

Тип статьи: научная
УДК 636.082.474.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-4-66-75

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИИ ИНКУБАТОРА ПО ДИНАМИКЕ РАСХОДА ВОДЫ В УВЛАЖНИТЕЛЕ

*Александр Николаевич Судаков*¹, *Евгений Александрович Андрианов*²,
*Алексей Александрович Андрианов*³, *Николай Игоревич Скуратов*⁴

^{1,4} Московский государственный зоологический парк, г. Москва, Российская Федерация

^{2,3} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
г. Воронеж, Российская Федерация

¹ ansudak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7431-0675>

² evgeniy377@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4248-7684>

³ alexey739@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9141-3948>

⁴ aixgal@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9580-6036>

Автор, ответственный за переписку: Александр Николаевич Судаков, ansudak@gmail.com
Corresponding author: Alexander Sudakov, ansudak@gmail.com

Реферат. Известно, что состав воздуха в камере инкубатора имеет критически важное значение при развитии эмбрионов птиц, так как в процессе развития эмбрион потребляет кислород и производит углекислый газ. При недостаточной вентиляции камеры инкубатора отмечается высокая эмбриональная смертность, однако, избыточная вентиляция приводит к необоснованным затратам электроэнергии и воды в системе увлажнения. В настольных инкубаторах не используются газоанализаторы, позволяющие осуществлять точную регулировку газообмена камеры инкубатора с окружающим воздухом, и проблема определения оптимальных параметров вентиляции настольных инкубаторов остается актуальной в настоящее время. Исследовали возможность интерпретации данных о потреблении воды системами увлажнения настольных инкубаторов в целях определения характеристик газообмена кислорода и углекислого газа воздуха в камере инкубатора с окружающей средой. Использовали настольные инкубаторы Grimbach, детектор углекислого газа на основе ИК-датчика ZGm053UK и электро-химический детектор кислорода AT-8100. Установлено, что динамика расхода воды системы увлажнения инкубатора коррелирует с объемом газообмена инкубатора с окружающей средой. Опасность прекращения дыхательной активности эмбрионов возникает в герметичных инкубаторах, при этом, маркером отсутствия газообмена является постоянный уровень воды в системе увлажнения. При скорости испарения воды испарителем не ниже 3 см³/сутки на 1 куриное яйцо, разности относительной влажности воздуха в помещении инкубатория и камере инкубатора не менее 10% и разности температур в инкубаторе и помещении инкубатория не менее 10°C, газообмен инкубатора с помещением обеспечивает уровень углекислого газа не выше 3000 ppm, а уровень кислорода не ниже 20,6%. Состав воздуха в помещении инкубатория оказывает непосредственное влияние на состав воздуха в инкубаторе, однако, необходимый уровень вентиляции помещения инкубатория, обеспечивающего удовлетворительное качество воздуха, может быть определен органолептически.

Ключевые слова: инкубатор, вентиляция, яйца птиц, кислород, влажность воздуха, CO₂.

DETERMINATION OF INCUBATOR VENTILATION INTENSITY BY THE DYNAMICS OF WATER FLOW RATE IN THE HUMIDIFIER

*Alexander Sudakov*¹, *Evgeniy Andrianov*², *Aleksey Andrianov*³, *Nikolai Skuratov*⁴

^{1,4} Moscow State Zoological Park, Moscow, Russian Federation

^{2,3} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,
Voronezh, Russian Federation

¹ ansudak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7431-0675>
² evgeniy377@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4248-7684>
³ alexey739@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9141-3948>
⁴ aixgal@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9580-6036>

Abstract. *It is known that the air composition in the incubator chamber is critically important for the development of bird embryos, since the embryo consumes oxygen and produces carbon dioxide during development. High embryonic mortality is observed with insufficient ventilation of the incubator chamber, however, excessive ventilation leads to unreasonable costs of electricity and water in the humidification system. Gas analyzers that allow precise regulation of gas exchange between the incubator chamber and the surrounding air are not used in tabletop incubators, and the problem of determining the optimal ventilation parameters for tabletop incubators remains relevant at present. The possibility of interpreting data on water consumption by humidification systems of tabletop incubators in order to determine the characteristics of oxygen and carbon dioxide gas exchange between the air in the incubator chamber and the environment was studied. Grumbach tabletop incubators, a carbon dioxide detector based on the ZGm053UK IR sensor, and an AT-8100 electrochemical oxygen detector were used. It was established that the dynamics of water consumption of the incubator humidification system correlates with the volume of gas exchange between the incubator and the environment. The danger of stopping the respiratory activity of embryos occurs in sealed incubators, while the marker of the absence of gas exchange is a constant water level in the humidification system. With the rate of water evaporation by the evaporator of at least 3 cm³ / day per 1 chicken egg, the difference in relative humidity in the incubator room and the incubator chamber of at least 10% and the difference in temperatures in the incubator and the incubator room of at least 10 ° C, the gas exchange of the incubator with the room provides a carbon dioxide level of no more than 3000 ppm, and an oxygen level of at least 20.6%. The air composition in the incubator room has a direct effect on the air composition in the incubator, however, the required ventilation level of the incubator room, providing satisfactory air quality, can be determined organoleptically.*

Keywords: *hatchery, ventilation, bird eggs, oxygen, air humidity, CO₂.*

Для цитирования: Судаков А. Н., Андрианов Е. А., Андрианов А. А., Скуратов Н. И. Определение интенсивности вентиляции инкубатора по динамике расхода воды в увлажнителе // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 70, № 4. С. 66-75. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-4-66-75>.

For citation: Sudakov A., Andrianov E., Andrianov A., Skuratov N. Determination of incubator ventilation intensity by the dynamics of water flow rate in the humidifier. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 70(4): 66-75. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-4-66-75>.

Введение. Состав воздуха в камере инкубатора в процессе искусственной инкубации яиц птиц является одним из важнейших параметров. Наряду со значениями температуры воздуха и его относительной влажности, а также с углом и кратностью поворотов яиц, состав воздуха оказывает непосредственное влияние на выводимость [1, 2]. Наиболее важными показателями состава воздуха являются содержание кислорода и углекислого газа. По всей видимости, требования к составу воздуха, пригодного для дыхания большинства живых организмов, сформировались эволюционно с учетом существующих условий. Состав атмосферного воздуха в естественной среде за последние 500 млн. лет существенно не менялся, и в настоящее время атмосферный воздух содержит примерно 78,08% азота, 20,95% кислорода, 0,93% аргона, 0,04% углекислого газа и небольшое количество других газов [3]. Вместе с тем, эмбрионы птиц сохраняют жизнеспособность в диапазоне, превышающем нормальные характеристики атмосферного воздуха. По данным различных исследований диапазон предельных значений, при которых сохраняется жизнеспособность эмбрионов птиц, составляет от 0 до 5% углекислого газа и от 15 до 75% кислорода [4, 5]. Рекомендации по промышленной инкубации яиц содержат сведения о

необходимости поддержания в камере инкубатора уровня углекислого газа не выше 4000 ppm (0,4%) [6].

В процессе развития эмбрионы потребляют кислород и выделяют углекислый газ [7]. Учитывая, что объемы поглощаемого эмбрионом кислорода и выделяемого углекислого газа примерно равны, при помещении яйца с развивающимся эмбрионом в герметичный бокс через некоторое, зависящее от срока эмбрионального развития и объемов бокса, время, дыхательная активность эмбриона прекратится в связи с изменением соотношения кислорода и углекислого до уровней, не совместимых с жизнью.

При естественном гнездовании, значительных изменений в составе воздуха, окружающего яйца, не происходит, вследствие хорошей вентиляции гнезд [8]. Следует отметить, что в ряде исследований было установлено некоторое повышение концентрации углекислого газа в гнездах птиц, однако, столь незначительные изменения не оказывают существенного влияния на выводимость [9]. При искусственной инкубации ситуация меняется. Вследствие непрерывного поглощения кислорода эмбрионами и выделения углекислого газа, в закрытом объеме камеры инкубатора возможно критическое изменение состава воздуха [10]. Для предотвращения гибели эмбрионов от критических изменений в составе воздуха, промышленные инкубаторы снабжаются системами вентиляции, датчиками контроля кислорода и углекислого газа, а также детекторами потенциально опасных летучих соединений. Производители настольных инкубаторов ограничиваются применением вентиляционных отверстий в корпусе и разработкой рекомендаций по степени открытия заслонок вентиляционных отверстий.

Несмотря на то, что при полностью открытых заслонках, настольные инкубаторы гарантированно обеспечивают необходимый уровень вентиляции, полное открытие заслонок приводит к необоснованным затратам электроэнергии и воды в увлажнителях. В отсутствие газоанализаторов, человек, эксплуатирующий инкубатор, не имеет возможности определить минимальную степень открытия заслонок, достаточную для обеспечения необходимого уровня газообмена камеры инкубатора с окружающей средой, и, как следствие, один из важнейших параметров искусственной инкубации, а именно, состав воздуха, остается неконтролируемым.

Цель исследования – предложить метод контроля уровня газообмена инкубатора с окружающей средой без использования специализированных технических средств.

Материалы и методы. Совместное исследование кафедры механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности Воронежского ГАУ и отдела орнитологии Московского зоопарка проводили в 2024 году. Использовали настольные инкубаторы Grumbach и яйца домашних кур, детектор углекислого газа на основе ИК-датчика ZGm053UK и электрохимический детектор кислорода AT-8100. Температура воздуха в инкубаторе на протяжении всего исследования составляла 37,5°C. Относительная влажность воздуха в инкубаторе 58-60%. Температура воздуха в помещении инкубатория 22,0-27,0°C. Относительная влажность воздуха в помещении инкубатория 37-52%. Для контроля температуры и относительной влажности воздуха использовали измеритель температуры и влажности «Актаком АТТ-5015», а также высокоточный термометр собственной разработки [11,12]. Расход воды системы увлажнения инкубатора регистрировали по изменению уровня воды в штатной мерной трубке инкубатора. Замеры проводили один раз в сутки.

Частота опроса датчика углекислого газа в инкубаторе составила s^{-1} , запись показаний осуществлялась автоматически в память персонального компьютера. Показания датчика кислорода в инкубаторе, а также температуры и относительной влажности воздуха в помещении инкубатория фиксировали визуально, не менее 3-х раз в сутки.

Обработку данных осуществляли в программе MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Абсолютное большинство настольных инкубаторов не имеет функции принудительной вентиляции камеры инкубатора при превышении предельно допустимой концентрации углекислого газа или низком уровне кислорода. Данный факт обусловлен, как экономическими факторами, так и спецификой электроснабжения населенных пунктов в сельской местности [13]. Газообмен воздуха в инкубаторе с воздухом помещения инкубатория осуществляется через специальные вентиляционные отверстия и существующие зазоры корпуса и дверок камеры инкубатора посредством диффузии углекислого газа и кислорода за счет разницы

их парциальных давлений, возникающей вследствие метаболических процессов эмбрионов, при которых поглощается кислород и выделяется углекислый газ.

Несмотря на то, что для нормального развития эмбрионов необходим определенный диапазон как кислорода, так и углекислого газа, для контроля состояния воздуха в инкубаторе достаточно применения одного типа газоанализатора. По нашему мнению, целесообразно контролировать значения углекислого газа, по причине более высокой точности доступных детекторов CO₂, чем датчиков кислорода. Соотношение показаний использованных в исследовании детекторов CO₂ и O₂ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Соотношение мгновенных показаний детекторов CO₂ и O₂ в процессе исследования.

№	Углекислый газ (CO ₂), ppm (%)	Кислород (O ₂), %
1	450 (0,04)	20,9
2	800 (0,08)	20,9
3	1200 (0,12)	20,8
4	1700 (0,17)	20,7
5	2020 (0,202)	20,7

Как следует из таблицы, данные контроля датчика углекислого газа позволяют с высокой точностью определять содержание кислорода в инкубаторе.

Согласно рекомендациям настольных инкубаторов, в первой половине срока эмбрионального развития необходимо держать вентиляционные заслонки закрытыми, а далее открывать для обеспечения удовлетворительной вентиляции. Вместе с тем, понятия «открытые» и «закрытые» заслонки не отражают характеристики газообмена между инкубатором и помещением инкубатория. Подтверждением данного факта является снижение уровня жидкости в системе увлажнения инкубатора даже при полностью закрытых заслонках (таблица 2).

Таблица 2 - Изменение динамики потребления воды системой увлажнения инкубатора Grumbach при различных положениях вентиляционной заслонки при предустановленном значении в инкубаторе RH 60% и воздуха в помещении инкубатория RH 40%.

№	Положение заслонки	Расход воды в сутки, л
1	Герметично (заслонки заклеены)	0,32
2	Закрыто	0,97
3	Открыто на 1/2	1,25
4	Открыто полностью	1,34

Как следует из таблицы, даже при герметизированных вентиляционных отверстиях система увлажнения инкубатора потребляет воду. Данный факт обусловлен наличием технологических отверстий, неплотностями прилегания дверцы инкубатора и существенной разницей парциальных давлений водяного пара в инкубаторе и окружающем его воздухе. Однако, потребление воды незначительно. После удаления герметизирующих материалов с вентиляционных отверстий был отмечен существенный рост потребления воды системой увлажнения, что позволило предположить наличие интенсивного диффузного газообмена кислорода и углекислого газа между инкубатором и помещением инкубатория при закрытых вентиляционных отверстиях инкубатора. Дальнейшее открытие заслонок влияет незначительно на интенсивность снижения воды в системе увлажнения.

В процессе инкубации 300 яиц домашних кур, при установке вентиляционных заслонок в положение «Закрыто», отмечался рост содержания углекислого газа в инкубаторе (таблица 3)

Таблица 3 - Среднесуточные значения содержания углекислого газа в инкубаторе в процессе инкубации яиц.

Срок инкубации, сут.	1-3	4-10	10-15	15-17	18-20	20-22
Содержание CO ₂ , ppm	562±1,5	668±3,7	682±4,5	913±2,4	1232±7,4	1945±9,3

Однако, критически высокого содержания углекислого газа (4000 ppm) достигнуто не было. На графике (рисунок 1) наглядно видны изменения динамики роста содержания углекислого газа в камере инкубатора. Существенный рост концентрации углекислого газа, начиная с середины срока инкубации, подтверждает данные ранних исследований об усилении метаболических процессов эмбрионов со второй половины эмбрионального периода.

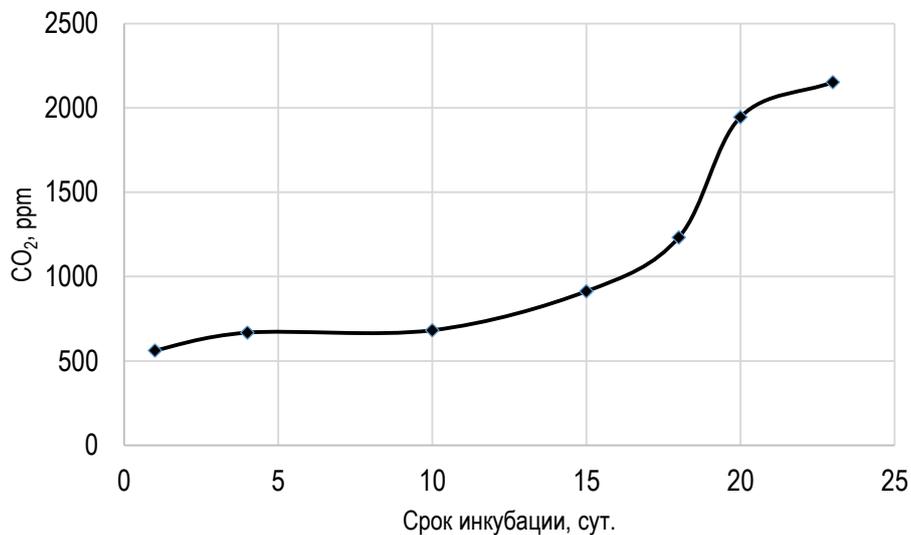


Рисунок 1 – Динамика изменения содержания углекислого газа в инкубаторе от времени в процессе инкубации яиц

Снижение динамики роста содержания углекислого газа на завершающем сроке инкубации является свидетельством усиления диффузного газообмена вследствие увеличения разницы парциальных давлений газов в камере инкубатора и помещении инкубатория.

В ходе эксперимента расход воды системой увлажнения при закрытых вентиляционных отверстиях составил 970 см³/сутки. При этом, содержание углекислого газа в инкубаторе с внутренним объемом 0,25 м³, содержащем 300 куриных яиц, не превысило значений 2125 ppm. При расчете относительных значений динамики расхода воды испарителем инкубатора были получены следующие значения: при скорости испарения воды испарителем не ниже 3 см³/сутки на 1 куриное яйцо, разности относительной влажности воздуха в помещении инкубатория и камере инкубатора, не менее 10% и разности температур в инкубаторе и помещении инкубатория не менее 10°С, газообмен инкубатора с помещением обеспечивает уровень углекислого газа не выше 2125 ppm, а уровень кислорода не ниже 20,6%.

Таким образом подтверждаются данные совместного исследования ФНЦ «ВНИТИП» РАН и ФГБУ «48 ЦНИИ» МО РФ, в которых было отмечено нелинейное снижение уровня углекислого газа в инкубаторе при его различных концентрациях. При повышении разности парциальных давлений газов между камерой инкубатора и окружающим воздухом скорость диффузного газообмена усиливается (рисунок 2) [7]

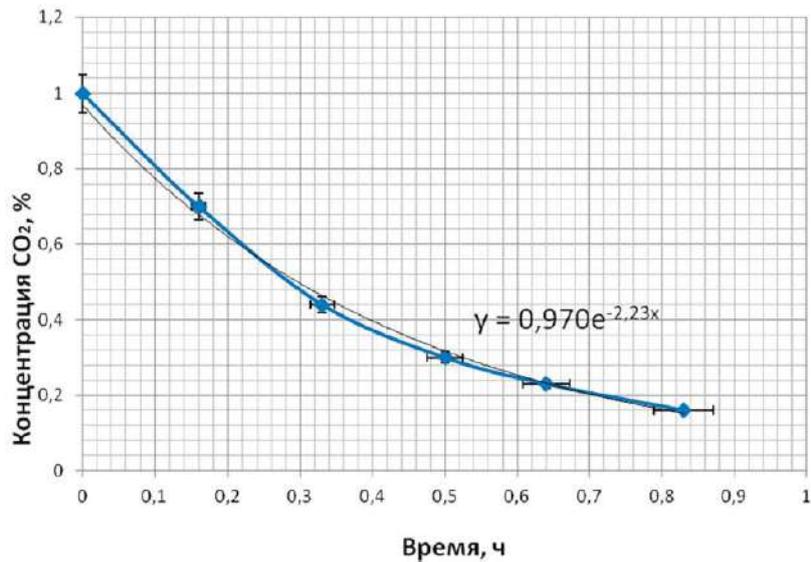


Рисунок 2 - Динамика изменений скорости снижения концентрации углекислого газа в инкубаторе [7]

Следует отметить, что на скорость диффузного газообмена существенное влияние оказывает состав воздуха в помещении инкубатория. На рисунке 3 представлен фрагмент графика, демонстрирующий снижение уровня углекислого газа в инкубаторе в начале рабочего дня, обусловленный включением автоматической вентиляции помещений и, как следствие, изменением состава воздуха в нем. Вместе с тем, контроль качества воздуха в помещении инкубатория возможен с применением органолептического метода. Согласно медицинским исследованиям, организм человека реагирует даже на незначительные изменения концентрации углекислого газа в воздухе [14,15]. При концентрации CO₂ выше 600–800 ppm наблюдается снижение внимания на 30%, при концентрациях более 1500 ppm 79% испытуемых отмечают чувство усталости, у 97%, страдающих мигренью, жалобы на головную боль появляются при уровне CO₂ в воздухе от 1000 ppm и выше

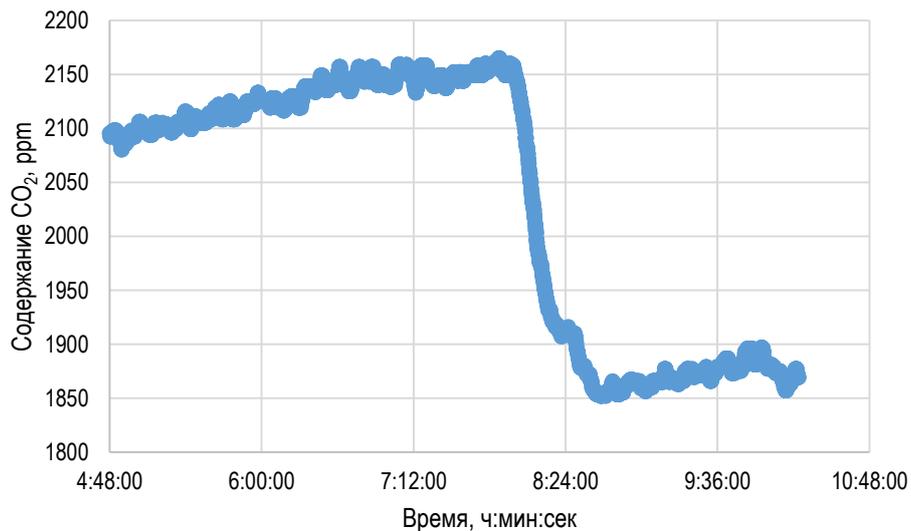


Рисунок 3 - Динамика изменения концентрации углекислого газа в инкубаторе после включения системы принудительной вентиляции в помещении инкубатория

При проведении манипуляций, обусловленных необходимостью проведения биологического контроля в процессе искусственной инкубации яиц, происходит периодическое открывание дверей инкубатора. Несмотря на то, что в этот момент происходит интенсивная вентиляция камеры инкубатора, было установлено, что она не оказывает существенного влияния на средние показатели содержания кислорода и углекислого газа. Среднесуточные показатели состава воздуха в камере, в процессе настоящего эксперимента, восстанавливались в течение 30 минут. (рисунок 4)

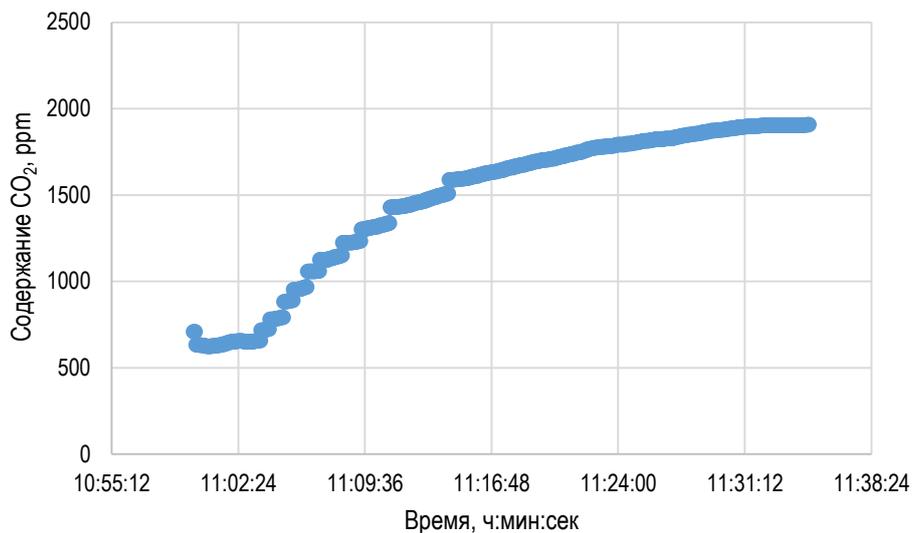


Рисунок 4 - Динамика восстановления среднесуточного показателя содержания углекислого газа в инкубаторе после открытия дверцы

Для достижения положительного эффекта краткосрочных проветриваний необходимо осуществлять их не менее 48-ми раз в сутки, что окажет существенное влияние на уровень средней температуры в сторону ее снижения и приведет к хронической гипотермии эмбрионов, а также не позволит обеспечить необходимый уровень относительной влажности воздуха в инкубаторе.

Заключение. В результате исследования было установлено, что контроль интенсивности расхода воды системой увлажнения настольного инкубатора позволяет получать объективные данные о характеристиках вентиляции инкубатора и, как следствие, обеспечивать удовлетворительные характеристики состава воздуха по показателям содержания углекислого газа и кислорода без применения газоанализаторов. Вместе с тем, учитывая зависимость интенсивности потерь воды в системе увлажнения инкубаторов от значений температуры и относительной влажности в помещении инкубатория, требуются дополнительные исследования, которые позволят разработать таблицы расчета интенсивности газообмена в зависимости от параметров микроклимата помещения инкубатория.

Экспериментально подтверждена возможность контроля содержания кислорода в инкубаторе по данным измерения содержания углекислого газа.

Установлено, что с ростом концентрации углекислого газа в камере инкубатора, интенсивность диффузного газообмена возрастает, что обеспечивает удовлетворительный состав воздуха в широком диапазоне вентиляционных характеристик инкубатора.

Состав воздуха в инкубатории оказывает непосредственное влияние на состав воздуха в инкубаторе, однако, органолептического контроля достаточно для адекватной оценки качества воздуха в помещении инкубатория.

Краткосрочная вентиляция инкубатора, происходящая в момент открытия его дверок, не оказывает существенного влияния на среднесуточные показатели содержания углекислого газа и кислорода.

Список источников

1. Okur, Nezhil & Eratalar, Sabri & Yigit, Ayse & Kutlu, Tuncer & Kabakçi, Ruhi & Ozsoy, Sule. (2022). Effects of Incubator Oxygen and Carbon Dioxide Concentrations on Hatchability of Fertile Eggs, Some Blood Parameters and Histopathological Changes of Broilers with Different Parental Stock Ages in High Altitude. 101. 1-13. 10.1016/j.psj.2021.101609.
2. Ozlu, Serdar & Uçar, Ahmet & Banwell, R & Elibol, O. (2018). The effect of increased concentration of carbon dioxide during the first 3 days of incubation on albumen characteristics, embryonic mortality and hatchability of broiler hatching eggs. Poultry Science. 98. 10.3382/ps/pey464.
3. Изменения содержания кислорода в городском воздухе под воздействием природных и антропогенных факторов / А. С. Гинзбург, А. А. Виноградова, Е. А. Лезина, М. А. Помелова // Известия Академии наук СССР. Физика атмосферы и океана. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 437-449. – DOI 10.31857/S0002351523040065. – EDN YNGQLA.
4. Romanoff, Alexis. (2005). Effect of composition of air on the growth and mortality of the chick embryo. Journal of Morphology. 50. 517 - 525. 10.1002/jmor.1050500210.
5. Дыхательная активность куриного эмбриона при высоких уровнях углекислого газа / И. П. Салеева, А. В. Овчинников, Ю. И. Пашенко [и др.] // Птицеводство. – 2021. – № 5. – С. 37-41. – DOI 10.33845/0033-3239-2021-70-5-37-41. – EDN DTPPRL.
6. Руководство по технологии инкубации яиц Lohmann Tierzucht. – Cuxhaven. – 2020. – 13 с.
7. Массообмен воздуха в инкубаторах с учетом дыхательной активности куриных эмбрионов / И. П. Салеева, А. В. Овчинников, Ю. И. Пашенко [и др.] // Птицеводство. – 2021. – № 7-8. – С. 50-55. – DOI 10.33845/0033-3239-2021-70-7-8-50-55. – EDN EYFFEL.
8. Castaño Vázquez, Francisco & Merino, Santiago & Cuezva, Soledad & Sanchez-Moral, S.. (2020). Nest Gasses as a Potential Attraction Cue for Biting Flying Insects and Other Ectoparasites of Cavity Nesting Birds. Frontiers in Ecology and Evolution. 8. 258. 10.3389/fevo.2020.00258.
9. Deeming, Denis. (2016). How does The Bird-nest Incubation Unit Work?. Avian biology research. 9. 103-113. 10.3184/175815516X14567543242701.
10. Onagbesan, Okanlawon & Bruggeman, Veerle & Smit, Luhna & DEBONNE, M. & WITTERS, A. & Tona, Jacob & Everaert, Nadia & Decuypere, Eddy. (2007). Gas exchange during storage and incubation of Avian eggs: Effects on embryogenesis, hatchability, chick quality and post-hatch growth. World's Poultry Science Journal. 63. 557 - 573. 10.1017/S0043933907001614.
11. Современные решения в области контроля температуры искусственной инкубации яиц птиц / А. Н. Судаков, Е. А. Андрианов, Н. И. Скуратов, А. А. Андрианов // Технологии и товарооборот сельскохозяйственной продукции. – 2023. – № 1(20). – С. 77-84. – DOI 10.53914/issn2311-6870_2023_1_77. – EDN EAATEL.
12. Разработка отечественного высокоточного термометра для инкубаторов / А. Н. Судаков, О. А. Липа, Д. А. Липа [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2023. – Т. 70, № 4(53). – С. 95-101. – DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-95-101. – EDN SKDXDI.
13. Картавцев, В. В. Внутренние перенапряжения в сельских электрических сетях и система их ограничения / В. В. Картавцев, Д. Н. Афоничев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 1(60). – С. 128-134. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.128. – EDN HZUNKL.
14. Углекислый газ: проблемы нормирования, контроля и профилактики неблагоприятного воздействия в образовательных организациях / И. И. Новикова, А. В. Сорокина, М. А. Лобкис [и др.] // Российский вестник гигиены. – 2023. – № 4. – С. 18-28. – DOI 10.24075/rbh.2023.081. – EDN RAJIEY.
15. Robertson DS. Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. Current Science. 2006; 90 (12): 1607–9.

References

1. Okur, Nezhil & Eratalar, Sabri & Yigit, Ayse & Kutlu, Tuncer & Kabakçi, Ruhi & Ozsoy, Sule. (2022). Effects of Incubator Oxygen and Carbon Dioxide Concentrations on Hatchability of Fertile Eggs, Some Blood Parameters and Histopathological Changes of Broilers with Different Parental Stock Ages in High Altitude. 101. 1-13. 10.1016/j.psj.2021.101609.

2. Ozlu, Serdar & Uçar, Ahmet & Banwell, R & Elibol, O. (2018). The effect of increased concentration of carbon dioxide during the first 3 days of incubation on albumen characteristics, embryonic mortality and hatchability of broiler hatching eggs. *Poultry Science*. 98. 10.3382/ps/pey464.
3. Izmeneniya sodержaniya kisloroda v gorodskom vozduxe pod vozdejstviem prirodny`x i antropogenny`x faktorov / A. S. Ginzburg, A. A. Vinogradova, E. A. Lezina, M. A. Pomelova // *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Fizika atmosfery` i okeana*. – 2023. – V. 59, № 4. – S. 437-449. – DOI 10.31857/S0002351523040065. – EDN YNGQLA. (In Russ.)
4. Romanoff, Alexis. (2005). Effect of composition of air on the growth and mortality of the chick embryo. *Journal of Morphology*. 50. 517 - 525. 10.1002/jmor.1050500210.
5. Dy`xatel`naya aktivnost` kurinogo e`mbriona pri vy`sokix urovnyax uglekislogo gaza / I. P. Saleeva, A. V. Ovchinnikov, Yu. I. Pashhenko [i dr.] // *Pticevodstvo*. – 2021. – № 5. – S. 37-41. – DOI 10.33845/0033-3239-2021-70-5-37-41. – EDN DTPPRL. (In Russ.)
6. *Rukovodstvo po texnologii inkubacii yaicz Lohmann Tierzucht*. – Cuxhaven. – 2020. – 13 s.
7. Massoobmen vozduxa v inkubatorax s uchetom dy`xatel`noj aktivnosti kuriny`x e`mbriionov / I. P. Saleeva, A. V. Ovchinnikov, Yu. I. Pashhenko [i dr.] // *Pticevodstvo*. – 2021. – № 7-8. – С. 50-55. – DOI 10.33845/0033-3239-2021-70-7-8-50-55. – EDN EYFFEL.
8. Castaño Vázquez, Francisco & Merino, Santiago & Cuezva, Soledad & Sanchez-Moral, S.. (2020). Nest Gasses as a Potential Attraction Cue for Biting Flying Insects and Other Ectoparasites of Cavity Nesting Birds. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 8. 258. 10.3389/fevo.2020.00258.
9. Deeming, Denis. (2016). How does The Bird-nest Incubation Unit Work?. *Avian biology research*. 9. 103-113. 10.3184/175815516X14567543242701.
10. Onagbesan, Okanlawon & Bruggeman, Veerle & Smit, Luhna & DEBONNE, M. & WITTERS, A. & Tona, Jacob & Everaert, Nadia & Decuyper, Eddy. (2007). Gas exchange during storage and incubation of Avian eggs: Effects on embryogenesis, hatchability, chick quality and post-hatch growth. *World's Poultry Science Journal*. 63. 557 - 573. 10.1017/S0043933907001614.
11. Sovremenny`e resheniya v oblasti kontrolya temperatury` iskusstvennoj inkubacii yaicz pticz / A. N. Sudakov, E. A. Andrianov, N. I. Skuratov, A. A. Andrianov // *Texnologii i tovarovedenie sel'skoxozyajstvennoj produkcii*. – 2023. – № 1(20). – S. 77-84. – DOI 10.53914/issn2311-6870_2023_1_77. – EDN EAATEL. (In Russ.)
12. Razrabotka otechestvennogo vy`sokotochnogo termometra dlya inkubatorov / A. N. Sudakov, O. A. Lipa, D. A. Lipa [i dr.] // *E`lektrotexnologii i e`lektrooborudovanie v APK*. – 2023. – T. 70, № 4(53). – S. 95-101. – DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-95-101. – EDN SKDXDI. (In Russ.)
13. Kartavcev, V. V. Vnutrennie perenapryazheniya v sel'skix e`lektricheskix setyax i sistema ix ograničeniya / V. V. Kartavcev, D. N. Afonichev // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2019. – T. 12, № 1(60). – S. 128-134. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.128. – EDN HZUNKL.
14. Uglekisly`j gaz: problemy` normirovaniya, kontrolya i profilaktiki neblagopriyatnogo vozdejstviya v obrazovatel`ny`x organizacijax / I. I. Novikova, A. V. Sorokina, M. A. Lobkis [i dr.] // *Rossijskij vestnik gigieny`*. – 2023. – № 4. – S. 18-28. – DOI 10.24075/rbh.2023.081. – EDN RAIJEY. (In Russ.)
15. Robertson DS. Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. *Current Science*. 2006; 90 (12): 1607–9.

Информация об авторах

А.Н. Судаков – кандидат сельскохозяйственных наук; Е.А. Андрианов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; А.А. Андрианов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; Н.И. Скуратов – заведующий отделом Орнитологии.

Information about the authors

A. Sudakov – Candidate of Agricultural Sciences; E. Andrianov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor; A. Andrianov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; N. Skuratov - head of the Ornithology department

Вклад авторов: Судаков А.Н. – экспериментальные исследования, написание исходного текста; Андрианов Е.А. – научное руководство, итоговые выводы; Андрианов А.А. – разработка программного обеспечения; Скуратов Н.И. - концепция исследования, развитие методологии.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: Sudakov A. - experimental research, writing of the original text; Andrianov E. - scientific supervision, final conclusions; Andrianov A. - software development; Skuratov N. - research concept, development of methodology.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 29.06.2024 Принята к публикации (Accepted): 20.08.2024