

Список литературы

1. Комаров, Д.Т. Средства автоматизации сельских сетей 0,38...20 кВ: обзорная информация / Д.Т. Комаров. — М.: Информэлектро, 1986. — С. 36.
2. Юнусов, Р.Ф. Эксплуатационная надежность и перспективное направление разработки приводов высоковольтных масляных выключателей сельских распределительных сетей. — В кн.: Повышение надежности электроустановок в сельском хозяйстве / Р.Ф. Юнусов, И.Н. Рамазанов. — Челябинск, 1987. — С. 69–77.
3. Зуль, Н.М. Повышение эффективности использования автоматического повторного включения в сельских электрических сетях / Н.М. Зуль, М.В. Палюга, Ю.В. Анисимов // Энергетик. — 1985. — № 12. — С. 8–10.
4. Новиков, О.Я. Модернизация высоковольтных выключателей и приводов к ним / О.Я. Новиков. — Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во, 1962. — С. 80.
5. Привод высоковольтного масляного выключателя: информ листок № 91–2 / А.А. Пястолов [и др.]. — Челябинск: ЦНТИ, 1991. — С. 4.
6. Квачев, Г.С. Коаксиально-линейные электродвигатели переменного тока и их использование в сельском и коммунальном хозяйстве: доклад на соискание ученой степени доктора техн. наук / Г.С. Квачев. — М., 1969. — 236 с.
7. Выключатели переменного тока высокого напряжения. — Ч. 4: Типовые и приемно-сдаточные испытания. Стандарт МЭК. — 1981. — 112 с.

УДК 621.37:636.082.453.5

Ю.Г. Иванов, доктор техн. наук
А.А. Абрашин

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОЛОВОЙ ОХОТЫ КОРОВ

Выявление половой охоты коров и своевременное их осеменение остается важным резервом повышения эффективности производства молока. На многих фермах более 50 % коров пропускают половую охоту, что снижает интенсивность воспроизводства стада и производства молока. Один день бесплодия коровы приводит к недополучению 3...5 л молока [1]. Существующие автоматизированные методы и технические средства определения времени осеменения основаны, как правило, на контроле вторичных проявлений, главным образом двигательной активности, и недостаточно достоверны (не более 75 %) [2].

Авторы предложили дистанционный метод, который в отличие от существующих позволяет определить «истинную» половую охоту коров, и разработали электротехническую систему выявления половой охоты (ЭТС) коров, основанную на регистрации садки быка-пробника (коровы-выявительницы) на корову в режиме реального времени. Предлагаемый метод исключает методическую ошибку при выявлении половой охоты коровы [3].

ЭТС состоит из стартерного устройства, размещенного на быке, в состав которого входят: датчик положения, реле времени, блок коммутации (триггеры), мастер-устройство (ИК-системы); приемопередатчика, размещенного на корове, который содержит слейв-устройство (ИК-системы) и радиопередатчик с идентификационным кодированным сигналом; стационарного приемопередатчика, а также мобильного телефона у оператора.

Алгоритм функционирования ИК(инфракрасной)-системы программно-аппаратного комплекса

основывается на следующих положениях: при садке быка корова проявляет рефлекс неподвижности, а бык при этом находится на ней не менее 3 с. Это означает, что корова находится в стадии «охоты» [3].

Положение быка во время садки отслеживается датчиком положения, входящим в разработанную систему, а реле времени обеспечивает трехсекундную задержку формируемого электрического сигнала, обрабатываемым системой:

- амплитуда электрического сигнала датчика положения, В;
- длительность электрического сигнала реле времени, мкс.

Помимо указанных состояний, присущих животным в стадии «охоты», существуют технические параметры ИК-системы, совокупность которых устанавливает событие «Садки». К ним относятся:

- интенсивность ИК-передатчика I , мВт/стер;
- максимальный порог обнаружения освещенности ИК-приемника E , мВт/м²;
- угол половинной яркости, град.
- мажоритарное число N — нечетное число (минимум 3) информационных пакетов, принятых мастер-устройством от слейв-устройства для аутентификации коровы.

Задачей математического моделирования функционирования ИК-системы является обоснование таких значений параметров работы системы и такого алгоритма, который обеспечивал бы одну потерю на 10 000 событий «Садки». Это означает, что вероятность одного бессбойного процесса не должна быть ниже 0,9999.

Такая высокая надежность системы не является самоцелью, а необходима для того, чтобы уже на этапе разработки системы исключить возможность вне-снения системой методической ошибки (влияния) на конечный статистический результат осеменения, т. е. чтобы результат осеменения зависел от иных причин, а не от ошибок, связанных с неточным определением оптимального периода осеменения.

Такую высокую надежность работы невозможно обеспечить только аппаратными средствами. Поскольку в модулях применен микропроцессор, то высокую надежность в значительной мере следует обеспечивать реализацией оптимального алгоритма работы устройства. Для этого в устройстве применяется двукратное CRC-кодирование информационных посылок как на аппаратном уровне драйверов ИК-приемопередатчиков, так и на уровне программы микроконтроллера. Двойное CRC-кодирование исключает обмен кодовыми посылками, содержащими ошибки. Негативные события, которое могут произойти при таком кодировании:

- фатальное событие — пропуск акта «Садки»;
- не фатальное событие — нештатная ситуация.

Следует разработать такие алгоритмы, которые понижают вероятность возникновения фатальных событий. Для рассматриваемой задачи:

$$P_{\text{сист}} = 1 - P_{\text{фс}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{сист}}$ — вероятность одного бесперебойного процесса, равная 0,9999; $P_{\text{фс}}$ — вероятность возникновения фатального события.

Применим трехкратный обмен дважды CRC-кодированным дескриптором, определяющим коды животных, участвующих в «Садке». Считают, что дескриптор актуален, если произошел трехкратный безошибочный обмен кодированным дескриптором между мастер- и слейв-устройствами, при этом все дескрипторы совпали. Тогда согласно теореме умножения вероятностей можно записать:

$$P_{\text{фс}} = (1 - P_d)(1 - P_d)(1 - P_d) = (1 - P_d)^3, \quad (2)$$

где P_d — вероятность одного акта успешной связи мастер- и слейв-устройства, зависящая от параметров ИК-приемопередатчика и от условий, в которых эксплуатируется система; $(1 - P_d)$ — вероятность потери акта успешной связи мастер- и слейв-устройства.

Тогда

$$P_{\text{сист}} = 1 - (1 - P_d)^3 = 0,9999. \quad (3)$$

Откуда получаем требование к надежности аппаратных средств:

$$P_d \geq 1 - (1 - 0,9999)^{\frac{1}{3}}, \text{ т. е. } P_d \geq 0,95.$$

Таким образом, следует задать такие параметры ИК-приемопередатчику, чтобы обеспечивалась связь с надежностью не менее 0,95. В этом слу-

чае, вероятность возникновения фатальных событий не будет превышать 0,9999, т. е. одно событие на 10 000 актов.

Вероятность одного акта успешной связи мастер- и слейв-устройства описывается теоремой умножения вероятностей (4) [4]:

$$P_d = B(I, s)C(E, s), \quad (4)$$

где $B(I, s)$ — вероятность успешной передачи дескриптора, зависящая от параметров ИК-передатчика; $C(E, s)$ — вероятность успешной передачи дескриптора, зависящая от параметров фотоприемника.

$B(I, s)$ зависит:

- от мощности ИК-излучения — I (для интерфейсного модуля TFDT4500 I можно устанавливать в диапазоне от 0 до 400 мВт/стер);
- характеристической мощности ИК-излучения, для которой вероятность одного акта связи при условии чувствительности приемника E_0 равна 0,5...10 (для интерфейсного модуля TFDT4500, $E_0 = 144$ мВт/стер);
- относительного отклонения осевой линии максимальной мощности ИК-передатчика от осевой линии максимальной чувствительности фотоприемника — s , нормированное на половину значения угла коллимации $\sigma = 32^\circ$;
- максимального расстояния, на которое рассчитана оптопара — L_{max} (для интерфейсного модуля TFDT4500 $L_{\text{max}} = 10$ м);
- фактического расстояния между фотоприемником и ИК-передатчиком, закрепленных на быке и корове во время садки — L (среднее значение L составляет 1,4 м).

Поскольку факторов, влияющих на надежность связи, много, и возникновение таких факторов носит случайный характер, то, основываясь на центральной предельной теореме (ЦПТ), можно утверждать, что все события как успешной, так и неуспешной передачи подчиняются нормальному (гауссовскому) распределению, представленному выражением (5) [5]:

$$F = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (5)$$

где x — текущее значение фактора влияния; μ — математическое ожидание значения фактора влияния; σ — дисперсия (мера разброса величины, т. е. среднего отклонения от математического ожидания).

Вероятность того, что произойдет любое событие, выражается формулой (6) [5]:

$$P_{\text{LS}} = P_{\text{OS}} + P_{\text{NS}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx = 1, \quad (6)$$

где P_{LS} — вероятность любого события; P_{OS} — вероятность отсутствия связи; P_{NS} — вероятность наличия связи.

Тогда, исходя из свойства аддитивности интеграла, можно записать формулу (7):

$$P_{OS} + P_{NS} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx + \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx = 1, \quad (7)$$

где C — некое пороговое значение фактора влияния, разделяющее события на два типа: «связь отсутствует» — значение фактора влияния меньше порогового значения ($x < C$), «наличие связи» — значение фактора влияния больше порогового значения ($x > C$).

Из этих двух слагаемых нас интересует вероятность наличия связи, обусловленная характеристиками ИК-передатчика. Разумно предположить, что надежность связи напрямую зависит от мощности ИК-передатчика: чем выше мощность, тем надежнее связь, и, соответственно, чем ниже мощность, тем связь менее надежна. Для математической модели в рамках формального описания процесса введем понятие эффективной мощности, которая может принимать как положительные (излучения), так и отрицательные (поглощение) значения. Разумеется, будем считать, что во всех случаях при отрицательных значениях эффективной мощности связь отсутствует.

Для успешной связи необходимо, чтобы эффективная мощность ИК-передатчика превышала пороговое значение, характеризующее как само устройство, так и условия его эксплуатации. Таким образом, если значение эффективной мощности будет меньше пороговой, то возникнет сбой связи, а если значение эффективной мощности превысит пороговое, то связь будет успешной.

Тогда для вероятности наличия связи $B(I, s)$, определяемой значением параметров ИК-передатчика, запишем:

$$M(I, s) = I \cos(\pi s)^2 \left(\frac{L_{\max}}{L}\right)^2, \\ D(I, s) = \frac{I}{2} \cos(\pi s)^2 \left(\frac{L_{\max}}{L}\right)^2, \\ B(I, s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(I, s)}} \times \int_{I_0}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - M(I, s))^2}{2D(I, s)^2}\right] dx, \quad (8)$$

где $M(I, s)$ — математическое ожидание (среднее значение случайной величины мощности ИК-излучения, зависящее от относительного отклонения осевой линии максимальной мощности ИК-передатчика, от осевой линии максимальной чувствительности фотоприемника, нормированное на половину значения угла коллимации). $D(I, s)$ —

дисперсия (мера разброса $M(I, s)$, т. е. ее отклонения от математического ожидания). $(L_{\max}/L)^2$ — коэффициент поправки значения мощности ИК-излучения от расстояния между ИК-передатчиком и фотоприемником.

Из построенной диаграммы видно, что отклонение осевой линии максимальной мощности ИК-передатчика от осевой линии максимальной чувствительности фотоприемника более чем на $16^\circ \cdot 0,3 = 4,8^\circ$ (рис. 1, $B(I, 0,3)$) требует для обеспечения надежной связи значительного увеличения мощности.

Для математического описания функционирования фотоприемника полностью пригоден метод, примененный для описания функционирования ИК-передатчика. Для фотоприемника роль порогового значения мощности будет играть пороговое значение чувствительности E_0 . При этом, если текущее значение чувствительности хуже порогового, то связи нет, и, соответственно, если текущее значение чувствительности лучше порогового, связь есть.

$C(E, s)$ зависит:

- от диапазона порога обнаружения освещенности E (для интерфейсного модуля TFDT4500 диапазон E от 0 до 5 кВт/м²);
- минимального порога обнаружения освещенности E_0 (для интерфейсного модуля TFDT4500 $E_0 = 20$ мВт/м²);
- относительное отклонение осевой линии максимальной чувствительности фотоприемника от осевой линии максимальной мощности ИК-передатчика s , нормированное на половину значения угла коллимации $\sigma = 32^\circ$.

Тогда для вероятности наличия связи — $C(E, s)$, определяемой значением параметров фотоприемника, запишем:

$$M(E, s) = E \cos(\pi s)^{-2},$$

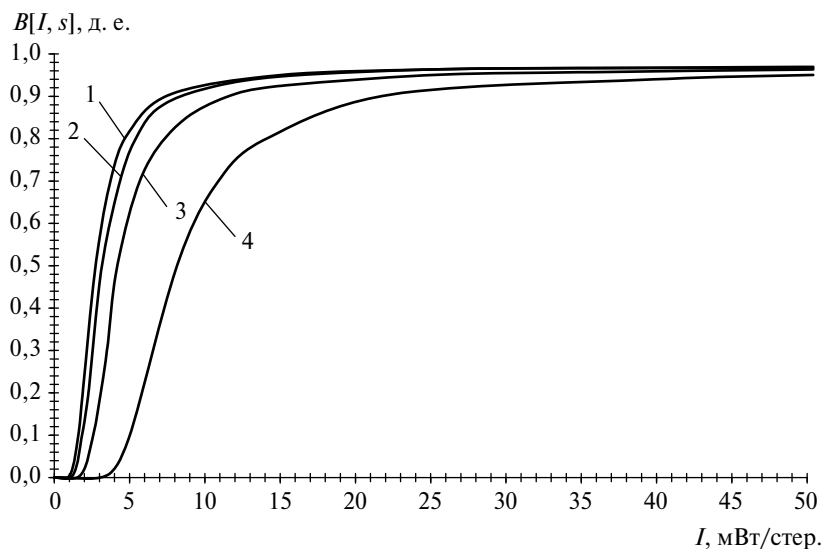


Рис. 1. Зависимость вероятности успешной передачи дескриптора от мощности ИК-передатчика:

1 — $B(I, 0)$; 2 — $B(I, 0,1)$; 3 — $B(I, 0,2)$; 4 — $B(I, 0,3)$

$$D(E, s) = \frac{E}{2} \cos(\pi s)^{-2},$$

$$C(I, s) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}D(E, s)} \int_{EO}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - M(E, s))^2}{2D(E, s)^2}\right] dx, \quad (9)$$

где $M(E, s)$ — математическое ожидание (среднее значение случайной величины порога обнаружения освещенности, зависящее от относительного отклонения осевой линии максимальной чувствительности фотоприемника от осевой линии максимальной мощности ИК-передатчика, нормированное на половину значения угла коллимации). $D(E, s)$ — дисперсия (мера разброса $M(E, s)$, т. е. ее отклонения от математического ожидания).

Из построенной диаграммы видно, что отклонение осевой линии максимальной мощности ИК-передатчика от осевой линии максимальной чувствительности фотоприемника более чем на $16^\circ \cdot 0,3 = 4,8^\circ$ (рис. 2, $C(E, 0,3)$) требует для обеспечения надежной связи значительного увеличения чувствительности.

Подстановка (8) и (9) в (4) дает выражение вероятности одного акта успешной связи мастер- и слейв-устройства в явном виде:

$$P_d(I, E) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}D(I, s)} \int_{IO}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - M(I, s))^2}{2D(I, s)^2}\right] dx \right] \times \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}D(E, s)} \int_{EO}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - M(E, s))^2}{2D(E, s)^2}\right] dx \right], \quad (10)$$

где s — параметр, отражающий взаимное положение быка и коровы во время садки, ось ИК-передатчика и фотоприемника которых может отклоняться от базового положения на суммарные углы в пределах $\pm 9,6^\circ$.

На основании выражения (10) определим допустимый диапазон значений I и E для $s = 0; 0,1; 0,2; 0,3$.

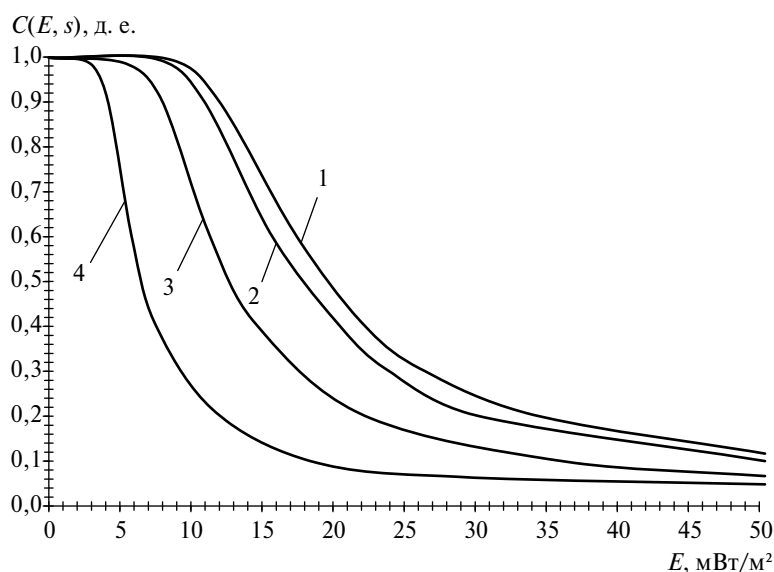


Рис. 2. Зависимость вероятности успешной передачи дескриптора от чувствительности фотоприемника:
1 — $C(E, 0)$; 2 — $C(E, 0,1)$; 3 — $C(E, 0,2)$; 4 — $C(E, 0,3)$

Анализ описанной математической модели показывает, что при обеспечении ИК-системой значения вероятности одного безошибочного акта связи мастер- и слейв-устройства, обеспечивающего транспорт одного дескриптора, равного 0,95, успешная передача, пакета состоящего из 3 дескрипторов, составит:

$$1 - (1 - 0,95)^3 = 0,999875.$$

Это означает, что реализация указанных параметров математической модели аппаратными и программными средствами реализуемых устройств обеспечит математическое ожидание ошибки события «Садки» 1 на 10 000.

К не фатальным событиям (нештатным ситуациям) относятся следующие:

- в одном сеансе связи успешная передача дескриптора произошла менее трех раз подряд;
- в одном сеансе связи успешно переданы два несовпадающих дескриптора (в поле действия мастер-устройства оказалось более одного слейв-устройства).

В случае возникновения нештатных ситуаций система сигнализирует оператору о такой ситуации и передает оператору сведения, необходимые для принятия оперативного решения.

Для радикального уменьшения числа нештатных ситуаций при возникновении описанных не фатальных событий сеанс связи будет повторяться несколько раз до тех пор, пока не будет ликвидировано не фатальное событие. Поскольку один сеанс связи занимает период порядка 0,01 с, многократное повторение сеанса связи не потребует критического времени. Конкретное количество повторений будет не менее трех и зависит от условий эксплуатации системы.

Список литературы

1. Современные методы определения времени осеменения коров и телок / Г.П. Дюльгер [и др.]. — М.: МСХА, 2001. — 24 с.
2. Иванов, Ю.Г. Технические средства для выявления половой охоты у коров / Ю.Г. Иванов, А.А. Абрашин // Зоотехния. — 2010. — № 12. — С. 26–27.
3. Иванов, Ю.Г. Алгоритм и радиотехническая система контроля половой охоты коров / Ю.Г. Иванов, А.А. Абрашин // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: сборник докладов XI Международной научно-практической конференции. — М.: ФГУП Изд-во «Известия» УДП РФ, 2010. — С. 492–496.
4. Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго. — М.: Наука, 1965. — 586 с.
5. Севастьянов, Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики / Б.А. Севастьянов. — М.: Наука, 1982. — 146 с.