

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РАЗДАЧИ КОРМОВ КРУПНОМУ РОГАТОМУ СКОТУ

А. В. КИТУН

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: ktmg@batu.edu.by

Ю. А. КРУПЕНИН, П. Ю. КРУПЕНИН

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: pavel@krupenin.com

(Поступила в редакцию 03.01.2025)

*Механизация раздачи кормов на фермах и промышленных комплексах осуществляется кормораздатчиками, отличающимися по принципу действия и конструкции. Кормораздающие устройства, конструктивно выполненные с учётом зоотехнических требований, должны обеспечивать равномерность и точность раздачи корма, его дозировку, отдельно каждому животному или группе животных, исключать загрязнение корма, расслаивание по фракциям, не допускать травмирования животных.*

*Несовершенство обслуживающей системы процесса раздачи кормов приводит к потерям (убыткам), которые включают потери от несовершенства применяемой системы машин, формирования технологических линий и функционирования машин.*

*Число мобильных кормораздатчиков, необходимых для обслуживания фермы, определяют исходя из времени раздачи корма в одном помещении режима работы кормоцеха и наличия или отсутствия накопительной емкости готовой кормосмеси, технических возможностей машины.*

*Преимуществом мобильных раздатчиков кормов машин является более низкая удельная стоимость этих машин в сравнении со стационарными – мобильные кормораздатчики работают более продолжительное время и могут раздавать корма в нескольких помещениях. При выходе из строя кормораздатчика на любой стадии работы, раздача кормов увеличится только по времени и производится другими машинами, участвующими в данном процессе.*

*Технические возможности выпускаемых мобильных кормораздатчиков позволяют реализовать как индивидуальное, так и групповое кормление, в зависимости от способа содержания животных. В случае приготовления кормосмеси непосредственно в бункере кормораздатчика применяют технические средства с расширенными функциональными возможностями. Такие кормораздатчики имеют электронную весоизмерительную систему и смешивающие рабочие органы внутри бункера.*

**Ключевые слова:** кормораздатчик, автоматизация, смешивание, кормовая смесь, энергозатраты.

*Mechanization of feed distribution on farms and industrial complexes is carried out by feed distributors, differing in the principle of operation and design. Feed distribution devices, structurally made taking into account zootechnical requirements, must ensure uniformity and accuracy of feed distribution, its dosage, separately for each animal or group of animals, exclude contamination of feed, stratification by fractions, and prevent injury to animals.*

*Imperfection of the feed distribution process servicing system leads to losses (damages), which include losses from the imperfection of the applied machine system, the formation of technological lines and the operation of machines.*

*The number of mobile feed distributors required to service the farm is determined based on the feed distribution time in one room, the feed shop operating mode and the presence or absence of a storage tank for the finished feed mixture, and the technical capabilities of the machine.*

*The advantage of mobile feed distributors is the lower specific cost of these machines in comparison with stationary ones – mobile feed distributors work for a longer time and can distribute feed in several rooms. If the feed distributor fails at any stage of operation, the distribution of feed will increase only in time and is carried out by other machines involved in this process.*

*The technical capabilities of the produced mobile feed distributors allow for both individual and group feeding, depending on the method of keeping animals. In the case of preparing the feed mixture directly in the feed distributor hopper, technical means with extended functionality are used. Such feed distributors have an electronic weighing system and mixing working elements inside the hopper.*

**Key words:** feed distributor, automation, mixing, feed mixture, energy costs.

### Введение

Механизация раздачи кормов на фермах и промышленных комплексах осуществляется кормораздатчиками, отличающимися по принципу действия и конструкции. Кормораздающие устройства, конструктивно выполненные с учётом зоотехнических требований, должны обеспечивать равномерность и точность раздачи корма, его дозировку, отдельно каждому животному или группе животных, исключать загрязнение корма, расслаивание по фракциям, не допускать травмирования животных [1–4].

Несовершенство обслуживающей системы процесса раздачи кормов приводит к потерям (убыткам), которые включают потери от несовершенства применяемой системы машин, формирования технологических линий и функционирования машин [5].

Цель исследования: разработка методики технико-экономического анализа автоматизированных систем приготовления и раздачи кормов крупному рогатому скоту.

### Основная часть

Существенным недостатком стационарных кормораздатчиков является недостаточное резервирование необходимой безотказности оборудования. Процесс раздачи кормов по всему фронту кормления прекращается при выходе из строя любого из технических элементов данного кормораздатчика.

На фермах крупного рогатого скота эксплуатируются мобильные бункерные кормораздатчики с приводом рабочих органов от ВОМ трактора.

Преимуществом мобильных раздатчиков кормов машин является более низкая удельная стоимость этих машин в сравнении со стационарными – мобильные кормораздатчики работают более продолжительное время и могут раздавать корма в нескольких помещениях. При выходе из строя кормораздатчика на любой стадии работы, раздача кормов увеличится только по времени и будет производиться другими машинами, участвующими в данном процессе [6].

Промышленностью выпускается ряд мобильных машин для раздачи кормов на животноводческой ферме. Для выбора необходимой потребителю машины необходимо владеть знаниями об их конструктивных и технологических особенностях.

Раздатчики монокорма (КР-Ф-10, КТУ-10А, КРБ-4,7 и др.) предназначены для перевозки и раздачи на ходу в кормушки, на одну сторону, измельченных листостебельных масс или смеси их с другими сыпучими кормами. Машины состоят из рамы, на которой установлен кузов, на дне которого размещен цепочно-планчатый транспортер, предназначенный для передвижения слоя корма к выгрузному окну, расположенному в передней части кузова. Норма выдачи корма (обычно в пределах от 6 до 72 кг на 1 м длины кормушки) регулируется комбинированием скорости движения агрегата вдоль фронта кормления животных в пределах 1,89...3,22 км/ч и скоростью подачи корма цепочно-планчатым транспортером.

Раздаваемый животным рассмотренными машинами корм не обеспечивает индивидуальное кормление высокоэнергетическими кормами при движении кормораздатчика вдоль кормушек животных.

Уменьшить энергозатраты и металлоемкость процесса раздачи и формирования кормосмеси можно мобильным модульным смесителем-раздатчиком СРК-10. Машина состоит из колесной базы, на которой установлены два бункера – для объемных стебельчатых кормов и многокомпонентной высокоэнергетической добавки. Смешивание кормов производится при пересечении встречных потоков кормов – стебельчатых кормов и высокоэнергетической добавки, поступающих на поперечный выгрузной цепочно-планчатый транспортер [7].

Модуль для многокомпонентной высокоэнергетической добавки представляет собой бункер, внутри которого, в одной горизонтальной плоскости, расположены два шнека, которые выполняют две технологические операции – смешивание высокоэнергетических кормовых компонентов и подачу кормосмеси через выгрузной канал на встречу находящихся во взвешенном состоянии стебельчатых кормов. Схема рабочего процесса мобильного смесителя-раздатчика представлена на рис. 1.

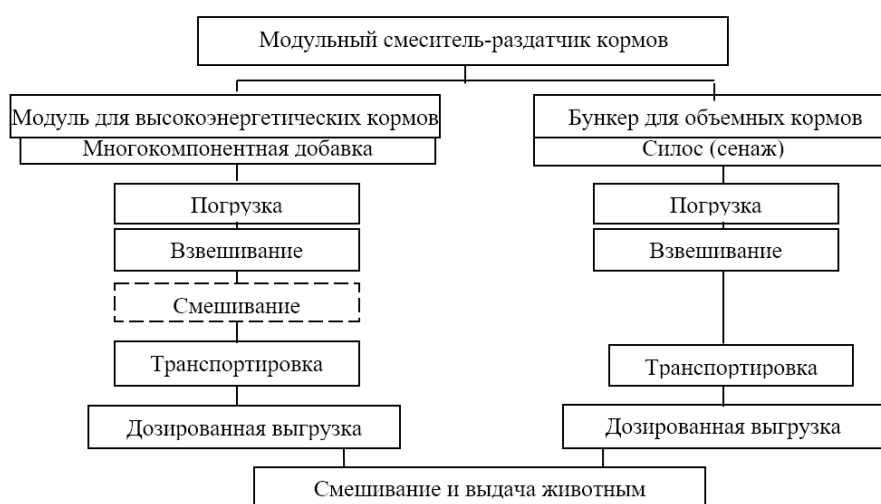


Рис. 1. Пооперационная схема рабочего процесса мобильного модульного смесителя-раздатчика кормов

Для частиц высокоэнергетических кормов с модулем помола 2,6 мм глубина их проникновения в слой стебельчатых кормов высотой 150 и 250 мм соответственно равна 26 и 120 мм.

Линейка измельчителей-смесителей-раздатчиков кормов ИСРК-12 «Хозяин» представлена универсальными транспортно-технологическими средствами для приготовления (доизмельчения и смешивания) кормовых компонентов. Используется на молочно-товарных фермах и имеет возможность раздачи кормосмесей как на одну, так и на обе стороны одновременно.

Базовая модель ИСРК-12 может быть оборудована грейферным погрузчиком или загрузочной фрезой.

Самоходные смесители-кормораздатчики Siloking (рис. 2) содержат бункер вместимостью 10...30 м<sup>3</sup> на 60...300 коров, один или два шнека. Высокая манёвренность и производительность обеспечивают применение самоходных смесителей-кормораздатчиков как на современных животноводческих комплексах, так и в узких и низких зданиях.



Рис. 9. Самоходный смеситель-кормораздатчик Siloking

Особенностью самоходного смесителя-кормораздатчика Siloking является трехточечное шасси. При этом поворотное устройство в задней части машины представляет собой поворачивающееся на 150° сдвоенное колесо. В результате обеспечивается высокая манёвренность при крайне малом радиусе разворота. Кроме того, это позволяет избежать потерь корма при загрузке и обеспечить их выдачу в кормушки.

В последнее время получают развитие автоматизированные системы кормления животных, оснащаемые кормораздатчиками на колесном ходу. При создании конструкции таких машин за основу были взяты не подвесные роботы-кормораздатчики, а мобильные смесители-раздатчики кормов [8].

В конструкции автоматизированного кормораздатчика Innovado (рис. 3, а) фирмы Schuitemaker Machines B. V. (Нидерланды) использованы как уже известные технические решения, так и инновационные разработки. Так, выемка силоса из траншейных хранилищ и его загрузка в бункер установки осуществляются хорошо зарекомендовавшим себя резчиком силосных блоков, размещенным на стреле с регулируемой длиной вылета. Смешивание ингредиентов производится в бункере кормораздатчика с помощью вертикального шнека. Раздача корма ведется ленточным поперечным транспортером на левую или правую сторону.



Рис. 3. Автоматизированные координатные смесители-раздатчики кормов:  
а – Innovado (Schuitemaker Machines B. V.); б – Vector (Lely)

Система управления кормораздатчика обеспечивает выполнение в автоматическом режиме всех технологических операций загрузки, приготовления и раздачи кормосмеси, а также перемещение ро-

бота по заданному маршруту. Маршрут для Innovado задается путем размещения под поверхностью дорожного полотна специальных индукционных датчиков. На самом роботе установлены гироскоп и взаимодействующие с датчиками сенсоры, обеспечивающие перемещение машины по установленному маршруту. Безопасная эксплуатация Innovado обеспечивается за счет установленного на нем лазера, который сканирует близлежащее пространство на предмет присутствия людей, животных и других объектов. При обнаружении препятствия на маршруте движения робот немедленно останавливается.

Программное обеспечение системы управления позволяет Innovado осуществлять загрузку корма из нескольких хранилищ, обслуживая при этом различные группы животных в разных помещениях и приготавливая им кормовые смеси соответствующих рационов.

Автоматизированная система кормления Vector фирмы Lely состоит из нескольких агрегатов, управляемых компьютером по специальной программе, позволяющей автоматически приготавливать многокомпонентные кормовые смеси и осуществлять их раздачу. Система включает в себя грейферный погрузчик объемистых кормов, дозатор концентрированных кормов и добавок, координатный смеситель-кормораздатчик с функцией подталкивателя кормов.

В процессе приготовления кормовых смесей робот-кормораздатчик останавливается в определенном месте и подключается к специальному устройству для зарядки аккумуляторных батарей. Здесь же располагается дозатор концентрированных кормов и добавок, который загружает в бункер кормораздатчика необходимые компоненты. В помещении также смонтирована кран-балка с роботизированным грейферным погрузчиком объемистых кормов.

Кормораздатчик автоматизированной системы кормления Vector (рис. 3, б) оснащен бункером, представляющим собой смеситель с вертикально расположенным шнеком. Управление работой кормораздатчика осуществляется через сенсорную панель E-link по беспроводной связи. Кормораздатчик оснащен датчиком, который сканирует кормовой стол в процессе подравнивания корма и определяет количество остатков на конкретном участке (замеряется толщина слоя корма на кормовом столе). В случае если кормовой стол пуст, робот дозированно выгружает кормовую смесь из бункера на этом отрезке фронта кормления. Таким образом достигается постоянное наличие свежего корма на кормовом столе.

Автоматизированная система кормления Vector обеспечивает многократное кормление животных в течение суток (до 10 раз) небольшими, точно дозируемыми порциями. Эта система разработана в дополнение к доильному роботу Astronaut и минимизирует ручной труд на молочных фермах. Так, по данным хозяйств в Канаде, где установлена эта система, удается достичь экономии до 600 часов ручного труда и около 6000 литров дизельного топлива в течение одного года.

Число мобильных кормораздатчиков, необходимых для обслуживания фермы, определяют исходя из времени раздачи корма в одном помещении режима работы кормоцеха и наличия или отсутствия накопительной емкости готовой кормосмеси.

При определении числа машин для транспортировки кормов от мест хранения или подготовки их к скармливанию до кормушки животных используют нормы технологического проектирования животноводческих предприятий и зоотехнические требования.

Производительность кормораздатчика за 1 ч сменного времени, кг/ч:

$$Q_c = Q k_p, \quad (1)$$

где  $Q$  – производительность кормораздатчика за 1 ч чистого времени, кг/ч;  $k_p$  – коэффициент использования рабочего времени.

Производительность  $Q$  и коэффициент  $k_p$  можно равны

$$Q = q v_a K_v; \quad (2)$$

$$k_p = \frac{t}{t + t_0}, \quad (3)$$

где  $t$  – время, затрачиваемое на непосредственную раздачу корма, ч;  $t_0$  – время, затрачиваемое на непроизводительные (вспомогательные) операции, ч.

Тогда:

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7, \quad (4)$$

где  $t_1$  – время доставки пустого кормораздатчика от места содержания животных к месту загрузки и обратно, ч;  $t_2$  – время загрузки, ч;  $t_3$  – время на раздачу кормов, ч;  $t_4$  – время, затрачиваемое на простой по технологическим причинам, ч;  $t_5$  – время, затрачиваемое на техническое обслуживание, ч;  $t_6$  –

время, затрачиваемое на ремонт машины, ч;  $t_7$  – время переезда от одной линии раздачи к другой, если вместимость кузова (бункера) обеспечивает раздачу корма в нескольких линиях, ч.

Время пробега транспортного средства можно определить по формуле:

$$t_1 = \frac{2L}{v_{\text{ср}}}, \quad (5)$$

где  $L$  – длина пути, км;  $v_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения транспортного средства, км/ч.

Время на выполнение погрузочно-разгрузочных работ определим по формуле:

$$t_2 = \frac{W_T k_T}{Q_{3-в}}, \quad (6)$$

где  $k_T$  – коэффициент использования грузоподъемности транспортного средства;  $W_T$  – грузоподъемность транспортного средства, т;  $Q_{3-в}$  – средняя гармоническая производительность погрузочно-разгрузочного процесса, т/ч.

$$Q_{3-в} = \frac{2Q_{\text{загр}} Q_{\text{выгр}}}{Q_{\text{загр}} + Q_{\text{выгр}}}, \quad (7)$$

Полезная грузоподъемность транспортного средства:

$$W_T = \frac{V_{\text{раз}} - V_{\text{р.о}}}{\rho}, \quad (8)$$

где  $V_{\text{раз}}$  – объем кузова раздатчика, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{р.о}}$  – объем рабочих органов, установленных в кузове раздатчика, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность кормосмеси, кг/м<sup>3</sup>.

Правильный выбор машин для погрузки кормов в значительной мере определяет эффективность работы животноводческой фермы. Производительность погрузчика можно определить по формуле:

$$Q_{\text{загр}} = m_{\text{п}} \kappa_{\text{ц}}, \quad (9)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса груза при подъеме, т;  $\kappa_{\text{ц}}$  – число циклов машины за 1 ч непрерывной работы:

$$\kappa_{\text{ц}} = \frac{3600}{T_{\text{ц}}}, \quad (10)$$

где  $T_{\text{ц}}$  – время цикла работы, ч,  $T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^{k_n} t_{\text{оп}i}$ ;  $t_{\text{оп}}$  – время, затрачиваемое на выполнение отдельных операций при погрузке, ч;  $k_n$  – число элементов работы погрузчика.

Время, затрачиваемое на раздачу кормов животным, можно определить по формуле:

$$t_3 = \frac{m_{\text{ж}} L_{\text{разд}}}{v_{\text{разд}}}, \quad (11)$$

где  $m_{\text{ж}}$  – количество животных, обслуживаемых за один цикл, гол.;  $L_{\text{разд}}$  – длина фронта раздачи кормов на одно животное,  $L_{\text{разд}} = 1$  м;  $v_{\text{разд}}$  – скорость движения агрегата при раздаче кормов  $v_{\text{разд}} = 5,2$  км/ч = 5200 м/ч.

Число кормораздатчиков, необходимых для обслуживания поголовья животных:

$$n_{\text{р}} = \frac{m_{\text{ж}} q t_{\text{раз}}}{W_T (t_{\text{движ}} + t_{\text{погр}})}, \quad (12)$$

где  $q$  – норма кормосмеси на одно животное, кг;  $t_{\text{погр}}$  – время на погрузку раздатчика,  $t_{\text{погр}} = 0,5 \dots 2$  ч.

С использованием вышеприведенной методики произведен технико-экономический расчет мобильных смесителей-раздатчиков для различных размеров ферм (таблица).

**Технико-экономические характеристики мобильных смесителей-раздатчиков кормов при годовом удое коров 6000 литров**

| Показатель                            | Вместимость бункера смесителя-раздатчика, м <sup>3</sup> |       |       |       |       |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | 6                                                        | 10    | 12    | 14    | 20    |
| <b>Ферма 200 коров</b>                |                                                          |       |       |       |       |
| Удельные капитальные вложения, долл/т | 1,46                                                     | 2,23  | 3,86  | 4,36  | 8,62  |
| Прямые затраты, долл/т                | 3,38                                                     | 4,36  | 7,33  | 8,42  | 15,51 |
| Приведенные затраты, долл/т           | 3,67                                                     | 4,92  | 7,8   | 9,07  | 17,23 |
| <b>Ферма 400 коров</b>                |                                                          |       |       |       |       |
| Удельные капитальные вложения, долл/т | 0,73                                                     | 1,11  | 1,92  | 2,16  | 4,28  |
| Прямые затраты, долл/т                | 2,33                                                     | 2,74  | 4,14  | 4,43  | 7,22  |
| Приведенные затраты, долл/т           | 2,47                                                     | 2,96  | 4,52  | 4,86  | 8,08  |
| <b>Ферма 600 коров</b>                |                                                          |       |       |       |       |
| Удельные капитальные вложения, долл/т | 0,97*                                                    | 0,74  | 1,28  | 1,44  | 2,85  |
| Прямые затраты, долл/т                | 4,52*                                                    | 2,26  | 3,21  | 3,54  | 5,92  |
| Приведенные затраты, долл/т           | 4,71*                                                    | 2,41  | 3,47  | 3,83  | 6,49  |
| <b>Ферма 800 коров</b>                |                                                          |       |       |       |       |
| Удельные капитальные вложения, долл/т | -                                                        | 1,11* | 1,98* | 2,30* | 2,14  |
| Прямые затраты, долл/т                | -                                                        | 2,94* | 4,00* | 4,74* | 4,84  |
| Приведенные затраты, долл/т           | -                                                        | 3,16* | 4,40* | 5,10* | 5,27  |

\* Показатели рассчитаны при использовании двух смесителей-раздатчиков.

На основании данных таблицы можно сделать выводы: 1) для молочно-товарных ферм до 200 голов и до 1000 голов откормочного поголовья вместимость бункера смесителя-раздатчика должна быть не более 6 м<sup>3</sup>; 2) для ферм с большим поголовьем целесообразно выпускать смесители-раздатчики с вместимостью бункера около 11 м<sup>3</sup>; 3) сочетание двух смесителей-раздатчиков с бункерами 6 и 11 м<sup>3</sup> позволит обслужить любые молочно-товарные фермы, имеющиеся в республике, с наименьшими эксплуатационными затратами.

### **Заключение**

1. Процессом раздачи кормов автоматизированные системы управляют в зависимости от выбранной программы кормления и введенных исходных данных. Исполнение программы контролирует бортовой компьютер, который может иметь набор базовых функций: выдача суточного рациона, режимы наращивания или снижения нормы выдачи кормов и режим расчетного потребления корма на конкретную корову. Помимо управления, компьютер выполняет и ряд расчетных функций: суммирует фактический расход кормов и выдает статистические данные о потреблении коровами различных кормов.

2. Технические возможности выпускаемых кормораздатчиков позволяют реализовать как индивидуальное, так и групповое кормление, в зависимости от способа содержания животных.

3. В случае приготовления кормосмеси непосредственно в бункере кормораздатчика применяют технические средства с расширенными функциональными возможностями. Такие кормораздатчики имеют электронную весоизмерительную систему и смешивающие рабочие органы внутри бункера.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Быковская, Н. В. Инновации в молочном скотоводстве / Н. В. Быковская // Инновации. – 2015. – №. 4. – С. 215–217.
2. Шаршунов, В. А. Технологическое оборудование для производства молока и молочных продуктов: пособие в 2-х ч. Ч. 1. Доеение коров и первичная обработка молока / В. А. Шаршунов. – Минск: Мисанта, 2015. – 665 с.
3. Китун, А. В. Основы формирования поточных технологических линий на животноводческой ферме / А. В. Китун, П. Ю. Крупенин // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 2. – С. 160–164.
4. Крупенин, П. Ю. Применение кавитационных технологий при производстве органической сельскохозяйственной продукции / П. Ю. Крупенин // Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса: материалы респ. науч.-практ. конф. Белорусская агропромышленная неделя БЕЛАГРО-2024. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 142–144.
5. Мишуrow, Н. П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока: науч. изд. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 152 с.
6. Китун, А. В. Проектирование мобильных транспортных потоков на животноводческом предприятии / А. В. Китун, П. Ю. Крупенин, А. А. Романович // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 2. – С. 184–190.
7. Китун, А. В. Основы формирования поточных технологических линий на животноводческой ферме / А. В. Китун, П. Ю. Крупенин // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 2. – С. 160–164.
8. Роботизированные системы в животноводстве: учебное пособие / А. А. Науменко [и др.]; Харьковский национальный технический ун-т сельского хозяйства имени Петра Василенко. – Харьков: ХНТУСХ им. Петра Василенка, 2015. – 171 с.