

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТРОЙСТВ ОПТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЭМБРИОНА ПТИЦ

Александр Николаевич Судаков²
Евгений Александрович Андрианов¹
Алексей Александрович Андрианов¹
Оксана Александровна Липа²

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Российский государственный аграрный заочный университет

Наукоемкие технологии позволяют значительно повышать показатели сельскохозяйственной отрасли, вместе с тем одним из лимитирующих факторов применения современных технических решений в агропромышленном комплексе является необходимость наличия определенного уровня подготовки персонала в областях науки и техники, изучение которых выходит за рамки профильных образовательных программ. Проведены исследования особенностей применения устройств оптической регистрации частоты сердечных сокращений (ЧСС) эмбриона птиц, обобщены полученные данные и сформулированы основные положения применения подобных устройств в форме, доступной широкому кругу специалистов по инкубации яйца сельскохозяйственной птицы. Для определения спектра вопросов, решение которых требуется для наиболее полного понимания технологического процесса разработки и эксплуатации устройств мониторинга сердечного ритма эмбриона птиц, представлены ключевые данные по работе устройства, а также сведения о прикладном использовании показателей сердечного ритма развивающегося эмбриона. Поясняются физические и биологические факторы, влияющие на возможности мониторинга, обосновывается выбор компонентов устройства с целью снижения количества поисковых экспериментов разработчиками при самостоятельном проектировании. Приводятся данные о влиянии измерений на инкубационный режим, анализируются помехообразующие факторы техногенной и естественной природы, предлагаются готовые технические решения по каждому блоку устройства. Приводятся числовые и графические материалы, полученные в результате экспериментов на функционирующем устройстве, подтверждающие возможность применения устройства как в условиях действующего инкубатория, так и при проведении измерений под наседкой в процессе естественного насиживания. Эксперименты с использованием разработанного дистанционного датчика устройства контроля ЧСС позволили получить более подробные данные о влиянии длительности охлаждения яйца на результаты высиживания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мониторинг, инкубация, технические средства контроля, усиление слабых сигналов, электронные фильтры, подавление помех, экранирование.

PECULIARITIES OF DEVELOPMENT AND OPERATION OF OPTICAL DEVICES FOR RECORDING THE HEART RATE IN AVIAN EMBRYOS

Alexander N. Sudakov²
Evgeniy A. Andrianov¹
Aleksey A. Andrianov¹
Oksana A. Lipa²

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Russian State Agrarian Correspondence University

High-tech technologies can significantly increase the performance of the agricultural industry. At the same time, one of the limiting factors in the application of modern technical solutions in the Agro-Industrial Complex is the need for a certain level of staff training in the fields of science and technology, the study of which lies beyond the scope of specialized educational programs. The authors have performed a research on the peculiarities of using optical devices for recording the heart rate (HR) of avian embryos, summarized the obtained data, and formulated the main provisions for using such devices in the form available to a wide range of specialists in incubating poultry eggs. In order to determine the range of issues that need to be solved for the most complete understanding of the technological process

of developing and operating of devices for monitoring the heart rate of avian embryos, the authors present the key data on the operation of such device, as well as the information on the applied use of heart rate values of the developing embryo. The authors explain the physical and biological factors affecting the monitoring capabilities, and substantiate the choice of device components in order to reduce the number of exploratory experiments made by developers during independent design. The article contains the data on the effect of measurements on the incubation regimen. The authors analyze the interference-generating factors of anthropogenic and environmental nature and propose off-the-shelf technical solutions for each unit of the device. Numerical and graphical materials obtained as a result of experiments with the operating device are presented. They confirm the possibility of using the device both in the conditions of an existing hatchery and when measuring under the broody hen in the process of natural hatching. Experiments using the developed remote sensor of the heart rate control device allowed obtaining more detailed data on the effect of egg cooling time on the results of hatching.

KEYWORDS: monitoring, incubation, technical means of control, amplification of weak signals, electronic filters, interference suppression, shielding.

Bведение

Одним из наиболее прогрессивных способов биологического контроля инкубации является способ оптической неинвазивной регистрации показателя частоты сердечных сокращений (ЧСС) эмбриона птиц [19, 20]. Способ позволяет в режиме реального времени без повреждения скорлупы осуществлять мониторинг динамики изменений истинной температуры и уровня гипоксии эмбриона, определять реакцию эмбриона на внешние механические раздражители [8, 18, 21].

В результате экспериментов по изучению сердечной деятельности эмбриона птиц инвазивными методами была установлена зависимость сердечного ритма эмбриона от температуры, содержания кислорода в крови, воздействия внешних раздражителей [15]. Получаемые оптическим методом данные о ЧСС эмбриона совпадают с результатами, полученными инвазивными методами с применением электрокардиографии и визуальных наблюдений через вырез в скорлупе [17].

Из литературных и патентных источников известны технические решения, описывающие устройства контроля и регистрации ЧСС оптическим методом, большинство из представленных устройств предназначено для контроля и регистрации ЧСС человека [5, 9]. Несмотря на общие принципы функционирования, применение медицинских устройств для контроля ЧСС эмбриона птиц в яйце имеет ряд ограничений.

Представленные в свободном доступе материалы по специализированным решениям, позволяющим регистрировать ЧСС эмбриона в яйце, не раскрывают особенностей их разработки и эксплуатации [2, 11]. Единственная серийно выпускаемая за рубежом модель устройства регистрации ЧСС эмбриона птиц требует извлечения яйца из камеры инкубатора для проведения исследования, не предназначена для протоколирования получаемых данных, диапазон размеров исследуемого яйца ограничен предустановленными параметрами устройства [16]. Российские серийные аналоги устройств оптического контроля ЧСС эмбриона птиц отсутствуют.

С учетом инновационного характера способа и возможности его применения в исследованиях, направленных на оптимизацию режимов инкубации высокопродуктивных кроссов сельскохозяйственной птицы, предъявляющих повышенные требования к условиям инкубации, а также высокого потенциала способа для мониторинга состояния эмбриона в реальном времени авторами было разработано и изготовлено устройство оптической регистрации ЧСС, которое позволило определить особенности разработки и эксплуатации устройств оптического контроля сердечного ритма эмбриона птиц.

Несмотря на то что в научных и академических изданиях рассмотрены принципы, положенные в основу разработки подобных устройств, авторы данной статьи ставили перед собой задачу проанализировать, интегрировать и представить в общедоступной форме информацию, позволяющую широкому кругу агронженеров разрабатывать, а зооинженеров – эксплуатировать устройства оптического контроля ЧСС эмбриона птиц.

Исследование проводилось на кафедре технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности

жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» в 2018–2019 гг.

Принцип работы устройства

Основой способа является метод фотоплетизмографии, позволяющий определять и регистрировать оптическую плотность ткани, зависящую от количества крови в исследуемом участке [9].

Изменения могут контролироваться фотоплетизмографами, состоящими из фотоприемника, источника света, усилителя и регистратора. Исследуемый участок ткани просвечивается светом, который после рассеивания (или отражения, в зависимости от положения оптопары) попадает на фотоприемник. Интенсивность света, отраженного или рассеянного исследуемым участком ткани (органа), определяется количеством содержащейся в нем крови [8].

Несмотря на визуальную прозрачность яиц со светлой скорлупой, наблюдение пульсаций сосудов аллантоиса человеческим глазом без использования технических средств не представляется возможным в связи малым значением дельты изменения значения светового потока.

Существует два типа устройств определения ЧСС эмбриона птиц, основанных на принципе фотоплетизмографии (рис. 1).

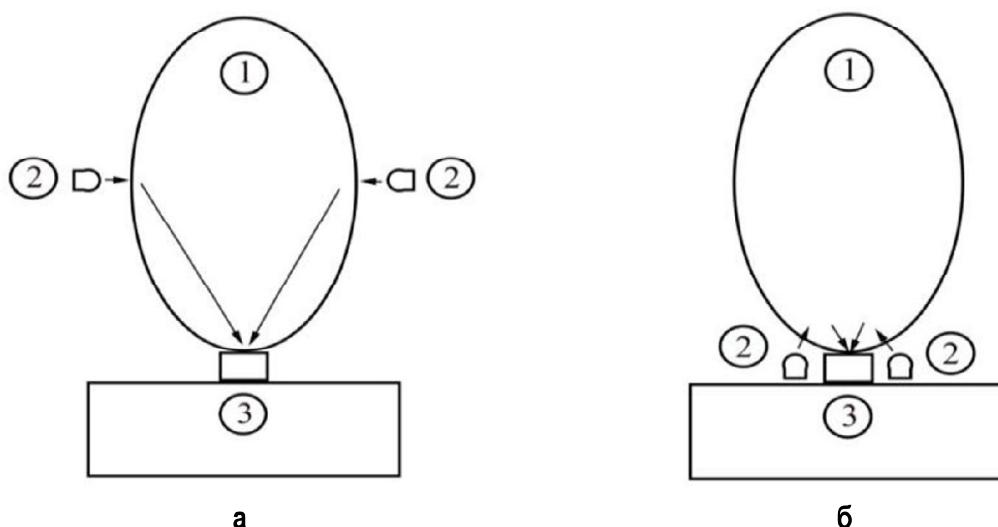
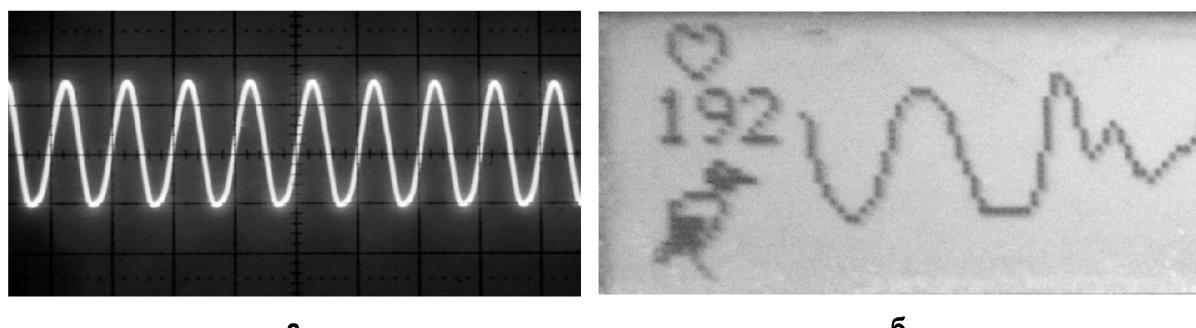


Рис. 1. Расположение на яйце (1) светодиодов (2) и фоточувствительного датчика (3):
а – проходящий свет; б – отраженный свет

Первый тип: регистрация проходящего света (рис. 1, а). В данном типе приборов источники излучения располагаются относительно фоточувствительных датчиков по схеме классического овоскопирования. Светодиоды устанавливаются на стенках светонепроницаемой камеры, в которую помещается исследуемое яйцо. Проходящий через яйцо свет регистрируется фоточувствительным датчиком, расположенным с противоположной стороны и защищенным светонепроницаемой перегородкой от прямой за светки.

Второй тип: регистрация отраженного света (рис. 1, б). В данном типе устройств источники излучения располагаются максимально близко как к скорлупе исследуемого яйца, так и к фоточувствительному датчику, отделенному светонепроницаемой перегородкой. Приборы данного типа менее требовательны к мощности источника света, однако рассчитаны на исследования яиц определенного размера, лимитируемого размерами установочной площадки.

Вследствие изменений оптической плотности ткани, вызванных прохождением крови по сосудистой сети аллантоиса, на фоточувствительный датчик поступает различное количество света, что, в свою очередь, формирует пульсирующий электрический сигнал на выходе датчика. После усиления полученный сигнал может наблюдаться визуально на экране осциллографа (рис. 2, а) или, после аналого-цифрового преобразования, обрабатываться с помощью компьютерных технологий (рис. 2, б) [6].



а

б

Рис. 2. Визуализация сигнала, полученного с устройства контроля ЧСС:
а – на экране осциллографа; б – на экране специализированного устройства

Несмотря на тривиальность основных решений, применяемых в устройствах оптической регистрации ЧСС эмбриона птиц, следует выделить их особенности:

- исследование осуществляется на живом эмбрионе, для нормального развития которого требуется соблюдение режима инкубации;
- регистрируемые изменения оптической плотности объекта наблюдений на ранних сроках инкубации имеют сверхмалые значения;
- условия, в которых проводятся исследования (инкубаторий), предполагают наличие большого количества электромагнитных и оптических помех;
- двигательная активность эмбриона, а в случае проведения исследований под наседкой и двигательная, и дыхательная активность наседки оказывают значительное влияние на регистрируемый показатель.

Каждая из перечисленных особенностей требует специализированных решений.

Соблюдение режима инкубации в процессе исследований

Простейшим вариантом применения способа оптического контроля ЧСС эмбриона является использование портативного устройства, в которое требуется поместить яйцо для исследования (рис. 3).



Рис. 3. Яйцо домашней курицы в камере монитора сердечного ритма «Бадди»

Недостатком данного способа является возможное влияние перемещения яйца из камеры инкубатора на получаемый результат.

Для выявления факторов, которые могут влиять на результаты исследования, нами был проведен опыт, при котором устройство контроля ЧСС с яйцом было размещено в камере инкубатора при температуре 37,8°C, а после стабилизации показателя ЧСС перемещено из инкубатора в помещение инкубатория с температурой воздуха 24°C, изменения показателя ЧСС фиксировались. Установлено, что вибрационное и световое воздействия на яйцо, связанные с перемещением яйца из камеры инкубатора, не вызывают значимого изменения ЧСС эмбриона, однако снижение температуры приводит к быстрому значительному снижению показателя ЧСС (табл. 1).

Таблица 1. Влияние продолжительности нахождения яйца при температуре 24°C на показатель ЧСС эмбриона курицы на 15-е сутки инкубации после перемещения из камеры инкубатора с температурой 37,8°C

Время, мин	0	10	20	30
ЧСС, мин^{-1}	237	199	157	137

Эксперименты с использованием разработанного авторами дистанционного датчика устройства контроля ЧСС, закрепляемого непосредственно на яйце (рис. 4), позволили получить более подробные данные о влиянии длительности охлаждения яйца на результаты исследования (рис. 5).



Рис. 4. Скорлупа яйца с оптическим датчиком после вылупления цыпленка

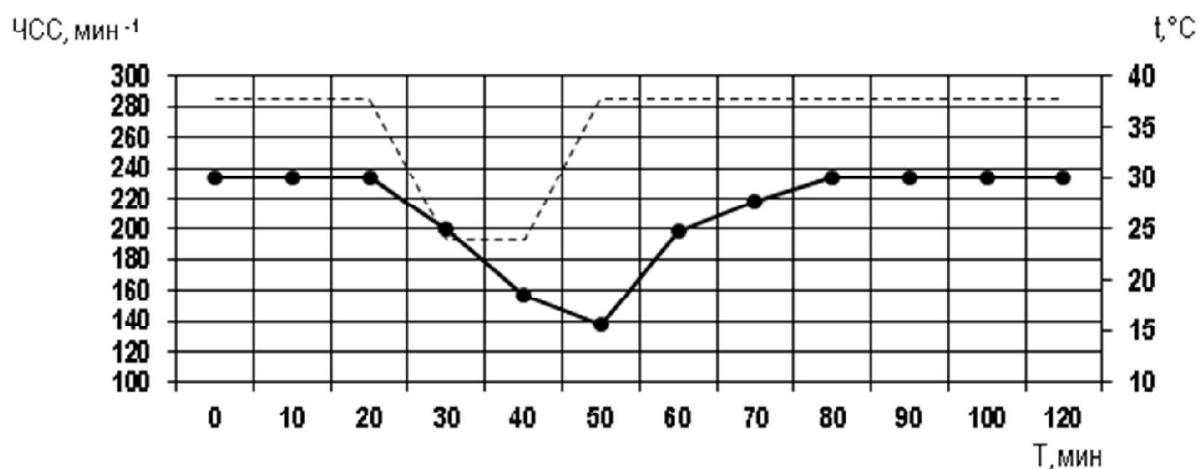


Рис. 5. График ЧСС эмбриона курицы на 15-е сутки инкубации и изменения температуры окружающего воздуха: -•- – ЧСС эмбриона, --- – температура воздуха

В процессе опыта также было установлено, что в случае использования внешнего устройства контроля ЧСС для получения достоверного результата требуется, чтобы яйцо находилось в устройстве от нескольких секунд до минуты. Некоторое время затрачивается на открывание и закрывание инкубационного шкафа, как следствие, при измерении показателя ЧСС нескольких яиц значения полученных показателей могут быть искажены в связи с охлаждением яйца.

Следует учитывать, что при использовании дистанционного датчика в инкубаторах, осуществляющих поворот яйца посредством «перекатывания», кабель датчика может помешать повороту яйца, в инкубаторах с качающимися лотками данная проблема отсутствует.

В целях установления степени влияния соединительного кабеля на повороты яйца курицей при естественном насиживании авторами был поставлен опыт с яйцом, по экватору которого были равноудаленно друг от друга закреплены 4 датчика температуры. Результаты мониторинга за сутки естественного насиживания представлены на рисунке 6.

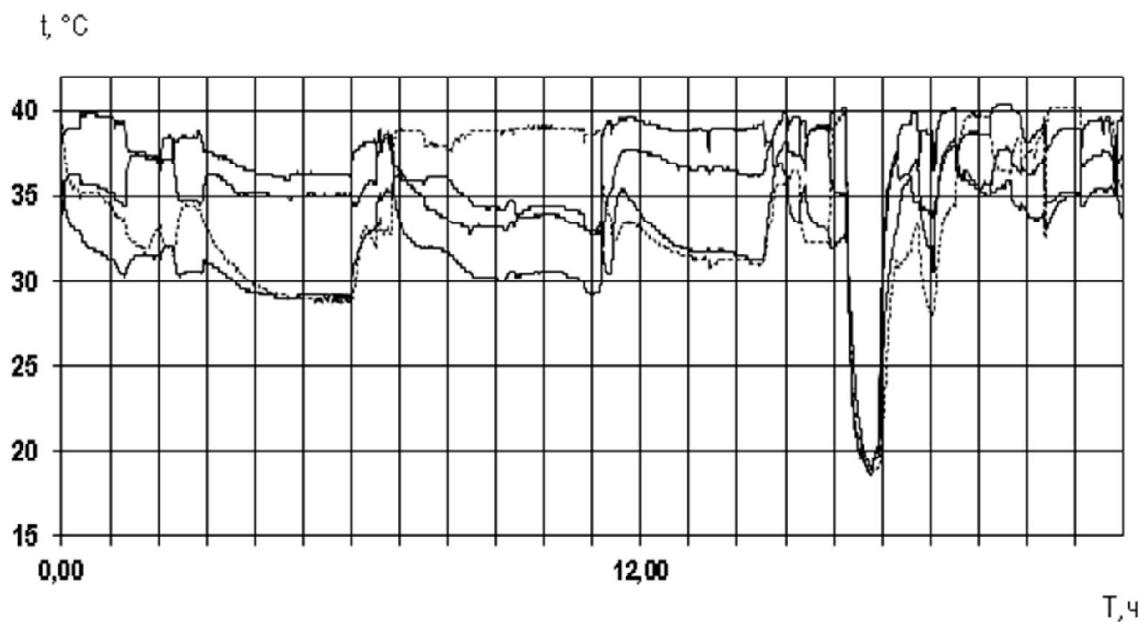


Рис. 6. График синхронного изменения показаний 4 температурных датчиков при естественном насиживании (к яйцу прикреплен гибкий электрический кабель диаметром 4 мм)

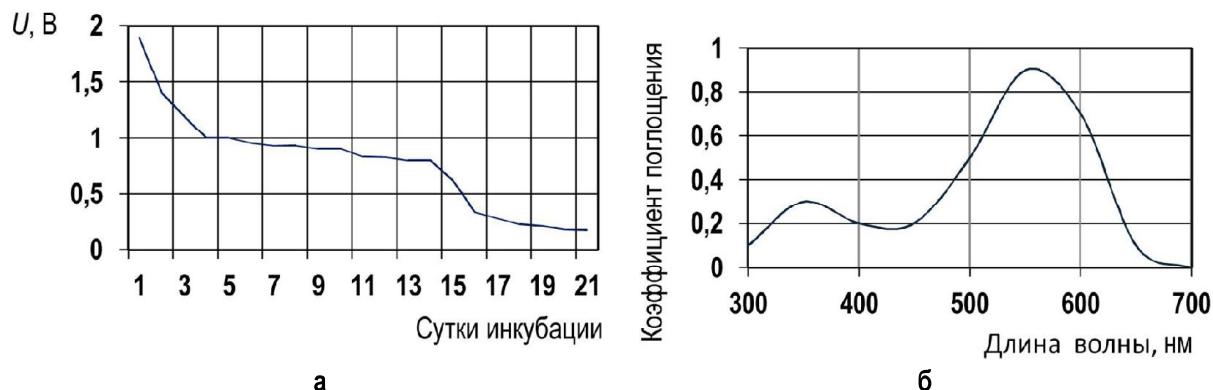
Несмотря на определенные колебания показаний, разница средних значений температуры каждого датчика не превышала $0,6^{\circ}\text{C}$, что позволяет говорить об отсутствии влияния соединительного кабеля на повороты и температурный режим яйца при естественном насиживании.

Следует отметить важность выбора места закрепления дистанционного датчика контроля ЧСС на яйце, учитывая неравномерность распространения сосудистой сети аллантоиса на ранних сроках инкубации: датчик целесообразно крепить на участок с наиболее развитой сосудистой сетью.

Компоненты устройства и элементная база

Сердцем устройства оптического контроля ЧСС эмбриона птиц является оптический датчик, состоящий из одного или нескольких источников света и фоточувствительного элемента. Выбор оптоэлектронных компонентов определяется физическими

свойствами яйца, его оптической плотностью, а также характеристиками применяемых компонентов. Следует учитывать, что оптическая плотность яйца снижается в процессе развития зародыша (рис. 7, а) и различна для разных спектров излучения (рис. 7, б).



**Рис. 7: а – падение напряжения на выходе первого каскада усилителя вследствие увеличения оптической плотности яйца в процессе роста эмбриона;
б – кривая поглощения света гемоглобином крови птиц**

С учетом доступной элементной базы авторы применяли ИК-светодиоды TSAL 5100 с длиной волны излучаемого света 940 нм, мощностью излучения 130 мВт. Учитывая тот факт, что характеристики фоточувствительных элементов имеют ограничения по интенсивности регистрируемого излучения, для расширения диапазона размеров исследуемого яйца и сроков эмбриогенеза целесообразно обеспечивать регулировку интенсивности свечения светодиодов. Возможности применения систем автоматической регулировки светимости лимитированы непериодической двигательной активностью эмбриона, значительно влияющей на оптическую плотность яйца. В исследованиях авторы применяли ручную регулировку ограничения тока в питающей цепи.

В качестве фоточувствительного датчика возможно применение любых полупроводниковых фоточувствительных элементов, а также оптических сенсоров с интегрированными операционными усилителями. Вместе с тем следует учитывать особенности каждого типа датчиков, в частности, быстродействие некоторых фоторезисторов может быть недостаточным, а удобство оптических сенсоров с интегрированными операционными усилителями может нивелироваться отсутствием возможности изменения коэффициента усиления [1, 7, 14], поэтому в исследованиях был применен высокочувствительный быстродействующий фотодиод BPW34.

Амплитуда напряжения полезного сигнала, получаемого на выходе с фотодиода, составляет десятки микровольт и требует предварительного усиления. Учитывая тот факт, что разделительный конденсатор при столь малых уровнях сигнала блокирует полезный сигнал, применялось усиление полного сигнала с постоянной составляющей. В качестве предварительного усилителя был применен специализированный малошумящий операционный усилитель MCP 604, подключенный по рекомендованной производителем схеме. Во избежание перегрузки усилителя напряжением постоянной составляющей на выходе усилителя напряжение контролировалось вольтметром.

Дальнейшее усиление сигнала до уровня, достаточного для уверенной регистрации, осуществляется любым низкочастотным усилителем, подключаемым через разделительный конденсатор.

Выбор устройств визуализации и протоколирования получаемого сигнала зависит от целей и задач исследования [3]. В качестве аналого-цифрового преобразователя

авторы использовали внешнюю акустическую карту, подключенную к персональному компьютеру через USB 2.0 порт. Обработка осцилограмм осуществлялась в акустическом редакторе Adobe Audition 1.5. Преимуществом использования внешней звуковой карты является наличие аппаратных регуляторов уровня сигнала и гальванической развязки, за счет чего в значительной степени обеспечивается безопасность персонального компьютера от выбросов напряжения, связанных с двигательной активностью эмбриона, амплитуда которых может значительно превышать амплитуду сигнала кардиогенной природы.

При проектировании электронных усилителей с высокими коэффициентами усиления обязательно применение методов подавления электромагнитных помех (экранирование, специализированная схемотехника). Вместе с тем при отладке устройства оптической регистрации ЧСС эмбриона птиц были выявлены особенности, требующие применения специализированных решений.

Оптические и электромагнитные помехи

Несмотря на экранирование корпуса усилителя и применение экранированных заземленных кабелей, связывающих оптический датчик с усилителем, условия промышленного инкубатора не позволяют в полной мере избежать электромагнитных помех частотой 50 Гц, вызванных работой механизмов, а также помех частотой 100 Гц, создаваемых мерцанием осветительных приборов в помещении. До применения активных электронных фильтров амплитуда колебаний сигнала, вызванных мерцанием осветительных приборов, превышала амплитуду полезного сигнала не менее чем на 200%.

Необходимые добротность, крутизну и частоту среза фильтра обеспечило применение фильтра Саллена-Ки (рис. 8), а учитывая, что микросхема MCP 604 разработана для применения в составе данного фильтра и имеет четыре канала, для снижения массогабаритных параметров и повышения помехоустойчивости, вследствие уменьшения количества проводников платы, в качестве активного компонента фильтра были использованы свободные каналы микросхемы MCP 604 [13].

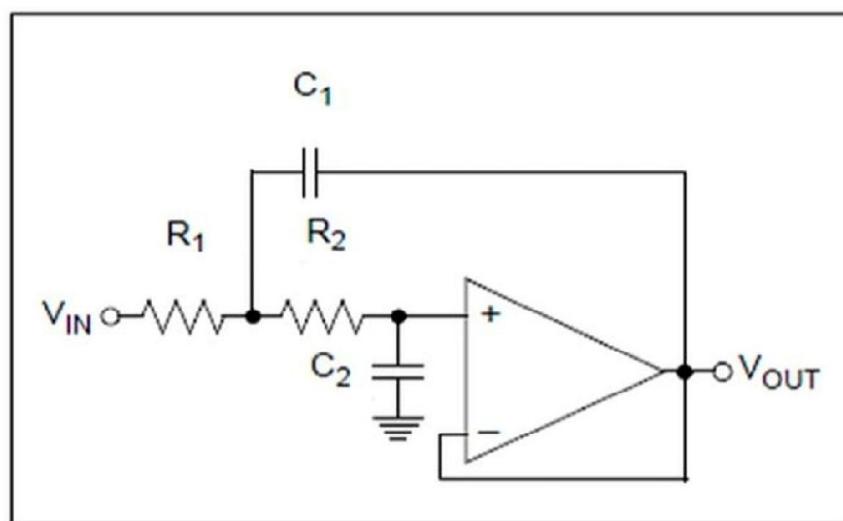


Рис. 8. Схема фильтра низкой частоты Саллена-Ки [4]
на базе операционного усилителя MCP 604

Расчет частоты среза фильтра может быть выполнен по формуле (1), добротности – по формуле (2).

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}. \quad (1)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{C_2(R_1 + R_2)}. \quad (2)$$

где F_c – частота среза фильтра;

Q – добротность.

В связи с тем что максимальная ЧСС эмбриона гарантированно не превышает 600 сокращений в минуту, частота среза фильтра была установлена на 10 Гц. Расчетное соотношение сигнал – шум, определенное по формуле (3), составило 32,04 дБ.

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right). \quad (3)$$

$$SNR(dB) = 20 \log_{10} (4/0,1) = 20 \cdot 1,60206 = 32,04.$$

Учитывая высокую оптическую чувствительность устройства, следует избегать включения и выключения осветительных приборов в помещении в процессе исследования.

Специфической помехой при регистрации ЧСС можно считать двигательную активность эмбриона [10] при установке датчика на яйцо при естественном насиживании, так как на результаты измерений оказывает влияние двигательная и дыхательная активность наседки.

В случае определения ЧСС методом подсчета количества сердечных сокращений за определенный период экспериментатору требуется дополнительное время для выявления участков осцилограммы, свободных от помех, вызванных двигательной активностью [12]. Вместе с тем математическая обработка получаемого сигнала с помощью программных средств спектрального частотного анализа методом быстрого преобразования Фурье позволяет фиксировать изменения ЧСС на всем протяжении эксперимента, а также выявлять и анализировать двигательную активность эмбриона [10].

Выводы

На сегодняшний день уровень общедоступной элементной базы позволяет широкому кругу специалистов, при минимальных финансовых вложениях, разрабатывать и эксплуатировать устройства неинвазивного оптического контроля ЧСС эмбриона птиц.

Представленные в статье материалы позволяют понять основные принципы функционирования оптического метода, тем самым предоставляя исследователю широкое поле для собственных экспериментов.

Учитывая, что устройства регистрации ЧСС могут решать неспецифическую задачу, а именно определять и регистрировать двигательную активность эмбриона, в свете растущего количества зарубежных публикаций о возможности повышения мясной продуктивности сельскохозяйственной птицы с помощью интенсификации двигательной активности на эмбриональной стадии развития для создания и эксплуатации описанных в статье устройств необходимы дополнительные исследования в области мониторинга двигательной активности эмбриона птиц.

Библиографический список

1. Аксененко М.Д. Приемники оптического излучения : справочник / М.Д. Аксененко, М.Л. Бараночников. – Москва : Радио и связь, 1987. – 295 с.
2. А. с. 1597173 СССР, МПК A61B 5/04, G01N 21/00, G01N 21/33 (2000.01). Способ Налбандяна-Казаряна исследования сократительной функции сердца эмбрионов птиц и рептилий ранних сроков развития и устройство для его осуществления / С.Г. Налбандян, А.В. Казарян ; заявитель и патентообладатель Ереванский государственный медицинский институт. – № 4349555/30-14 ; заявл. 27.10.1987; опубл. 07.10.1990, Бюл. № 37. – 4 с.
3. Бажухин В.И. Перспективы развития биодатчиков для медицины и биологии / В.И. Бажухин // Актуальные проблемы создания биотехнических систем : сб. науч. тр. – Москва : Изд-во АМН, 1996. – С. 35– 41.
4. Богданов Н.Г. Расчет электрических фильтров : пособие по курсовому и дипломному проектированию / Н.Г. Богданов. – Москва : ВИПС, 2000. – 352 с.
5. Бунатян А.А. Перспективы применения пульсовой оксиметрии в анестезиологии и реаниматологии / А.А. Бунатян, И.И. Шитиков, Е.В. Флеров // Анестезиология и реаниматология. – 1991. – № 1. – С. 3–7.
6. Васильев В.Н. Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам : Мат. модели сигналов и шумов. Дискретизация и квантование. Спектры дискретных сигналов. Свойства преобразований Фурье и Гильbertа. Рекуррент. фильтрация Калмана и Стратоновича. Регистрация экстремумов. Автосвертка сигналов / В.Н. Васильев, И.П. Гуров. – Санкт-Петербург : BHV-Санкт-Петербург, 1998. – 237 с.
7. Иванов В.И. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы : справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 448 с.
8. Мониторинг температуры эмбриона птиц посредством неинвазивного контроля частоты сердечных сокращений / А.Н. Судаков, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, Н.Я. Скользнев // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности : матер. международной науч.-практ. конф., посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (г. Воронеж, 7–9 ноября 2018 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – Ч. I. – С. 54–60.
9. Мошкович В.С. Фотоплетизмография (аппаратура и методы исследования) / В.С. Мошкович. – Москва : Медицина, 1970. – 207 с.
10. Оптический метод регистрации двигательной активности эмбриона птиц / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, А.Н. Судаков, Н.Я. Скользнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 11, № 4 (59). – С. 79–85.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

11. Пат. 2665117 Российской Федерации, МПК A61B 5/0245, A61B 5/0295, A01K 43/00, A01K 45/00 (2006.01). Способ регистрации частоты сердечных сокращений эмбриона птиц без разрушения скорлупы и устройство для его осуществления / А.Н. Судаков и др.; заявитель и патентообладатель Российский государственный аграрный заочный университет. – № 2016115016 ; заявл. 18.04.2016 ; опубл. 28.08.2018, Бюл. № 29. – 5 с.
12. Разработка методики подсчета частоты сердечных сокращений эмбриона птиц / А.Н. Судаков, Н.Я. Скользинев, П.И. Дудин, О.А. Липа // Наука сегодня: вызовы и решения : матер. международной науч.-практич. конф. – Вологда, 2018. – С. 172–175.
13. Хоббс Филипп С.Д. Усилители для фотодиодов на операционных усилителях / Филипп С.Д. Хоббс // Компоненты и технологии. – 2009. – № 3. – С. 46–50 (представлен перевод статьи «Photodiode Monitoring with Op Amps», автор которой ведущий специалист фирмы Burr-Brown (Texas Instruments); перевод: Дмитрий Иоффе).
14. Юшин А.М. Оптоэлектронные приборы и их зарубежные аналоги : справочник / А.М. Юшин. – Москва : Радиософт, 1998. – 512 с.
15. Bogue J.Y. The Heart Rate of the Developing Chick / J.Y. Bogue // Journal of Experimental Biology. – 1932. – Vol. 9. – Pp. 351–358.
16. Buddy Digital Egg Monitor. User's manual. Avtronics [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.avtronics.co.uk/> (дата обращения: 02.01.2019).
17. Lierz M. Noninvasive heart rate measurement using a digital egg monitor in chicken and Turkey embryos / M. Lierz, O. Gooss, H.M. Hafez // Journal of Avian Medicine and Surgery. – 2006. – Vol. 20 (3). – Pp. 141–146.
18. Mortola J.P. Interactive effects of temperature and hypoxia on heart rate and oxygen consumption of the 3-day old chicken embryo / J.P. Mortola, K. Wills, T. Trippenbach, K. Al Awam // Comparative Biochemistry & Physiology. Part A: Molecular and Integrative Physiology/ – 2010. – Vol. 155 (3). – Pp. 301–308.
19. Mueller C.A. The Physiology of the Avian Embryo / C.A. Mueller, W. Burggren, H. Tazawa // In book: Sturkie's Avian Physiology; Edition: 6, 2015; Chapter: 32. – Publisher: Elsevier, Editors: Colin G. Scanes. – Pp. 739–766. DOI: 10.1016/B978-0-12-407160-5.00032-4.
20. Tazawa H. Cardiac rhythms in avian embryos and hatchlings / H. Tazawa // Avian Poultry Biology Reviews. – 2005. – Vol. 16. – Pp. 123–150.
21. Tazawa H. Response of egg temperature, heart rate and blood pressure in the chick embryo to hypothermal stress / H. Tazawa, S. Nakagawa // Journal of Comparative Physiology. – 1985. – Vol. 155 (2). – Pp. 195–200.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Александр Николаевич Судаков – аспирант кафедры биоэкологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха, e-mail: ansudak@gmail.com.

Евгений Александрович Андрианов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: evgeniy377@gmail.com.

Алексей Александрович Андрианов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: alexey739@gmail.com.

Оксана Александровна Липа – кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и электротехнических систем ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха, e-mail: okslipa@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 18.03.2019

Дата принятия к печати 26.04.2019

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Alexander N. Sudakov, Postgraduate Student, the Dept. of Bioecology, Russian State Agrarian Correspondence University, Russia, Balashikha, e-mail: ansudak@gmail.com.

Evgeniy A. Andrianov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: evgeniy377@gmail.com.

Aleksey A. Andrianov, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Technological Equipment, Processes of Processing Industries, Agricultural Mechanization and Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: alexey739@gmail.com.

Oksana A. Lipa, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Equipment and Electrical Systems, Russian Agrarian Correspondence University, Russia, Balashikha, e-mail: okslipa@yandex.ru.

Received March 18, 2019

Accepted April 26, 2019