

Антонов Лев Васильевич

Аспирант, Муромский институт (филиал)
Владимирского государственного
университета имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых (Муром, Россия)
E-mail: LevAntonov@yandex.ru

Antonov Lev Vasilievich

Post graduate student, Murom Institute
(branch) of Vladimir state University named
after Alexander Grigorievich and Nikolay
Grigorievich Stoletovs (Murom, Russia)
E-mail: LevAntonov@yandex.ru

**РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ
АЛГОРИТМОВ ВЫДЕЛЕНИЯ
КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ВЫМЕНИ
ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
ДАННЫХ С СЕНСОРОВ
ПРЕДПРИЯТИЯ МОЛОЧНОГО
ЖИВОТНОВОДСТВА***

**DEVELOPMENT AND TESTING OF
ALGORITHMS OF COMPLEX
INDICATORS FOR ANIMALS' UDDER
HEALTH IDENTIFICATION BASED ON
THE ANALYSIS OF DATA FROM THE
SENSORS AT LIVESTOCK
ENTERPRISES**

Аннотация. В статье показана потребность в разработке алгоритмов автоматической идентификации заболеваний вымени животного. Оперативное обнаружение подобных болезней позволяет существенно сократить выбраковку животных предприятия. В работе приводятся два разработанных алгоритма для идентификации мастита животных и проблем, связанных с затрудненным доением. Представленные алгоритмы основаны на комплексировании производственных признаков. Экспериментальная оценка алгоритмов показала, что комплексирование, примененное при разработке, позволило добиться хороших результатов в аспекте точности идентификации, как по сравнению с алгоритмами-аналогами, так и по отношению к экспертным данным.

Ключевые слова. Комплексирование данных, выделение признаков, автоматическая идентификация, мастит.

Abstract. The relevance of development of algorithms for the automatic identification of the animal's udder disease is shown in the article. Two developed algorithms for the identification of mastitis in animals and the problems with difficult milking are shown in the work. The algorithm is based on the sensors' data complexing. Experimental evaluation of algorithms showed that the use of complexing allows to make result of the identification more accurate. The developed algorithms give a more accurate results when compared with the similar algorithms and the opinions of experts.

Keywords. Data complexing, indicators for identification, automatic identification, mastitis.

Введение

В настоящее время применение информационных технологий как высокотехнологичных средств является необходимым условием для успешного функционирования и развития животноводческих предприятий. Благодаря развитию автоматизации животноводства, страны Европы, США, Индия стали мировыми лидерами по произ-

* Работа выполнена при поддержке гранта Росмолодежи. Договор № 6-ТС.

водству сырого молока. Доля предприятий ЕС и США, в которых применяются автоматизированные технологии, составляет 85 %.

Одной из самых распространенных незаразных болезней животных, встречающихся на молочных предприятиях, является мастит. Данное заболевание имеет два основных вида: субклинический (скрытый) и клинический (с открытыми визуальными симптомами болезни). Скрытый мастит встречается в 5–10 раз чаще, чем клинический. Мастит является одной из самых распространенных причин массовой выбраковки животных. Статистика, приведенная в [1], [2], показывает, что в хозяйствах разных форм собственности 5–35 % от общего количества выбракованных животных составляют коровы с маститом, сопровождающимся атрофией долей вымени.

Кроме маститов существует ряд заболеваний вымени, также отмеченных снижением молочной продуктивности животного. Все эти болезни связаны по большей части с травмами молочной железы: сужение, засорение и раны каналов молокоотдачи, новообразования и молочные камни [3]. Данные проблемы приводят к снижению скорости молокоотдачи (тугодойкости), вследствие чего машинное доение становится невозможным. Существует также обратная проблема. Чрезмерно быстрая скорость молокоотдачи тоже не является нормальным показателем. Подобные проблемы классифицируются как легкодойкость и недержание молока. Согласно работе [4], успешное диагностирование описанных выше проблем возможно по набору производственных параметров, таких как объем удоя, его электропроводность и скорость молокоотдачи. Таким образом, целью работы является разработка алгоритмов, позволяющих идентифицировать наличие у животного на предприятии заболеваний вымени: мастит, тугодойкость, недержание молока.

Основная часть

Современные фермерские предприятия, осуществляющие переход к автоматизированным технологиям, оснащаются разнообразными техническими и программными средствами автоматизации производства, комплексами сенсоров (датчиков), роботизированными системами, в том числе для быстрой диагностики мастита. В работе [4] говорится об использовании величины электропроводности молока в качестве критерия определения мастита. При этом доказано, что при возникновении мастита электропроводность увеличивается за счет появления в молоке солей, ионов натрия и хлора. Также в [4] показано, что следствием начавшегося воспаления вымени может являться незначительное снижение молокоотдачи животного. Таким образом, для идентификации маститных заболеваний будем опираться на два производственных признака: величину удоя и его среднюю электропроводность.

Для построения модели применен статистический подход с использованием данных по 800 животным с реального животноводческого предприятия. В [4] была установлена связь признаков молочной продуктивности, электропроводности с возникновением мастита у животного. Эти параметры являются входными. Наличие у животного мастита является выходным параметром математической модели. Оно представлено в выборке данных как 0 или 1 и определялось экспертом-зоотехником на предприятии.

Введем ряд обозначений. Пусть T – общепринятая длительность лактации животного, $T = 305$ дней; n – количество животных предприятия; $\mu_i(t)$ – значение показателя молокоотдачи для i -го животного день наблюдения t ; $\eta_i(t)$ – значение показателя электропроводности для i -го животного день наблюдения t ; $v_i(t) = \{0, 1\}$ – наличие или отсутствие, по мнению эксперта, у животного мастита. $T = 1, \dots, T$.

Каждый день наблюдения одного животного является точкой с тремя координатами (значение ежедневного надоя, электропроводность, наличие или отсутствие

мастита). Таким образом, для решения задачи идентификации мастита необходимо сформулировать уравнение регрессионной модели, основанной на комплексировании описанных выше признаков и найти соответствующие веса для каждого из них. В общем виде математическая регрессионная модель будет выглядеть следующим образом:

$$\dot{v}_i(t) = k_1\mu_i(t) + k_2\eta_i(t) + b, \quad (1)$$

где $\dot{v}_i(t)$ – оценка наличия или отсутствия у животного мастита; $i = 1 \dots n$.

Для оценки коэффициентов регрессии k_1 и k_2 необходимо найти зависимости между входными и выходным параметрами. Для этого будем использовать метод наименьших квадратов, предварительно применив операции приведения данных, описанных формулами (2)–(5).

$$T(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu(t), \quad (2)$$

$$R_i(t) = \mu_i(t) - T(t), \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i(t))^2}, \quad (4)$$

$$\hat{\mu}_i(t) = \frac{R_i(t)}{\sigma}, \quad (5)$$

где $i = 1 \dots n$.

Подробно опишем алгоритм выявления мастита:

1. Согласно формулам (2)–(5) осуществляется приведение функций молокоотдачи $\mu(t)$ и электропроводности $\eta(t)$. Теперь регрессионная модель (1) принимает следующий вид:

$$\hat{v}_i(t) = k_1\hat{\mu}_i(t) + k_2\hat{\eta}_i(t) + b, \quad (6)$$

где $i = 1 \dots n$.

2. Используя метод наименьших квадратов, определяются коэффициенты k_1 , k_2 , и b уравнения (6). В результате, уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$\hat{v}_i(t) = -0,0493 \cdot \hat{\mu}_i(t) + 0,1933 \cdot \hat{\eta}_i(t) + 0,1022 \quad (7)$$

где $i = 1 \dots n$.

3. Исходя из диапазона доверительной вероятности, которую задает зоотехник на предприятии, рассчитывается порог распознавания (P).

4. Значения $\hat{\mu}_i(t)$ и $\hat{\eta}_i(t)$ текущего дня наблюдения подставляются в уравнение регрессии (7).

5. Если $\hat{v}_i(t) > P$, то регистрируется случай потенциально возможного мастита.

Для определения тугодойкости / легкодойкости у животного необходимо рассчитать признак скорости молокоотдачи, исходя из данных об объеме полученного молока и длительности доения животного. Видоизменим предыдущий алгоритм, рассчитав признак скорости молокоотдачи на первом шаге, и только потом воспользуемся операциями приведения данных, описанных формулами (2)–(5).

Пусть $\omega_i(t)$ – длительность процесса забора молока, фиксируемая секундомером, установленным на датчике молокоотдачи i -го животного день наблюдения t . Подробно опишем алгоритм идентификации затрудненного доения животных.

1. Осуществляем комплексирование равнозначных признаков по формуле (8).

$$\lambda_i(t) = \mu_i(t) / \omega_i(t). \quad (8)$$

2. Согласно формулам (2)–(5) осуществляется приведение функции комплексного признака затрудненного доения $\hat{\lambda}(t)$.

3. Исходя из диапазона доверительной вероятности, которую задает зоотехник на предприятии, рассчитывается порог распознавания (P).

4. Значения $\mu_i(t)$ и $\omega_i(t)$ текущего дня наблюдения подставляются в уравнение (8).

5. Если $\hat{\lambda}(t) > P$, то регистрируется случай потенциально возможной тугодойкости.

6. Если $\hat{\lambda}(t) < P$, то регистрируется случай потенциально возможного недержания молока.

Экспериментальные результаты. Будем сравнивать работу алгоритма, основанного на комплексном признаке, с алгоритмом идентификации мастита у животных по порогу 6 мСм/см электропроводности молока, описанного в работе [3].

В исследовании обрабатывались данные, полученные для более, чем 800 коров в течение приблизительно 305 дней с датчиков измерения двух параметров. Объективные количественные результаты экспериментальных исследований алгоритмов применительно к данным о ежедневных надоях и их электропроводности сведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Сопоставление выявления больных и здоровых маститом животных алгоритмом по порогу электропроводности молока 6 мСм/см по отношению к мнению эксперта

Процент найденных алгоритмом животных	Среди животных, отнесенных экспертом:	
	к больным, %	к здоровым, %
Больных	89,5	9
Здоровых	10,5	91

Таблица 2

Сопоставление выявления больных и здоровых маститом животных алгоритмом, основанным на анализе комплексного признака по отношению к мнению эксперта

Процент найденных алгоритмом животных	Среди животных, отнесенных экспертом:	
	к больным, %	к здоровым, %
Больных	96	6
Здоровых	4	94

Исходя из табл. 1 и 2, можно сделать вывод о том, что алгоритм, основанный на комплексном признаке, осуществляет идентификацию более точно и имеет меньшие показатели ошибок первого и второго рода.

Для экспериментального исследования алгоритма определения тугодойкости / легкодойкости животного брались апостериорные экспертные данные. Результаты сравнения работы алгоритма с экспертными оценками приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Сопоставление выявления тугодойкости животных разработанным алгоритмом по отношению к мнению эксперта

	Найденные алгоритмом случаи возникновения тугодойкости	Найденные экспертом случаи возникновения тугодойкости	Всего
В днях	6642	6092	108750
В процентах	6,1 %	5,6 %	100 %

Таблица 4

Сопоставление выявления легкодойкости животных разработанным алгоритмом по отношению к мнению эксперта

	Найденные алгоритмом случаи возникновения легкодойности	Найденные экспертом случаи возникновения легкодойности	Всего
В днях	4389	3910	108750
В процентах	4 %	3,6 %	100 %

Как видно из табл. 3, алгоритм идентифицировал 6642 проблемных дня, которые эксперт посчитал как дни с затрудненной молокоотдачей животного. Разность между оценкой эксперта и работой алгоритма, основанного на комплексировании признаков, составляет в обоих случаях (данные табл. 3, 4) 0,5 %.

Выводы

Таким образом, в работе описаны два алгоритма идентификации болезней вымени животного. Предлагаемые алгоритмы основаны на комплексировании нескольких производственных признаков, что позволяет в значительной степени увеличить точность идентификации заболевших животных. Как показывают экспериментальные результаты, предложенный алгоритм осуществляет более точную идентификацию мастита, чем традиционный подход, описанный в работе [4]. Алгоритм поиска затрудненного доения также показал хороший результат идентификации, который практически полностью совпадает с мнением эксперта. Таким образом, представленные алгоритмы показали хорошие результаты и могут в дальнейшем использоваться в программных системах мониторинга производственного процесса на животноводческих комплексах.

Литература

1. Баркова А. С., Шурманова Е. И., Липчинская А. К., Баранова А. Г. Заболеваемость коров маститом и качество молока // Аграрный вестник Урала. 2010. № 11. С. 10–11.
2. Гаврин А.Н. Этиологические факторы мастита у коров и его фитотерапия: дис... канд. вет. наук. Мичуринск-Наукоград, 2012.
3. Липчинская А.К. Роль патологии сосков молочной железы в развитии маститов у коров при машинном доении: дис... канд. вет. наук. Екатеринбург, 2010.

4. Janzekovic M., Brus M., Mursec B., Vinis P., Stajanko D., Cus F. Mastitis detection based on electric conductivity of milk // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2009, vol. 34, pp. 39–46.

References

1. Barkova A.S., Shurmanova E.I., Lipchinskaia A.K., Baranova A.G. Zaboлеваemost' korov mastitom i kachestvo moloka [Cows affected by mastitis and milk quality]. *Agrarnyi vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2010, no. 1, pp. 10–11.
2. Gavrin A.N. *Etiologicheskie faktory mastita u korov i ego fitoterapiia* [The etiological factors of mastitis in cows and phytotherapy. Dr. dis.]. Michurinsk-Naukograd, 2012.
3. Lipchinskaia A. K. *Rol' patologii soskov molochnoj zhelezy v razvitiu mastitov u korov pri mashinnom doenii* [Dependence of udder pathology and mastitis in cows when using machine milking. Dr. dis.]. Ekaterinburg, 2010.
4. Janzekovic M., Brus M., Mursec B., Vinis P., Stajanko D., Cus F. Mastitis detection based on electric conductivity of milk. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2009, vol. 34, pp. 39–46.

Антонов Л.В. Разработка и апробация алгоритмов выделения комплексных показателей состояния здоровья вымени животных на основе анализа данных с сенсоров предприятия молочного животноводства // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №1. С. 14–19.

For citation: Antonov L.V. Development and testing of algorithms of complex indicators for animals' udder health identification based on the analysis of data from the sensors at livestock enterprises. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 1, pp. 14–19.