

Оптимизация объема роботизированного кормораздатчика методом моделирования с применением теории графов

Станислав Михайлович Михайличенко¹,
кандидат технических наук,
доцент кафедры,
e-mail: S.M.Mikhailichenko@yandex.ru;
Алексей Иванович Купреенко²,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры, e-mail: kupreenkoai@mail.ru;

Юрий Григорьевич Иванов¹,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры, e-mail: iy.electro@mail.ru;
Евгений Александрович Никитин³,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;

²Брянский государственный аграрный университет, Брянская область, Российская Федерация;

³Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. В рамках осуществления проекта по разработке роботизированного кормораздатчика первоначальной задачей оказывается определение его габаритных параметров, которые напрямую зависят от объема кормораздатчика. (*Цель исследования*) Промоделировать работу роботизированного кормораздатчика для определения оптимального объема, при котором обеспечивается универсальность его применения в животноводческих помещениях на фермах крупного рогатого скота с различной численностью животных при разной кратности кормления. (*Материалы и методы*) Поставленную задачу решали путем вычисления времени, затрачиваемого роботизированным кормораздатчиком на кормление животных, которое не должно превышать предельных величин, установленных зоотехническими нормами. Для этого использовали основанную на теории графов методику, в которой учитывается вероятностный характер составляющих баланса времени раздачи кормосмесей роботизированным кормораздатчиком. Блок вычислений выполнили в программе *MS Excel*. (*Результаты и обсуждение*) Описали условия для моделирования. Рассмотрели два варианта работы роботизированных кормораздатчиков, при которых один робот обслуживает два коровника либо для каждого коровника используется отдельный кормораздатчик. (*Выводы*) Определили, что наиболее предпочтительный второй вариант с отдельным роботизированным кормораздатчиком. Доказали, что в этом случае в результате сокращения протяженности поездов производительность роботизированного кормораздатчика повышается на 27,9-36,2 процента для рассмотренных условий, а также исключается необходимость установки автоматических ворот и возведения утепленного тамбура для перемещения робота между коровниками, упрощается задача по составлению программ кормления. Выявили, что для кормления животных в коровниках с габаритами 111,9 на 26,6 метра и меньших размеров, вмещающих до 340 голов, при кратности кормления 4-8 раз в сутки достаточно использовать роботизированный кормораздатчик объемом 2 кубических метра.

Ключевые слова: кормление крупного рогатого скота, роботизированный кормораздатчик, автоматическая система кормления, теория графов.

■ **Для цитирования:** Михайличенко С.М., Купреенко А.И., Иванов Ю.Г., Никитин Е.А. Оптимизация объема роботизированного кормораздатчика методом моделирования с применением теории графов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N4. С. 35-41. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-35-41. EDN: ILFHLL.

Optimization of Volume for an Automatic Feed Wagon by Graph Theory Based Modeling

Stanislav M. Mikhailichenko¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: S.M.Mikhailichenko@yandex.ru;
Aleksey I. Kupreenko²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: kupreenkoai@mail.ru;

Yuriy G. Ivanov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: iy.electro@mail.ru;
Evgeniy A. Nikitin³,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation;

²Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Russian Federation;

³Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Within the project of developing an automatic feed wagon, the initial task is to determine its overall parameters, which directly depend on the wagon volume. (*Research purpose*) To simulate the automatic feed wagon operation in order to determine the optimal volume ensuring the versatility of its use in cattle cowsheds accommodating different numbers of animals, and practicing different feeding frequency. (*Materials and methods*) The solution to the problem is based on the calculation of the feeding time taken by the automatic feed wagon. The time must not exceed the limit values established by zootechnical standards. To calculate the feeding time taken by an automatic feed wagon, a graph-theory-based simulation method was used, taking into account the probabilistic nature of the components of feed mixture distribution time balance. The calculations were performed in MS Excel. (*Results and discussion*) The paper describes the conditions for simulation and considers two options for the automatic feed wagon operation, in particular the option when one robot serves two cowsheds and the other when each cowshed is served by a separate feed wagon. (*Conclusions*) The second option with a separate automated feed wagon for each cowshed is proved to be more suitable. It has been obtained that in this case, the reduced movement length results in a 27.9-36.2 percent increase in productivity of the automatic feed wagon; besides there is no need to install automatic gates and build an insulated vestibule to move the robot between the cowsheds. Thus, the programming task becomes simplified. It has been found out that an automatic feed wagon having the volume of 2 cubic meters is enough to feed animals in the cowsheds sized 111.9 meters by 26.6 meters and smaller, accommodating up to 340 cows, and with a feeding frequency of 4-8 times a day.

Keywords: cattle feeding, robotic feeder, automatic feed wagon, automatic feeding system, graph theory.

■ **For citation:** Mikhailichenko S.M., Kupreenko A.I., Ivanov Yu.G., Nikitin E.A. Optimizatsiya obema robotizirovannogo kormorazdatchika metodom modelirovaniya s primeneniem teorii grafov [Optimization of volume for an automatic feed wagon by graph theory based modeling]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 35-41 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-35-41. EDN: ILFHLL.

Производственный опыт показывает, что развитие сельского хозяйства идет по пути автоматизации и роботизации технологических процессов производства. Это обусловливается как требованиями повышения эффективности производства, так и проблемами нехватки трудовых ресурсов.

В соответствии с приоритетом научно-технологического развития Российской Федерации, отраженного в указе Президента РФ № 642 от 01.12.2016 года, деятельность научных организаций должна обеспечить переход к цифровым и интеллектуальным производственным технологиям с применением систем обработки больших данных и максимальным уровнем импортозамещения [1, 2].

В рамках выполнения данной задачи на базе ФНАЦ ВИМ реализуется проект по разработке роботизированного кормораздатчика (робота). При теоретическом обосновании конструкции первоначальная задача заключалась в определении его габаритных параметров.

Цель исследования – моделирование работы роботизированного кормораздатчика для определения оптимального объема, при котором обеспечивается универсальность его применения в животноводческих помещениях на фермах КРС с разной численностью животных при разной кратности кормления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. При расчетах за основу взята концептуальная модель автоматической системы кормления (далее Система). Она включает в себя (рис. 1):

- отдельные для каждого коровника колесные ро-

ботизированные кормораздатчики с весовой системой для выдачи готовых кормосмесей и подравнивания кормов, оснащенные продольным транспортером и работающие от АКБ;

- отдельные для каждого коровника бункеры-накопители (один или несколько, в зависимости от применяемых рационов для кормления различных технологических групп животных и от особенностей организации технологического процесса), вмонтированные в стену и предназначенные для промежуточного хранения приготовленных кормосмесей и автоматической загрузки их в роботизированный кормораздатчик;

- мобильный смеситель-раздатчик кормов (МСПК) с весовой системой для приготовления кормосмесей, кормления животных на выгульно-кормовых площадках и/или загрузки бункеров-накопителей с помощью вспомогательного транспортера (рис. 2);

- технические устройства для загрузки кормов в МСПК (либо МСПК с устройством для самозагрузки).

При реализации Системы задействованы технические устройства в определенной последовательности технологических операций:

- приготовление кормосмеси мобильным СПК с дополнительным транспортером;
- загрузка готовой кормосмеси из МСПК в бункер-накопитель;
- загрузка готовой кормосмеси из бункера-накопителя в роботизированный кормораздатчик.

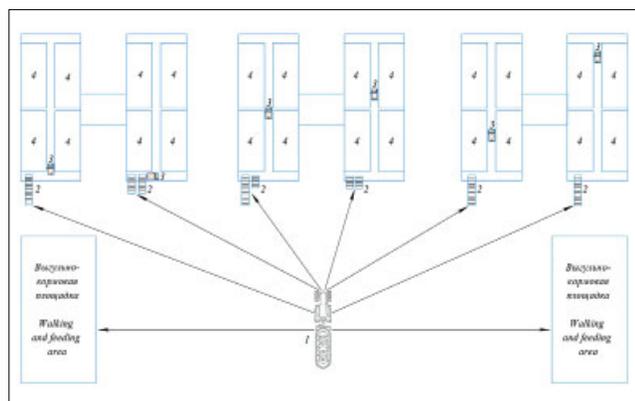


Рис. 1. Схематичный план реализации Системы: 1 – мобильный смеситель-раздатчик кормов; 2 – бункеры-накопители; 3 – колесные роботизированные кормораздатчики; 4 – технологические группы животных

Fig. 1. Schematic layout for the implementation of the System: 1 – mobile TMR mixer; 2 – storage containers; 3 – wheeled-powered automatic feed wagons; 4 – technological groups of animals



Рис. 2. Технические устройства для реализации Системы (слева направо): мобильный смеситель-раздатчик кормов с дополнительным транспортером; бункер-накопитель; колесный роботизированный кормораздатчик

Fig. 2. Technical devices for the implementation of the System (from left to right): mobile TMR mixer with an additional conveyor; storage container; wheeled-powered automatic feed wagon

Роботизированные кормораздатчики различаются по конструкции и вместительности. В ходе проведенного ранее обзора [3] было выявлено, что наибольшее распространение получили конструкции роботов объемом от 2 до 4 м³ (рис. 3). При этом рассмотрено 32 модели роботизированных кормораздатчиков, выпускаемых такими производителями, как *Lely*, *DeLaval*, *GEA*, *Pellon*, *Trioliet*, *KUHN* и др.

Решить задачу по определению оптимального объема роботизированного кормораздатчика можно путем вычисления времени, которое затрачивается на кормление животных и не должно превышать предельных величин, установленных зоотехническими нормами. Это время зависит от многих факторов:

- количества обслуживаемых животных;
- количества технологических групп животных;
- количества рационов кормления;
- вместительности робота;
- кратности кормления;
- объема суточного потребления кормов;
- скорости движения робота;
- производительности линии загрузки;
- протяженности поездов;
- плотности кормосмесей и др.

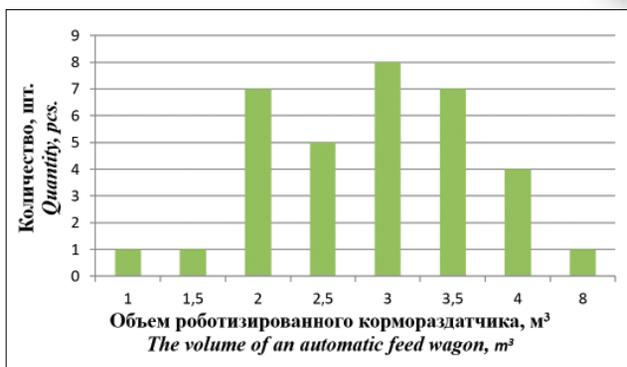


Рис. 3. Распределение моделей роботизированных кормораздатчиков по объему бункера

Fig. 3. Size range of automatic feed wagons

Это время можно вычислить с помощью основанной на теории графов методики, в которой учитывается вероятностный характер составляющих баланса времени раздачи кормосмесей [4]. Согласно этой методике, формула для вычисления времени, затрачиваемого роботизированным кормораздатчиком на кормление животных, имеет вид:

$$T_{\text{к}} = \left(\frac{N_1 l_{K_1}}{V_{P_1}} + \frac{N_2 l_{K_2}}{V_{P_2}} + \dots + \frac{N_w l_{K_w}}{V_{P_w}} \right) \times \frac{k_{\text{ц}}}{(P_1 + P_{P_2} + \dots + P_{P_w}) + T_{\text{вц}} \leq [T_{\text{к}}]}, \text{ ч} \quad (1)$$

где $T_{\text{ц}}$ – цикловое время одного кормления (раздачи кормосмеси), ч;

$T_{\text{вц}}$ – внецикловое время (затраты времени на ежедневное техническое обслуживание, агрегатированные с трактором), ч;

$[T_{\text{к}}]$ – допустимое по зоотехническим требованиям время одного кормления (раздачи кормосмеси), ч;

$N_1, N_2 \dots N_w$ – количество обслуживаемых животных на ферме в группе 1, 2...w, гол.;

$l_{k_1}, l_{k_2} \dots l_{k_w}$ – длина одного кормоместа в группе 1, 2...w, км/гол.;

$V_{P_1}, V_{P_2} \dots V_{P_w}$ – скорость движения кормового вагона при раздаче кормосмеси группе 1, 2...w, км/ч;

$k_{\text{ц}}$ – коэффициент, учитывающий потери циклового времени, связанные с особенностями организации технологического процесса раздачи кормосмесей;

$P_{P_1}, P_{P_2} \dots P_{P_w}$ – вероятность нахождения кормового вагона в состоянии раздачи кормосмеси группе 1, 2...w.

При этом вероятность нахождения роботизированного кормораздатчика в состоянии раздачи кормосмеси p_p определяется как сумма вероятностей нахождения роботизированного кормораздатчика в состоянии раздачи кормосмесей отдельным группам животных:

$$P_p = P_{P_1} + P_{P_2} + P_{P_w}.$$

С целью определения вероятности разработан

обобщенный граф состояний роботизированного кормораздатчика (рис. 4) [4].

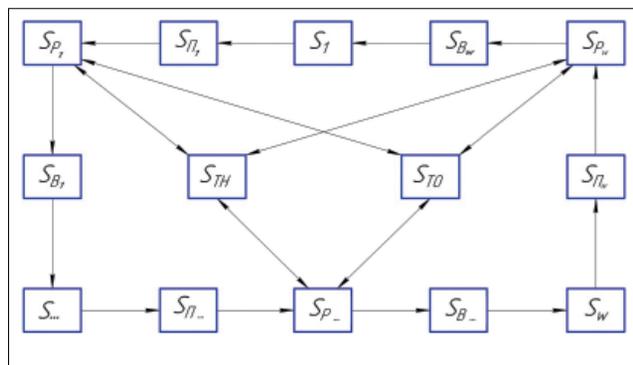


Рис. 4. Обобщенный граф состояний роботизированного кормораздатчика: w – количество групп/подгрупп животных с учетом кратности кормления; S_1, S_{\dots}, S_w – состояния загрузки готовой кормосмеси из бункера-накопителя в бункер роботизированного кормораздатчика для раздачи группе $1\dots w$, соответственно; $S_{П1}, S_{П\dots}, S_{Пw}$ – состояния переезда роботизированного кормораздатчика от места загрузки к месту начала раздачи группе $1\dots w$; $S_{Р1}, S_{Р\dots}, S_{Рw}$ – состояния раздачи группе $1\dots w$; $S_{В1}, S_{В\dots}, S_{Вw}$ – состояния переезда (возвращения) от места окончания раздачи группе $1\dots w$, к месту загрузки; $S_{ТН}$ и $S_{ТО}$ – состояния технологического нарушения и технического отказа

Fig. 4. Generalized graph of automatic feed wagon states:

w – the number of animal groups/subgroups consistent with the frequency of feeding; S_1, S_{\dots}, S_w – the states of loading the finished feed mixture from the storage hopper into the automatic feed wagon for distribution to group $1\dots w$; $S_{П1}, S_{П\dots}, S_{Пw}$ – the states of moving the robotic feeder from the loading place to the place of distribution to group $1\dots w$; $S_{Р1}, S_{Р\dots}, S_{Рw}$ – distribution states for group $1\dots w$; $S_{В1}, S_{В\dots}, S_{Вw}$ – the states of moving (returning) to the place of loading from the place of finishing distribution to group $1\dots w$, respectively; $S_{ТН}$ и $S_{ТО}$ – the states of technological breakdown and technical failure

В работе получено общее решение для данного графа, которое реализовано в программе *MS Excel* и позволяет вычислять время, затрачиваемое роботизированным кормораздатчиком на кормление животных при обслуживании любого количества технологических групп/подгрупп животных. Использование *MS Excel* удобно тем, что файлы с расчетной программой можно дублировать, моделируя в каждой из копий различные условия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При моделировании за основу приняты условия в КФХ «Лопотов А.Н.». В хозяйстве имеются два коровника размерами $111,9 \times 26,6$ м (рис. 5). Для упрощения расчетов принято, что в каждом коровнике содержится максимально возможное количество разделенных на технологические группы животных – по 340 голов. При этом норма выдачи одинакова для всех животных, а рационы кормления отличаются для каждого ряда, насчитывающего $87 + 83 = 170$ голов.

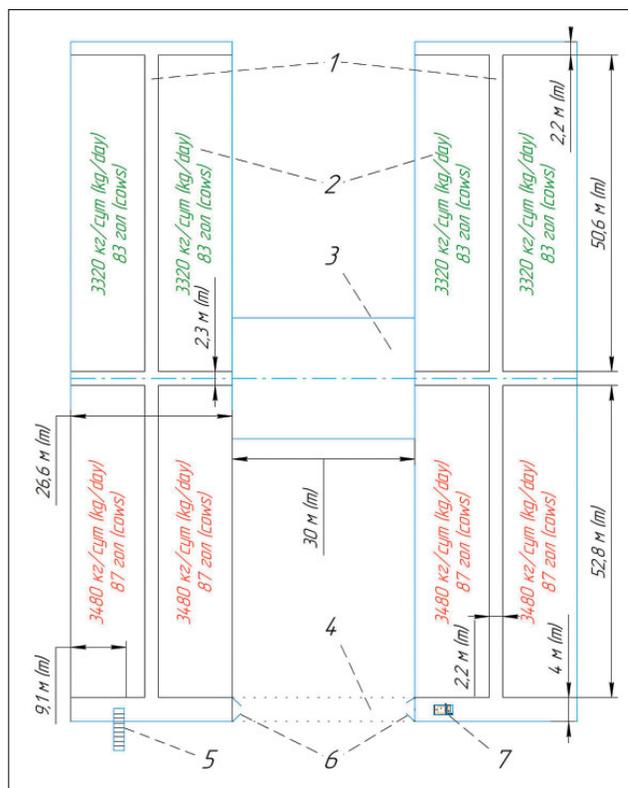


Рис. 5. План коровников (вариант обслуживания двух коровников одним роботизированным кормораздатчиком): 1 – кормовой проход; 2 – технологические группы животных; 3 – доильный зал; 4 – утепленный тамбур; 5 – бункер-накопитель (зона загрузки); 6 – автоматические ворота; 7 – колесный роботизированный кормораздатчик

Fig. 5. The layout of the cowsheds (the option of servicing two cowsheds with one automatic feed wagon): 1 – feed alley; 2 – technological groups of animals; 3 – milking parlor; 4 – insulated vestibule; 5 – storage hopper (loading area); 6 – automatic gates; 7 – wheeled-powered automatic feed wagon

Моделирование проводили для двух вариантов организации работы роботизированных кормораздатчиков:

- первый – обслуживание двух коровников одним роботом;
- второй – обслуживание каждого коровника отдельным роботом.

Кроме того, исследовали влияние на общую продолжительность кормления животных колесным роботизированным кормораздатчиком за сутки:

- объема бункера робота: 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 и 4,0 м³;
- кратности кормления: 4, 6 и 8 раз (как наиболее часто встречающиеся на практике) [5-9].

Суммарно при моделировании учтены 30 различных случаев. Для расчетов приняты следующие значения:

- производительность линии загрузки – 145 т/ч;
- скорость роботизированного кормораздатчика: груженого – 0,7 км/ч, порожнего – 0,85, при раздаче – 0,5 км/ч. Эти значения приняты согласно диапазону развиваемых скоростей подвешенного роботизированно-

го кормораздатчика *GEA Mix & Carry* (0,48-0,96 км/ч);

- наработка на технологическое нарушение – 2 ч,
- наработка на технический отказ – 250 ч, среднее время устранения технологического нарушения 0,2 ч, среднее время технического отказа – 5 ч;
- плотность кормосмесей – 245 кг/м³;
- суточное потребление кормосмеси одним животным – 40 кг/гол.;
- длина одного кормоместа – 0,61 м;
- коэффициент, учитывающий потери циклового времени, – 1;
- внецикловое время (затраты времени на ЕТО и т.д.) – 0 ч.

Обобщенные результаты моделирования свидетельствуют о преимуществе варианта, при котором один робот обслуживает один коровник, рассчитанный на содержание 340 голов (рис. 6).

С учетом специфики эксплуатации роботизированных устройств, работающих от АКБ и требующих периодической подзарядки (например робот *Lely Vector*), задаем условием, что общее время кормления, то есть время работы робота, не должно превышать 12 ч/сут. В варианте обслуживания одним роботом двух коровников этому условию отвечают только устройства объемом 3,5 и 4 м³ при относительно малой кратности кормления животных – не более 4 раза. Это связано с увеличенной протяженностью

переездов, что негативно влияет на производительность робота (таблица).

Кроме того, в таком варианте потребуется установка автоматических ворот и возведение утепленного тамбура для перемещения робота между коровниками. Существенно усложнится задача по созданию программ кормления, а изменение схемы кормления в одном коровнике приведет к необходимости коррекции общей программы кормления для двух коровников.

Для обоих вариантов рассчитали производительность роботизированного кормораздатчика. При определении относительной величины производительности вариант 2 приняли за 100% и сравнили с ним вариант 1.

Для рассмотренных условий при обслуживании каждого коровника отдельным роботом его производительность повышается на 27,9-35,2% по сравнению с вариантом обслуживания одним роботом двух коровников.

С учетом вышесказанного наиболее предпочтителен вариант обслуживания каждого коровника отдельным роботом. В этом случае условию, лимитирующему время кормления до 12 ч/сут., отвечают все роботы в рассматриваемом диапазоне объемов бункера от 2 до 4 м³ при кратности кормления от 4 до 8 раз в сутки.

Таким образом, для кормления животных в коровниках рассмотренного типа и меньшего размера достаточно одного роботизированного кормораздатчика с объемом бункера 2 м³. Важно отметить, что при моделировании выбрана малая плотность кормосмеси – 245 кг/м³. Данное значение зафиксировано итальянскими учеными на ферме в Северной Италии с функционирующей автоматической системой кормления *DeLaval Optimat Master* [10]. В большинстве случаев плотность кормосмесей больше указанного значения, и, следовательно, время кормления будет меньше полученных при моделировании результатов.

В перспективе основными потребителями роботизированных кормораздатчиков станут хозяйства с высокой концентрацией животных – 800-2000 и более коров, в том числе и крупные агрохолдинги, на долю которых приходится производство 35-40% всего молока в России [11, 12].

Выводы

1. Наиболее предпочтителен вариант, при котором для кормления животных в каждом коровнике используется отдельный роботизированный кормораздатчик. Обслуживание сразу двух коровников осложнено несколькими факторами:

- увеличением протяженности переездов и, соответственно, снижением производительности роботизированного кормораздатчика примерно на 25% для рассмотренных условий;
- необходимостью установки автоматических во-

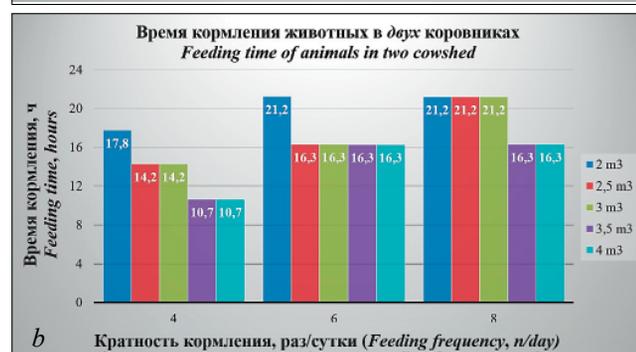


Рис. 6. Результаты моделирования работы роботизированного кормораздатчика: а – при обслуживании 340 гол. в одном коровнике; б – при обслуживании 680 гол. в двух коровниках
Fig. 6. Results of modeling the automatic feed wagon operation: а – when servicing 340 cows in one cowshed; б – when servicing 680 cows in two cowsheds

Таблица		Table				
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОРМОРАЗДАТЧИКА, ГОЛ./Ч PRODUCTIVITY OF THE AUTOMATIC FEED WAGON (COWS/H):						
Кратность кормления Feeding frequency n/day	Варианты Options	Объем бункера, м ³ / Hopper volume, m ³				
		2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
4	1*	52,1	63,4	63,4	81,7	81,7
	2**	38,3	47,8	47,8	63,7	63,7
	%***	136,2	132,8	132,8	128,4	128,4
6	1*	42,6	54,5	54,5	56,7	56,7
	2**	32,0	42,6	42,6	42,5	42,5
	%***	133,1	127,9	127,9	133,3	133,3
8	1*	41,3	41,3	41,3	56,7	56,7
	2**	32,1	32,1	32,1	42,5	42,5
	%***	128,6	128,6	128,6	133,3	133,3

*Один коровник – один робот. **Два коровника – один робот. ***Относительная производительность.
*One cowshed – one robot. **Two cowsheds – one robot. ***Relative productivity values.

рот и возведения утепленного тамбура для перемещения робота между коровниками;

- повышением сложности создания программ кормления и необходимостью корректировки общей программы кормления для двух коровников при изменении схемы кормления в одном из них.

2. Для кормления животных в коровниках с габаритами 111,9 × 26,6 м и меньших размеров, вмещаю-

щих до 340 голов, при кратности кормления от 4 до 8 раз в сутки достаточно использования роботизированного кормораздатчика с бункером объемом 2 м³.

3. Основными потребителями роботизированных кормораздатчиков станут хозяйства с высокой концентрацией животных – 800-2000 и более коров, в том числе и крупные агрохолдинги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Дорохов А.С., Никитин Е.А., Павкин Д.Ю. Колесные роботизированные технические средства: опыт и перспективы использования на животноводческих комплексах // *Техника и оборудование для села*. 2022. N4(298). С. 16-21. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-16-21. EDN: AHOGZC.
- Никитин Е.А., Дорохов А.С., Павкин Д.Ю. Совершенствование технологии приготовления кормовой смеси при реконструкции кормовых площадок // *Техника и оборудование для села*. 2019. N11(269). С. 32-34. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-11-32-34. EDN: RIRDVM.
- Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Михайличенко С.М., Благов Д.А. Анализ роботизированных кормораздатчиков для животноводческих комплексов по содержанию крупного рогатого скота // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 94-104. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-1-94-104. EDN: FCJSIK.
- Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Обобщенный граф состояний автоматического кормового вагона при обслуживании технологических групп животных // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N2(31). С. 63-67. EDN: YLTANJ.
- Mattachini G., Pompe J., Finzi A., Tullo E., Riva E., Provoilo G. Effects of feeding frequency on the lying behavior of dairy cows in a loose housing with automatic feeding and milking system. *Animals*. 2019. N9. 121. DOI: 10.3390/ani9040121.
- Oberschätzl-kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K., Bernhardt H. Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows. *Proceedings of CIGR-AgEng Conference*. Aarhus. Denmark. 2016. 1-8.
- Grothmann A., Moser L., Nydegger F., Steiner A., Zähler M. Influence of different feeding frequencies on the rumination and lying behaviour of dairy cows. *Proceedings international conference of agricultural engineering*. Zurich. 2014. 1-6.
- Da Borso F., Chiumenti A., Sigura M., Pezzuolo A. Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms. *Journal of agricultural engineering*. 2017. Vol. 48. N1. 48-52. DOI: 10.4081/jae.2017.642.
- Bisaglia C., Belle Z., Van den Berg G., Pompe J. Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in the Netherlands. *Proceedings international conference of agricultural engineering CIGR-AgEng*. Valencia. 2012. 100-104.
- Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L., Da Borso F. Automatic feeding systems: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. *Engineering for rural development*. 2016. Vol. 15. 882-887.
- Иванов Ю.А. Результаты научных исследований по механизации и автоматизации животноводства // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. N1(41). С. 4-11. DOI 10.51794/27132064-2021-1-4.
- Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Чепурина Е.Л. Концепция построения регионального многофункционального сервисного центра по молочному животноводству // *Агроинженерия*. 2021. N1(101). С. 4-10. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-4-10. EDN: VJRNNB.

REFERENCES

1. Dorokhov A.S., Nikitin E.A., Pavkin D.Yu. Kolesnye robotizirovannye tekhnicheskie sredstva: opyt i perspektivy ispol'zovaniya na zhivotnovodcheskikh kompleksakh [Wheeled robotic technical tools: experience and prospects of use at livestock complexes]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 16-21 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-16-21. EDN: AHOGZC.
2. Nikitin E.A., Dorokhov A.S., Pavkin D.Yu. Sovershenstvovanie tekhnologii prigotovleniya kormovoy smesi pri rekonstruktsii kormovykh ploshchadok [Improving a process for the preparation of feed mixture during the reconstruction of feed sites]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N11(269). 32-34 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-11-32-34. EDN: RIRDVM.
3. Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Mikhaylichenko S.M., Blagov D.A. Analiz robotizirovannykh kormorazdatchikov dlya zhivotnovodcheskikh kompleksov po sodержaniyu krupnogo rogatogo skota [Analysis of robotic feeders for cattle keeping complexes]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 94-104 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-1-94-104. EDN: FCJSIK.
4. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhaylichenko S.M. Obobshchennyy graf sostoyaniy avtomaticheskogo kormovagona pri obsluzhivaniy tekhnologicheskikh grupp zhivotnykh [Generalized graph of states of an automatic feed wagon servicing technological groups of animals]. *Vestnik VIESH*. 2018. N2(31). 63-67 (In Russian). EDN: YLTAHJ.
5. Mattachini G., Pompe J., Finzi A., Tullo E., Riva E., Provollo G. Effects of feeding frequency on the lying behavior of dairy cows in a loose housing with automatic feeding and milking system. *Animals*. 2019. N9. 121 (In English). DOI: 10.3390/ani9040121.
6. Oberschätzl-kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K., Bernhardt H. Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows. *Proceedings of CIGR-AgEng Conference*. Aarhus. Denmark. 2016. 1-8 (In English).
7. Grothmann A., Moser L., Nydegger F., Steiner A., Zähler M. Influence of different feeding frequencies on the rumination and lying behaviour of dairy cows. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*. Zurich. 2014. 1-6 (In English).
8. Da Borso F., Chiumenti A., Sigura M., Pezzuolo A. Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms. *Journal of Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 48. N1. 48-52 (In English). DOI: 10.4081/jae.2017.642.
9. Bisaglia C., Belle Z., Van den Berg G., Pompe J. Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in the Netherlands. *Proceedings international conference of agricultural engineering CIGR-AgEng*. Valencia. 2012. 100-104 (In English).
10. Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L., Da Borso F. Automatic feeding systems: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. *Engineering for Rural Development*. 2016. Vol. 15. 882-887 (In English).
11. Ivanov Yu.A. Rezul'taty nauchnykh issledovaniy po mekhanizatsii i avtomatizatsii zhivotnovodstva [Results of scientific research on livestock mechanization and automation]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2021. N1(41). 4-11 (In Russian). DOI 10.51794/27132064-2021-1-4.
12. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Chepurina E.L. Kontseptsiya postroeniya regional'nogo mnogofunktsional'nogo servisnogo tsentra po molochnomu zhivotnovodstvu [Conceptual grounds for the construction of a regional multifunctional service center for dairy livestock]. *Agroinzhenneriya*. 2021. N1(101). 4-10 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-4-10. EDN: VJRNNB.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Михайличенко С.М. – постановка проблемы, разработка расчетной программы, проведение моделирования, написание основного текста статьи, формирование направления дальнейшего исследования, подготовка материалов к публикации;

Купреенко А.И. – разработка теоретических предпосылок, редактирование и доработка текста статьи;

Иванов Ю.Г. – формирование выводов, редактирование и доработка текста статьи;

Никитин Е.А. – проведение обзорной работы, формирование направления дальнейшего исследования, редактирование и доработка текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

04.04.2023

26.05.2023

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Mikhailichenko S.M. – problem statement, development of the calculation program, modeling, writing the draft manuscript, forming the further research directions, preparing materials for publication;

Kupreenko A.I. – development of theoretical background, editing and finalization of the manuscript;

Ivanov Yu.G. – formation of conclusions, proofreading the manuscript;

Nikitin E.A. – conducting a review, forming the further research direction, proofreading the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.