

С.С. Акимов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВА МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

Аннотация. Статья посвящена моделированию продуктивности хозяйства молочного животноводства. Цель данной работы – построение математических моделей зависимости сферы молочного животноводства от различных факторов, влияющих на итоговую продуктивность. Приведены параметры, оказывающие влияние на продуктивность молочного животноводства и представлены математические модели зависимости продуктивности от приведенных параметров. Областью применения результатов являются хозяйства молочного производства, внедряющие в свою деятельность современные информационные технологии.

Ключевые слова: математические модели, векторная форма, производительность молочного животноводства, оптимизация.

S.S. Akimov

MODELING THE PRODUCTIVITY OF THE DAIRY LIVESTOCK FARM

Abstract. This article is devoted to modeling the productivity of dairy farming. The purpose of this work is to build mathematical models of the dependence of the productivity of the economy in the sphere of dairy cattle breeding on various factors that affect the final productivity. The paper presents the parameters that affect the productivity of dairy farming and presents mathematical models of the dependence of productivity on the given parameters. The field of application of the results is dairy farms that introduce modern information technologies in their activities.

Keywords: mathematical models, vector form, dairy farming productivity, optimization.

Введение

В настоящее время в мире происходит переход к цифровой экономике, что дает новые возможности для развития различных отраслей. Ключевым решением для подобного развития становятся современные интеллектуальные технологии.

Среди множества сфер деятельности одной из важнейших является сельское хозяйство. Применение современных интеллектуальных технологий в данной отрасли позволяет повысить надежность продовольственного обеспечения для любой страны.

Важнейшей сферой сельского хозяйства является молочное животноводство. Данная сфера постоянно развивается, и ее потребности также должны быть обеспечены современными подходами и технологиями. Постоянное увеличение потребления молока и молочных продуктов по всему миру является основанием для интенсивного развития данной сферы.

Для достижения задач, стоящих сегодня перед молочными животноводческими хозяйствами, необходимо применять сложные системы, основанные на комплексном управлении разнородными факторами.

Цель данной работы – построение математических моделей зависимости продуктивности хозяйства сферы молочного животноводства от различных факторов, влияющих на итоговую продуктивность.

Акимов Сергей Сергеевич

старший преподаватель кафедры управления и информатики в технических системах. Оренбургский государственный университет, Оренбург. Сфера научных интересов: системы поддержки принятия решения; экспертные системы; системы оптимизации. Автор более 10 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: sergey_akimov_work@mail.ru

Качество кормовой базы как наиболее важный фактор животноводческой продуктивности

Проведенные исследования параметров, оказывающих существенное влияние на животноводческую продуктивность, показали, что большинство современных авторов рассматривают качество кормовой базы как наиболее важный фактор [2; 5; 7; 9].

В соответствии с существующими нормами кормления достаточно ограниченное количество кормовых культур используются в различных комбинациях [10] для кормовой базы животноводства. Также важнейшую роль в вопросах оценки продуктивности молочного животноводческого хозяйства осуществляет совокупная пищевая ценность кормов [12].

Объем обеспеченности животноводческих хозяйств кормами зависит напрямую от текущей урожайности кормовых культур. Продуктивность, в свою очередь, представляет собой сложный многомерный показатель, на который влияет целый набор факторов, среди которых можно выделить нормы высева на основе посевной площади [3], химических условий почвы [4], а также разнообразные агроклиматические факторы [13; 14].

В отрасли сельского хозяйства достаточно большую роль играет такой совокупный показатель, как значение микроэлементов в организме растений и животных. Иначе его называют статусом микроэлементов, или микроэлементным статусом. Статус микроэлементов представляет собой набор простейших химических элементов, баланс которых отражает внутреннее состояние растения и животного.

В настоящее время анализ микроэлементного состава проводится по 25 ключевым химическим элементам, которые объединяются в 4 группы: макроэлементы, эссенциальные элементы, условно-эссенциальные элементы, токсичные элементы [6].

Измерение статуса микроэлементов в целом проводится с целью оценки потребления и потерь определенных групп микроэлементов; при этом статус микроэлементов тесно связан с важнейшими показателями эффективности сельского хозяйства – урожайностью и продуктивностью мясных и молочных животноводческих хозяйств. Благодаря этим характеристикам микроэлементный статус является отличным показателем для построения математических моделей в сельском хозяйстве. Достаточно достоверно установлено, что статус микроэлементов организма животных имеет ключевое влияние на итоговую эффективность молочного животноводства [8]. Также необходимо отметить, что на эффективность молочного хозяйства влияют генетические особенности и порода животного, состояние его здоровья, условия содержания и кормления и другие факторы [11].

Взаимодействие, осуществляемое между различными элементами, достаточно значимо влияет на итоговый обмен веществ животных и, соответственно, на конечную молочную продуктивность [1]. Кроме того, животные получают абсолютное большинство элементов вместе с кормом в зависимости от его состава [15].

Моделирование продуктивности хозяйства молочного животноводства

Таким образом, статус микроэлементов, измеренный на различных объектах (почва, урожай, корм, организм животного), может отражать взаимодействие нескольких факторов, имеющих непосредственное отношение к отрасли животноводства. Например, микроэлементный статус удобрений отражается на химическом состоянии почвы, урожайности кормовых сельскохозяйственных культур; в определенном сочетании с некоторыми элементами в кормовых добавках формирует представление о комбинированных кормах. Измерение статуса микроэлементов в организме животных является основным для анализа их продуктивности.

Математическая модель урожайности почвы

Общее множество факторов, которые оказывают важное влияние на урожайность каждой конкретной кормовой культуры, достаточно велико. Из него необходимо выделить агроэкологические факторы и состав микроэлементов почвы, которая подвергается засеванию. Отметим, что выделение каждого из элементов и включение их в единый расчетный показатель является нецелесообразным ввиду большого множества изучаемых элементов. В ряде работ [4; 6; 8] предлагается разделение показателей на четыре ключевые группы, при этом отмечается, что общие тенденции накопления и выбытия элементов сохраняются и без подробного выделения каждого элемента и могут быть отображены как средневзвешенное каждой группы.

Очевидно, что процесс движения микроэлементов в почве напрямую зависит от вносимых в почву удобрений. Удобрения содержат определенный набор элементов, усваиваемый растениями и попадающий в состав кормового рациона животных.

Пусть $J = \{j_1, j_2, \dots, j_\alpha\}$ – значение, описывающее количество видов кормовых культур; $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_\beta\}$ – совокупность факторов агроэкологии; $D = \{d_1, d_2, \dots, d_\delta\}$ – количество различных видов удобрений, внесенных на поле. Тогда урожайность U определенной культуры J может быть описана функцией F , которая зависит от агроэкологических факторов Q и удобрений D , причем последнее является управляющим воздействием на урожайность. Сама же урожайность должна быть максимизирована. В математической интерпретации имеем следующую запись:

$$U^j = F(J, Q, D) \rightarrow \max. \quad (1)$$

Математическая модель кормовых добавок

При этом необходимо особо отметить, что удобрения, вносимые в почву, оказывают влияние не только на урожайность кормовых культур, но и на состав микроэлементов выращенного урожая с данных территорий. Однако коррекция микроэлементов, которые оказываются в организме животных посредством питания, может быть выполнена при помощи применения определенных кормовых добавок.

Пусть $G = \{g_1, g_2, \dots, g_\varphi\}$ – количественное представление вариантов добавок к корму животных. В этом случае состав рациона питания животных – производителей молока R может быть представлен в виде функции K , которая зависит от текущей урожайности U^j и кормовых добавок G° , причем последние также оказывают определенное управляющее воздействие на состав рациона питания продуктивных животных.

Математическая запись указанного равенства

$$R = K(U^j, G^\circ) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Данная функция, характеризующая состав рациона, определяет возможность прямой оценки продуктивности хозяйств молочного животноводства.

Математическая модель общей продуктивности

Пусть $W = \{w_1, w_2, \dots, w_r\}$ – оценка групп скота, разделенного по разнообразным признакам. В этом случае общая продуктивность хозяйства молочного животноводства Z определенной группы скота W^i , может быть описана в виде функции L , учитывающей обеспеченность животных рационом питания R .

Приведем математическую форму записи указанной функции:

$$Z = L(W, R) \rightarrow \max . \tag{3}$$

Помимо этого продуктивность хозяйств молочного животноводства может быть оценена посредством системы показателей, которые характеризуют состав микроэлементов. Пусть $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ – состав микроэлементов, включающий в себя макроэлементы, эссенциальные, условно-эссенциальные и токсичные элементы в каждом конкретном объекте исследования, – почве, урожае, корме, организме. Для их описания необходимо использовать более серьезный математический аппарат, однако в результате формируется возможность построения достаточно точной математической модели.

Общая модель продуктивности молочного животноводства

Приведем модели, применяемые при оценивании продуктивности молочного животноводства. Поскольку микроэлементный состав удобрений и кормовых добавок известен заранее, то оцениванию подлежат только микроэлементные составы урожая и организма животных.

Модель урожайности кормовых культур можно представить в следующем виде:

$$u_i^j = a_0 u_0^j + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix}_u \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{\delta} d_i = a_0 u_0^j + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix}_u \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{\delta} \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{21} \\ c_{31} \\ c_{41} \end{bmatrix}_d \begin{bmatrix} v_1^d(t) \\ v_2^d(t) \\ v_3^d(t) \\ v_4^d(t) \end{bmatrix}_i . \tag{4}$$

В данном блоке u_i^j – средняя плотность урожая культуры j , кг/м²; u_0^j – средняя плотность посева культуры j , кг/м²; внешними возмущениями являются q_1 – среднесуточная температура воздуха, °С; q_2 – среднесуточная сумма осадков, мм; основные параметры химического состава удобрений: d_i – средние по площади поля дозы внесения удобрений, разделенные на условные группы элементов, соответственно, макроэлементов v_1^d , эссенциальных v_2^d , условно-эссенциальных v_3^d и токсических v_4^d .

Сжатая форма модели:

$$U = A_u U + B_u Q(t) + \sum (C_u D(t)) . \tag{5}$$

Модель формирования комбикормов можно представить в следующем виде:

$$r_i = \sum_{j=1}^{\alpha} u_j + \sum_{k=1}^{\varphi} g_k = \sum_{j=1}^{\alpha} \left(a_0 u_0^j + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}_u \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{21} \\ c_{31} \\ c_{41} \end{bmatrix}_d \begin{bmatrix} v_1^d(t) \\ v_2^d(t) \\ v_3^d(t) \\ v_4^d(t) \end{bmatrix}_j \right) + \sum_{k=1}^{\varphi} \left(\begin{bmatrix} f_1 \\ f_1 \\ f_1 \\ f_1 \end{bmatrix}_g \begin{bmatrix} v_1^g(t) \\ v_2^g(t) \\ v_3^g(t) \\ v_4^g(t) \end{bmatrix}_k \right) . \tag{6}$$

Моделирование продуктивности хозяйства молочного животноводства

Сжатая форма модели:

$$R = \sum (A_u U + B_u Q(t) + \sum (C_u D(t)))_j + \sum (F_g G(t))_k. \quad (7)$$

Модель продуктивности животноводства можно представить в следующем виде:

$$z = \sum_{l=1}^{\gamma} w_l + r_i = \sum_{l=1}^{\gamma} \left(\begin{matrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{matrix} \right)_w \begin{matrix} v_1^w(t) \\ v_2^w(t) \\ v_3^w(t) \\ v_4^w(t) \end{matrix} \Big|_l + \sum_{j=1}^{\alpha} a_0 u_0^j + \begin{matrix} b_1 \\ b_2 \end{matrix} \Big|_u \begin{matrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{matrix} + \begin{matrix} c_{11} \\ c_{21} \\ c_{31} \\ c_{41} \end{matrix} \Big|_d \begin{matrix} v_1^d(t) \\ v_2^d(t) \\ v_3^d(t) \\ v_4^d(t) \end{matrix} \Big|_j + \sum_{k=1}^{\varphi} \begin{matrix} f_1 \\ f_1 \\ f_1 \\ f_1 \end{matrix} \Big|_g \begin{matrix} v_1^g(t) \\ v_2^g(t) \\ v_3^g(t) \\ v_4^g(t) \end{matrix} \Big|_{kk} \quad (8)$$

Сжатая форма модели:

$$Z = \sum (H_w W(t))_l + \sum (A_u U + B_u Q(t) + C_u D(t))_j + \sum (F_g G(t))_k. \quad (9)$$

Используя полученные системы уравнений, можно оценивать необходимые дозы внесения элементов как в почву (для повышения урожайности), так и в кормовые добавки (для роста итоговой продуктивности молочного животноводства).

Заключение

После изучения ряда факторов и показателей, их подробного математического описания в векторной и свернутой форме, приведем общую схему оптимизации продуктивности животноводства, последовательно включая в нее все этапы расчетов. Схема приведена на Рисунке.

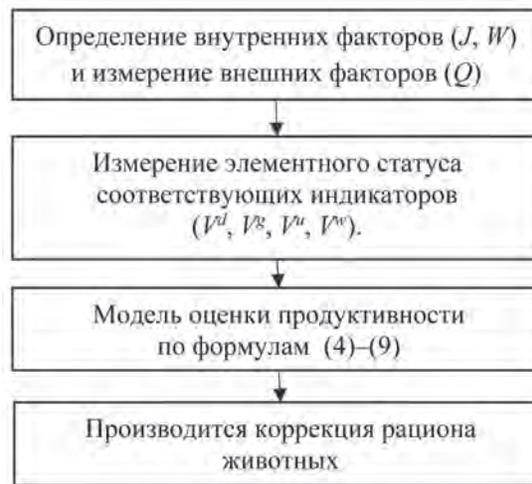


Схема оптимизации продуктивности животноводства

Данная схема позволяет проводить оценку урожайности кормовых культур и продуктивности животноводства посредством формирования последовательных моделей зависимости продуктивности от кормов и урожайности, а последней – от агроэкологических факторов.

Все перечисленные группы факторов участвуют в образовании элементного баланса и, соответственно, в вопросе оценки продуктивности посредством микроэлементного статуса.

Литература

1. Анищенко А.Н. О направлениях активизации инновационных процессов в молочном скотоводстве региона // Проблемы развития территории. 2017. № 2 (88). С. 192–206.
2. Воскобулова Н.И., Будилов А.П., Соловьёва В.Н. Зернобобовые культуры в кормопроизводстве степной зоны Оренбургской области // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 2 (98). С. 202–207.
3. Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Оптимизация норм высева семян сельскохозяйственных культур // Агрофизика. 2017. № 4. С. 58–67.
4. Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Управление химическим состоянием почв на основе данных дистанционного зондирования земли // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1 (13). С. 63–73.
5. Тихомиров И.А., Скоркин В.К. Повышение эффективности использования кормовых ресурсов в системе технологической модернизации молочного скотоводства // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 1 (29). С. 66–73.
6. Феномен нагруженного метаболизма и продуктивность молочных коров / С.А. Мирошников, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов, М.Я. Курилкина // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т 102, № 2. С. 30–45.
7. Шахназарян Г.Э. Молочное скотоводство России: проблемы, пути их преодоления // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16, № 7. С. 1303–1319.
8. Akimov S.S., Vedenev P.V., Pishchukhin A.M. (2018) Multidimensional model for estimating the error in the diagnosis of the organism elemental status. *International Review of Automatic Control*, vol. 11, No. 4, pp. 198–202.
9. Faye B. (2016) Food Security and the Role of Local Communities in Non-cow Milk Production. *Non-Bovine Milk and Milk Products*, pp. 1–13.
10. Lialina N. (2018) Influence of the intensity of feed costs on efficiency of dairy cattle breeding. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, vol. 4, No. 1, pp. 109–119.
11. Mymrin V.S., Lorets O.G. (2019) Contemporary trends in the formation of economically-beneficial qualities in productive animals. Digital agriculture – development strategy: Proc. of the International Scientific and Practical Conference (ISPC 2019), Yekaterinburg, 21–22 march 2019. Yekaterinburg, Atlantis Press, pp. 511–514.
12. Raedts P.J.M., Rawnsley R.P., Garcia S.C. (2017) Is systems research addressing the current and future needs of dairy farms? *Animal Production Science*, vol. 57, No. 7, pp. 1311–1322.
13. Sandakova G.N., Besaliev I.N., Panfilov A.L., Akimov S.S. (2019) Cumulative indicator of quality of grain for strong wheat for conditions of strongly continental climate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 april 2019. Kurgan, IOP Publishing Ltd, p. 012098.
14. Sandakova G.N., Besaliev I.N., Panfilov A.L., Karavaitsev A.L., Kiyayeva E.V., Akimov S.S. (2019) Influence of agrometeoro-logical factors on wheat yields. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 april 2019. Kurgan, IOP Publishing Ltd, p. 012022.
15. White P.J.C., Lee M.A., Roberts D.J., Cole L.J. (2019) Routes to achieving sustainable intensification in simulated dairy farms: The importance of production efficiency and complimentary land uses. *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, No. 5, pp. 1128–1139.

References

1. Shakhnazaryan G.E (2018) *Molochnoe skotovodstvo Rossii: problemy, puti ih preodoleniya* [Dairy cattle breeding in Russia: problems, ways to overcome them]. *Regional economy: theory and practice*, No. 7, pp. 1303–1319 (in Russian).
2. Tikhomirov I.A., Skorkin V.K. (2018) *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya kormovykh resursov v sisteme tekhnologicheskoy modernizatsii molochnogo skotovodstva* [Improving the efficiency of using fodder resources in the system of technological modernization of dairy cattle]. *Bulletin of VNIIMZh*, No. 1 (29), pp. 66–73 (in Russian).
3. Voskobulova N.I., Budilov A.P., Solovyova V.N. (2017) *Zernobobovye kul'tury v kormoproizvodstve stepnoj zony Orenburgskoj oblasti* [Legumes in forage production of the steppe zone of the Orenburg region]. *Bulletin of meat cattle breeding*, No. 2 (98), pp. 202–207 (in Russian).
4. Mikhailenko I.M., Timoshin V.N. (2017) *Optimizatsiya norm vyseva semyan sel'skohozyajstvennykh kul'tur* [Optimization of seeding rates for agricultural crops]. *Agrofizika*, No. 4, pp. 58–67 (in Russian).
5. Mikhailenko I.M., Timoshin V.N. (2018) *Upravlenie himicheskim sostoyaniem pochv na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli* [Management of the chemical state of soils based on remote sensing data]. *Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science*, No. 1 (13), pp. 63–73 (in Russian).
6. Miroshnikov S.A., Zavyalov O.A., Frolov A.N., Kurilkina M.Ya. (2019) *Fenomen nagruzhenogo metabolizma i produktivnost' molochnykh korov* [The phenomenon of loaded metabolism and the productivity of dairy cows]. *Animal husbandry and feed production*, No. 2, pp. 30–45 (in Russian).
7. Anishchenko A.N. (2017) *O napravleniyah aktivizatsii innovatsionnykh processov v molochnom skotovodstve regiona* [On the directions of activation of innovative processes in dairy cattle breeding in the region]. *Problems of the development of the territory*, No. 2 (88), pp. 192–206 (in Russian).
8. Akimov S.S., Vedeneev P.V., Pishchukhin A.M. (2018) Multidimensional model for estimating the error in the diagnosis of the organism elemental status. *International Review of Automatic Control*, vol. 11, No 4, pp. 198–202.
9. Faye B. (2016) Food Security and the Role of Local Communities in Non-cow Milk Production. *Non-Bovine Milk and Milk Products*, pp. 1–13.
10. Lialina N. (2018) Influence of the intensity of feed costs on efficiency of dairy cattle breeding. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, vol. 4, No. 1, pp. 109–119.
11. Mymrin V.S., Loretts O.G. (2019) Contemporary trends in the formation of economically-beneficial qualities in productive animals. Digital agriculture – development strategy: Proc. of the International Scientific and Practical Conference (ISPC 2019), Yekaterinburg, 21–22 march 2019. Yekaterinburg, Atlantis Press, pp. 511–514.
12. Raedts P.J.M., Rawsley R.P., Garcia S.C. (2017) Is systems research addressing the current and future needs of dairy farms? *Animal Production Science*, vol. 57, No. 7, pp. 1311–1322.
13. Sandakova G.N., Besaliev I.N., Panfilov A.L., Akimov S.S. (2019) Cumulative indicator of quality of grain for strong wheat for conditions of strongly continental climate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 april 2019. Kurgan, IOP Publishing Ltd, p. 012098.
14. Sandakova G.N., Besaliev I.N., Panfilov A.L., Karavaitsev A.L., Kiyeva E.V., Akimov S.S. (2019) Influence of agrometeoro-logical factors on wheat yields. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 april 2019. Kurgan, IOP Publishing Ltd, p. 012022.

15. White P.J.C., Lee M.A., Roberts D.J., Cole L.J. (2019) Routes to achieving sustainable intensification in simulated dairy farms: The importance of production efficiency and complimentary land uses. *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, No. 5, pp. 1128–1139.