в создании и функциональном наполнении системы управления современных комбикормовых заводов [30].

Однако предложенные модели имеют ряд недостатков: в них не учитывается оборудование для приготовления подсолнечного жмыха и комбикорма-концентрата, а также они не подходят для животноводческих предприятий малых форм хозяйствования.

**Материалы и методы.** Автором настоящего исследования разработана ММ, которая устанавливает связь между технологическим расчетом, технико-экономическими показателями участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата, а также затратами на помещение комбикормового цеха и его эксплуатацию. ММ имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ж} = a \cdot n_{ж}, P_{КК} = a \cdot n_{КК}, P_{пш} = a \cdot n_{пш}, P_{яч} = a \cdot n_{яч}; \\ P_{гор} = a \cdot n_{гор}; P_{дер.пш} = a \cdot n_{дер.пш}, P_{дер.яч} = a \cdot n_{дер.яч}; \\ P_{дер.гор} = a \cdot n_{дер.гор}; P_{с.п} = \frac{P_{ж}}{k_M}; m_{с.п} = \frac{P_{ж}}{k_M}; \\ V_{б.вор.пш} = \frac{m_{пш}}{\rho_{пш} \cdot \psi}; V_{б.вор.яч} = \frac{m_{яч}}{\rho_{яч} \cdot \psi}; V_{б.вор.гор} = \frac{m_{гор}}{\rho_{гор} \cdot \psi}; \\ V_{б.вор.с.п} = \frac{m_{с.п}}{\rho_{с} \cdot \psi}; V_{б.дер.пш} = \frac{m_{б.дер.пш}}{\rho_{дер.пш} \cdot \psi}; V_{б.дер.яч} = \frac{m_{б.дер.яч}}{\rho_{дер.яч} \cdot \psi}; \\ V_{б.дер.гор} = \frac{m_{б.дер.гор}}{\rho_{дер.гор} \cdot \psi}; V_{б.изм.ж} = \frac{m_{б.ж}}{\rho_{ж} \cdot \psi}; V_{б.КК} = \frac{m_{б.КК}}{\rho_{КК} \cdot \psi}; \\ M_{б.вор.пш} = V_{б.вор.пш} \cdot \rho_{пш} \cdot \psi; M_{б.вор.яч} = V_{б.вор.яч} \cdot \rho_{яч} \cdot \psi; \\ M_{б.вор.гор} = V_{б.вор.гор} \cdot \rho_{гор} \cdot \psi; M_{б.вор.с.п} = V_{б.вор.с.п} \cdot \rho_{с} \cdot \psi; \\ M_{б.дер.вор.пш} = V_{б.дер.пш} \cdot \rho_{дер.пш} \cdot \psi; M_{б.дер.вор.яч} = V_{б.дер.яч} \cdot \rho_{дер.яч} \cdot \psi; \\ M_{б.дер.вор.гор} = V_{б.дер.гор} \cdot \rho_{дер.гор} \cdot \psi; M_{б.изм.ж} = V_{б.изм.ж} \cdot \rho_{ж} \cdot \psi; \\ M_{б.КК} = V_{б.КК} \cdot \rho_{КК} \cdot \psi; \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
 & Z_{д.изм.ж} = \frac{M_{б.изм.ж}}{P_{ж}}; Z_{д.вор.с.п} = \frac{M_{б.вор.с.п}}{m_{с.п}}; Z_{д.вор.пш} = \frac{M_{б.вор.пш}}{P_{пш}}; \\
 & Z_{д.вор.яч} = \frac{M_{б.вор.яч}}{P_{яч}}; Z_{д.вор.гор} = \frac{M_{б.вор.гор}}{P_{гор}}; Z_{д.дер.вор.пш} = \frac{M_{б.дер.вор.пш}}{P_{дер.пш}}; \\
 & Z_{д.дер.вор.яч} = \frac{M_{б.дер.вор.яч}}{P_{дер.яч}}; Z_{д.дер.вор.гор} = \frac{M_{б.дер.вор.гор}}{P_{дер.гор}}; \\
 & Z_{д.КК} = \frac{(M_{б.вор.дер} + M_{б.вор.зер.копм})}{P_{КК}}; \\
 & Z_{д} = \min(Z_{д.КК}; Z_{д.изм.ж}; Z_{д.вор.с.п}; Z_{д.вор.пш}; Z_{д.вор.яч}; Z_{д.вор.гор}; \\
 & Z_{д.дер.вор.пш}; Z_{д.дер.вор.яч}; Z_{д.дер.вор.гор}); \\
 & Z_{д.изм.ж0} = T_c \cdot \frac{G_{ж}}{P_{ж}} \rightarrow \min; Z_{д.вор.с.п0} = T_c \cdot \frac{G_{ж}}{P_{с.п}} \rightarrow \min; \\
 & 6 > Z_{д.изм.ж0} \leq 2; 5 > Z_{д.вор.с.п0} \leq 2; \\
 & Z_{д.вор.пш0} = T_c \cdot \frac{G_{а.э}}{P_{пш}} \rightarrow \min; 48 > Z_{д.вор.пш0} \leq 9; \\
 & Z_{д.вор.яч0} = T_c \cdot \frac{G_{а.э}}{P_{яч}} \rightarrow \min; 48 > Z_{д.вор.яч0} \leq 9; \\
 & Z_{д.вор.гор0} = T_c \cdot \frac{G_{а.э}}{P_{гор}} \rightarrow \min; 68 > Z_{д.вор.гор0} \leq 13; \\
 & Z_{д.дер.вор.пш0} = T_c \cdot \frac{G_{а.э}}{P_{дер.пш}} \rightarrow \min; 120 > Z_{д.дер.вор.пш0} \leq 24; \\
 & Z_{д.дер.вор.яч0} = T_c \cdot \frac{G_{а.э}}{P_{дер.яч}} \rightarrow \min; 96 > Z_{д.дер.вор.яч0} \leq 19; \\
 & Z_{д.дер.вор.гор0} = T_c \cdot \frac{G_{а.э}}{P_{дер.гор}} \rightarrow \min; 184 > Z_{д.дер.вор.гор0} \leq 36; \\
 & Z_{д.КК0} = T_c \cdot \frac{G_{а.э}}{P_{КК}} \rightarrow \min; 15 > Z_{д.КК0} \leq 3; \\
 & Z_{д} = \min(Z_{д.изм.ж0}; Z_{д.изм.ж}; Z_{д.вор.с.п}; Z_{д.вор.с.п0}; Z_{д.вор.пш}; Z_{д.вор.пш0}; \\
 & Z_{д.вор.яч}; Z_{д.вор.яч0}; Z_{д.вор.гор}; Z_{д.вор.гор0}; Z_{д.дер.вор.пш}; Z_{д.дер.вор.пш0}; \\
 & Z_{д.дер.вор.яч}; Z_{д.дер.вор.яч0}; Z_{д.дер.вор.гор}; Z_{д.дер.вор.гор0}; Z_{д.КК}; Z_{д.КК0}); \\
 & P_{жм} = Z_{д} \cdot a \cdot n_{ж}; P_{из} = Z_{д} \cdot a \cdot (n_{зерно.пш} + n_{зерно.яч} + n_{зерно.гор}); \\
 & P_{кон} = Z_{д} \cdot a \cdot n_{КК}; \\
 & t_{ф.у} = \frac{Z_{д} \cdot P_{ж}}{G_{ж}} \rightarrow \max; t_{ф.а} = \frac{Z_{д} \cdot P_{КК}}{G_{а.э}} \rightarrow \max; \\
 & 3,08 < t_{ф.у} \geq 1,29; 2,58 < t_{ф.а} \geq 0,52;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & t_y = \frac{Z_{\pi} \cdot P_{\text{ж}}}{G_{\text{ж}} \cdot k_{\text{смы}}} \rightarrow \max; t_a = \frac{Z_{\pi} \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \rightarrow \max; \\
 & 3,85 < t_y \leq 1,61; 3,23 < t_a \leq 0,65; \\
 & t_{\text{ay}} = \max(t_y; t_a); \tau_c = \frac{365}{Z_{\pi}}; \\
 & T_{\text{yж}} = \frac{365 \cdot P_{\text{ж}}}{G_{\text{ж}}} \rightarrow \max; T_a = \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}}} \rightarrow \max; \\
 & 1123 < T_{\text{yж}} \leq 471; 943 < T_a \leq 189; \\
 & T_{\text{a.y}} = \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \rightarrow \max; 1404 > T_{\text{a.y}} \leq 589; \\
 & P_{\text{эa}} = N_a \cdot 365 \cdot \frac{P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}}} \cdot N_{\text{ч}} \rightarrow \min; 54872 > P_{\text{эa}} \leq 15689; \\
 & E_a = \frac{N_a \cdot N_{\text{ч}}}{G_{\text{а.э}}} \rightarrow \min; 0,0970 > E_a \leq 0,0277; \\
 & P_{\text{эy}} = N_y \cdot \frac{365 \cdot P_{\text{жм}}}{G_{\text{ж}}} \rightarrow \min; 47231 > P_{\text{эy}} \leq 15689; \\
 & E_y = \frac{N_y}{G_{\text{ж}}} \rightarrow \min; 0,6470 > E_y \leq 0,2149; \\
 & 3_{\pi} = \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot 2,15 \rightarrow \min; 51481464 > 3_{\pi} \leq 21589001; \\
 & Б_{\text{ca}} = 1,4 \cdot C_{\text{aa}} \rightarrow \min; Б_{\text{cy}} = 1,4 \cdot C_{\text{ay}} \rightarrow \min; \\
 & 18410000 > Б_{\text{ca}} \leq 3990000; 4480000 > Б_{\text{cy}} \leq 947520; \\
 & \Gamma_{\text{эa}} = \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \cdot (2,15 \cdot C_{\text{ч}} + N_a \cdot \Pi_{\text{э}}) + 1,4 \cdot C_{\text{aa}} \left( \frac{p}{100} + \frac{a}{100} \right) \rightarrow \min; \\
 & 51785109 > \Gamma_{\text{эa}} \leq 21765505; \\
 & \Gamma_{\text{эy}} = \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \cdot 2,15 \cdot C_{\text{ч}} + 1,4 \cdot C_{\text{ay}} \left( \frac{p}{100} + \frac{a}{100} \right) + N_y \frac{365 \cdot P_{\text{жм}}}{G_{\text{ж}}} \cdot \Pi_{\text{э}} \rightarrow \min; \\
 & 52195233 > \Gamma_{\text{эy}} \leq 22078486; \\
 & \Pi_{\text{py}} = \frac{\Pi}{100} \cdot \left[ \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \cdot 2,15 \cdot C_{\text{ч}} + 1,4 \cdot C_{\text{ay}} \left( \frac{p}{100} + \frac{a}{100} \right) + \right. \\
 & \left. + N_y \frac{365 \cdot P_{\text{жм}}}{G_{\text{ж}}} \cdot \Pi_{\text{э}} \rightarrow \min; \right]; \\
 & \Pi_{\text{pa}} = \frac{\Pi}{100} \cdot \left[ \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \cdot (2,15 \cdot C_{\text{ч}} + N_a \cdot \Pi_{\text{э}}) + 1,4 \cdot C_{\text{aa}} \left( \frac{p}{100} + \frac{a}{100} \right) + \right. \\
 & \left. + N_y \frac{365 \cdot P_{\text{жм}}}{G_{\text{ж}}} \cdot \Pi_{\text{э}} \rightarrow \min; \right]; \\
 & 5219523 > \Pi_{\text{py}} \leq 2207849; 5178511 > \Pi_{\text{pa}} \leq 2176550;
 \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 F_{\text{пом.у}} = 3 \cdot F_{\text{п.у}} \cdot Z_{\text{ау}} + \frac{V_{\text{x.у}}}{1,5}; \\
 F_{\text{пом.а}} = 3 \cdot F_{\text{п.а}} \cdot Z_{\text{аа}} + \frac{V_{\text{x.а}}}{1,5}; \\
 3_{\text{пом.у}} = C_{\text{пом}} \cdot \left( 3 \cdot F_{\text{п.у}} \cdot Z_{\text{ау}} + \frac{V_{\text{x.у}}}{1,5} \right) \rightarrow \min; \\
 3_{\text{пом.а}} = C_{\text{пом}} \cdot \left( 3 \cdot F_{\text{п.а}} \cdot Z_{\text{аа}} + \frac{V_{\text{x.а}}}{1,5} \right) \rightarrow \min; \\
 1992887 > 3_{\text{пом.у}} \leq 812184; 7475113 > 3_{\text{пом.а}} \leq 1136619; \\
 P_{\text{ра}} = \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \cdot (2,15 \cdot C_{\text{ч}} + N_{\text{а}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}}) + 1,4 \cdot C_{\text{аа}} \left( \frac{p}{100} + \frac{a}{100} \right) + \\
 + C_{\text{пом}} \cdot \left( 3 \cdot F_{\text{п.а}} \cdot Z_{\text{аа}} + \frac{V_{\text{x.а}}}{1,5} \right) + E_{\text{н}} \cdot 1,4 \cdot C_{\text{аа}} \rightarrow \min; \\
 P_{\text{з.у}} = \frac{365 \cdot P_{\text{КК}}}{G_{\text{а.э}} \cdot k_{\text{сма}}} \cdot 2,15 \cdot C_{\text{ч}} + 1,4 \cdot C_{\text{ау}} \left( \frac{p}{100} + \frac{a}{100} \right) + \\
 + N_{\text{у}} \cdot \frac{365 \cdot P_{\text{жм}}}{G_{\text{ж}}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}} + C_{\text{пом}} \cdot \left( 3 \cdot F_{\text{п.у}} \cdot Z_{\text{ау}} + \frac{V_{\text{x.у}}}{1,5} \right) + E_{\text{н}} \cdot 1,4 \cdot C_{\text{аа}} \rightarrow \min; \\
 58782604 > P_{\text{з.а}} \leq 28743399; 53573646 > P_{\text{з.у}} \leq 23949069,
 \end{array} \right.$$

где,  $P_{\text{ж}}, P_{\text{КК}}, P_{\text{пш}}, P_{\text{яч}}, P_{\text{гор}}, P_{\text{гор}}, P_{\text{дер.пш}}, P_{\text{дер.яч}}, P_{\text{дер.гор}}, P_{\text{с.п}}$  – массы суточного потребления измельченного жмыха, комбикорма-концентрата, вороха зерна пшеницы, ячменя и гороха, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти вороха гороха, вороха семян подсолнечника, кг/сут;  $k_{\text{м}}$  – коэффициент выхода масла подсолнечного ( $k_{\text{м}} = 0,9$ );  $a$  – поголовье КРС, гол.;  $m_{\text{с.п}}$  – масса вороха семян подсолнечника, которая необходима для приготовления жмыха КРС, кг;  $p_{\text{ж}}, p_{\text{КК}}, p_{\text{пш}}, p_{\text{яч}}, p_{\text{гор}}, p_{\text{дер.пш}}, p_{\text{дер.яч}}, p_{\text{дер.гор}}$  – норма выдачи измельченного жмыха, комбикорма-концентрата, вороха зерна пшеницы, ячменя и гороха, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти вороха гороха на голову, кг/сут;  $V_{\text{б.вор.пш}}, V_{\text{б.вор.яч}}, V_{\text{б.вор.гор}}, V_{\text{б.вор.с.п}}, V_{\text{б.дер.пш}}, V_{\text{б.дер.яч}}, V_{\text{б.изм.ж}}, V_{\text{б.КК}}$  – объемы бункеров для вороха зерна пшеницы, ячменя и гороха, вороха семян подсолнечника, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти вороха гороха, измельченного жмыха и комбикорма-концентрата, м<sup>3</sup>;  $m_{\text{пш}}, m_{\text{яч}}, m_{\text{гор}}, m_{\text{б.дер.пш}}, m_{\text{б.дер.яч}}, m_{\text{б.дер.гор}}, m_{\text{б.ж}}, m_{\text{б.КК}}$  – массы вороха зерна пшеницы, ячменя и гороха, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти вороха гороха, измельченного жмыха, комбикорма-концентрата соответственно, кг;  $\psi$  – степень заполнения бункера ( $\psi = 0,8$ );  $\rho_{\text{пш}}, \rho_{\text{яч}}, \rho_{\text{гор}}, \rho_{\text{с}}, \rho_{\text{дер.пш}}, \rho_{\text{дер.яч}}, \rho_{\text{дер.гор}}, \rho_{\text{ж}}, \rho_{\text{КК}}$  – плотности вороха зерна пшеницы, ячменя и гороха, вороха семян подсолнечника, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти вороха гороха, измельченного жмыха и комбикорма-концентрата соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $M_{\text{б.вор.пш}}, M_{\text{б.вор.яч}}, M_{\text{б.вор.гор}}, M_{\text{б.вор.с.п}}, M_{\text{б.дер.вор.пш}}, M_{\text{б.дер.вор.гор}}, M_{\text{б.изм.ж}}, M_{\text{б.КК}}$  – массы вороха зерна пшеницы, ячменя и гороха, вороха семян подсолнечника, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти



вороха гороха, измельченного жмыха и комбикорма-концентрата, которые могут находиться в выбранных бункерах соответственно, кг;  $Z_{д.изм.ж}$ ,  $Z_{д.вор.с.п}$ ,  $Z_{д.вор.пш}$ ,  $Z_{д.вор.яч}$ ,  $Z_{д.вор.гор}$ ,  $Z_{д.дер.вор.пш}$ ,  $Z_{д.дер.вор.яч}$ ,  $Z_{д.дер.вор.гор}$ ,  $Z_{д.КК}$  – количество дней, на которое можно заготовить измельченный жмых, ворох зерна пшеницы, ячмень и горох, ворох семян подсолнечника, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти вороха гороха, комбикорм-концентрат соответственно (по объему бункера), сут;  $Z_{д}$  – количество дней обслуживания бункерами поголовья, сут.;  $Z_{д.изм.ж0}$ ,  $Z_{д.вор.с.п0}$ ,  $Z_{д.вор.пш0}$ ,  $Z_{д.вор.яч0}$ ,  $Z_{д.вор.гор0}$ ,  $Z_{д.дер.вор.пш0}$ ,  $Z_{д.дер.вор.яч0}$ ,  $Z_{д.дер.вор.гор0}$ ,  $Z_{д.КК0}$  – количество дней, на которое можно заготовить измельченный жмых, ворох зерна пшеницы, ячмень и горох, ворох семян подсолнечника, дерти вороха пшеницы, дерти вороха ячменя, дерти вороха гороха, комбикорм-концентрат соответственно (по производительности машин), сут;  $T_c$  – время смены, ч ( $T_c = 8$  ч);  $G_{ж}$  – производительность участка подготовки жмыха, кг/ч;  $G_{а.э}$  – эксплуатационная производительность комбикормового агрегата, кг/ч;  $P_{жм}$  – масса измельченного жмыха подсолнечного, приготавливаемого за смену работы участком, кг;  $P_{изм}$  – масса измельченного зерна зерновых компонентов, кг;  $P_{кон}$  – масса комбикормов-концентратов, приготавливаемых за смену работы комбикормовым агрегатом, кг;  $t_{ф.у}$ ,  $t_{ф.а}$  – время активной работы участка приготовления жмыха и комбикормового агрегата за смену, ч;  $t_y$ ,  $t_a$  – время работы участка приготовления жмыха и комбикормового агрегата за смену с учетом вспомогательных мероприятий, ч;  $k_{см}$  – коэффициент использования времени смены участка и комбикормового агрегата ( $k_{см} = 0,8$ );  $t_{ay}$  – время работы рабочих цеха за смену при совместной работе комбикормового агрегата и участка приготовления жмыха, ч;  $\tau_c$  – количество смен работы цеха с одновременной работой участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата, сут;  $T_{у.ж}$ ,  $T_a$  – время работы оборудования участка и комбикормового агрегата в год, ч;  $T_{а.у}$  – время работы по обслуживанию персонала цеха в год при совместной работе комбикормового агрегата и участка подготовки жмыха, ч;  $N_{ч}$  – количество одновременно действующих рабочих в цехе, чел. ( $N_{ч} = 1$  чел.);  $P_{э.а}$ ,  $P_{э.у}$  – годовой расход электроэнергии комбикормовым агрегатом и участком соответственно, кВт;  $N_a$  – суммарная мощность привода машин комбикормового агрегата, кВт;  $N_y$  – суммарная мощность привода машин участка подготовки жмыха, кВт;  $E_a$ ,  $E_y$  – энергозатраты на приготовления комбикормов-концентратов и жмыха соответственно, кВт;  $Z_{п}$  – затраты на оплату труда рабочим, руб.;  $C_{ч}$  – тарифная ставка рабочего, руб/ч ( $C_{ч} = 17\ 054$  руб/ч на 01.01.2023 г. в Краснодарском крае);  $B_{су}$ ,  $B_{са}$  – балансовая стоимость оборудования участка и комбикормового агрегата, руб.;  $\Gamma_{э.а}$ ,  $\Gamma_{э.у}$  – годовые эксплуатационные издержки комбикормового агрегата и участка соответственно, руб.;  $c_э$  – цена 1кВт-ч электроэнергии, руб.;  $c_{аа}$ ,  $c_{ау}$  – цена агрегата и участка соответственно, руб.;  $p$ ,  $a$  – проценты отчислений на ремонт и ТО и амортизационных отчислений ( $p = 8\%$ ,  $a = 12,5\%$ ), %;  $\Pi_{ру}$ ,  $\Pi_{ра}$  – прочие прямые издержки на участок и комбикормовый агрегат, руб.;  $n$  – процент прочих прямых издержек ( $n = 10\%$ ), %;  $F_{пом.у}$ ,  $F_{пом.а}$  – площадь помещений участка и агрегата, м<sup>2</sup>;  $z_{ау}$ ,  $z_{аа}$  – количество участков и комбикормовых агрегатов в цеху, шт.;  $V_{x.у}$ ,  $V_{x.а}$  – объемы бункеров, которые установлены для участка и комбикормового агрегата соответственно, м<sup>3</sup>;  $Z_{пом.у}$ ,  $Z_{пом.а}$  – годовые затраты на помещения участка

и агрегата, руб.;  $C_{\text{пом}}$  – величина затрат на эксплуатацию 1 м<sup>2</sup> площади, руб/м<sup>2</sup> ( $C_{\text{пом}} = 149\,902 \text{ руб/м}^2$ );  $\Pi_{3,y}$ ,  $\Pi_{3,a}$  – приведенные затраты по вариантам участков и агрегатов, руб.

**Результаты исследования.** Разработан алгоритм с учетом математической модели. Данный алгоритм реализован в программе Microsoft Excel 2016. Исходные данные для проведения расчетов приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Table 1

**Исходные данные для выбора рационального варианта машин для участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата**

**Initial data for the selection of a rational machinery for the producing sunflower meal on the field plot**

Схема / Scheme	Оборудование / Equipment	Марка / Make	W, т/ч	N, кВт
1	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	КМЗ-2	0,155	40,000
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	СМ-2500G	0,181	2,500
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	КУ-2	1,500	26,650
2	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	ЭК-150	0,075	18,620
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	SP-1000,65	0,500	1,500
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	КМЗ-2	1,600	21,500
3	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	ПЭ-110	0,065	11,370
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	SP-1000,65	0,500	1,500
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	КМЗ-2	1,200	21,500
4	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	ПЭ-180	0,090	18,620
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	ДР-15	0,700	5,500
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	АК-3000	1,800	45,100
5	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	ПЭ-500	0,100	56,100
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	ДР-25	1,000	7,500
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	КМЗ-4	2,400	41,740

<sup>2</sup> Об утверждении стоимости одного квадратного метра общей площади жилья в сельской местности на территории Краснодарского края на 2023 год, используемой для расчета размеров социальных выплат, предоставляемых за счет федерального и краевого бюджетов на строительство (приобретение) жилья гражданам, проживающим на сельских территориях [Электронный ресурс] : Приказ Министерства сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края от 02.03.2023 г. № 89. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/2301202303090003?ysclid=lvxuc900qj990668970> (дата обращения: 20.12.2023).

Окончание табл. 1 / End of table 1

1	2	3	4	5
6	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	ПЭ-300	0,150	30,800
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	ДР-2/22	1,800	22,000
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machinery	АКА-3,322	2,400	45,100
7	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	ЭМ-200	0,095	22,962
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	ДРМ-15	0,500	3,000
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	«Алтай»	2,100	30,500
8	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	ПЭ-250	0,150	37,000
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	ДМР-18,5	1,000	18,500
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	АТМ-3	1,800	28,000
9	Экструдер жмыха / Sunflower meal extruder	Гарант-Агро-150	0,075	15,000
	Измельчитель жмыха / Sunflower meal crusher	ДР-25	1,000	7,500
	Транспортер для загрузки измельченного жмыха / Conveyor for loading crushed sunflower meal	ТСШ-100	2,000	1,100
	Комбикормовый агрегат / Compound Feed machine	АК-2-2	3,000	45,100

*Источник:* здесь и далее в статье все таблицы составлены автором.

*Source:* Hereinafter in this article all tables were drawn up by the author.

Под участком подготовки жмыха подразумевается набор машин, в состав которого входят: экструдер для его получения, измельчитель жмыха и транспортер для загрузки его в измельченном виде. Под комбикормовым агрегатом подразумевается серийный агрегат, который приготавливает высококачественный комбикорм. В качестве исходного сырья выступают фуражное зерно (пшеница, рожь, ячмень, овес) и белково-витаминная добавка. В состав агрегата входят машины и оборудование для производства комбикорма.

Технико-экономические показатели и затраты на помещение цеха и его эксплуатацию рассчитаны согласно рекомендациям профессора В. В. Коновалова<sup>3</sup> с учетом полученных выражений для технологического расчета.

Результаты расчета по выбору рационального варианта машин для участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата приведены в таблице 2.

Критерием, по которому происходит выбор рационального варианта участка и комбикормового агрегата, являются технико-экономические показатели, годовые эксплуатационные и прочие прямые издержки, приведенные затраты.

<sup>3</sup> Щербаков С. И., Дмитриев В. Ф., Коновалов В. В. Механизация технологических процессов животноводства : учеб. пособие. Пенза : РИО ПГСХА, 2006. 276 с. EDN: [RWHTEZ](#)

Таблица 2  
Table 2

 Результаты технологического расчета участка и комбикормового агрегата  
 Results of technological calculation of the field plot and compound feed machinery

Наименование показателя / The name of the indicator	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Схема 1 / Scheme 1	Схема 2 / Scheme 2	Схема 3 / Scheme 3	Схема 4 / Scheme 4	Схема 5 / Scheme 5	Схема 6 / Scheme 6	Схема 7 / Scheme 7	Схема 8 / Scheme 8	Схема 9 / Scheme 9	Схема 10 / Scheme 10
Производительность участка жмыха ( $G_{\text{ж}}$ ), кг/ч / Productivity of the sunflower meal field plot ( $G_{\text{ж}}$ ), kg/h	155	75	65	90	100	150	95	75	150	75
Производительность комбикормового агрегата ( $G_{\text{а.с.}}$ ), кг/ч / Compound Feed machine productivity ( $G_{\text{а.с.}}$ ), kg/h	1 500	1 600	1 200	1 800	2 400	2 400	2 100	600	1 800	3 000
Количество дней, на которое можно заготовить корма, сут. / The number of days for which it is possible to prepare food, d:										
измельченного жмыха ( $Z_{\text{д.т.жм.жф}}$ ) / crushed sunflower meal ( $Z_{\text{д.т.жм.жф}}$ )	6	3	2	3	4	6	3	3	6	3
вороха семян подсолнечника ( $Z_{\text{д.вор.с.п}}$ ) / heaps of sunflower seeds ( $Z_{\text{д.вор.с.п}}$ )	5	2	2	3	3	5	3	2	5	2
вороха зерна / heaps of grain:										
пшеницы ( $Z_{\text{д.вор.пшп}}$ ) / wheat ( $Z_{\text{д.вор.пшп}}$ )	24	25	19	28	38	38	33	9	28	48
ячменя ( $Z_{\text{д.вор.ячп}}$ ) / barley ( $Z_{\text{д.вор.ячп}}$ )	24	25	19	28	38	38	33	9	28	48
гороха ( $Z_{\text{д.вор.горп}}$ ) / peas ( $Z_{\text{д.вор.горп}}$ )	34	36	27	41	54	54	48	13	41	68
дерти вороха зерна / take away the piles of grain:										
пшеницы ( $Z_{\text{д.зер.вор.пшп}}$ ) / wheat ( $Z_{\text{д.зер.вор.пшп}}$ )	60	64	48	72	96	96	84	24	72	120
ячменя ( $Z_{\text{д.зер.вор.ячп}}$ ) / barley ( $Z_{\text{д.зер.вор.ячп}}$ )	48	51	38	57	76	76	67	19	57	96
гороха ( $Z_{\text{д.зер.вор.горп}}$ ) / peas ( $Z_{\text{д.зер.вор.горп}}$ )	92	98	73	110	147	147	129	36	110	184
комбикорма-концентрата ( $Z_{\text{д.ккк}}$ ) / concentrated compound feed ( $Z_{\text{д.ккк}}$ )	7	8	6	9	12	12	10	3	9	15

Продолжение табл. 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Время активной работы участка приготовления жмыха за смену ( $t_{ф,а}$ ), ч / The time of active operation on the field plot for producing sunflower meal per shift ( $t_{ф,а}$ ), h	1,29	2,67	3,08	2,22	2,00	1,33	2,11	2,67	1,33	2,67
Время активной работы комбикормового агрегата за смену ( $t_{ф,а}$ ), ч / The time of active operation of the compound feed machine per shift ( $t_{ф,а}$ ), h	1,03	0,97	1,29	0,86	0,65	0,65	0,74	2,58	0,86	0,52
Время работы участка приготовления жмыха за смену с учетом вспомогательных мероприятий ( $t_y$ ), ч / The working time on the field plot for producing the sunflower meal per shift, taking into account auxiliary measures ( $t_y$ ), h	1,61	3,33	3,85	2,78	2,50	1,67	2,63	3,33	1,67	3,33
Время работы комбикормового агрегата за смену с учетом вспомогательных мероприятий ( $t_y$ ), ч / The working time of the compound feed machine per shift, taking into account auxiliary measures ( $t_y$ ), h	1,29	1,21	1,61	1,08	0,81	0,81	0,92	3,23	1,67	0,65
Время работы персонала цеха за смену при совместной работе комбикормового агрегата и участка подготовки жмыха ( $t_{св}$ ), ч / The working hours of the workshop workers per shift during the joint operation of the compound feed machinery and the field plot for producing sunflower meal ( $t_{св}$ ), h	1,61	3,33	3,85	2,78	2,50	1,67	2,63	3,33	1,67	3,33
Время работы оборудования участка в год ( $T_{ук}$ ), ч / The operating time of the field plot equipment per year ( $T_{ук}$ ), h	471	973	1 123	811	730	487	768	973	487	973

Продолжение табл. 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Время работы оборудования агрегата за год ( $T_a$ ), ч / The operating time of the compound feed machine equipment per year ( $T_a$ ), h	377	354	471	314	236	236	269	943	314	189
Время работы по обслуживанию персонала цеха в год при совместной работе комбикормового агрегата и участка подготовки жмыха ( $T_{a,y}$ ), ч / The time of work for the maintenance of the workshop staff per year during joint operation of the compound feed machinery and the sunflower meal production field plot ( $T_{a,y}$ ), h	589	1 217	1 404	1 014	913	608	961	1 217	608	1 217
Мощность привода машин в комбикормовом агрегате ( $N_a$ ), кВт / The drive power of the compound feed machine system ( $N_a$ ), kW	26,65	21,50	21,50	45,10	41,74	45,10	30,50	13,20	28,00	45,10
Годовой расход эл. энергии агрегатом ( $P_{3a}$ ), кВт·ч / Annual consumption of electric energy by the compound feed machine ( $P_{3a}$ ), kW·h	15 689	26 158	30 183	45 726	38 088	27 436	29 296	16 060	17 033	54 872
Энергозатраты на приготовление комбикормов-концентратов ( $E_a$ ), кВт·ч/кг / Energy consumption for the producing concentrated compound feed ( $E_a$ ), kW·h/kg	0,0277	0,0462	0,0533	0,0808	0,0673	0,0485	0,0518	0,0284	0,0301	0,0970
Суммарная мощность привода машин на участке для приготовления жмыха ( $N_y$ ), кВт / The total drive power of the machines on the field plot for producing sunflower meal ( $N_y$ ), kW	43,60	21,22	13,97	25,22	64,70	53,90	27,06	27,22	56,60	23,60

Продолжение табл. 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Годовой расход эл. энергии участком притопливания жмыха ( $P_{\text{э}}$ ), кВт·ч / Annual consumption of electric energy on the field plot for production sunflower meal ( $P_{\text{э}}$ ), kW·h	20 534	20 654	15 689	20 456	47 231	26 231	20 795	26 494	27 545	22 971
Энергозатраты участка подготовки жмыха ( $E_{\text{э}}$ ), кВт·ч/кг / Energy consumption on the field plot for producing sunflower meal ( $E_{\text{э}}$ ), kW·h/kg	0,2813	0,2829	0,2149	0,2802	0,6470	0,3593	0,2849	0,3629	0,3773	0,3147
Технико-экономические показатели / Technical and economic indicators										
Затраты на оплату труда оператора ( $З_{\text{п}}$ ), руб. / The cost of paying the operator ( $З_{\text{п}}$ ), ruble	21 589001	44 617269	51 481464	37 181057	33 462952	22 308634	35 224160	44 617269	22 308634	44 617269
Балансовая стоимость оборудования ( $E_{\text{с}}$ ), руб. / Book value of the equipment for ( $E_{\text{с}}$ ), ruble:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	1 786730	2 574600	3 022600	4 142600	3 465000	4 480000	1 360800	2 590000	1 892656	9 47520
– комбикормового агрегата / compound feed machine	401 800	637 840	597 800	1 210860	1 005200	18 410000	9 52273	3 99000	11 459000	1 211000
Затраты на ТО и ремонт ( $P_{\text{р}}$ ), руб. / Maintenance and repair costs for ( $P_{\text{р}}$ ), ruble:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	142 938	205 968	241 808	331 408	277 200	358 400	108 864	207 200	151 412	75 802
– комбикормового агрегата / compound feed machine	32 144	51 027	47 824	96 869	80 416	1 472800	76 182	31 920	916 720	96 880
Затраты на амортизацию ( $A_{\text{в}}$ ), руб. / Depreciation costs for ( $A_{\text{в}}$ ), ruble:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	223 341	321 825	377 825	517 825	433 125	560 000	170 100	323 750	236 582	118 440

Продолжение табл. 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
– комбикормового агрегата / compound feed machine	50 225	79 730	74 725	151 358	125 650	2 301 250	119 034	49 875	1 432 375	1 513 75
Годовые затраты на эл. энергию (З <sub>эл</sub> ), руб. / Annual electric energy costs for (З <sub>эл</sub> ), ruble:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	123 205	123 925	94 136	122 737	283 386	157 388	124 770	158 965	165 272	137 824
– комбикормового агрегата / compound feed machine	94 135	156 950	181 096	274 358	228 527	164 615	175 776	96 360	102 200	329 230
Годовые эксплуатационные издержки (Г <sub>э</sub> ), руб. / Annual operating costs for (Г <sub>э</sub> ), ruble:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	22 078 486	45 268 987	52 195 233	38 153 028	34 456 663	23 384 422	35 627 894	45 307 184	22 861 901	44 949 334
– комбикормового агрегата / compound feed machine	21 765 505	44 904 976	51 785 109	37 703 642	33 897 544	26 247 299	35 595 152	44 795 424	24 759 929	45 194 754
Прочие прямые издержки (П <sub>п</sub> ), руб. / Other direct costs for (П <sub>п</sub> ), ruble:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	2 207 849	4 526 899	5 219 523	3 815 303	3 445 666	2 338 442	3 562 789	4 530 718	2 286 190	4 494 933
– комбикормового агрегата / compound feed machine	2 176 550	4 490 498	5 178 511	3 770 364	3 389 754	2 624 730	3 559 515	4 479 542	2 475 993	4 519 475
Расчет затрат на помещение цеха и его эксплуатацию / Calculation of costs for workshop premises and its operation										
Габаритные размеры (F <sub>н</sub> ), м <sup>2</sup> / Overall dimensions (F <sub>н</sub> ), m <sup>2</sup> :										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	3,43	1,66	2,06	2,01	4,10	3,30	1,80	1,47	3,05	1,52
– комбикормового агрегата / compound feed machine	13,21	5,74	13,21	6,76	10,29	6,41	14,40	0,31	4,50	6,65



Окончание табл. 2 / End of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Потребная площадь помещений (F <sub>нов</sub> ), м <sup>2</sup> / Required area of premises (F <sub>нов</sub> ), м <sup>2</sup> :										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	11,29	5,99	7,18	7,04	13,29	10,91	6,39	5,42	10,14	5,56
– комбикормового агрегата / compound feed machine	46,28	23,87	46,28	26,94	37,54	25,89	49,87	7,58	20,17	26,62
Годовые затраты на помещения (З <sub>нов</sub> ), руб. / Annual costs (З <sub>нов</sub> ), руб.:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	1 691910	897 664	1 076152	1 055025	1 992887	1 636068	958 536	812 184	1 519976	833 365
– комбикормового агрегата / compound feed machine	6 937714	3 578411	6 937714	4 037776	5 626821	3 880343	7 475113	1 136619	3 023024	3 989892
Приведенные затраты по вариантам (П <sub>3</sub> ), руб. / The costs for options (П <sub>3</sub> ), ruble:										
– участка жмыха / the sunflower meal production field plot	2 3949069	4 6424111	5 3573646	3 9622313	3 6796050	2 5468490	3 6722510	4 6378368	2 4571143	4 5877452
– комбикормового агрегата / compound feed machine	2 8743399	4 8547171	5 8782604	4 1862504	3 9624886	3 1968643	4 3165492	4 5971943	2 8928853	4 9305745

На основе ММ проведены расчеты по определению рационального варианта участка и комбикормового агрегата. Рациональным вариантом является схема 1 (табл. 1). Производительность участка и комбикормового агрегата составили 155 и 1500 кг/ч соответственно. Энергозатраты на приготовление комбикормов-концентратов – 0,0277 кВт·ч/кг.

**Обсуждение и заключение.** На основе данных критериев выбран рациональный вариант участка и комбикормового агрегата, которому относится схема 1 (табл. 1). Данный вариант имеет годовые эксплуатационные издержки в размере 22 078 486 и 21 765 505 руб.; прочие прямые издержки – 22 078 49 и 21 765 50 руб.; приведенные затраты по вариантам – 23 949 069 и 28 743 399 руб. соответственно.

Таким образом, на основе разработанного алгоритма и программы для его реализации с учетом математической модели приготовления комбикорма-концентрата проведен технологический расчет участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата, а также рассчитаны их технико-экономические показатели и затраты на помещение цеха и его эксплуатацию, выбран рациональный вариант участка и комбикормового агрегата. Экономический эффект выбранного участка подготовки жмыха и комбикормового агрегата получен за счет снижения годовых эксплуатационных и прочих прямых издержек приведенных затрат.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишуров Н. П. Рекомендуемые технологии производства комбикормов в хозяйствах // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015. № 4 (20). С. 6–14. EDN: [VBWKEV](#)
2. Чупшев А. В. Обоснование перспективной операционной схемы приготовления комбикормов-концентратов в условиях животноводческих предприятий // Нива Поволжья. 2021. № 3(60). С. 135–141. <https://doi.org/10.36461/NP.2021.60.3.022>
3. Совершенствование технологии кормления высокопродуктивных коров / С. Винницки [и др.] // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 3 (35). С. 147–151. EDN: [TJRZPE](#)
4. Коновалов В. В., Терюшков В. П., Петрова С. С. Моделирование молочной продуктивности коров при изменении технологических процессов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С. 27–34. EDN: [EWXXCB](#)
5. Валге А. М., Перекопский А. Н. Математическая модель структуры кормов молочного стада КРС с использованием плющеного зерна // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 49. С. 286–291. EDN: [YOKBAS](#)
6. Варакин С. В., Доценко С. М., Крючкова Л. Г. Экономико-математическая модель оценки инновационной технологии приготовления кормовых продуктов на основе соево-зерновых композиций // АгроЭкоИнфо. 2018. № 1 (31) С. 47. EDN: [XSUWAX](#)
7. Научно-технические аспекты разработки системы и устройств для производства инновационных продуктов на основе соево-растительных композиций / С. М. Доценко [и др.] // Вестник ВСГУТУ. 2017. № 1 (64). С. 16–20. EDN: [YHSTSD](#)
8. Модель приготовления кормов в условиях малых форм хозяйствования / С. Ю. Булатов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2023. № 4 (310). С. 26–30. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-26-30>

9. Павлидис В. Д., Чкалова М. В., Шахов В. А. Стохастическое моделирование технологического процесса производства комбинированных кормов // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 10. С. 78–83. EDN: [ATKVMK](#)
10. Design and Development of Monitoring Device for Corn Grain Cleaning Loss Based on Piezoelectric Effect / W. Yanhan [et al.] // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 179. Article no. 105793. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105793>
11. Modelling the Quality of the Mixture in a Continuous Paddle Mixer / A. A. H. Al-Maidi [et al.] // International Journal of Agricultural and Statistical Sciences. 2021. Vol. 16. P. 1769–1774. EDN: [NIZZWM](#)
12. Airflow Simulation and Inlet Pressure Profile Optimization of a Grain Storage Bin Aeration System / M. O. Binelo [et al.] // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 164. Article no. 104923. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104923>
13. Chkalova M., Pavlidis V. Assessment of Equipment Efficiency in Models of Technological Processes for Production of Combined Feed // Engineering for Rural Development. 2021. Vol. 20. P. 843–848. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF193>
14. Muangpratoom P. The Effect of Temperature on the Electrical Characteristics of Nanofluids Based on Palm Oil // Journal of Engineering and Technological Sciences. 2021. Vol. 53, Issue 3. Article no. 210312. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.3.12>
15. Математическая модель оценки качества процесса получения увлажненно-обогащенного зернового сырья / А. В. Бурмага [и др.] // АгроЭкоИнфо. 2022. № 4 (52). С. 1–9. <https://doi.org/10.51419/202124413>
16. Крупенин П. Ю. Математическая модель движения кормовой суспензии в каналах роторного импульсного аппарата // Вестник Барановичского государственного университета. Серия: Технические науки. 2018. № 6. С. 96–103. EDN: [XRSMNN](#)
17. Керимов М. А., Иванов Д. В. Биоэнергетическая модель растительного сырья и оценка технологий производства кормов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 1. С. 51–61. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-51-61>
18. Development of a Mathematical Model of the Process of Mixing Liquid Feed in an Experimental Setup and Optimization of Design Parameters / P. Solonshchikov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 420. P. 10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342009002>
19. Study of the Mixing Process With a Paddle Mixer for Cattle / R. Kisilyov [et al.] // National Inter-agency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines. 2022. № 52. P. 66–72. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.66-72>
20. Bekele G. Development of Livestock Feed Mixer // International Journal of Scientific and Research Publications. 2020. Vol. 10, Issue 10. P. 481–486. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.10.10.2020.p10665>
21. Analysis of the Influence of Rod Elements on the Mixing Process of Two Components in a Twin-Shaft Paddle Mixer / S. I. Khanin [et al.] // Digital Technologies in Construction Engineering. 2022. Vol. 173. P. 175–182. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_23)
22. Cai R., Hou Z., Zhao Y. Numerical Study on Particle Mixing in a Double-Screw Conical Mixer // Powder Technology. 2019. Vol. 352. P. 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.04.065>
23. DEM Study of a Mixer for Core Manufacturing System / J. Roh [et al.] // Computer Aided Chemical Engineering. 2019. Vol. 46. P. 799–804. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50134-X>
24. Исследование влияния щелевых отверстий в лопастях горизонтального лопастного смесителя на качество подготовки двухкомпонентной сухой смеси / Е. Г. Ханина [и др.] // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2023. Т. 8, № 6. С. 85–93. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2023-8-6-85-93>
25. Analysis of the Influence of Rod Elements on the Mixing Process of Two Components in a Twin-Shaft Paddle Mixer / S. I. Khanin [et al.] // Digital Technologies in Construction Engineering. 2021. P. 175–182. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_23)

26. Valigi M. C. Model-Based Method Predicting Useful Life of Concrete Mixers // *Plant Precast Technol.* 2020. Vol. 71, Issue 11. P. 38–42. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887012955&partnerID=MN8TOARS> (дата обращения: 20.12.2023).
27. Theoretical Studies of the Interaction between Screw Surface and Material in the Mixer / A. Marczuk [et al.] // *Materials.* 2021. Vol. 14. P. 962. <https://doi.org/10.3390/ma14040962>
28. Discrete Element Method Study of Effects of the Impeller Configuration and Operating Conditions on Particle Mixing in a Cylindrical Mixer / Y. Bao [et al.] // *Particuology.* 2020. Vol. 49. P. 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2019.02.002>
29. Okereke C. J., Lasode O. A., Ohijeagbon I. O. Exergoeconomic Analysis of an Industrial Beverage Mixer System // *Heliyon.* 2020. Vol. 6, Issue 7. Article no. e04402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04402>
30. Исследование и моделирование информационно-управляющей системы при производстве комбикорма на базе интегрированной платы / Н. А. Киктев [и др.] // *Инновации в сельском хозяйстве.* 2020. № 2 (35). С. 51–61. EDN: WOQLMX

## REFERENCES

1. Mishurov N.P. Recommended Technologies of Combined Feed's Production In Farms. *Journal of VNIIMZH.* 2015;(4):6–14. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VBWKEV
2. Chupshev A.V. Justification of the Prospective Operational Scheme Preparation of Mixed Fodder Concentrates in the Conditions of Livestock Enterprises. *Volga Region Farmland.* 2021;(3):135–141. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.36461/NP.2021.60.3.022>
3. Vinnitsky S., Romanyuk V., Savinykh P.A., Skorkin V.K. Improvement of High-Production Cows' Feeding Technology. *Journal of VNIIMZH.* 2019;(3):147–151. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: TJRZPE
4. Konovalov V.V., Teryushkov V.P., Petrova S.S. Modeling Milk Yield of Cattle Breed When Changing Technological Processes. *Bulletin Samara State Agricultural Academy.* 2021;(1):27–34. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: EWXXCB
5. Valge A.M., Perepopsky A.N. [A Mathematical Model of the Feed Structure of a Dairy Cattle Herd Using Flattened Grain]. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University.* 2017;(49):286–291. (In Russ.) EDN: YOKBAS
6. Varaksin S.V., Dotsenko S.M., Kryuchkova L.G. [An Economic and Mathematical Model for Evaluating Innovative Technology for the Preparation of Feed Products Based on Soy-Grain Compositions]. *AgroEcoInfo.* 2018;(1):47. (In Russ.) EDN: XSUWAX
7. Dotsenko S.M., Burmaga A.V., Goncharuk O.V., Ivanin A.G., Vinokourov S.A. Scientific and Technical Aspects of Systems and Devices for Innovative Products on the Basis of Soy and Vegetable Compositions. *Bulletin of ESSTUM.* 2017;(1):16–20. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YHSTSD
8. Bulatov S.Yu., Zykin A.A., Nechaev V.N., Sergeev A.G., Shamin A.E. Model of Feed Preparation in the Conditions of Small Farms. *Machinery and Equipment for Rural Area.* 2023;(4):26–30. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-26-30>
9. Pavlidis V.D., Chkalova M.V., Shakhov V.A. Stochastic Modelling of the Technological Process to Produce Combined Feed. *Achievements of Science and Technology of AICis.* 2022;36(10):78–83. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: ATKVMK
10. Yanhan W., Xiaoyu L., Enrong M., Yuefeng D., Fan Y. Design and Development of Monitoring Device for Corn Grain Cleaning Loss Based on Piezoelectric Effect. *Computers and Electronics in Agriculture.* 2020;179:105793. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105793>
11. Al-Maidi A.A.H., Himoud M.S., Kaliganov A.C., Teryushkov V.P., Chupshev A.V., Konovalov V.V., et al. Modelling the Quality of the Mixture in a Continuous Paddle Mixer. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences.* 2021;16:1769–1774. EDN: NIZZWM

12. Manuel O.B., Vanessa F., Oleg A.K., Bulat Z. Airflow Simulation and Inlet Pressure Profile Optimization of a Grain Storage Bin Aeration System. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019;164:104923. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104923>
13. Chkalova M., Pavlidis V. Assessment of Equipment Efficiency in Models of Technological Processes for Production of Combined Feed. *Engineering for Rural Development*. 2021;20:843–848. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF193>
14. Muangpratoom P. The Effect of Temperature on the Electrical Characteristics of Nanofluids Based on Palm Oil. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 2021;53(3):210312. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.3.12>
15. Burmaga A.V., Kurkov Yu.B., Samuilo V.V., Panova E.V., Chubenko A.V., Vinokurov S.A. [Mathematical Model for Assessing the Quality of the Process Producing Moistened-Enriched Grain Raw Materials]. *AgroEcoInfo*. 2022;(4):1–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.51419/202124413>
16. Krupenin P.Y. The Mathematical Model of Feed Suspension Movement in the Channels of Rotary Impulse Device. *BarSU Herald*. 2018;(6):96–103. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: XRSMNN
17. Kerimov M.A., Ivanov D.V. Bioenergy Model of Plant Raw Materials and Assessment of Feed Production Technologies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(1):51–61. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-51-61>
18. Solonshchikov P., Savinykh P., Aleshkin A., Kipriyanov F. Development of a Mathematical Model of the Process of Mixing Liquid Feed in an Experimental Setup and Optimization of Design Parameters. *E3S Web of Conferences*. 2023;420:10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342009002>
19. Kisilyov R., Luzan P., Bohatyrov D., Nesterenko O. Study of the Mixing Process With a Paddle Mixer for Cattle. National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*. 2022;52:66–72. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.66-72>
20. Bekele G. Development of Livestock Feed Mixer. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2020;10(10):481–486. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.10.10.2020.p10665>
21. Khanin S.I., Kikin N.O., Zybin R.V., Khanina E.G. Analysis of the Influence of Rod Elements on the Mixing Process of Two Components in a Twin-Shaft Paddle Mixer. *Digital Technologies in Construction Engineering*. 2022;173:175–182. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_23)
22. Cai R., Hou Z., Zhao Y. Numerical Study on Particle Mixing in a Double-Screw Conical Mixer. *Powder Technology*. 2019. Vol;352:193–208. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.04.065>
23. Roh J., Kim J., Lee M.S., Moon I. DEM Study of a Mixer for Core Manufacturing System. *Computer Aided Chemical Engineering*. 2019;46:799–804. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50134-X>
24. Investigation of Influence of Slotted Holes in Blades of Horizontal Blade Mixer on Quality of Preparation of Two-Component Dry Mixture. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2023;8(6):85–93. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2023-8-6-85-93>
25. Khanin S.I., Kikin N.O., Zybin R.V., Khanina E.G. Analysis of the Influence of Rod Elements on the Mixing Process of Two Components in a Twin-Shaft Paddle Mixer. *Digital Technologies in Construction Engineering*. 2021:175–182. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_23)
26. Valigi M.C. Model-Based Method Predicting Useful Life of Concrete Mixers // Plant Pre-cast Technol. 2020;71(11):38–42. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887012955&partnerID=MN8TOARS> (accessed 20.12.2023).
27. Marczuk A., Sysuev V., Aleshkin A., Savinykh P., Turubanov N., Tomporowski A. Theoretical Studies of the Interaction between Screw Surface and Material in the Mixer. *Materials*. 2021;14:962. <https://doi.org/10.3390/ma14040962>
28. Bao Y., Li T., Wang D., Cai Z., Gao Z. Discrete Element Method Study of Effects of the Impeller Configuration and Operating Conditions on Particle Mixing in a Cylindrical Mixer. *Particuology*. 2020;49:146–158. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2019.02.002>

29. Okereke C.J., Lasode O.A., Ohijeagbon I.O. Exergoeconomic Analysis of an Industrial Beverage Mixer System. *Heliyon*. 2020;6(7):e04402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04402>

30. Kiktev N.A., Miroshnyk V.A., Lendiel T.I., Ivanenko V.I. Arduino Research and Modeling of the Information and Management System in the Production of Combicor on the Arduino Integrated Basis. *Innovation in Agriculture*. 2020;(2):51–61. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WOQLMX

*Об авторе:*

**Припоров Игорь Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры тракторов, автомобилей и технической механики Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>, Researcher ID: N-4901-2016, i.priporov@yandex.ru

*Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 26.01.2024; поступила после рецензирования 08.02.2024; принята к публикации 01.03.2024*

*About the author:*

**Igor E. Priporov**, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors, Automobiles and Technical Mechanics, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (13 Kalinina St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>, Researcher ID: N-4901-2016, i.priporov@yandex.ru

*The author has read and approved the final manuscript.*

*Submitted 26.01.2024; revised 08.02.2024; accepted 01.03.2024*