

Л.В. АНТОНОВ

**Алгоритм мониторинга критических  
изменений параметров  
производственного процесса  
животноводческого предприятия**

УДК 004.896

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Муром

*В работе рассмотрены современные информационные решения автоматизации животноводческого производства. Показана необходимость в разработке новых мониторинговых алгоритмов производственного процесса. Предлагается новый алгоритм отслеживания внеплановых всплесков значений производственных характеристик на основе совмещения метода наименьших квадратов и правила трех сигм. Разработанный алгоритм лежит в основе интеллектуального модуля автоматизированной информационной системы управления животноводческим предприятием.*

За два последних десятилетия в молочном производстве в России произошло сокращение поголовья и, как следствие, снижение валового производства молока. По сравнению с 1990 годом поголовье коров в 2010 году сократилось в 2,5 раза, а производство молока на 24 млн. тонн. Приостановить этот процесс пока не удалось. Средний удой по стране на одну корову в 2010 году увеличился до 4000 кг [2]. И в ряде регионов России сейчас наблюдается положительная тенденция развития отрасли производства молока. Одним из таких регионов является Владимирская область, где наблюдается существенный рост количества сельскохозяйственных и животноводческих хозяйств. Впервые за последние годы поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий увеличилось на 0,8%, коров – на 1,5%.

Производство мяса увеличилось к уровню 2005 года на 14,2%, молока - на 2,9% и составило в 2010 году 63,7 тыс. тонн и 311,9 тыс. тонн соответственно [1].

В 2010 году введено 8 молочных животноводческих объектов на 5,2 тыс. скотомест. Закуплено 5,5 тыс. голов племенного крупного рогатого скота. Всего же с 2006 года в области было реализовано 95 инвестиционных проектов в 75 хозяйствах области, построено животноводческих объектов на 47,3 тыс. скотомест, реконструировано (модернизировано) - на 52,5 тыс. скотомест [1].

Стабилизация ситуации в отрасли активизировала спрос на программные продукты, призванные обеспечить эффективное производство с минимальными денежными потерями и высоким уровнем качества продукции.

Проведение информатизации на современном животноводческом предприятии затруднено сложностью выбора информационных систем, которые должны в перспективе повысить качество молока, предоставить полный контроль над стадом, увеличить продуктивность и повысить рентабельность фермы. Выбор между системами сложен, так как на рынке их большое количество и ни одна не обладает полным функционалом для решения всех задач предприятия, в результате хозяйство вынуждено приобретать несколько систем, которые в совокупности позволяют автоматизировать процессы производства, но частично дублируют друг друга, имеют разные механизмы управления, хранения информации и взаимодействия с пользователем, а следовательно несовместимы друг с другом. Результатом внедрения разных систем неизбежно приведет к избыточному дублированию информации на предприятии и необходимости их интеграции, что является трудоемкой и затратной задачей, которая в большинстве случаев заканчивается неудачей, либо не доводится до конца. Таким образом, возникает задача разработки единого интеллектуального информационного решения управления животноводческим предприятием.

Исследования в области оптимизации производственных и управленческих процессов животноводческих хозяйств ведутся, начиная с 70-ых годов прошлого века, наибольший вклад в развитие отрасли был представлен в работах [3-25].

В статье [4] авторы представляют результаты работ по автоматизации процесса определения типа животных на основе обработки изображения, содержащего снимок данного животного. Предлагается автоматизировать процесс определения значений признаков внешнего вида животных. Для повышения точности идентификации типа животного по снимку планируется применение алгоритмов обработки изображений, представленных в работах [16-25]. В работах [3,5,10,13,15] предлагается ряд подходов для автоматизации процесса определения типа заболеваемости животного на основе данных с датчиков о состоянии животного. В работе [5] авторы представляют результаты работы по применению генетических алгоритмов к прогнозированию развития стада и качества молочной продукции. Авторы работы [9] делают акцент на автоматизацию процесса переработки молока, с целью уменьшения влияния отходов производства на внешнюю среду. В работе [4,7,8,9] предлагается ряд новых подходов для роботизации процессов производства молока.

Одна из наиболее важных задач процесса управления животноводческим производством заключается в оперативном отслеживании резких всплесков двигательной активности с целью обнаружения послеродовой охоты животного. Данные о поведении животных, анализируемые в работах [28, 29, 32, 33-36], по большей части представляют собой информацию с шагомеров животных. Анализ именно этого пласта данных возможен благодаря практическим исследованиям, проведенным в [30], где экспериментально подтверждена гипотеза о зависимости наступления охоты и увеличения двигательной активности животного. На практике в качестве основы для анализа состояния животного одного параметра недостаточно, поэтому в работах [33-36] авторы используют комбинацию различных факторов. В [33-38] показывается, что в ряде автоматизированных систем для определения времени охоты стали учитывать различные факторы: активность, надой молока, температура молока, электропроводность, химический состав молока, состояние молочных коров. Точность обнаружения для разных комбинаций этих факторов колебалась между 67% и 90%. На практике, однако, ни одна из представленных комбинаций в итоге не дала заметного

снижения числа ошибок определения. Фактически, можно констатировать, что только ежедневно измеряемый параметр “двигательная активность” ощутимо влияет на наступление периода охоты животного. Таким образом, для технического обеспечения задачи можно иметь в распоряжении всего один вид датчиков, что существенно снижает затраты на автоматизацию.

Целью работы является разработка адаптивного алгоритма автоматического мониторинга периодов охоты на основе анализа значений ежедневной активности коров. Так как алгоритм сигнализирует о резких перепадах значений производственных параметров, он может использоваться для всего спектра характеристик производственного процесса.

На рисунке 1 представлен временной ряд активности животного за один лактационный цикл. В рамках решения задачи выявления охоты этого животного на графике выделяются стабильный участок (А-В), а также период с резкими нехарактерными перепадами значений (В-С), который сигнализирует об изменении в поведении животного. Всплески этого периода должны идентифицироваться алгоритмом.



Рис.1. Временной ряд изменения показателя активности животного.

На стабильном участке график ряда значений ежедневной активности можно разложить на две составляющие: тренд и отклонение от тренда. Взаимодействие между собой регулярных составляющих может быть представлено как аддитивная комбинация:

$$Y(t) = T(t) + E(t), \quad (1)$$

где  $Y(t)$  – значение активности в день измерения  $t$ ;  $T(t)$  – тренд активности в этот день;  $E(t)$  – отклонение от тренда.

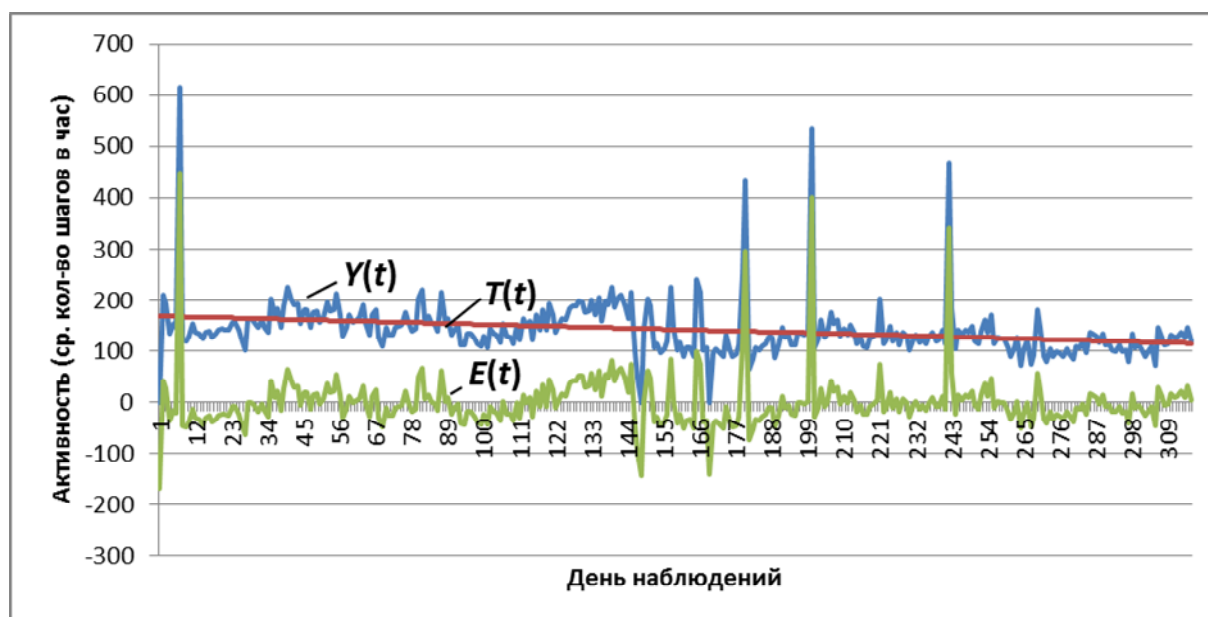


Рис.2. Разложение временного ряда производственного параметра на тренд и отклонение от тренда

Тренд характеризует основную тенденцию изменения суточной активности животного во времени. Она может быть связана с плавными изменениями таких факторов, как рост животного, его вес, среднесезонные погодные условия. На относительно небольших промежутках времени (до 100 дней) тенденции этих изменений существенно не меняются, поэтому тренд такого временного промежутка (далее его будем называть ретроспективным периодом) можем представить прямым отрезком. Известно, что прямая линия на плоскости определяется двумя параметрами  $k$  и  $b$ , поэтому с учетом этих приближений, математически тренд будет описан следующей формулой:

$$T(t) = k_t t + b_t \quad (2)$$

где  $k_t$  и  $b_t$  — коэффициенты прямой линии-тренда на ретроспективном периоде, заканчивающемся в день  $t$ .

Для аппроксимирования функций по значениям временного ряда широко используется метод наименьших квадратов. Применяя его к решаемой задаче, можно найти такие значения коэффициентов  $k$  и  $b$ , при которых линия тренда будет максимально приближена к точкам значений ряда. Математическим условием реализации метода является минимизация суммы квадратов отклонений ежедневной дистанции от трендовой линии:

$$\sum_t (Y(t) - T(t))^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Иными словами, из всего множества прямых линия тренда на графике выбирается так, чтобы сумма квадратов расстояний по вертикали между точками значений дистанций и этой линией была бы минимальной:

Зная параметры трендовой линии, можно предсказать наиболее вероятное значение активности в следующий за текущим отчетный день. Ожидаемое прогнозное значение будет ориентиром для обнаружения предельно высокой или низкой активности. Отклонения, которые не будут считаться допустимыми, предлагаем устанавливать в соответствии с правилом трех сигм относительно статистических характеристик трендовой линии.

Примем за  $x$  - текущий день наблюдения за особью. Пусть  $D$  - количество дней в ретроспективном периоде. В соответствии с математической моделью был разработан алгоритм поиска всплесков и провалов параметра животного, сигнализирующих о вероятных проблемах с ним в текущий момент времени. Он состоит из следующих этапов:

1. Используя метод наименьших квадратов, определяются коэффициенты  $kx$  и  $bx$  прямой линии - тренда изменения исследуемого параметра на ретроспективном промежутке  $[x-D, x-1]$ , удовлетворяющие условию (3).

2. Рассчитываются значения функции  $T(t) = kxt + bx$  на ретроспективном периоде  $[x-D, x-1]$ .

3. Из формулы (1) рассчитываются значения функции  $E(t)$  на ретроспективном периоде.

4. По формуле (2) определяется ожидаемое прогнозное значение параметра для текущего дня  $T(x)$ .

5. Оценивается среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  значений функции  $E(t)$  на ретроспективном периоде.

6. Если  $Y(x) - T(x) > 3\sigma$ , то сигнализируется о всплеске значения параметра.

7. Если  $T(x) - Y(x) > 3\sigma$ , то сигнализируется о резком падении значения параметра.

На рисунке 3 визуальным образом показаны пороги, полученные разработанным адаптивным алгоритмом. Можно наблюдать, что за

эти границы выходят только значения сильных всплесков и провалов, характерных для изменения состояния коров.

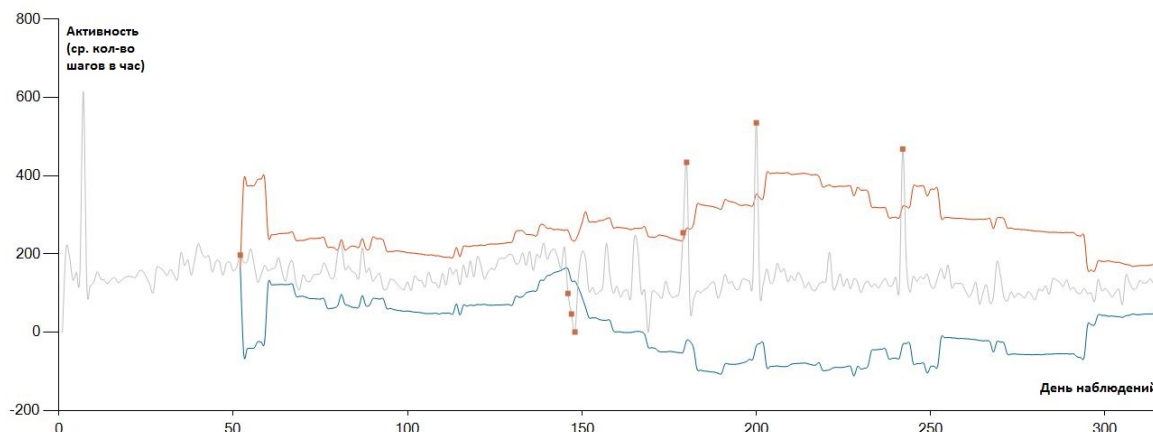


Рис.3. Результаты работы алгоритма выявления отклонений значений ежедневной активности животного

На рисунке 4 показан график нормированной к значениям порогов функции  $E(t)$ . На нем визуально очень хорошо выделяются всплески и провалы.

Таким образом, в работе получен новый алгоритм идентификации внеплановых всплесков значений параметров производственных данных животноводческого предприятия, основанный на применении правила трех сигм по отношению к разности исходного и аппроксимированного временных рядов. Разработанный алгоритм используется в основе интеллектуального программного модуля контроля производственных процессов на животноводческом предприятии. Алгоритм позволил добиться значительного снижения неверно принятых решений менеджерами предприятия и сократить затраты на устранение последствий в результате непредвиденных критических изменений в процессе производства.

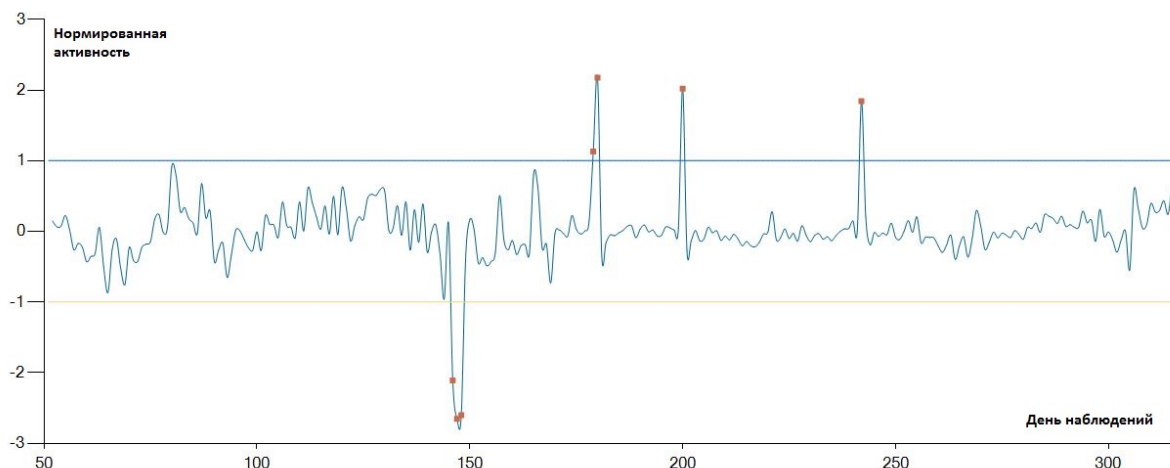


Рис. 4. Результаты работы алгоритма выявления отклонений значений ежедневной активности животного, выровненный относительно значения  $3\sigma$

## Литература

1. Администрация владимирской области: постановление губернатора №170 [Электронный ресурс]: (О прогнозе социально-экономического развития Владимирской области на 2012 год и плановый период 2013 и 2014 годов) - 2011. - Режим доступа: [www.avo.ru/documents/docs](http://www.avo.ru/documents/docs)
2. Стряпихин А. Молочная отрасль: пути повышения рентабельности / А. Стряпихин // DairyNews [Электронный ресурс]. - 2010. - Режим доступа: <http://www.dairynews.ru/dairyfarm>.
3. Ambriz-Vilchis V., Estrada-Flores J., Hernández-Ortega M., Rojas-Garduño M., Sánchez-Vera E., Espinoza-Ortega A., Castelán-Ortega O. Development of Feeding Strategies for Cows in Small Scale Dairy Farming Systems in the Highlands of Central Mexico by a Simulation Model and On-Farm Experiments. Phase I: Development of a Novel Framework // Crop Modeling and Decision Support. - 2009, pp 241-248
4. Butler Z., Corke P. Peterson R., Rus D. Dynamic Virtual Fences for Controlling Cows // Experimental Robotics IX.- 2006, pp 513-522
5. Chiu C., Hsu J., Chih-Yung L. The Application of Genetic Programming in Milk Yield Prediction for Dairy Cows // Lecture Notes in Computer Science Volume 2005. -2001, pp 598-602
6. Chu M., Shi S. Study on Data Variation and Correlation for Type in Dairy Cattle // Journal of China Agriculture University.- 1996, pp 113-118
7. Edan Y., Han S., Kondo N. Automation in Agriculture // Springer Handbook of Automation.- 2009, pp 1095-1128
8. Hewit J., Smith A. The robotic milking of cows // Lecture Notes in Control and Information Sciences Volume 187. - 1993, pp 391-410
9. Kumm K. Nitrogen Pollution from Swedish Beef Production based on Suckle-Cows // Water, Air, and Soil Pollution Volume 145. -2003, pp 239-252
10. Li L., Wang H., Yang Y., He J., Dong J., Fan H. A Digital Management System of Cow Diseases on Dairy Farm // IFIP Advances in Information and Communication Technology Volume 344. - 2011, pp 35-40



11. Li Y., Wang X., Li M. et al., Relativity Analysis of Dairy Cow Linearity Characters and Milkability for Holsteins // *PasturageFarrier of Gansu.*- 2002, pp 15-16
12. Liu X., Wu L., Huang Y., et al., Path Analysis for Linear Traits in Holsteins // *Journal of Shanxi Agriculture University.*- 1994, pp 402-404
13. Novak L., Moss K. Medication Barcode Scanning: Code “Moo”: Dead COW // *Transforming Health Care Through Information: Case Studies.*-2010, pp 155-160
14. Qian D., Wang W., Huo X., Tang J., Study on Linear Appraisal of Dairy Cow's Conformation Based on Image Processing // *The International Federation for Information Processing Volume 258.* - 2008, pp 303-311
15. Yan Y., Wang R., Song Z., Yan S., Li F. Study on Intelligent Multi-concentrates Feeding System for Dairy Cow // *IFIP Advances in Information and Communication Technology Volume 317.* - 2010, pp 275-282
16. Канунова Е.Е. Методы и алгоритмы реставрации изображений архивных тестовых документов [Текст] / Е. Е. Канунова, А. А. Орлов, С. С. Сыдыков. // *Мир, Москва, 2006.* С. 135.
17. Орлов А.А. Алгоритмы обработки снимков промышленных изделий [Текст] / Орлов А.А., Антонов Л.В. // *Современные проблемы науки и образования.* 2012. № 6. С. 97.
18. Орлов А.А. Комплексный анализ систем мониторинга оборудования на производственных предприятиях [Текст] / Орлов А.А., Астафьев А.В., Провоторов А.В. // *Алгоритмы, методы и системы обработки данных.* 2010. № 15. С. 131-135.
19. Орлов А.А. Компьютерный рентгенографический анализ качества сварных соединений и выделение линейчатых объектов на них [Текст] // *Автоматизация и современные технологии.* 2009. № 6. С. 3-6.
20. Орлов А.А. Реализация системы обработки изображений линейчатых объектов [Текст] // *Программные продукты и системы.* 2007. № 4. С. 61.
21. Орлов А.А. Системный анализ методов маркировки промышленных изделий [Текст] / Орлов А.А., Провоторов А.В., Астафьев А.В. // *Алгоритмы, методы и системы обработки данных.* 2010. № 15. С. 136-140.
22. Орлов А.А. Технология сравнения и идентификации растровых изображений линий [Текст] / Орлов А.А., Ермаков А.А. // *Программные продукты и системы.* 2007. № 1. С. 68.
23. Орлов А.А. Технология сравнения и идентификации растровых изображений линий [Текст] / Орлов А.А., Ермаков А.А. // *Программные продукты и системы.* 2008. № 1. С. 68-70.
24. Орлов А.А. Цифровая обработка текста на изображениях рукописей как линейчатых объектов [Текст] / Орлов А.А., Канунова Е.Е. // *Информационные технологии.* 2008. № 1. С. 57-62.
25. Садыков С.С. Методика обработки линейчатых образов на дефектоскопических снимках [Текст] / Садыков С.С., Орлов А.А., Ермаков А.А. // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* 2009. Т. 52. № 2. С. 11-16.
26. Bulman D. C., Lamming G. E. Milk progesterone levels in relation to conception, repeat breeding and factors influencing acyclicity in dairy cows. *J. Reprod // Fertil.* 1978. v. 54. pp. 447-458.
27. Lovendahl P., Chagunda M.. Assessment of fertility in dairy cows based on electronic monitoring of their physical activity // *Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, MG, Brazil.* 2006. pp. 496-500

28. De Mol R. M., Woldt W. E. Application of fuzzy logic in automated cow status monitoring. // J. Dairy Sci. 2001. v. 84. pp. 400-410
29. Firk R., Stamer E., Junge W., Krieter J. Automation of estrus detection in dairy cow // A review. Livest. Prod. Sci. 2002. v. 75. pp. 219-232.
30. Roelofs J. B., van Eerdenburg F. J., Soede N. M., Kemp B. Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle // Theriogenology 2005. V. 63. pp. 1366-1377.
31. Roelofs J. B., van Eerdenburg F. J., Soede N. M., Kemp B. Pedometer readings for estrous detection and as a predictor for time of ovulation in dairy cattle. // Theriogenology. 2005. V. 64. 1690-1703.
32. Zarchi H., Ingi R. Improving Oestrus Detection in Dairy Cows by Combining Statistical Detection with Fuzzy Logic Classification // Proceedings Workshop on Advanced Control and Diagnosis. 2009.
33. Eradus W., Scholten H. Cate Oestrus detection in dairy cattle using a fuzzy inference system in Control applications and ergonomics in agro-culture // (CAEA), IF AC Workshop, Athens, Greece. 1998. V. 66 pp. 185-188.
34. Yang Y. Rechnergestutzte ostrusuberwachung bei milchkuhen unter anwendung der fuzzy-logic-methode // Herbert Utz, Munchen 1998.
35. Firk R., Stamer E., Junge W., Krieter J. Oestrus detection in dairy cows based on serial measure-ments using univariate and multivariate analysis // Archiv fur Tierzucht. 2003. V. 46, pp. 127-142..
36. Firk R., Stamer E., Junge W., Krieter J. Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases // Livestock Production Science. 2006. V. 82. pp. 97-103.
37. Антонов Л.В., Варламов А.Д. Автоматизация процесса мониторинга животноводческого предприятия на основе исследования временных рядов параметров крупного рогатого скота // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.
38. Орлов А.А., Антонов Л.В. Обзор и анализ современных информационных решений автоматизации животноводческих хозяйств // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.
39. Андрианов Д. Е., Штыков Р. А., Уткин. Ю.В. Экономия энергии путем управления тепловыми сетями на промышленном предприятии//Промышленная энергетика. -2003. -№ 6. -С. 2-5.