



## МЕТОДЫ НЕИНВАЗИВНОЙ ОЦЕНКИ ПОЛОВОГО ДИМОРФИЗМА ЭМБРИОНОВ В ЯЙЦЕ ПТИЦЫ

✉ **Алейников А.Ф.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук*  
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный технический университет*  
Новосибирск, Россия

✉ e-mail: fti2009@yandex.ru

Показана необходимость определения пола эмбрионов в яйце птицы неинвазивными методами до инкубации и в ее период. Применение неразрушающих методов оценки полового диморфизма на практике существенно уменьшит затраты на производство яиц и мяса сельскохозяйственной птицы. Внедрение таких методов также снизит нравственные проблемы, связанные с физическим уничтожением вылупившихся цыплят в зависимости от яичного или бройлерного направления профиля птицефабрик. Рассмотрены основные методы и технические средства определения полового диморфизма, применяемые в мировой практике, основным недостатком которых является сложность реализации и связанная с ней высокая цена приобретения таких средств. Проведен анализ существующих мировых тенденций по определению полового диморфизма эмбрионов в яйце птицы. Выявлены менее затратные методы оценки их пола до инкубации и во время ее проведения. Проанализированы основные неинвазивные методы оценки полового диморфизма эмбриона яйца и показаны преимущества и недостатки этих методов. Научная новизна исследований заключается в том, что впервые предложено использовать при оценке полового диморфизма все параметры формы, включая асимметрию яйца по трем пространственным координатам, определяемым методами компьютерного зрения. Предложена экспериментальная колориметрическая установка для оценки полового диморфизма эмбрионов яиц до и во время инкубационного процесса на основе компьютерного зрения. Использование экспериментальной установки при исследованиях позволит оценить эффективность не менее трех методов определения полового диморфизма эмбрионов в яйце курицы по следующим параметрам: пространственной асимметрии яйца, структурным изменениям развития эмбриона и частоте его сердечных сокращений.

**Ключевые слова:** яйцо, инкубация, эмбрион, диморфизм, неинвазивные методы, компьютерное зрение

## METHODS FOR NONINVASIVE ASSESSMENT OF SEXUAL DIMORPHISM OF EMBRYOS IN THE POULTRY EGG

✉ **Aleynikov A.F.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences*  
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Technical University*  
Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: fti2009@yandex.ru

The necessity of determining the sex in the bird's egg by non-invasive methods before incubation and during the incubation period is shown. The use of non-destructive methods for assessing sexual dimorphism in practice will significantly reduce the cost of producing eggs and poultry meat. The

introduction of such methods will reduce the moral problems associated with the physical destruction of hatched chickens, depending on the egg or broiler direction of the poultry farm profile. The main methods and technical means for determining sexual dimorphism, used in world practice, are considered, the main disadvantage of which is the complexity of implementation and the associated high cost of acquiring such tools. Analysis of current world trends in the determination of sexual dimorphism of embryos in the poultry egg was carried out. Less costly methods of estimating their sex before and during incubation were identified. The main noninvasive methods for assessing the sexual dimorphism of the egg embryo are analyzed and the advantages and disadvantages of these methods are shown. The scientific novelty of the research lies in the fact that for the first time it was proposed to use all shape parameters, including egg asymmetries in three spatial coordinates, determined by computer vision methods, when assessing sexual dimorphism. An experimental colorimetric apparatus for assessing the sexual dimorphism of egg embryos before and during the incubation process based on computer vision was proposed. The use of an experimental setup in research will allow evaluating the effectiveness of at least 3 methods for determining the sexual dimorphism of chicken eggs in terms of parameters: spatial asymmetry of the egg, structural changes in the development of the embryo and its heart rate.

**Keywords:** egg, incubation, embryo, dimorphism, noninvasive methods, computer vision

**Для цитирования:** Алейников А.Ф. Методы неинвазивной оценки полового диморфизма эмбрионов в яйце птицы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 5. С. 105–116. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-5-13>

**For citation:** Aleynikov A.F. Methods for noninvasive assessment of sexual dimorphism of embryos in the poultry egg. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 5, pp. 105–116. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-5-13>

#### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

#### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22-26-00198, <https://rsct.ru/project/22-26-00198/>

#### Acknowledgments

The study was supported by grant No. 22-26-00198 from the Russian Science Foundation, <https://rsct.ru/project/22-26-00198/>

## ВВЕДЕНИЕ

Яйца домашних птиц содержат большое количество ценных микроэлементов и питательных веществ, поэтому относятся к числу наиболее востребованных и незаменимых продуктов питания. Они являются главным источником белка и используются для приготовления большого количества традиционных блюд, незаменимы для диетического и спортивного питания.

Существует предпочтение по признаку пола при производстве курятины, где самец предпочтительнее при производстве бройлеров, а самка при производстве яиц. Для производства бройлеров курочки уступают петушкам из-за более низких темпов роста по сравнению со своими сверстниками [1, 2]. Петушкам, чтобы набрать вес, необходимы дополнительные расходы на корм. Использование курочек в бройлерных хозяйствах

экономически не оправдано из-за более низкого прироста массы тела по сравнению с петушками. Однако петушки не могут быть использованы при производстве яиц – единственного продукта, который усваивается организмом человека на 97–98%.

Из-за гендерной ориентации производства каждый год в мире более 7,0 млрд однодневных петушков уничтожают, что приводит к значительным экономическим потерям [3, 4].

Многие исследователи пытались применять различные стратегии для определения пола эмбриона до выхода птенцов из яйца и даже до инкубации, основываясь на различиях в содержании ДНК в бластомере, гормональных различиях (эстрогенах) в аллантоисной жидкости и флуоресцентных свойствах крови эмбрионов [5]. Точно установлено, что половые различия существуют в составе органических веществ эмбрионов

при инкубации, в запахе яиц, содержании ДНК, интенсивности флуоресценции крови и в комбинационном рассеянии. Однако эти методы редко используются на практике, поскольку они разрушают целостность структуры яйца.

Перспективный и эффективный метод определения пола эмбриона в яйце не должен затрагивать целостность яичной скорлупы или эмбриона внутри и оказывать отрицательное влияние на развитие эмбриона после процесса вывода и развития. Метод должен быть быстросействующим, чтобы его можно было применять к большому количеству яиц, экономически целесообразным с точки зрения применения не только на крупных птицефабриках страны, но и в фермерских хозяйствах Российской Федерации, а также быть приемлемым с этической точки зрения.

Цель исследования – провести анализ существующих мировых тенденций по определению полового диморфизма яйца сельскохозяйственной птицы и выявить менее затратные методы оценки пола до инкубации и во время ее проведения.

*Существующие методы и средства оценки полового диморфизма*

В работе [6] предложен и опробован метод идентификации пола на 9-й день инкубации путем измерения сульфата эстрона в продукте обмена веществ в эмбрионе эмбриона – аллантоисной жидкости. В скорлупе яйца просверливали отверстия и с помощью инсулинового шприца отбирали 20–50 мл этой жидкости. При исследованиях выяснили, что эмбрионы женского пола обладают более высоким уровнем гормонов в аллантоисной жидкости, чем эмбрионы мужского пола. Метод применялся для уничтожения яиц с мужскими эмбрионами на 9-й день инкубации и был лишь экономически выгодным по сравнению с традиционной точной выбраковкой цыплят мужского пола. Однако использование этого ручного метода забора биоматериала эмбриона может по-

вредить эмбриональные структуры и даже привести к гибели эмбриона исследуемого яйца.

В работе [7] в скорлупе яйца с помощью лазера прожигали небольшое отверстие в течение с 8-го по 10-й день инкубационного периода. Затем извлекали небольшое количество раствора содержимого яйца и определяли содержание эстрогенов.

Немецкая компания Seleggt в 2017 г. разработала первую функциональную и востребованную технологию определения пола с помощью гормонального теста<sup>1</sup>. В этой технологии используется лазер, который также выжигает отверстие размером не более 0,3 мм в яичной скорлупе.

Данный метод основан на эндокринологическом процессе и позволил определить пол будущего цыпленка через 8–10 дней после яйцекладки с достоверностью 98%. Производительность при этом методе составляла 3600 яиц в час.

Широкое распространение в исследованиях определения пола эмбрионов получили методы флуоресценции [8, 9] и рамановской спектроскопии [10, 11], названного в честь лауреата Нобелевской премии индийского физика Чандрасекхара Венката Рамана. Рамановская спектроскопия основана на неупругом рассеянии фотонов, известном как комбинационное рассеяние, сопровождающееся заметным изменением частоты излучения.

Исследователи Лейпцигского университета реализовали на практике комбинацию методов флуоресценции и рамановской спектроскопии [12]. Исследования проводили на ранних стадиях развития эмбриона, когда он еще не обладает чувствительностью к боли [13, 14]. Действительно, при инкубации куриного яйца до 5 дней эмбрион обладает примитивным кровообращением, обеспечивающим газообмен через экстраэмбриональную васкуляризованную область желточного мешка. Диаметр этой области составляет порядка 30 мм.

<sup>1</sup>In-ovo sexing URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/In-ovo\\_sexing#:~:text=In%20poultry%20farming%2C%20in-ovo%20sexing,company%20Seleggt%20in%20November%202018](https://en.wikipedia.org/wiki/In-ovo_sexing#:~:text=In%20poultry%20farming%2C%20in-ovo%20sexing,company%20Seleggt%20in%20November%202018) (дата обращения 25.04.2022).

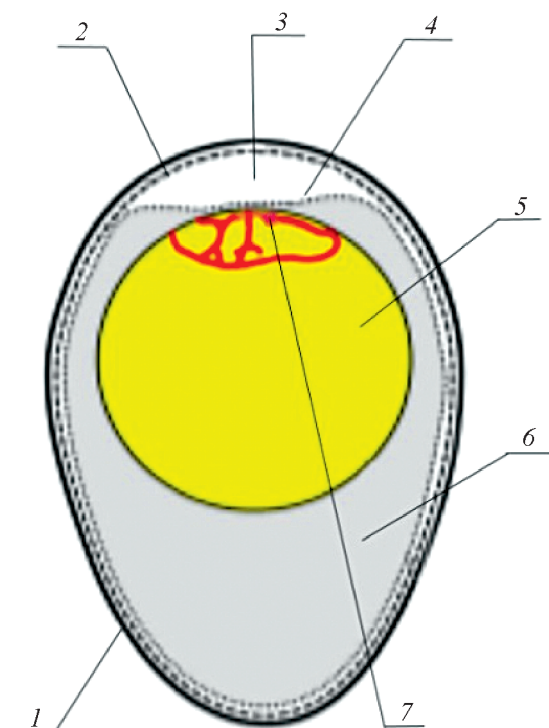
При исследовании яйцо ставили в вертикальное положение, при котором тупой конец яйца обращен вверх (см. рис. 1). Эмбрион в таком случае оказывался в центре васкуляризированной области, ниже воздушной камеры на тупом конце яйца. При этом воздушная камера локализована между внутренней оболочкой, которая непосредственно контактирует с белком, и наружной оболочкой, которая прилегает к скорлупе. На тупом конце яйца вскрывалась наружная оболочка совместно со скорлупой. При образовании окна в оболочке на тупом конце внутренняя мембрана эмбриона остается неповрежденной. Учитывая то, что она достаточно тонкая, через мембрану виден эмбрион с желточным кровообращением (см. рис. 2).

Этот факт позволил идентифицировать сосуды под рамановским микроскопом, облучать циркулирующую кровь лазером

ближнего инфракрасного диапазона и получать спектр обратного рассеяния.

Возбужденные лазерным инфракрасным излучением спектры излучения, полученные из кровеносных сосудов эмбриона, состояли из полос комбинационного рассеяния. Полосы рассеивания были смещены с возникающей от излучения лазера флуоресценцией. Как показали проведенные исследования, при возбуждении инфракрасным излучением с длиной волны  $\approx 910$  нм интенсивность флуоресценции яиц самок  $I_{\text{ж}}$  оказалась ниже по сравнению с интенсивностью флуоресценции яиц самцов  $I_{\text{м}}$  ( $I_{\text{ж}} = 91$ ,  $I_{\text{м}} = 68$ ). По утверждению авторов этого исследования, достоверность определения пола по этому методу составила 93%.

Следует отметить, что этот метод инвазивный, оказывает негативное влияние на рост и развитие вылупившихся птенцов.



**Рис. 1.** Структура и расположение яйца при его препарировании:

1 – скорлупа; 2 – наружная подскорлуповая оболочка; 3 – воздушная камера (пуга); 4 – внутренняя подскорлуповая оболочка; 5 – желток; 6 – белок; 7 – эмбрион

**Fig. 1.** The structure and arrangement of the egg in its dissection:

1 – shell; 2 – outer shell membrane; 3 – air cell; 4 – inner shell membrane; 5 – yolk; 6 – protein; 7 – embryo



**Рис. 2.** Внешний вид кровеносных сосудов эмбриона на 5-й день инкубации при вскрытии наружной оболочки яйца

**Fig. 2.** The appearance of the blood vessels of the embryo on the 5th day of incubation when opening the outer shell of the egg

Компания In Ovo совместно с Лейденским университетом создали автоматизированный метод отбора микропроб жидкости из яйца со скоростью отбора три пробы в секунду. С помощью быстродействующего масс-спектрометра Sciex Echo® MS создан роботизированный комплекс, способный сортировать эмбрионы по полу на 9-й день его развития<sup>2</sup>.

Однако такой технологический комплекс сортировки яиц по половым признакам не доступен отечественным потребителям из-за его сложности реализации и высокой стоимости.

*Анализ перспективных малозатратных методов оценки полового диморфизма*

В настоящее время идут интенсивные поисковые исследования по разработке относительно несложных методов оценки пола эмбрионов в яйце птицы.

Тайну зарождения цыпленка пытался разгадать еще выдающийся античный ученый Аристотель<sup>3</sup>. Он предполагал, что из продолговатых яиц получаются петушки, из округлых – курочки. Несмотря на то, что этот факт не подтвердился на практике, его идея о различии формы и геометрических параметрах яйца в определении пола находит свое место в отечественных и зарубежных исследованиях. Так, ряд отечественных ученых считают, что можно определить пол до инкубации по индексу формы<sup>4</sup>, который представляет собой отношение продольного  $l$  и поперечного  $b$  геометрического размера яйца. Авторы, измеряя эти размеры лазерным интерферометром, утверждают, что если у яйца отношение  $l/b = 1,2-1,3$  – это будущие курочки,  $l/b = 1,4-1,5$  – будущие петушки.

Учитывая, что объем и площадь поверхности яиц являются надежными прогнозными параметрами качественных характеристик инкубационных куриных яиц, многие исследователи предлагают провести геометрическое преобразование фактиче-

ского контура яйца в известную геометрическую фигуру, форма которой больше всего напоминает исследуемое яйцо [15–19].

Как правило, при анализе всех форм яйца использовались четыре геометрические фигуры: сфера, эллипсоид, яйцевидная и грушевидная [20].

Если первые три фигуры имели четкое математическое определение, каждое из которых получено из выражения предыдущего, то формулу для грушевидного профиля вывели совсем недавно. При этом, кроме параметров индекса формы, использовали значения смещения вертикальной оси яйца и диаметра заостренного конца яйца на длине  $l/4$ . Учет этих четырех параметров позволил ученым В.Г. Нарушину, М.Н. Романову (Украина) и Д.К. Гриффину (Великобритания) вывести универсальное уравнение для определения контуров яиц птиц, существующих в природе [21]. Можно ожидать, что полученные в исследованиях аналитические уравнения будут не только основой для исследований в области эволюционной биологии, но и использованы для прогнозирования пола яйца до его инкубации.

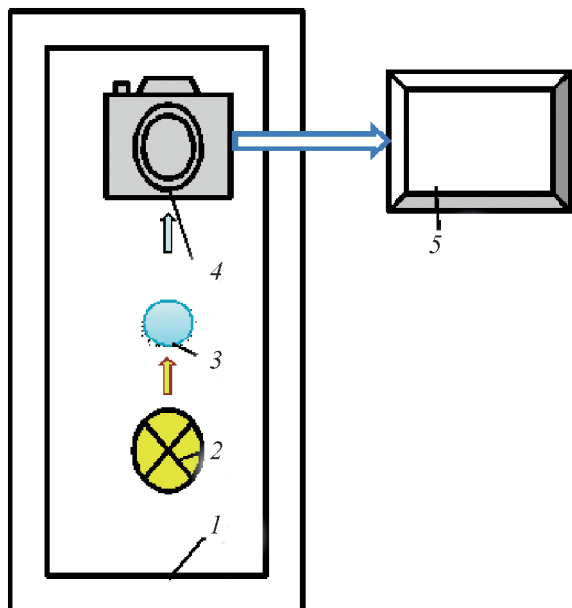
Для контроля всех технологических процессов в птицеводстве интенсивно используются системы компьютерного зрения [22], структурная схема которой приведена на рис. 3.

Применение компьютерного зрения уменьшает затраты на трудоемкие процессы, связанные с нарастающей интенсификацией производства продукции птицефабрик, необходимостью создания приемлемых условий благополучия развития животных. Системы компьютерного зрения могут обеспечить надежную, неинвазивную и прецизионную технологию зондирования и мониторинга различных аспектов производственных процессов птицеводства. Они обеспечат формирование большого объема разнообразных данных по оценке жизнедея-

<sup>2</sup>In Ovo URL: <https://www.cbinsights.com/company/in-ovo>. Peebles E.D. In ovo applications in poultry: A review 2018. Vol. 97. Is. 7. P. 2322–2338. DOI: 10.3382/ps/pey08.

<sup>3</sup>Аристотель (384–322 до н.э.). О возникновении животных / пер. с греч. М.; Л.: АН СССР, 1940. 252 с.

<sup>4</sup>Пат. (RN) № 2238643. Способ автоматизированной сортировки куриных яиц по признакам пола / Н.В. Василенко, Е.Н. Ивашов, В.В. Проценко, С.В. Степанчиков; заявл. 07.05.2002; опубл. 27.10.2004; Бюл. № 30.



**Рис. 3.** Структурная схема экспериментальной установки компьютерного зрения:

1 – темная комната; 2 – RGB-осветитель; 3 – яйцо; 4 – фотоаппарат; 5 – ноутбук

**Fig. 3.** Structural diagram of the experimental setup for computer vision:

1 – dark room; 2 – RGB illuminator; 3 – egg; 4 – camera; 5 – laptop

тельности и прогноза половых признаков эмбрионов яиц для последующего анализа. Поскольку компьютерное зрение при получении изображений использует математический аппарат, оно будет эффективно при разработке методов прогноза половых признаков по параметрам формы, включая асимметрию яйца по трем пространственным координатам, до или во время их инкубации.

Осуществить такой прогноз чрезвычайно трудно, несмотря на то, что компьютерные методы производят идентификацию, классификацию изображений, семантическую сегментацию, обнаружение и распознавание структурных элементов исследуемых объектов с помощью методов машинного обучения на основе глубоких нейронных сетей [23].

Результаты проведенных исследований связи линейных размеров яиц у диких птиц (воробей, чибис, канарейка, европейский дрозд, жаворонок и др.) с половым димор-

физмом довольно пессимистичны и не дают однозначного ответа [24].

В данном случае предлагается определять асимметрию линейных размеров яйца относительно трех пространственных координат. Стремление к симметрии формы у живых организмов – известный факт, который объясняется уменьшением энтропии в упорядоченных системах [25].

В качестве научной гипотезы предполагается, что характер асимметрии по пространственным координатам у эмбрионов мужского и женского пола куриных яиц различный. Уверенность в подтверждении выдвигаемой гипотезы дают предварительные результаты прогнозирования пола куриных яиц по распределенным параметрам индекса формы в двух пространственных координатах [26]. В данном исследовании все яйца устанавливали в одно и то же пространственное положение. Распределенные параметры индекса формы яйца определяли на контрастном бело-черном изображении яйца. Фон яйца преобразовывается в черный цвет. Все преобразования проводили с использованием стандартной библиотеки обработки изображений MATLAB<sup>5</sup>. Значения распределений индекса формы для каждого яйца из выбранной партии передавали в базу данных в виде пикселей. Результаты получали с помощью интеллектуального анализа данных с помощью алгоритма машинного обучения «RandomFofest».

Исследованию подвергли партию из 262 куриных яиц. После инкубации выведено 116 самок и 106 самцов, 40 яиц были бракованными. Как утверждают авторы исследований, достоверность прогноза мужского и женского пола цыплят составила 93 и 100% соответственно.

Методы компьютерного зрения для прогнозирования пола цыплят применяют и в период инкубации. Например, в работе [27] при использовании источников света типа LED в установке компьютерного зрения получены изображения двух партий куриных

<sup>5</sup>ImageProcessingToolbox-The MathWorks-PDF Catalogs pdf.directindustry.com <https://www.mathworks.com/help/images/functionlist.html?requestedDomain=www.mathworks.com#btvphx9-1>

яиц соответственно на 3–6-й, 8-й и 10-й день инкубации.

На рис. 4 на полученных изображениях в начальный период инкубации достаточно четко видны кровеносные сосуды. На изображениях выделены 11 областей признаков, характеризующих половой диморфизм эмбрионов. После обработки этих параметров признаков, отображающих особенности текстуры кровеносных сосудов, изображающих эмбрион цыпленка, разработан генетический алгоритм для оптимизации начальных весов и порогов обратного распространения нейронных сетей с различными скрытыми слоями.

Машинное обучение осуществлялось на основе алгоритма нейронной сети с обратным распространением (BPNN).

Авторы утверждают, что технология машинного зрения обеспечивает реальный метод определения пола куриных яиц на 4-й день инкубации с достоверностью прогноза 89,74%.

На достоверность определения пола инкубационных яиц оказывают различия в их форме, изменение температуры и влажности внешней среды, наличие пятен кальция на скорлупе и др.

Имеются исследования по оценке жизнеспособности эмбрионов яиц птиц путем измерения частоты сердечных сокращений [28–30]. Например, в работе [30] описан метод оценки активности куриных эмбрионов

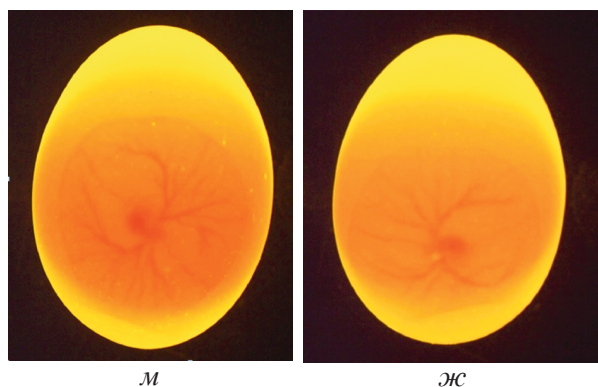
с помощью просвечивания яйца в ближнем инфракрасном диапазоне (длина волны излучения 870 нм), получения сигнала сердечного ритма эмбриона и дальнейшей его обработки. Частота сердечных сокращений в течение инкубационного периода варьировалась от 3,8 до 4,8 Гц. Причем, во время инкубации сначала происходило увеличение сердечных сокращений, на 15-й день – снижение.

Учитывая, что сердечная деятельность у эмбриона обнаружена на 2-й день инкубации [28], возможна разработка нового метода ранней оценки полового диморфизма в инкубированном яйце, основанного на гипотезе различия частоты сердечных сокращений у эмбрионов петушков и куриц. Такой метод оценки полового диморфизма в анализируемых источниках не обнаружен. Факт различия в сердечной деятельности двух полов эмбрионов можно опровергнуть или доказать, лишь применяя современные методы и средства компьютерного зрения.

В соответствии со структурной схемой (см. рис. 3) была создана установка технического зрения, предназначенная для проведения исследований по выбору и обоснованию относительного дешевого метода определения полового диморфизма эмбрионов в яйце курицы как до их инкубации, так и в первые дни инкубационного периода.

Для получения изображений в установке технического зрения использован цифровой фотоаппарат Canon EOS 2000D EF-S 18-55 III Kit с современной CMOS-матрицей (22,3 × 14,9 мм) и мощным процессором. Максимальное разрешение матрицы 6000 × 4000 пикселей, глубина цвета 42 бит/пиксель. Диапазон светочувствительности матрицы лежит от 100 до 6400 ISO, кроп-фактор равен 1,6. Экспозиция автоматическая с приоритетом как диафрагмы, так и выдержки. Видоискатель зеркальный (TTL) с полем зрения 95%. Скорость быстрой съемки составляет три кадра в секунду.

Совместная работа всех компонентов фотоаппарата позволит получать четкие снимки с минимальным уровнем шумов и яркими насыщенными цветами.



**Рис. 4.** Изображение зародыша куриного яйца на 4-й день инкубации:

м – петушок; жс – курочка

**Fig. 4.** Image of a chicken egg embryo on the 4th day of incubation:

м - cockerel; жс - female chicken

Цифровой аппарат крепится с помощью резьбового соединения на съемной головке телескопического штатива Raylab Travel. Положение штативной головки регулируется в трех пространственных плоскостях. Штатив выполнен в виде трех секций – опор с регулируемыми подвижными ножками и выдвижной центральной стойкой. Такая конструкция позволяет сделать процесс получения изображений более простым и продуктивным. Выдвижная центральная стойка гарантирует процесс проведения съемки с нужного ракурса. Регулируемая рабочая высота камеры находится в диапазоне от 0,56 до 1,6 м до пола. Камера установлена на штативе, на котором закреплен предметный столик с объектом исследований.

Цифровой аппарат сопряжен с ноутбуком модели ASUS VivoBook 17 K712EA-BX467W, работающим с операционной системой Windows 11 Home Single Language. Характеристики его экрана: диагональ 17,3"; разрешение 1600 × 900 пикселей; яркость 200 Кд/м<sup>2</sup>.

Ноутбук оснащен процессором Intel Pentium Gold 7505 с 8 ГБ оперативной памяти. Он обеспечивает мощную производительность и широкие углы обзора.

При определении геометрических параметров и асимметрии формы инкубированного яйца предусмотрен комплект света для ноутбука Raylab RL-LED10 Kit 3200-6500K и прожекторы IEK ИО с галогенными источниками света. Комплект света позволяет плавно изменять мощность от 1 до 100%, а также и цветовую температуру в диапазоне 3200–6500 К. Он снабжен поворотным кронштейном, который помогает создать необходимое освещение и устранить тени на объекте исследования или подсветить его.

При определении полового диморфизма в первые дни инкубации в качестве осветителя используется светодиодная лампа Falcon Eyes ML-09 RGB с инфракрасным пультом управления. Мощность лампы составляет 9 Вт. Учитывая, что стандартное куриное яйцо массой 58 г имеет поперечный и продольный диаметр 42 и 57 мм соответственно, матовая колба лампы с диаметром 60 мм

подсвечивает яйцо равномерным белым светом максимальной яркости. В режиме RGB кроме основных цветов имеется 12 пресетов различных цветовых оттенков, которые устанавливаются с помощью пульта управления.

Светодиодная лампа помещена в светонепроницаемый цилиндрический алюминиевый корпус, который крепится в геометрическом центре на внутренней стороне столешницы предметного столика. В столешнице заранее сделано круглое отверстие диаметром 80 мм, в которое входит колба светодиодной лампы. На внешнюю сторону столешницы с заранее изготовленным круглым отверстием устанавливается сменная тонкая черная пластинка с вырезанным овалом-эллипсом. Таким образом, при включении светодиодной лампы в темной комнате осуществляется контрастная подсветка инкубируемого яйца в течение всего периода его инкубации.

Объект исследований (яйцо) устанавливается в этот овал, который ограничивает перемещение яйца по плоскости пластины, а также дает возможность фиксации яйца при его поворотах вдоль продольной оси от 0 до 360°.

С помощью данной установки планируется серия экспериментальных исследований по выявлению наименее затратного неинвазивного метода оценки полового диморфизма в яйце.

Следует заметить, что в данной статье рассмотрены не все возможные методы оценки пола у эмбрионов птиц, такие как методы гиперспектральной визуализации [31], импедансной спектроскопии [32] и др. Причиной этого явилась недостаточность сведений в анализируемых источниках об эффективности практической реализации данных методов в развитых странах мира.

## ВЫВОДЫ

1. Существующие методы определения диморфизма в яйце птицы инвазивны и, как правило, осуществляются после процесса их инкубации при достижении возраста цыплят не менее суток.

2. Отсутствие неразрушающих методов и средств определения полового диморфизма

ма эмбрионов в яйце птицы поднимает серьезную этическую проблему, связанную с уничтожением живых птенцов мацерацией или удушением углекислым газом, и приводит к значительным экономическим потерям в отрасли птицеводства.

3. Использование зарубежной технологии компании In Ovo, при которой выжигается лазером микроотверстие в яичной скорлупе, а пол будущего цыпленка определяется с помощью масс-спектрометра Sciex Echo®, невозможно из-за высокой ее стоимости, несмотря на создание по этой технологии высокопроизводительных роботизированных комплексов, способных сортировать эмбрионы по полу на 9-й день его развития.

4. Проведен анализ основных перспективных методов оценки пола эмбрионов в яйце курицы до инкубации и в инкубационный период, основанных на применении методов технического зрения, с использованием машинного обучения.

5. Изготовлена и описана экспериментальная установка технического зрения, предназначенная для проведения дальнейших исследований с целью научного обоснования и создания малозатратного неинвазивного метода оценки полового диморфизма эмбрионов в яйце курицы.

6. Применение экспериментальной установки при исследованиях позволит получить достоверные результаты по оценке эффективности метода определения полового диморфизма по пространственной асимметрии яиц курицы до инкубации. Кроме того, будут установлены минимальные дни инкубационного периода для прогнозирования пола эмбрионов по их структурным изменениям, а также определена вероятность такого прогноза по частоте сердечных сокращений развивающегося в эмбрионе яйца.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burke W.H., Sharp P.J. Sex differences in body weight of chicken embryos // *Poultry Science*. 1989. Vol. 68. P. 805–810.
2. Burke W.H. Sex differences in incubation length and hatching weights of broiler chicks // *Poultry Science*. 1992. Vol. 71. P. 1933–1938.
3. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. In Ovo Sexing of Domestic Chicken Eggs by Raman Spectroscopy // *Analytical Chemistry*. 2016. Vol. 88. P. 8657–8663. DOI: 10.1021/acs.analchem.6b01868.
4. Alin K., Fujitani S., Kashimori A., Suzuki T., Ogawa Y., Kondo N. Non-invasive broiler chick embryo sexing based on opacity value of incubated eggs // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 158. P. 30–35. DOI: 10.1016/j.compag.2019.01.029.
5. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. In ovo sexing of chicken eggs by fluorescence spectroscopy // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2017. Vol. 409. Is. 5. P. 1185–1194. DOI: 10.1007/s00216-016-0116-6.
6. Weissmann A., Reitemeier S., Hahn A., Gottschalk J., Einspanier A. Pre-hatch sexing of domestic hens: a new method for in ovo sex identification // *Theriogenology*. 2013. Vol. 80. Is. 3. P. 199–205. DOI: 10.1016/j.theriogenol.2013.04.014.
7. Tran H.T., Ferrell W., Butt T.R. Estrogen sensor for sex sorting of poultry // *Journal of Animal Science*. 2010. Vol. 88. Is. 4. P. 1358–1364.
8. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. In-ovo sexing of chicken eggs by fluorescence spectroscopy // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2017. Vol. 409. P. 1185–1194.
9. Galli R., Koch E., Preusse G., Schnabel C., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Steiner G. Contactless in ovo sex determination of chicken eggs // *Annual Review of Biomedical Engineering*. 2017. Vol. 3. P. 131–134.
10. Harz M., Krause M., Bartels T., Cramer K., Rosch P., Popp J. Minimal invasive gender determination of birds by means of UV-resonance Raman spectroscopy // *Analytical Chemistry*. 2008. Vol. 80. P. 1080–1086.
11. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. In ovo sexing of domestic chicken by Raman spectroscopy // *Analytical Chemistry*. 2016. Vol. 88. P. 8657–8663.
12. Galli R., Preusse G., Schnabel C., Bartels T., Cramer K., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. Sexing of chicken eggs by fluorescence and Raman spectroscopy through the shell membrane // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13. Is. 2. DOI: 10.1371/journal.pone.0192554.
13. Rosenbruch M. Early stages of the incubated chicken egg as a model in experimental biology

- and medicine // Alternatives to Animal Experimentation. 1994. Vol. 11. Is. 4. P. 199–206.
14. Rosenbruch M. The sensitivity of chicken embryos in incubated eggs // Alternatives to Animal Experimentation 1997. Vol. 14. Is. 3. P. 111–113.
  15. Narushin V.G. Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth // Poultry Science. 2005. Vol. 84. P. 482–484.
  16. Nishiyama Y. The mathematics of egg shape // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2012. Vol. 78. P. 679–689.
  17. Troscianko J. A simple tool for calculating egg shape, volume and surface area from digital images // Ibis. 2014. Vol. 156. P. 874–878.
  18. Mytiai I.S., Matsyura A.V. Geometrical standards in shapes of avian eggs // Ukrainian Journal of Ecology. 2017. Vol. 7. P. 264–282.
  19. Biggins J.D., Thompson J.E., Birkhead T.R. Accurately quantifying the shape of birds' eggs // Ecology and Evolution. 2018. Vol. 8. P. 9728–9738.
  20. Narushin V.G., Lu G., Cugley J., Romanov M.N., Griffin D.K. A 2-D imaging-assisted geometrical transformation method for non-destructive evaluation of the volume and surface area of avian eggs // Food Control. 2020. Vol. 112. P. 107–112. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107112.
  21. Narushin V.G., Romanov M. N., Griffin D.K. Egg and math: introducing a universal formula for egg shape // Annals of the New York Academy of Sciences. 2021. Vol. 1505. Is. 1. P. 169–177. DOI: 10.1111/nyas.14680.
  22. Okinda C., Lu M., Liu L., Nyalala I., Muneri C., Wang J., Zhang H., Shen M. A review on computer vision systems in monitoring of poultry: A welfare perspective // Artificial Intelligence in Agriculture. 2020. Vol. 4. P. 184–208. DOI: 10.1016/j.aiia.2020.09.002.
  23. Fujiyoshi H., Hirakawa T., Yamashita T. Deep learning-based image recognition for autonomous driving // International Association of Traffic and Safety Sciences Research. 2019. Vol. 43. P. 244–252. DOI: 10.1016/j.iatssr.2019.11.008.
  24. Rutkowska J., Dubiec A., Nakagawa S. All eggs are made equal: meta-analysis of egg sexual size dimorphism in birds // Journal of Evolutionary Biology. 2013. Vol. 27. Is. 1. P. 153–160. DOI: 10.1111/jeb.12282.
  25. Rosandić M., Vlahović I., Paara V. Novel look at DNA and life-Symmetry as evolutionary forcing // Journal of Theoretical Biology. 2019. Vol. 483: 109985. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.08.016.
  26. Toksoz C., Albayrak M., Yasar H. Chicken egg sexing by using data mining process // Fresenius Environmental Bulletin. 2021. Vol. 30. Is. 2. P. 1373–1381.
  27. Zhu Z.H., Ye Z.F., Tan Y. Non-destructive identification for gender of chicken eggs based on GA-BPNN with double hidden layers // Journal of Applied Poultry Research. 2021. Vol. 30. Is. 4:100203. DOI: 10.1016/j.japr.100203.
  28. Akiyama R., Matsuhisa A., Pearson J. T., Tazawa H. Long-term measurement of heart rate in chicken eggs // Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology. 1999. Vol. 124. Is. 4. P. 483–490. DOI: 10.1016/s1095-6433(99)00141-5.
  29. Youssef A., Viazzi S., Exadaktylos V., Berckmans D. Non-contact, motion-tolerant measurements of chicken (*Gallus gallus*) embryo heart rate (HR) using video imaging and signal processing // Biosystems Engineering, 2014. Vol. 125. P. 9–16. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.06.014.
  30. Khaliduzzaman A., Fujitani S., Kondo N., Ogawa Y., Fujiura T., Suzuki T., Kashimori A., Syduzzaman M., Rahman A. Non-invasive characterization of chick embryo body and cardiac movements using near infrared light // Eng. Agric. Environ. Food. 2018. Vol. 12. P. 32–39. DOI: 10.1016/J.EAEF.2018.09.002.
  31. Pan L., Zhang W., Yu M., Sun Y., Gu X., Ma L., Li Z., Hu P., Tu K. Gender determination of early chicken hatching eggs embryos by hyperspectral imaging // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2016. Vol. 3. Is. 1. P. 181–186. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.025
  32. Алейников А.Ф. Автоматизация качества инкубационного яйца птицы – важнейший элемент точного птицеводства // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 55 (3). С. 5–8. DOI: 10.18411/lj-10-2019-37.

## REFERENCES

1. Burke W.H., Sharp P.J. Sex differences in body weight of chicken embryos. *Poultry Science*, 1989, vol. 68, pp. 805–810.
2. Burke W.H. Sex differences in incubation length and hatching weights of broiler chicks. *Poultry Science*, 1992, vol. 71, pp. 1933–1938.
3. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Stein-

- er G. In Ovo Sexing of Domestic Chicken Eggs by Raman Spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 2016, vol. 88, pp. 8657–8663. DOI: 10.1021/acs.analchem.6b01868.
4. Alin K., Fujitani S., Kashimori A., Suzuki T., Ogawa Y., Kondo N. Non-invasive broiler chick embryo sexing based on opacity value of incubated eggs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, vol. 158, pp. 30–35. DOI: 10.1016/j.compag.2019.01.029.
  5. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. In ovo sexing of chicken eggs by fluorescence spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2017, vol. 409 (5), pp. 1185–1194. DOI: 10.1007/s00216-016-0116-6.
  6. Weissmann A., Reitemeier S., Hahn A., Gottschalk J., Einspanier A. Pre-hatch sexing of domestic hens: a new method for in ovo sex identification. *Theriogenology*, 2013, vol. 80 (3), pp. 199–205. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2013.04.014.
  7. Tran H.T., Ferrell W., Butt T.R. Estrogen sensor for sex sorting of poultry. *Journal of Animal Science*, 2010, vol. 88 (4), pp. 1358–1364.
  8. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. In-ovo sexing of chicken eggs by fluorescence spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2017, vol. 409, pp. 1185–1194.
  9. Galli R., Koch E., Preusse G., Schnabel C., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Steiner G. Contactless in ovo sex determination of chicken eggs. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 2017, vol. 3, pp. 131–134.
  10. Harz M., Krause M., Bartels T., Cramer K., Rosch P., Popp J. Minimal invasive gender determination of birds by means of UV-resonance Raman spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 2008, vol. 80, pp. 1080–1086.
  11. Galli R., Preusse G., Uckermann O., Bartels T., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. In ovo sexing of domestic chicken by Raman spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 2016, vol. 88, pp. 8657–8663.
  12. Galli R., Preusse G., Schnabel C., Bartels T., Cramer K., Krautwald-Junghanns M.-E., Koch E., Steiner G. Sexing of chicken eggs by fluorescence and Raman spectroscopy through the shell membrane. *PLoS ONE*, 2018, vol. 13 (2). DOI: 10.1371/journal.pone.0192554.
  13. Rosenbruch M. Early stages of the incubated chicken egg as a model in experimental biology and medicine. *Alternatives to Animal Experimentation*, 1994, vol. 11 (4), pp. 199–206.
  14. Rosenbruch M. The sensitivity of chicken embryos in incubated eggs. *Alternatives to Animal Experimentation*, 1997, vol. 14 (3), pp. 111–113.
  15. Narushin V.G. Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth. *Poultry Science*, 2005, vol. 84, pp. 482–484.
  16. Nishiyama Y. The mathematics of egg shape. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2012, vol. 78, pp. 679–689.
  17. Troschianko J. A simple tool for calculating egg shape, volume and surface area from digital images. *Ibis*, 2014, vol. 156, pp. 874–878.
  18. Mytiai I.S., Matsyura A.V. Geometrical standards in shapes of avian eggs. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2017, vol. 7, pp. 264–282.
  19. Biggins J.D., Thompson J.E., Birkhead T.R. Accurately quantifying the shape of birds' eggs. *Ecology and Evolution*, 2018, vol. 8, pp. 9728–9738.
  20. Narushin V.G., Lu G., Cugley J., Romanov M.N., Griffin D.K. A 2-D imaging-assisted geometrical transformation method for non-destructive evaluation of the volume and surface area of avian eggs. *Food Control*, 2020, vol. 112, pp. 107–112. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107112.
  21. Narushin V.G., Romanov M.N., Griffin D.K. Egg and math: introducing a universal formula for egg shape. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2021, vol. 1505 (1), pp. 169–177. DOI: 10.1111/nyas.14680.
  22. Okinda C., Lu M., Liu L., Nyalala I., Muneri C., Wang J., Zhang H., Shen M. A review on computer vision systems in monitoring of poultry: A welfare perspective. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2020, vol. 4, pp. 184–208. DOI: 10.1016/j.aiaa.2020.09.002.
  23. Fujiyoshi H., Hirakawa T., Yamashita T. Deep learning-based image recognition for autonomous driving. *International Association of Traffic and Safety Sciences Research*, 2019, vol. 43, pp. 244–252. DOI: 10.1016/j.iaatssr.2019.11.008.
  24. Rutkowska J., Dubiec A., Nakagawa S. All eggs are made equal: meta-analysis of egg sexual size dimorphism in birds. *Journal of Evolutionary Biology*, 2013, vol. 27 (1), pp. 153–160. DOI: 10.1111/jeb.12282.
  25. Rosandić M., Vlahović I., Paara V. Novel look at DNA and life – Symmetry as evolu-

- tionary forcing. *Journal of Theoretical Biology*, 2019, vol. 483: 109985. DOI: 10.1016/j.jtbi.2019.08.016.
26. Toksoz C., Albayrak M., Yasar H. Chicken egg sexing by using data mining process. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2021, vol. 30 (2), pp. 1373–1381.
27. Zhu Z.H., Ye Z.F., Tan Y. Non-destructive identification for gender of chicken eggs based on GA-BPNN with double hidden layers. *Journal of Applied Poultry Research*, 2021, vol. 30 (4): 100203. DOI: 10.1016/j.japr.100203.
28. Akiyama R., Matsuhisa A., Pearson J. T., Tazawa H. Long-term measurement of heart rate in chicken eggs. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 1999, vol. 124 (4), pp. 483–490. DOI: 10.1016/s1095-6433(99)00141-5.
29. Youssef A., Viazzi S., Exadaktylos V., Berckmans D. Non-contact, motion-tolerant measurements of chicken (*Gallus gallus*) embryo heart rate (HR) using video imaging and signal processing. *Biosystems Engineering*, 2014, vol. 125, pp. 9–16. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.06.014.
30. Khaliduzzaman A., Fujitani S., Kondo N., Oga-wa Y., Fujiura T., Suzuki T., Kashimori A., Sy-duzzaman M., Rahman A. Non-invasive characterization of chick embryo body and cardiac movements using near infrared light. *Eng. Agric. Environ. Food*, 2018, vol. 12, pp. 32–39. DOI: 10.1016/J.EAEF.2018.09.002.
31. Pan L., Zhang W., Yu M., Sun Y., Gu X., Ma L., Li Z., Hu P., Tu K. Gender determination of early chicken hatching eggs embryos by hyperspectral imaging. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, vol. 3 (1), pp. 181–186. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.025.
32. Aleynikov A.F. Automation of the quality of incubatory poultry eggs is the most important element of precision poultry farming. *Trends in the development of science and education*, 2019, no. 55 (3), pp. 5–8. (In Russian). DOI: 10.18411/lj-10-2019-37.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Алейников А.Ф.**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник: **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: fti2009@yandex.ru

#### AUTHOR INFORMATION

✉ **Alexandr F. Aleynikov**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: fti2009@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 06.06.2022  
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 15.07.2022  
Дата публикации / Published 25.11.2022