

*А. А. Орлов, Л. В. Антонов, К. В. Макаров**Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых*

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА МОНИТОРИНГА ЕЖЕДНЕВНОЙ АКТИВНОСТИ ЖИВОТНОГО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОЛОЧНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ

В статье обоснована актуальность проведенного исследования и определена область применения разработанного алгоритма. Проведен анализ современных решений автоматизации производственного процесса животноводческого предприятия. В работе рассматривается проблема своевременной идентификации резких скачков показателей и параметров производства, которые в существенной степени отклоняются от нормальных показателей. Разрабатывается алгоритм на основе метода наименьших квадратов, позволяющий повысить оперативность и точность идентификации проблемных ситуаций на производстве.

Метод наименьших квадратов, правило трех сигм, поиск отклонений, животноводческое предприятие.

The relevance and validity of the developed algorithm are proven in the article. Up-to-date solutions of automation of livestock enterprise process are analysed in the article. The problem of critical parameter changes from ordinary values at the enterprise is discussed. The algorithm based on the least squares method can increase the speed and accuracy of the problematic situations identification at the workplace. The results of experimental tests of the algorithm are provided in the article.

Method of least squares, three sigma rule, identification of critical parameter changes, livestock enterprise.

Введение.

В современных условиях ведения бизнеса каждое животноводческое предприятие ставит своей основной задачей оптимизацию производственного процесса и сокращение издержек. Информатизация и автоматизация предприятия – прямой путь к достижению этих целей. На рынке информационных решений для автоматизации животноводческого производства существует ряд ведущих фирм-производителей программно-аппаратных комплексов для информатизации животноводческих предприятий.

Ряд недостатков отечественных информационных решений вынуждают владельцев предприятий обращаться к более дорогостоящим решениям компаний DeLaval и Westfalia. Узкопрофильность представленных систем создает проблему невозможности совмещения в одном программном продукте функций по оперативному отслеживанию опасных изменений производственных параметров и селекционному отбору, так как эти функции на рынке разнесены в разные информационные продукты. Таким образом, руководители ферм вынуждены обращаться к компаниям, занимающимся интеграцией программных продуктов, и покупать несколько информационных решений на одно предприятие, из-за чего эффективность и окупаемость информатизации резко падают [3].

Постановка задачи. На современных животноводческих предприятиях остро стоит задача определения послеродовой охоты (течки) у коров. Подобные состояния скота необходимо отслеживать на ранних стадиях их возникновения: очень важно как можно раньше отследить этот период, так как в течение него вероятность успешного оплодотворения выше. В условиях домашнего хозяйства, где содержатся всего 1–2 животных и особи находятся на виду у хозяев, наступление данного периода определяется

легко, но в промышленных условиях это сделать весьма затруднительно.

Традиционно наступление половой активности животного определяется сравнением уровня гормона прогестерона с допустимым порогом, который обычно составляет 3 нг/мл [5], [6]. Данный способ первоначально был предложен в работе [6]. Но проблема заключается в том, что не на всех современных предприятиях имеется возможность идентификации периода для осеменения с помощью гормонального анализа. Повсеместное внедрение автоматизированных систем управления животноводческими предприятиями дало возможность получить информацию с различных датчиков о состоянии животного. Появилась перспектива заменить дорогостоящий гормональный анализ. Из анализа зарубежных работ [1]–[6] можно сделать вывод, что изменение состояния животного, которое связано с наступлением охоты, проявляется в увеличении двигательной активности. За мониторинг и подсчет общей активности животного ответственны электронные шагомеры, специальные ошейники, детекторы движений.

В настоящее время эффективность различных типов устройств в плане точности выявления течки составляет от 50 до 91 %. Поставщиками подобного оборудования являются “Lactivator”, “NedapAgri BV”, “Groenlo”, “the Netherlands”, “Alpro”, “DeLaval”, “Tumba”, “Sweden”. Теоретические работы [2], [4]–[6] показывают, что эффективность регистрации случаев повышенной двигательной активности в значительной степени зависит от сложности метода. В публикациях [3], [6] предлагается подход к уменьшению неверно идентифицированных случаев выявления мастита и послеродовой охоты за счет построения модели нечеткой логики. Это позволяет сохранить уровень верно определенных случаев на

уровне 80–85 %, что является достаточно низким процентов идентификации.

Таким образом, необходима разработка алгоритма, существенно сокращающего процент случаев ложной идентификации охоты животного при высоком проценте точности определения отклонений.

Основная часть.

Разработка адаптивного алгоритма отслеживания отклонений параметров животных. Целью работы является разработка алгоритма автоматического мониторинга периодов охоты на основе анализа значений ежедневной активности коров; исследование алгоритма на реальных производственных данных об активности и его апробация для работы с данными других датчиков для своевременного выявления критических отклонений значений показателей жизнедеятельности в других производственных задачах.

В рамках решения задачи выявления охоты этого животного на графике выделяются стабильный участок, а также период с резкими нехарактерными перепадами значений, который сигнализирует об изменении в поведении животного. Всплески этого периода должны идентифицироваться алгоритмом.

На стабильном участке график ряда значений ежедневной активности можно разложить на две составляющие: тренд и отклонение от тренда (см. рисунок). 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.

Тренд характеризует основную тенденцию изменения суточной активности животного во времени. Известно, что прямая линия на плоскости определя-

ется двумя параметрами – k и b , – поэтому с учетом этих приближений математически тренд будет описан следующей формулой:

$$T(t) = k_t t + b, \quad (2)$$

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:

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

1. При помощи метода наименьших квадратов определяются коэффициенты k_x и b_x прямой линии – тренда изменения исследуемого параметра на ретроспективном промежутке $[x - D, x - 1]$, удовлетворяющие условию (3).

2. Рассчитываются значения функции $T(t) = k_x t + b_x$ 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 σ 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.

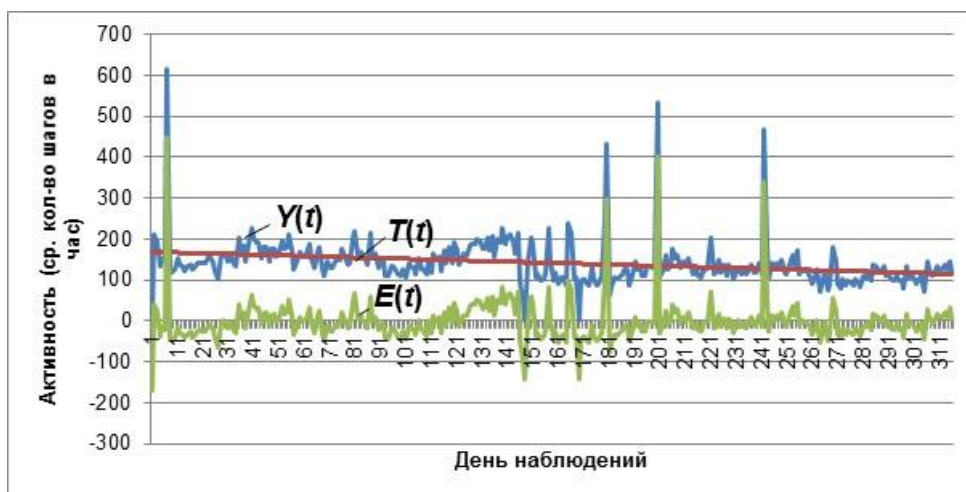


Рисунок. Разложение временного ряда производственного параметра на тренд и отклонение от тренда

Экспериментальное исследование алгоритма. В исследовании обрабатывались данные, полученные со 100 коров в течение приблизительно 330 дней с датчиков измерения пяти параметров.

Результаты работы алгоритма оценивались по четырём критериям, часто применяемым при сопоставлении экспертных эталонных результатов поиска с алгоритмическими: полнота, точность, *F*-мера и ошибка идентификации отклонения (см. таблицу).

Таблица

Экспериментальная оценка алгоритма выявления всплесков, в %

Параметр	Полнота	Точность	<i>F</i> -мера	Ошибка
Среднесуточная активность животного	92,8	94,9	93,8	0,34
Вес животного	98,9	89,7	94,1	0,35
Электропроводность	98,0	93,5	95,7	0,26
Время доения	94,9	97,9	96,4	0,23
Ежедневный надой	94,7	98,2	96,5	0,23

Полнота характеризует способность системы находить критические отклонения параметра без учета тех, которые система найти не смогла. Точность работы алгоритма показывает способность находить такое же число отклонений, которое указал эксперт. *F*-мера является гармоническим средним полноты и точности. Ошибка отображает долю неправильно классифицированных алгоритмов.

Выводы.

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. Результаты работы

алгоритма по всем рассматриваемым критериям превосходят существующие. Процент ошибки определения периодов отклонения от нормы составляет менее одного, что в значительной степени ниже показателей систем-аналогов. Численная оценка полноты и точности работы алгоритма больше 90 % применительно ко всем параметрам исследования, что является высоким показателем для потенциального внедрения на предприятие.

Литература

1. Антонов, Л. В. Автоматизация процесса мониторинга животноводческого предприятия на основе исследования временных рядов параметров крупного рогатого скота / Л. В. Антонов, А. Д. Варламов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/113-10922> (дата обращения: 27.11.2013).
2. Антонов, Л. В. Алгоритм мониторинга критических изменений параметров производственного процесса животноводческого предприятия / Л. В. Антонов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2014. – №29.
3. Антонов, Л. В. Обзор и анализ современных информационных решений автоматизации животноводческих хозяйств / Л. В. Антонов, А. А. Орлов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/113-10943> (дата обращения: 29.11.2013).
4. Антонов, Л. В. Разработка адаптивного алгоритма отслеживания отклонений параметров животных в системе управления животноводческим предприятием / Л. В. Антонов, А. Д. Варламов, А. А. Орлов // Динамика сложных систем. – 2015. – №2. – С. 44–49.
5. Bulman, D. C. Milk progesterone levels in relation to conception, repeat breeding and factors influencing acyclicity in dairy cows. J. Reprod / D. C. Bulman, G. E. Lamming // Fertil. – 1978. – V. 54. – P. 447–458.
6. Lovendahl, P. Assessment of fertility in dairy cows based on electronic monitoring of their physical activity / P. Lovendahl, M. Chagunda // Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, MG, Brazil. – 2006. – P. 496–500.

УДК 536.24

Ю. Р. Осипов
Вологодский государственный университет,
С. Ю. Осипов
Тверской государственный технический университет,
С. А. Шлыков
Вологодский институт права и экономики ФСИН России

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ГУММИРОВОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Исследованы температурные режимы процесса восстановления гуммировочных покрытий с целью повышения их качества. Процесс протекает в условиях действующих возмущений стохастической природы, которые являются факторами неопределенности и влияют на ход вулканизации. Создана математическая модель тепловых режимов вулканизации. Стохастическая задача решена с применением вероятностных критериев. Построены кинетические кривые теплового режима прогрева покрытия, полученные экспериментальным путем и при решении вероятностной задачи по предложенной математической модели.