

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

А. В. КИТУН, П. Ю. КРУПЕНИН, А. А. РОМАНОВИЧ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 01.04.2021)

Транспортная логистика на животноводческом предприятии представляет собой комплекс мероприятий по организации доставки или перемещения грузов (кормов, готовой продукции, навоза и т. п.) из одной точки в другую по оптимальному маршруту. Она обеспечивает учет, контроль и управление грузотранспортными потоками. Оптимальным считается маршрут, по которому можно доставить груз в технологически обоснованные сроки и с минимальными затратами.

Методы оптимизации транспортных потоков применяются при организации любых видов перевозок. Однако приоритетным объектом изучения и управления транспортной логистики на животноводческом предприятии является материальный поток, имеющий место в процессе перевозок транспортом общего пользования. Материальный поток имеет размерность в виде объема, количества, массы и характеризуется ритмичностью, детерминированностью и интенсивностью.

Эффективность транспортной логистики в условиях животноводческого предприятия существенно возрастает в результате ее осуществления на основе использования интеллектуальных систем, функционирующих в режиме реального времени. При реализации мониторинга транспортной логистики в условиях животноводческого предприятия требуется решение задач, включающих как определение оптимального количества транспортных средств для транспортировки кормов от хранилищ до мест подготовки их к скармливанию, так и расчет потребности в технических средствах для раздачи кормов животным. При этом в качестве критерия оптимальности функционирования транспортной системы на животноводческом предприятии следует принимать минимум затрат на доставку, промежуточное хранение и раздачу животным кормов.

Для минимизации транспортных издержек в статье рассмотрены различные варианты организации маршрутов движения автотранспорта и предложена методика расчета показателей эффективности их функционирования. Приводятся результаты расчета технико-экономических показателей мобильных смесителей-раздатчиков с объемом бункера 6...20 м³ при эксплуатации на молочно-товарных фермах мощностью от 200 до 800 коров.

Ключевые слова: транспортная система, логистика, раздача кормов, молочно-товарная ферма, смеситель-раздатчик кормов.

Transport logistics at a livestock enterprise is a set of measures for organizing the delivery or movement of goods (feed, finished products, manure, etc.) from one point to another along the optimal route. It provides accounting, control and management of freight traffic flows. The optimal route is considered to be the route along which it is possible to deliver the goods within a technologically reasonable time frame and with minimal costs.

Methods for optimizing traffic flows are used in the organization of any type of transportation. However, the priority object of study and management of transport logistics at a livestock enterprise is the material flow that takes place in the process of transportation by public transport. The material flow has dimensions in the form of volume, quantity, mass and is characterized by rhythm, determination and intensity.

The efficiency of transport logistics in a livestock enterprise increases significantly if based on the use of intelligent systems operating in real time. When implementing monitoring of transport logistics in a livestock enterprise, it is necessary to solve problems, including both determining the optimal number of vehicles for transporting feed from storage facilities to places where they are prepared for feeding, and calculating the need for technical means for distributing feed to animals. At the same time, as a criterion for the optimal functioning of transport system at a livestock enterprise, the minimum costs for the delivery, intermediate storage and distribution of feed to animals should be taken.

To minimize transport costs, the article discusses various options for organizing routes for the movement of vehicles and proposes a method for calculating indicators of the effectiveness of their functioning. We have presented results of calculating technical and economic indicators of mobile mixer-distributors with a bunker volume of 6-20 m³ when operating on dairy farms with a capacity of 200 to 800 cows.

Key words: transport system, logistics, feed distribution, dairy farm, feed mixer-distributor.

Введение

Транспорт – это отрасль материального производства, осуществляющая перевозки людей и грузов. Транспортная логистика на животноводческом предприятии представляет собой комплекс мероприятий по организации доставки или перемещения грузов (кормов, готовой продукции, навоза и т. п.) из одной точки в другую по оптимальному маршруту. Она обеспечивает учет, контроль и управление грузотранспортными потоками. Оптимальным считается маршрут, по которому можно доставить груз в технологически обоснованные сроки и с минимальными затратами [1].

В данной статье рассматривается методика определения потребного числа транспортных средств для организации мобильных транспортных потоков на животноводческом предприятии.

Основная часть

Методы организации оптимальных транспортных потоков применяются при любых видах перевозок. Однако приоритетным объектом изучения и управления транспортной логистики на животноводческом предприятии является материальный поток, имеющий место в процессе перевозок транспортом общего пользования. Материальный поток имеет размерность в виде объема, количества, массы и характеризуется ритмичностью, детерминированностью и интенсивностью.

При выборе транспорта следует принимать во внимание такие факторы, как:

- объем спроса (оборота);
- надежность соблюдения графика доставки;
- время доставки;
- стоимость перевозки.

Эффективность транспортной логистики в условиях животноводческого предприятия существенно возрастает в результате ее осуществления на основе использования интеллектуальных систем, функционирующих в режиме реального времени. С их помощью можно отслеживать маршрут транспортных средств, время нахождения в пути, тоннаж грузов. Для осуществления мониторинга, транспортные средства оснащаются бортовым навигационно-связным оборудованием, подключенным к глобальной системе позиционирования GPS, посредством которого навигационная и телеметрическая информация в режиме реального времени поступает диспетчерскую предприятия.

При реализации мониторинга транспортной логистики в условиях животноводческого предприятия необходимо определить:

- оптимальное число транспортных средств для транспортировки кормов от хранилищ до мест подготовки их к скармливанию;
- оптимальное число транспортных средств для раздачи кормов животным.

Критерием эффективности работы транспортной системы является непрерывность работы машин и высокая степень их использования, которые подтверждается соответствующими технико-экономическими расчетами.

При организации транспортировки кормов к местам дальнейшей подготовки к скармливанию следует обосновать оптимальный размер партии поставляемых кормов и частоту их завоза, которые, в свою очередь, зависят от таких факторов, как объем спроса кормов и величина затрат на их доставку и промежуточное хранение в местах потребления [2].

В качестве критерия оптимальности функционирования транспортной системы на животноводческом предприятии принимается минимум совокупных затрат на доставку и хранение кормов.

Затраты на доставку кормов при увеличении их спроса обычно уменьшаются, т. к. перевозки осуществляются более крупными партиями и, следовательно, реже. Себестоимость грузоперевозок можно существенно уменьшить если правильно определить требуемый вид транспорта и маршруты поставок, т. е. посредством грамотной организации логистической модели на предприятии.

Потребное число транспортных средств для перевозки кормов с мест хранения на кормоприготовительные площадки можно определить по формуле:

$$n_T = \frac{Q_n T_{\text{ц}}}{W_T \eta_T}, \quad (1)$$

где: Q_n – производительность технологической линии подготовки кормов к скармливанию, т/ч; $T_{\text{ц}}$ – длительность транспортного цикла, ч; W_T – грузоподъемность транспортного средства, т; η_T – коэффициент использования времени смены.

Транспортный цикл состоит из следующих основных частей:

$$T_{\text{ц}} = T_1 + T_2 + T_3, \quad (2)$$

где: T_1 – время пробега транспортного средства, ч; T_2, T_3 – время, затраченное на загрузку и выгрузку кормов из транспортного средства, соответственно, ч.

Время пробега транспортного средства можно определить по формуле:

$$T_1 = \frac{2L}{v_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

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

Максимум производительности транспортного средства будет достигнут при длине пути L равной:

$$L = \frac{W_T v_{cp}}{Q_{3-B}} \quad (4)$$

Из формулы (4) можно получить значение грузоподъемности транспортного средства, при котором комплексный показатель производительности максимален:

$$W_T = \frac{L Q_{3-B}}{v_{cp}} \quad (5)$$

Для минимизации транспортных издержек могут быть применены различные варианты организации маршрутов движения автотранспорта. Наиболее простым из них является маятниковый маршрут движения с обратным загруженным пробегом транспортного средства. При данном варианте организации транспортировки кормов транспортное средство загружено наполовину. График работы для данного варианта организации транспортировки кормов представлен на рис. 1.

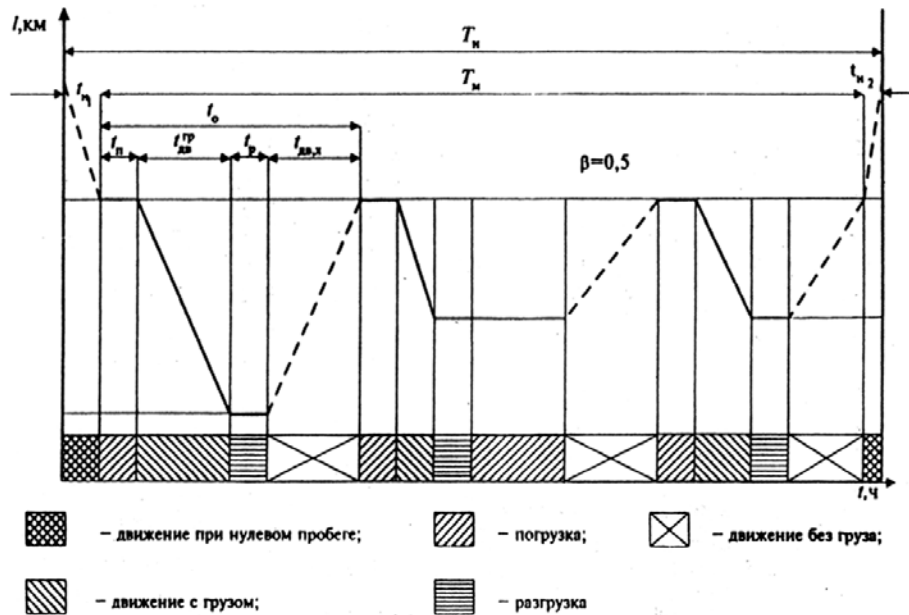


Рис. 1. График работы транспортных средств с обратным загруженным пробегом

Эффективность использования транспортного средства возрастает при его частично или полностью груженом обратном пробеге. Для этого случая склады хранения кормов должны быть расположены на незначительном расстоянии от других сельскохозяйственных объектов, а график работы будет иметь вид, представленный на рис. 2.

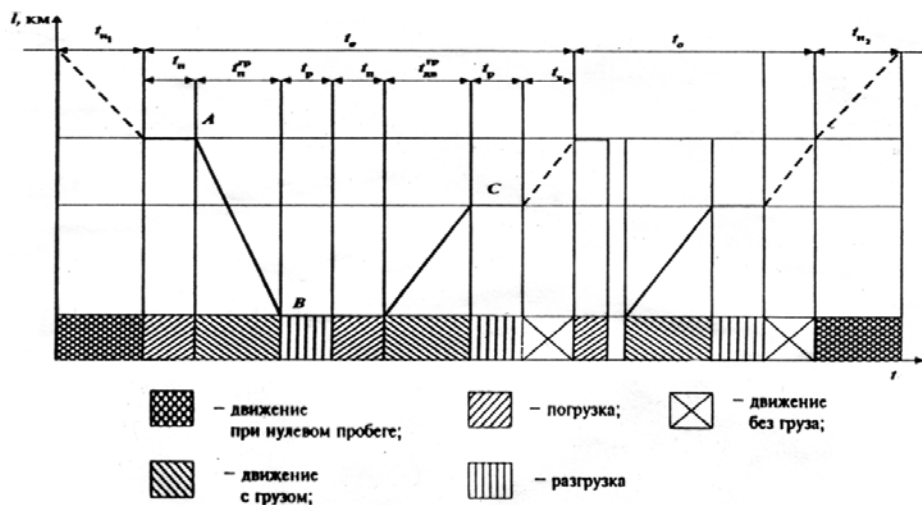


Рис. 2. График работы транспортных средств на маятниковом маршруте с неполным груженым пробегом

Из графика на рис. 2 видно, что при расчете потребного числа транспортных средств необходимо учитывать затраты времени на выполнение дополнительной транспортной работы.

Наибольшая эффективность достигается при организации транспортного процесса с обратным движением полностью загруженного транспортного средства (рис. 3). В этом случае коэффициент использования пробега близок к единице, а холостой пробег транспортное средство совершает только перед началом и в конце рабочего процесса.

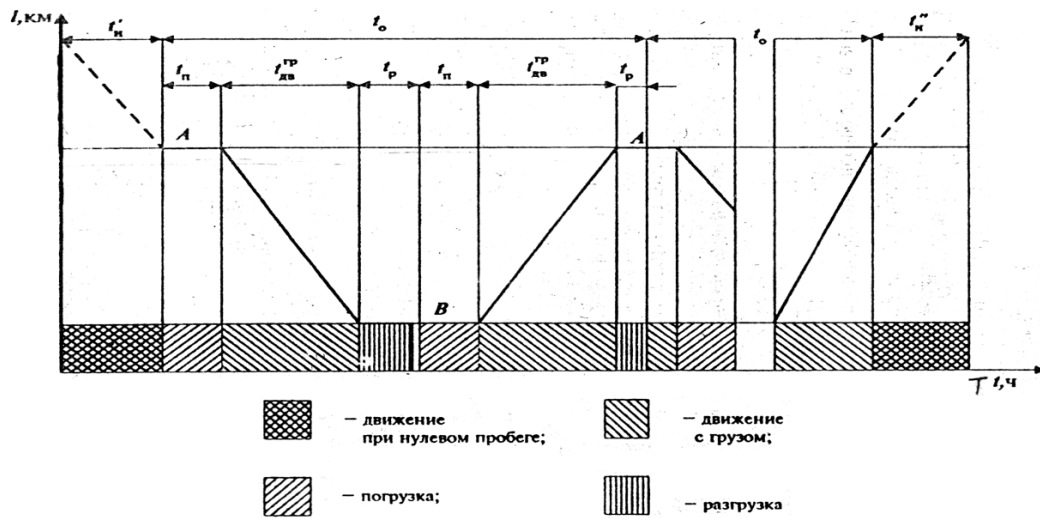


Рис. 3. График работы транспортных средств на маятниковом маршруте с грузным обратным пробегом

Маршрут движения транспортных средств, доставляющих одновременно несколько видов кормов, характеризуется наличием нескольких мест погрузки груза. Практически, транспортное средство в этом случае движется по кольцевому маршруту (рис. 4).

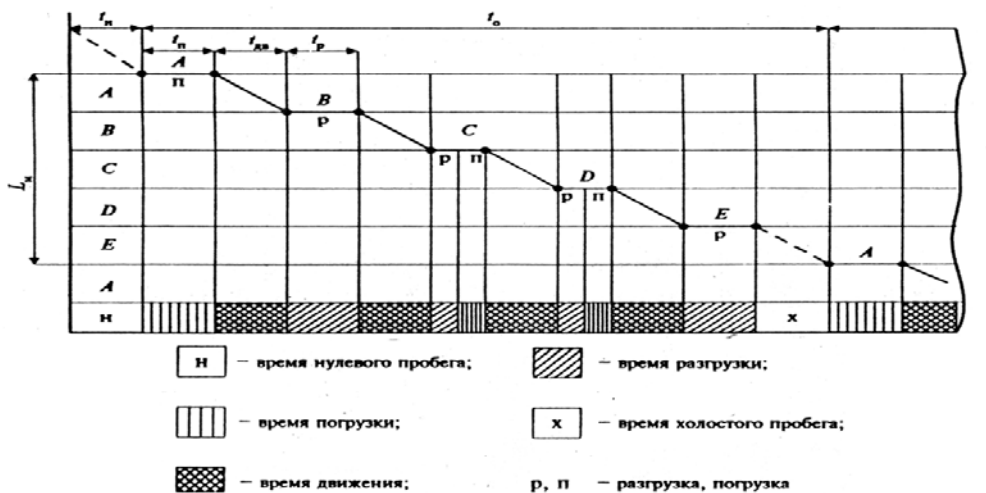


Рис. 4. График работы транспортного средства на кольцевом маршруте

Таким образом, для транспортировки кормов могут быть составлены различные варианты маршрутов. Планирование перевозок включает разработку маршрута с минимальным холостым пробегом транспортного средства, а также распределение подвижного состава и погрузочных средств по маршруту работы с их увязкой с производительностью стационарных машин и оборудования.

При организации движения транспортного средства необходимо минимизировать холостой пробег транспортных средств, определяемый по зависимости:

$$L_x = \sum_{i=1}^n (L_x^i - L_{tp}) K_T, \quad (6)$$

где: L_x^i — расстояние, преодолеваемое транспортным средством без груза, км; K_T — число маршрутов.

При решении этой задачи маршруты нумеруются в порядке возрастания разностей $(L_x^i - L_{tp})$:

$$(L_{x1}^1 - L_{tp1}) \leq (L_{x2}^1 - L_{tp2}) \leq \dots \leq (L_{xn}^1 - L_{tpn}). \quad (7)$$

Тогда оптимальное решение будет иметь вид:

$$\begin{cases} x_1 = \min(m_{к1}, K_T); \\ x_2 = \min(m_{к2}, K_T - x_1); \\ x_3 = \min(m_{к3}, K_T - x_1 - x_2); \\ \dots \\ x_n = \min\left(m_{кn}, K_T - \sum_{i=1}^{n-1} x_i\right). \end{cases} \quad (8)$$

Для решения логистической задачи исходные данные заносят в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для определения рационального маятникового маршрута

Склад хранения кормов	Количество груженных ездов		Столбец разностей
Б ₁	$L_{к1}$	$L_{гр1}$	$L_{к1} - L_{гр1}$
Б ₂	$m_{к2}$	$L_{гр2}$	$L_{к2} - L_{гр2}$
Б ₃	$L_{к3}$	$L_{гр3}$	$L_{к3} - L_{гр3}$
Б _n	$L_{кn}$	$L_{грn}$	$L_{кn} - L_{грn}$

В ходе решения задачи получают данные, позволяющие определить наиболее рациональный маршрут движения транспортного средства. Наилучший вариант будет обеспечиваться при минимальной разности расстояний $L_{кn} - L_{грn}$.

Среднее значение скорости движения агрегата при транспортировке кормов рекомендуется принимать в зависимости от расстояния между местами их складирования [3]. При $l_k < 200$ м скорость движения агрегата должна быть не более 7,2 км/ч. С увеличением расстояния транспортировки кормов ($l_k > 200$ м) этот показатель целесообразно увеличить до 22 км/ч. Выбирая скорость движения необходимо учитывать характер дорожного покрытия – на дорогах с твердым покрытием среднее значение скорости агрегата увеличивается. Скорость движения агрегата при раздаче кормов рекомендуется до 5 км/ч.

Важным элементом работы логистической системы на животноводческом предприятии является правильная организация раздачи кормов животным. Для выполнения этой операции на животноводческих фермах и комплексах используют кормораздатчики, отличающиеся как по принципу действия, так и конструкцией. Соответствующие зоотехническим требованиям кормораздающие устройства должны обеспечивать равномерность и точность выдачи корма, исключать его загрязнение и быть безопасными для животных.

Несовершенство применяемой системы машин, а также принципов формирования и функционирования технологических линий при раздаче кормов, приводит к потерям (убыткам). Чтобы исключить потери от системы машин технологического процесса раздачи кормов, необходимо не только правильно комплектовать технологические линии, но и обеспечивать их оптимальное функционирование.

Количество необходимых для обслуживания фермы мобильных кормораздатчиков определяют исходя из времени раздачи корма в одном помещении, режима работы кормоцеха и наличия либо отсутствия накопительной емкости для готовой кормосмеси. Правильный выбор способа раздачи и организация эффективного взаимодействия кормоцеха с мобильными машинами является сложной задачей, для успешного решения которой необходимо просчитать несколько возможных вариантов и выбрать из них наиболее оптимальный.

При определении числа машин для транспортировки кормов от мест хранения или приготовления до кормушек животных используют нормы технологического проектирования животноводческих предприятий и зоотехнические требования.

Число кормораздатчиков, необходимых для обслуживания поголовья животных на ферме (комплексе), определяют по формуле:

$$n_p = \frac{m_{ж} q}{Q_c}, \quad (9)$$

где: $m_{ж}$ – число животных на ферме; Q_c – производительность кормораздатчика за 1 ч сменного времени, кг/ч.

Производительность кормораздатчика за 1 ч сменного времени равна:

$$Q_c = Q k_p, \quad (10)$$

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

Часовая производительность кормораздатчика Q и коэффициент использования рабочего времени смены определяют по формулам:

$$Q = qv_a K_v; \quad (11)$$

$$k_p = \frac{t}{t + t_0}, \quad (12)$$

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

Время t_0 , затрачиваемое на непроизводительные операции, определяется суммой:

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7, \quad (13)$$

где t_1 – время переездов кормораздатчика от места содержания животных к месту загрузки, 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 переездов кормораздатчика можно определить по формуле:

$$t_1 = \frac{2L}{v_{cp}}, \quad (14)$$

где: L – длина пути, км; v_{cp} – средняя скорость движения транспортного средства, км/ч.

Время на выполнение погрузочно-разгрузочных работ определяется по формуле:

$$t_2 = \frac{W_r k_r}{Q_{3-в}}, \quad (15)$$

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

Грузоподъемность транспортного средства и средняя гармоническая производительность погрузочно-разгрузочного процесса определяются соотношениями:

$$W_r = \frac{V_{раз} - V_{шнека}}{\rho}; \quad (16)$$

$$Q_{3-в} = \frac{2Q_{загр} Q_{выгр}}{Q_{загр} + Q_{выгр}}, \quad (17)$$

где: $V_{раз}$ – объем кузова раздатчика, м³; $V_{шнека}$ – объем шнека, установленного в кузове раздатчика, м³; ρ – плотность кормовой смеси, кг/м³.

Объем шнека, установленного в кузове раздатчика, может быть рассчитан по формуле:

$$V_{шнека} = \frac{\pi(D_{ш}^2 - d_{в}^2)}{4} L_{ш}, \quad (18)$$

где: $D_{ш}$ – диаметр шнека, м; $d_{в}$ – диаметр вала шнека, $d_{в} = (0,25...0,35)D$, м; $L_{ш}$ – длина шнека, м.

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

$$Q_{загр} = m_n k_{ц}, \quad (19)$$

где: m_n – масса груза при подъеме, т; $k_{ц}$ – количество циклов машины за 1 ч непрерывной работы.

Количество циклов погрузчика за 1 ч непрерывной работы зависит от продолжительности одного цикла $T_{ц}$ и рассчитывается по формуле:

$$k_{ц} = \frac{3600}{T_{ц}}. \quad (20)$$

Время одного рабочего цикла погрузочного средства определяется суммой:

$$T_{ц} = \sum_{i=1}^{k_{ц}} t_{оп}, \quad (21)$$

где: $t_{оп}$ – время, затрачиваемое на выполнение отдельных операций при погрузке, час; k_n – число элементов работы погрузчика.

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

$$t_3 = \frac{m_{ж} L_{разд}}{v_{разд}}, \quad (22)$$

где: $m_{ж}$ – количество животных, обслуживаемых за один цикл, гол.; $L_{разд}$ – длина фронта кормления одного животного, $L_{разд} = 0,6 \dots 1,0$ м; $v_{разд}$ – скорость движения агрегата при раздаче кормов, $v_{разд} = 5,2$ км/ч = 5200 м/ч.

Число кормораздатчиков, необходимых для обслуживания поголовья животных, рассчитывается по формуле:

$$m_p = \frac{m_{ж} q t_{раз}}{W_T (t_{движ} + t_{погр})}, \quad (23)$$

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

В соответствии с вышеприведенной методикой определены технико-экономические показатели мобильных смесителей-раздатчиков кормов с объемом бункера 6...20 м³ при их эксплуатации на молочно-товарных фермах мощностью от 200 до 800 коров и годовом удое молока 6000 кг от одной коровы (табл. 2).

Таблица 2. Технико-экономические характеристики мобильных смесителей-раздатчиков кормов

Показатель	Вместимость бункера смесителя-раздатчика, м ³				
	6	10	12	14	20
Ферма 200 коров					
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
Ферма 400 коров					
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
Ферма 600 коров					
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
Ферма 800 коров					
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

* При использовании двух смесителей-раздатчиков.

Заключение

На основании данных табл. 2 можно сделать следующие выводы:

– для молочно-товарных ферм мощностью до 200 коров и предприятий по производству говядины мощностью до 1000 голов откормочного поголовья оптимальная вместимость бункера смесителя-раздатчика кормов составляет не более 6 м³;

– для ферм с большим поголовьем целесообразно выпускать смесители-раздатчики с вместимостью бункера порядка 11 м³;

– сочетание двух смесителей-раздатчиков с бункерами 6 и 11 м³ позволит обслужить любые из имеющихся в республике молочно-товарных ферм с наименьшими эксплуатационными затратами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китун, А. В. Механизация процесса приготовления и раздачи кормов на скотоводческих фермах на основе многофункциональных модульных агрегатов: монография / А. В. Китун. – Минск: БГАТУ, 2009. – 206 с.
2. Китун, А. В. Малозатратный способ формирования кормосмеси животным / А. В. Китун. // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – № 2. – 2015. – С. 112–117.
3. Тищенко, М. А. Механико-технологическое обоснование процессов подготовки и раздачи кормосмесей крупному рогатому скоту многофункциональными агрегатами: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / М. А. Тищенко. – Ленинград, 2002. – 529 с.