

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет тваринництва та водних біоресурсів**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри технологій у  
птахівництві, свинарстві та вівчарстві,  
д. с.-г. н., професор  
Вадим ЛИХАЧ  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему: «Сучасні тенденції та інновації у технології інкубації курячих яєць»**

Спеціальність 204 «Технологія виробництва і переробки продукції  
тваринництва» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**Гарант освітньої програми**

д. с.-г. н., професор \_\_\_\_\_ Наталія ПРОКОПЕНКО  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи**

д. і. н., доцент \_\_\_\_\_ Вікторія МЕЛЬНИК  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Соломія ВОЛОЩУК  
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет тваринництва та водних біоресурсів

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технологій у  
птахівництві, свинарстві та вівчарстві  
д. с.-г. н., професор Вадим ЛИХАЧ  
“25” листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студентки  
Волощук Соломії Вадимівні**

Спеціальність 204 «Технологія виробництва і переробки продукції  
тваринництва»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **«Сучасні тенденції та інновації у  
технології інкубації курячих яєць»**

Затверджена наказом ректора НУБіП України від «25» жовтня 2024 р. №1910 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.05.12  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: опубліковані результати  
проведених наукових досліджень зарубіжних і вітчизняних учених щодо  
технології інкубації яєць курей

Перелік питань, які потрібно розробити: вивчити сучасний стан технологічних  
підходів до інкубації курячих яєць, ознайомитися з дослідженнями зарубіжних і  
вітчизняних учених щодо технологічного обладнання інкубаторію, якості  
інкубаційних яєць, режимів інкубації, чинників, від яких залежить вивід  
курчат.

Перелік графічних документів: таблиці, рисунки

Дата видачі завдання “ 25 ” листопада 2024 р.

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи,**

д. і. н., доцент

**Завдання прийняв до виконання**

Вікторія МЕЛЬНИК

Соломія ВОЛОЩУК

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЯКІСТЬ КУРЯЧИХ ІНКУБАЦІЙНИХ ЯЄЦЬ, УМОВИ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕДІНКУБАЦІЙНА ОБРОБКА.....	8
1.1. Вимоги до якості яєць.....	8
1.2. Вплив терміну зберігання на якість інкубаційних яєць.....	11
1.3. Методи і засоби дезінфекції яєць.....	14
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ІНКУБАТОРІЮ ТА СУЧАСНИХ ІНКУБАТОРІВ.....	19
2.1. Інкубаторій та його обладнання .....	19
2.2. Характеристика сучасних інкубаторів.....	25
РОЗДІЛ 3. ЧИННИКИ РЕЖИМУ ІНКУБАЦІЇ.....	32
3.1. Температура.....	32
3.2. Вологість.....	34
3.3. Повітрообмін та повертання яєць.....	36
3.4. Освітлення.....	40
РОЗДІЛ 4. ІННОВАЦІЇ У ВИЗНАЧЕННІ СТАТІ ЕМБРІОНІВ.....	45
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	50
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота «Сучасні тенденції та інновації у технології інкубації курячих яєць» викладена на 66 сторінках комп'ютерного тексту і містить 4 рисунки, 10 таблиць, 70 посилань на літературні джерела.

**Структура роботи:** кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і пропозицій та списку використаних джерел.

**Мета дослідження:** проаналізувати літературні джерела щодо сучасних тенденцій у технології інкубації курячих яєць.

**Предмет дослідження:** обладнання для інкубаторію, якість інкубаційних яєць, показники виводу курчат.

**Об'єкт дослідження:** технологія інкубації курячих яєць.

**Методи дослідження:** аналізу й синтезу, контент-аналізу.

За результатами аналізу літературних джерел встановлено, що інкубаційні яйця мають відповідати встановленим стандартам. Рівень виводимості безпосередньо залежить від тривалості зберігання яєць. Доведено, що кожна зайва доба після семиденного терміну зберігання спричиняє збільшення середнього часу виводу приблизно на одну годину та знижує виводимість на 1,17%. На даний час набувають поширення інтелектуальні інкубатори, оснащені програмним забезпеченням і підключенням до інтернету, що дозволяє віддалено контролювати температурний режим, рівень вологості, вентиляцію та загальний розвиток ембріонів через мобільні застосунки. Масове вибракування добових півників стало етичною проблемою у яєчному птахівництві, оскільки суперечить принципам благополуччя та гуманного ставлення до птиці. Наразі активно ведуться наукові пошуки, спрямовані на визначення статі ембріонів на ранніх стадіях розвитку. У промисловості вже впроваджено спеціалізоване устаткування, яке дозволяє виявляти ембріони чоловічої статі й вилучати відповідні яйця до початку інкубації.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КУРИ, ІНКУБАЦІЙНІ ЯЙЦЯ, ІНКУБАЦІЯ, ІНКУБАТОРИ, ЯКІСТЬ ЯЄЦЬ, РЕЖИМ ІНКУБАЦІЇ, ВИВІД КУРЧАТ

## ABSTRACT

The bachelor's qualification work “Modern trends and innovations in chicken egg incubation technology” is presented on 66 pages of computer text and contains 4 figures, 10 tables, 70 references to literary sources.

**Structure of the work:** the qualification work consists of an introduction, five chapters, conclusions and suggestions, and a list of references.

**Purpose of the study:** to analyze the literature on current trends in the technology of chicken eggs incubation.

**Subject of the study:** hatchery equipment, quality of hatching eggs, chick hatching rates.

**Object of research:** technology of incubation of chicken eggs.

**Research methods:** analysis and synthesis, content analysis.

Based on the results of the literature analysis, it was found that hatching eggs must meet the established standards. The level of hatchability directly depends on the duration of egg storage. It has been proven that each extra day after the seven-day storage period increases the average hatching time by about one hour and reduces hatchability by 1.17%. Currently, smart incubators equipped with software and an Internet connection are becoming more widespread, allowing remote control of temperature, humidity, ventilation, and the overall development of embryos via mobile applications. The mass culling of day-old cockerels has become an ethical issue in egg farming, as it contradicts the principles of welfare and humane treatment of poultry. Research is currently underway to determine the sex of embryos at the early stages of development. The industry has already introduced specialized equipment that allows for the detection of male embryos and the removal of the corresponding eggs before incubation.

**KEYWORDS:** HENS, HATCHING EGGS, INCUBATION, HATCHERIES, EGG QUALITY, INCUBATION REGIME, HATCHING OF CHICKENS

## ВСТУП

Інкубація яєць займає одну із визначальних ланок технологічного процесу при інтенсивному веденні галузі птахівництва. Це біологічно обґрунтована та технічно забезпечена технологія відтворення птиці в штучних умовах у будь-яку пору року. У технологічному ланцюжку виробництва продукції птахівництва (курячих яєць і м'яса бройлерів) саме вона є фундаментальним процесом з відносною невеликою тривалістю (21 діб), результати якого визначають кінцеві показники роботи птахофабрик [21].

Куряче м'ясо є одним із основних видів продукції птахівництва і попит на нього має постійну тенденцію до зростання через збільшення населення світу [62], а оскільки для отримання такої кількості курятини необхідна значна чисельність птиці для забою, то вирішують це питання використанням штучного методу виведення молодняку.

Ефективність процесу інкубації визначається рівнем виводу, збереженості та подальшої продуктивності птиці [13]. Цей процес характеризується створенням оптимальних умов для запліднених яєць, котрі забезпечують правильний розвиток ембріонів і вивід якісного молодняку [60]. Технологія штучної інкубації дозволяє виводити значні партії молодняку з яєць без використання традиційного методу висиджування, а саме: квочки, який не підходить для комерційного виробництва продукції.

Штучна інкубація передбачає використання спеціального обладнання, а саме: інкубаторів різних типів, обладнаних електронними засобами контролю для виводу курячих яєць. Успішна інкубація та виведення молодняку залежать від декількох чинників, включаючи метод інкубації, вимоги до інкубатора та управління ним, режим інкубації та конструкцію інкубатора [4].

Одним із ключових показників ефективно проведеної інкубації є кількість отриманого кондиційного добового молодняку. Якість курчат визначається кількома загальними показниками, а саме: розміром та анатомічними особливостями, фізіологією, міцністю та життєздатністю протягом першого тижня після виведення. Якість курчат є ключовим чинником для птахофабрик,

оскільки вона позитивно корелює із загальною продуктивністю стада, особливо з несучістю, життєздатністю та благополуччям птиці [66].

На якість інкубаційного яйця в основному мають вплив такі чинники як стан здоров'я та вік батьківського поголів'я, ветеринарні препарати, якість корму та води, тип утримання, мікроклімат, відсоток і якість самців, терміни збору інкубаційних яєць тощо [26]. Тоді як на результати виводу молодняку – якість яєць, термін зберігання та обробка яєць перед інкубацією, умови інкубування, а саме: вологісно-температурний режим, регулярність вентиляції та повертання лотків під час інкубації, стан шкаралупи, форма, розмір та маса яєць [13].

Але попри розвиток технологій і методів управління в птахівництві, низький рівень виводимості яєць, а також незадовільна якість курчат залишаються найбільшими проблемами для інкубаторіїв. Низький рівень виводимості зумовлений різними чинниками [39].

Тому нині в Україні, як і в інших країнах, намагаються використовувати сучасне інкубаційне обладнання, впроваджувати інноваційні технології в інкубації, щоб отримувати якісний життєздатний молодняк за високих показників виводимості яєць.

У зв'язку з цим, *метою роботи було* проаналізувати літературні джерела щодо сучасних тенденцій у технології інкубації курячих яєць.

Для досягнення даної мети були поставлені та вирішені наступні *завдання*:

- ознайомитися з дослідженнями вчених щодо якості яєць, умов їх зберігання та передінкубаційної обробки;
- охарактеризувати устаткування сучасного інкубаторію;
- проаналізувати чинники режиму інкубації та їх вплив на виводимість яєць і вивід молодняку;
- дослідити інноваційні методи визначення статі ембріонів.

## РОЗДІЛ 1

### ЯКІСТЬ КУРЯЧИХ ІНКУБАЦІЙНИХ ЯЄЦЬ, УМОВИ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕДІНКУБАЦІЙНА ОБРОБКА

#### 1.1. Вимоги до якості яєць

Інкубаційне яйце містить живий ембріон, який має весь генетичний потенціал. Для того, щоб ембріон міг реалізувати цей потенціал під час інкубації та в подальшому як молодняк, так і доросла продуктивна птиця, висока інкубаційна якість яйця має вирішальне значення [25].

Якість інкубаційних яєць є основним підґрунтям проведення ефективної інкубації. Відбір яєць для подальшої інкубації здійснюють від здорового батьківського поголів'я.

Під час збору інкубаційних яєць рекомендується дотримуватися наступних загальних правил [55]:

- їх потрібно збирати щогодини між 10:00 та 15:00, щоб забезпечити якість яєць, особливо при температурі вище 29,4 °С;
- яйця, зібрані з гнізд, а також ті, що лежать на підлозі, необхідно збирати окремо, щоб мінімізувати забруднення.
- якщо будь-яке з яєць, особливо те, що лежить на підлозі, забруднене, його не можна використовувати для інкубації.
- яйця необхідно перевіряти на чистоту одразу після збору та ті, які візуально чисті, або мають невелику кількість налиплого бруду, котрий можна легко очистити, зберігаються для інкубації;
- інкубаційні яйця не можна мити, оскільки бактерії можуть проникнути через пористу шкаралупу і потрапити всередину яйця, миття також видаляє захисну плівку зі шкаралупи, що полегшує проникнення небажаної мікрофлори;
- інкубують лише яйця середнього розміру, оскільки з надмірно великих яєць вивід низький; з дрібних яєць – маленькі, нежиттєздатні пташенята.

J. Junaedi and N. Husnaen [35] вказують, що для досягнення високої фінальної живої маси птиці перед реалізацією необхідно відбирати лише якісні інкубаційні яйця середньої маси. Маса інкубаційних яєць позитивно корелює з живою масою добового молодняку. Чим більша маса яйця, тим більшою буде маса курчат у добовому віці. До того ж, вчені виявили низьку негативну кореляцію між масою інкубаційних яєць та її втратою під час інкубації (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

## Характеристики інкубаційних яєць [35]

№	Середня маса яйця при закладанні в інкубатор, г	Середня маса яйця на 18-у добу інкубації, г	Втрати маси інкубаційного яйця, %	Середня жива маса добового курчати, г
1	40	35,5	11,25	30
2	40	36	10,00	30
3	45	40,5	10,00	35
4	50	45	10,00	38,5
5	45	40	11,11	35
6	50	44,5	11,00	38
7	45	40	11,11	34,5
8	45	40,5	10,00	35
9	50	45	10,00	39,5
10	45	40,5	10,00	34
11	50	45	10,00	39,5
Середнє значення	45,91±3,75	41,13±3,43	10,40±0,56	35,36±3,33
Кореляційний зв'язок між масою інкубаційного яйця з живою масою добового молодняку				0,98
Кореляційний зв'язок між масою інкубаційного яйця та втратою маси яйця				-0,25

Є багато чинників, які впливають на якість отриманого молодняку, починаючи від запліднення яйцеклітини до посадки добових курчат [3]. Безпосередньо, батьківське поголів'я має прямий вплив на рівень виводимості

та якості отриманих інкубаційних яєць, зокрема, його стан здоров'я, вік, годівля, жива маса, сезон року тощо [57].

Що стосується вимог до якості інкубаційних яєць курей в Україні, то вони представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

## Вимоги до якості інкубаційних яєць курей [2]

Показник	Кури яєчні		Кури м'ясо-яєчні та м'ясні
	яйця з коричневою шкаралупою	яйця з білою шкаралупою	
Заплідненість яєць, %, не менше	90	92	85
Виводимість яєць, %, не менше	83	84	83 (79*)
Вивід курчат, %, не менше	75	77	71 (67*)
Маса яєць для відтворення промислового стада, г	50-67	50-67	50-70
Маса яєць для відтворення племінних та батьківських стад, г	52-56	52-65	52-65
Щільність яєць, г/см <sup>3</sup> , не менше	1,075	1,070	1,070
Індекс форми яєць, %:			
батьківського стада	74-78	73-78	73(74*)-78
промислового стада	74-80	73-82	74-80 (82*)
Висота повітряної камери, не більше, мм	2,2	2,0	2,0 (2,2*)
Товщина шкаралупи (без підшкаралупної оболонки), мм, не менше	0,30	0,30	0,32
Вміст вітамінів, мкг/г, (не менше)			
у жовтку: каротиноїдів	15,0	15,0	18,0
вітаміну А	6,0	6,0	7,0
вітаміну В <sub>2</sub>	4,0	4,0	5,0
у білку: вітаміну В <sub>2</sub>	2,0	2,0	3,0

Е. Helander [28] наводить результати досліджень, які свідчать, що маса інкубаційного яйця впливає на вивід і пізню смертність ембріонів (рис. 1.1).

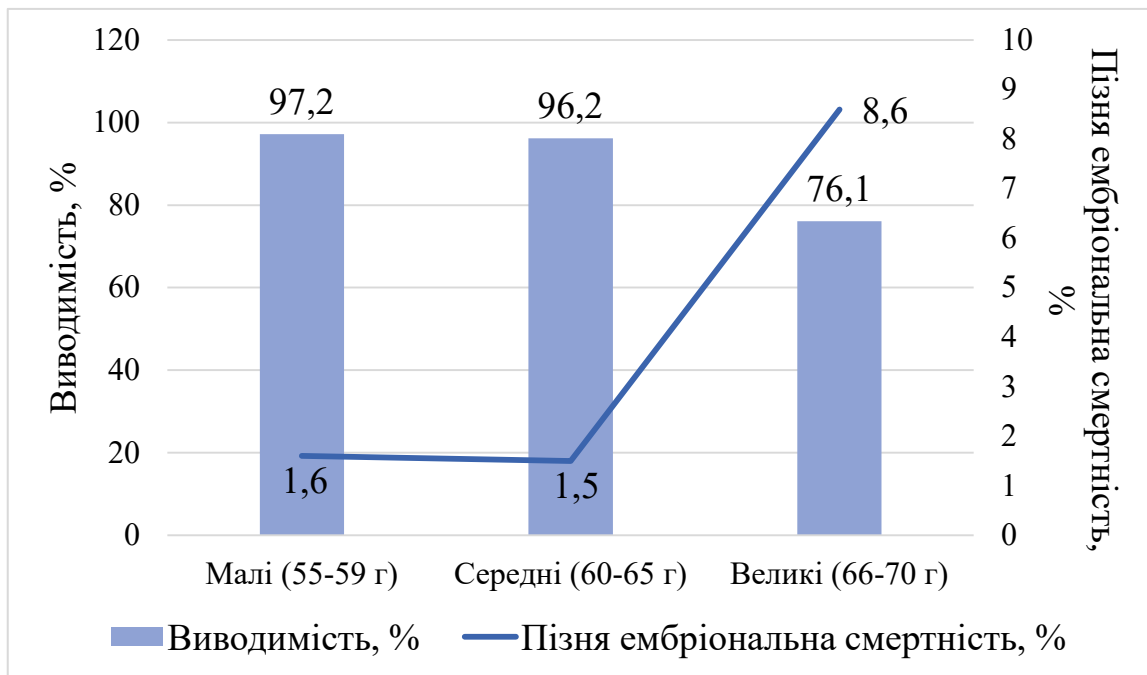


Рис. 1.1. Маса інкубаційного яйця та її вплив на виводимість та пізню ембріональну смертність [28]

Таким чином, найвищу виводимість (97,2 %) мають яйця масою 55-59 г, при цьому пізня смертність ембріонів становить лише 1,6 %, тоді як яйця масою 66-70 г характеризуються іншими показниками – 76,1 і 8,6 %, відповідно.

На рівень виводимості можуть впливати й деякі чинники до та під час інкубації, включаючи умови зберігання, обробку яєць та сам технологічний процес. Наприклад, приміщення та умови інкубування, температура, вологість, частота повертання лотків, вентиляція та положення яєць [57].

## 1.2. Вплив терміну зберігання на якість інкубаційних яєць

Одним із чинників є середовище, яке оточує запліднені яйця під час їх зберігання. Практично не можна повністю уникнути зберігання курячих яєць упродовж певного періоду після їх знесення до закладання на інкубацію. Причина полягає в тому, що яйця протягом деякого часу перед закладкою

повинні залишатися на зберіганні, оскільки найкращий ембріональний розвиток і виводимість досягаються в яйцях, які зберігаються протягом 3-5 діб після знесення [3, 48]. L. Janikovičová [33] також вказує, що оптимальний термін зберігання курячих ембріонів становить 3 доби, що обумовлює найнижчий рівень смертності та вад розвитку у процесі інкубації, тоді як A.O. Ayeni et al. [9], стверджують, що цей термін не повинен перевищувати 4 доби [9]. Крім того, температуру яєць необхідно знизити до фізіологічного нуля, приблизно від 15 до 16 °С, щоб зупинити подальший розвиток ембріона (ембріональна діапауза) перед інкубацією [57].

Однак є й інші дані. Так, M. O. Abioja et al. [3] стверджують, що яйця курей, які закладені одразу (між 2 та 14 годинами) після знесення, мали найвищу виводимість (85%), яка постійно знижувалася в міру збільшення терміну зберігання яєць. Зберігання протягом 3, 6, 9 і 12 діб обумовило виводимість яєць на рівні, відповідно, 67, 45, 42 і 36%. Зменшення виводимості пояснюється втратою якості жовтка та білка.

Внаслідок тривалого зберігання якість інкубаційного яйця погіршується, а виводимість запліднених яєць поступово знижується і це пов'язано зі зміною метаболічної активності ембріонів. A. Bilalissi et al. [12] зазначають, що кожне подовження терміну зберігання знижує виводимість яєць шляхом збільшення ембріональної смертності. Крім того, кожна додаткова доба зберігання після знесення яєць, що перевищує 7 діб, призводить до подовження середнього часу виводу на одну годину через сповільнений розвиток. Підтвердженням даної інформації стало проведення низки досліджень, у результаті яких було виявлено, що кожна доба подовження часу зберігання яєць призводив до втрати їх виводимості на 1,17% [3]. V.A. Uyanga et al. [67] стверджують, що зниження виводимості також є наслідком поєднання втрати маси яєць через збільшення втрати CO<sub>2</sub> крізь яєчну шкаралупу, в той час A. Bilalissi et al. [12] підтверджують, що це призводить до підвищення рН білка, має негативний вплив на початок ембріонального розвитку, обумовлює зниження одиниць Хау, якості жовтка та білка, а також збільшення відсотка загиблих зародків.

Більш тривалі періоди зберігання яєць призводять до появи курчат із суттєвими аномаліями та нижчими показниками якості. Курчата з аномаліями характеризуються низьким рівнем активності, мокрим і брудним оперенням, закритими очима, неправильною постановою кінцівок, незакритим і знебарвленим пупковим кільцем й наявністю великого залишкового жовтка [3].

Також тривале зберігання інкубаційних яєць впливає на початок та кінець виводу. Так, вивід починається раніше в групах зберігання 0 і 3 діб, ніж в інших. Відомо, що подовження часу зберігання спричиняє затримку початку виводу яєць. Результати дослідження проведені М. О. Абіоґа et al. [3] свідчать, що яйця, які зберігалися протягом 6, 9 і 12 діб, досягли 50 % виводу за 489,3, 492,3 і 488,5 години інкубації відповідно. Це значно довше у порівнянні з таким самим відсотком виводу яєць, які зберігалися 0 і 3 доби, а саме: 482,5 і 481,0 годин відповідно. При цьому, «вікно виводу» поступово скорочувалося з подовженням терміну зберігання інкубаційних яєць. Так, у яєць, які були закладені на інкубацію одразу після знесення, воно становило 21 годину, а в тих, що зберігалися 3, 6, 9, 12 діб – 28,5; 24,0; 19,5; 6 годин відповідно [3].

Затримка початку виводу, подовження тривалості інкубації та скорочення «вікна виводу» може спричинити нерегулярність у технологічних операціях інкубації, оскільки багато курчат ще не вилупилися, а деякі вже перебувають в інкубаторі. Це пояснюється затримкою початку ембріогенезу та повільним темпом ембріонального розвитку після тривалого зберігання. Погіршення розвитку ембріонів спричиняє аномалії, зниження життєздатності, підвищення смертності ембріонів, зменшення виводу, якості та маси курчат [57].

М. О. Абіоґа et al. стверджує [3], що деякі з показників якості курчат також залежать від тривалості передінкубаційного зберігання яєць та умов навколишнього середовища. Основними з них є жива маса курчат у добовому віці, адже саме вона як складова якості виведеного молодняку, є важливою для раннього росту та подальшого розвитку після виводу. Нижчою вона є у курчат, виведених з яєць, які зберігалися тривалий час. Крім цього, курчата, які були

виведені з яєць, тривалість зберігання котрих становила більше 9 діб були значно меншої довжини, ніж інші. Результати відповідних досліджень представлені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

**Вплив тривалості зберігання яєць на якість курчат [3]**

Показник	0 діб	3 доби	6 діб	9 діб	12 діб
Маса курчати, г	37,2 ± 0,47	36,5 ± 0,50	37,5 ± 0,66	34,7 ± 1,04	32,7 ± 1,48
Довжина курчати, см	17,1 ± 0,08	17,1 ± 0,09	17,0 ± 0,12	16,5 ± 0,18	16,1 ± 0,26

A. Bilalissi et al. [12] пояснює знижену живу масу недорозвиненням травної системи курчат під час інкубації. Такі курчата зазвичай мають менш розвинуту травну систему й неефективно засвоюють вуглеводи та протеїн корму, у порівнянні з курчатами, виведеними з яєць після 3-добового передінкубаційного зберігання [12]. До того ж, як повідомляє D. P. Rahardja et al. [57], втрата маси менших яєць є вищою, ніж більших.

### 1.3. Передінкубаційна обробка яєць

Не менш важливим є підхід до обробки яєць перед закладкою на інкубацію. Дезінфекція інкубаційних яєць є важливим етапом, який зменшує бактеріальне забруднення під час виробництва продукції птахівництва, запобігаючи проблемам з виводимістю та продуктивністю молодняку. Тоді як надмірне забруднення цих яєць, навпаки, призводить до зниження інкубаційної якості, росту та подальшої продуктивності виведених курчат [51].

Незважаючи на те, що в сучасному веденні галузі птахівництві надзвичайно важливо підтримувати санітарно-гігієнічні стандарти на високому рівні, неможливо забезпечити отримання інкубаційних яєць, які були б вільні від будь-яких мікроорганізмів, оскільки яйця від початку знесення можуть контактувати з. Загалом у великомасштабному виробництві інкубаційних яєць

присутність деяких брудних яєць є майже неминучою [44]. Тому інкубаційні яйця вироблені у промислових масштабах завжди несуть в собі певну мікробну флору, яка в основному складається з грампозитивних бактерій, що походять з пилу, підстилки або посліду [61].

Використання ефективного дезінфікуючого засобу на поверхні яєчної шкаралупи є важливим для зменшення можливості зовнішнього та внутрішнього забруднення. Однак неадекватне застосування таких засобів, навпаки, дозволяє мікроорганізмам проникнути крізь пори яєчної шкаралупи. Ці мікроорганізми руйнують ембріон з середини і, внаслідок, тим самим знижують ефективність інкубації [51].

Дезінфікуючі засоби не тільки повинні діяти на мікроорганізми поверхні шкаралупи яйця, але в ідеалі також проникати в пори, при цьому не впливаючи на життєздатність ембріона, виводимість або загальну продуктивність виведених курчат [47].

Нині золотим стандартом дезінфікуючого засобу вважають формальдегід, він зазвичай використовується, оскільки є недорогим, простим у застосуванні та ефективний. Однак він подразнює верхні дихальні шляхи є канцерогенним, що робить його використання небезпечним для персоналу інкубаторію та молодняку птиці [63].

Тому будь-який такий альтернативний дезінфікуючий засіб має бути екологічно чистим і нешкідливим для здоров'я людини та тварини. Такими альтернативними дезінфікуючими засобами можуть вважатися: опромінення ультрафіолетовим світлом, дифракція електронів низької енергії, обприскування перекисом водню, надацетатною кислотою, етанольним екстрактом прополісу, ефірними маслами, фумігація озоном [41, 47].

За дослідженнями E. F. Melo et al. [41] обробка ультрафіолетовим світлом ефективно зменшує кількість бактерій на поверхні яєчної шкаралупи, яйця оброблені таким способом характеризуються досить високим відсотком виводимості та низьким – смертності ембріонів. Використання такого способу дає можливість отримати 98,43% кондиційного молодняку з партії.

Дослідження G. Motola et al. [47] виявили, що опромінення електронами низької енергії забезпечує зниження смертності та живої маси добового молодняку під час виводу, високий рівень виводу та бактерицидної ефективності. Цей метод є перспективним і потребує подальшого розгляду.

E. F. Melo et al. [41] підтвердили, що перекис водню загалом має високу бактерицидну ефективність, дещо підвищує виводимість, але також і смертність, тоді як живу масу, навпаки знижує, в порівнянні з іншими альтернативними засобами дезінфекції, але попри це відсоток придатних для реалізації курчат становив 99,21 %.

E. F. Melo et al. [41] також підтвердили, що надацетатна кислота має високу бактерицидну ефективність, навіть дещо вищу ніж при застосуванні формальдегіду, виводимість яєць після обробки була високою, а смертність ембріонів – низькою. Відсоток придатних для подальшого вирощування курчат – 98,86 %.

G. D. S. Oliveira et al. [51] виявили, що ефективність використання ефірних олій залежить від способу їх застосування. Так, нанесення ефірної олії спреєм характеризується зниженою виводимістю, масою тіла та підвищеною смертністю ембріонів, тоді як запотіванням, навпаки, підвищує виводимість та знижує смертність. G. Bekhet та A.Y. Z. Khalifa [10], також підтверджують ефективність застосування цього дезінфікуючого засобу.

Використання етанольного екстракту прополісу демонструє незадовільні показники виводу, живої маси та підвищену смертність добового молодняку. І тому не рекомендується для подальшого використання згідно проведених досліджень G. D. S. Oliveira et al. [51].

І ще одним дезінфектором при обробці інкубаційних яєць, як вказує E.F. Melo et al. [41], є озон. Його використання характеризується задовільними бактерицидною дією і рівнем виводимості та низькою смертністю ембріонів. Відсоток отримання кондиційного молодняку за використання цього методу становить 97,13 %.

Порівняльна характеристика використання альтернативних дезінфікуючих засобів з формальдегідом перед інкубацією узагальнена та наведена у таблицях 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.4

**Виводимість, рання та пізня ембріональна смертність залежно від засобу дезінфекції [41, 63, 51]**

Дезінфікуючий засіб	Виводимість, %	Рання ембріональна смертність, %	Пізня ембріональна смертність, %	Рівень обсіменіння після дезінфекції, $\log_{10}$ КУО/мл
Формальдегід	86,42 ± 1,93 [41]	6,27 ± 0,86 [41]	3,03 ± 0,68 [41]	1,85 ± 0,27 [41]
Озон	86,64 ± 1,44 [41]	6,17 ± 0,85 [41]	2,81 ± 0,67 [41]	2,33 ± 0,22 [41]
УФ-С	87,57 ± 1,59 [41]	6,06 ± 1,26 [41]	2,16 ± 0,46 [41]	1,64 ± 0,21 [41]
Перекис водню	86,37 ± 1,38 [41]	7,03 ± 0,77 [41]	2,05 ± 0,56 [41]	2,13 ± 0,13 [41]
Надацетатна кислота	88,23 ± 1,14 [41]	6,71 ± 0,73 [41]	1,95 ± 0,41 [41]	1,48 ± 0,25 [41]
Ефірна олія	92,37 ± 3,25 [51]	3,03 ± 3,50 [51]	4,60 ± 5,95 [51]	2,20 ± 0,19 [51]
Етанольний екстракт прополісу	51,39 ± 5,81 [51]	11,98 ± 4,30 [51]	41,69 ± 8,78 [51]	2,41 ± 0,28 [51]
Опромінення електронами низької енергії	96,01 ± 3,03 [63]	7,1 ± 0,21 [63]	1,45 ± 0,43 [63]	1,52 ± 0,23 [63]

Таблиця 1.5

**Вплив дезінфекції на втрату масу яєць та живу масу виведених курчат [41, 63, 51]**

Дезінфікуючий	Маса яйця	Маса яйця під	Втрата маси	Жива маса
---------------	-----------	---------------	-------------	-----------

засіб	перед закладкою, г	час перенесення, г	яєць, %	добового курчати, г
1	2	3	4	5
Формальдегід	70,36 ± 0,17 [41]	62,69 ± 0,21 [41]	10,91 ± 0,13 [41]	47,65 ± 0,31 [41]
Озон	70,75 ± 0,20 [41]	62,94 ± 0,42 [41]	11,04 ± 0,47 [41]	48,05 ± 0,46 [41]

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5
УФ-С	70,60 ± 0,14 [41]	63,08 ± 0,16 [41]	10,63 ± 0,16 [41]	47,84 ± 0,39 [41]
Перекис водню	70,30 ± 0,17 [41]	62,73 ± 0,19 [41]	10,76 ± 0,19 [41]	48,03 ± 0,26 [41]
Надацетатна кислота	70,56 ± 0,19 [41]	62,81 ± 0,18 [41]	10,97 ± 0,18 [41]	48,20 ± 0,24 [41]
Ефірна олія	60,20 ± 4,78 [51]	52,11 ± 4,57 [51]	12,96 ± 3,33 [51]	41,22 ± 7,83 [51]
Етанольний екстракт прополісу	59,69 ± 5,17 [51]	54,14 ± 4,85 [51]	8,59 ± 3,34 [51]	41,69 ± 8,78 [51]
Опромінення електронами низької енергії	59,94 ± 4,98 [63]	53,97 ± 4,91 [63]	10,84 ± 0,51 [63]	41,74 ± 7,32 [63]

Таким чином, застосування альтернативних дезінфікуючих засобів має свої переваги та недоліки. Більшість досліджених препаратів мають позитивний вплив на такі економічно важливі показники інкубації як відсоток виводимості, смертність ембріонів та жива маса добового молодняку.

## **РОЗДІЛ 2**

### **ХАРАКТЕРИСТИКА ІНКУБАТОРІЮ ТА СУЧАСНИХ ІНКУБАТОРІВ**

#### **2.1. Інкубаторій та його обладнання**

Ефективність управління інкубаторієм визначає його загальний успіх. Інкубаторій – це приміщення або будівля, в яких штучно проводиться інкубація яєць птиці в комерційних цілях та інші допоміжні операції, пов'язані з нею. При цьому процес інкубації передбачає попереднє зберігання яєць, підтримання певних температур і рівнів вологості, а також забезпечення заходів біобезпеки для запобігання поширення захворювань. Від отримання яєць до інкубації та сортування курчат – кожен етап має вирішальне значення, а у сукупності вони здатні забезпечити безперервне надходження великої кількості здорового та однорідного за розмірами кондиційного молодняку [6].

Будівля інкубаторію є критично важливим компонентом будь-якої технології галузі птахівництва, і її розміри можуть різнитися в залежності від кількості та розміру машин, які необхідно розмістити в ній. До того ж, кількість молодняку, який необхідно отримати за певний період часу, також впливає на розмір інкубаторію та його обладнання. Будівля інкубаторію повинна бути забезпечена окремими приміщеннями та обладнанням для фумігації, сортування яєць, їх попереднього зберігання, інкубації (інкубатори), виводу (вивідні шафи), сортування курчат, їх тимчасового утримання, транспортування та утилізації відходів. Важливість належного розділення приміщень неможливо переоцінити, оскільки це дозволяє запобігти перехресному забрудненню та підтримувати гігієнічне середовище відповідно встановленим нормам. Загалом,

будівля інкубаторію повинна бути спроектована таким чином, щоб вона могла забезпечити вивід запланованої кількості курчат за певний період часу, а також достатній простір для машин та обладнання, необхідних для технологічного процесу [4].

Будь-який промисловий інкубаторій складається з двох зон, а саме з чистої (інкубаційний зал) та брудної (вивідний зал). Між цими двома зонами існує взаємозв'язок, і неналежне функціонування одної з них безпосередньо впливає на іншу.

Чистою зоною вважається в'їзд та вхід, окремі приміщення для прийому, зберігання, класифікації яєць, фумігації та попереднього прогрівання, інкубаційні зали, приміщення для перенесення яєць з лотків інкубаційних шаф у вивідні та додаткові приміщень для зберігання продезінфікованого найбільш необхідного обладнання. Дотримання певних умов, правил поводження та роботи в цих приміщеннях визначає ефективність інкубації в цілому [6].

Приміщення для прийому яєць є важливим елементом будівлі інкубаторію і повинно розташовуватися біля входу, оскільки в ньому проходить прийом інкубаційних яєць. Особам, які транспортують інкубаційні яйця категорично забороняється входити в будівлю інкубаторію в рамках правил біобезпеки. Таке приміщення також має бути сконструйовано таким чином, щоб запобігти забрудненню яєць під час переміщення в інші приміщення та подальшої обробки. Перед прийомом яєць параметри середовища приміщення, а саме рівень вологості та температура, повинні мати бажаний рівень та бути оптимальними для забезпечення тимчасового перебування [4]. Так, температура повітря повинна знаходитися в межах від 18-20 °С, а відносна вологість – 75-80 %.

Приміщення для зберігання також має бути спроектовано таким чином, щоб забезпечити зберігання яєць за відповідних рівнів температури та вологості (табл. 2.1). При цьому також слід уникати прямого впливу повітря на яйця, швидкість рециркуляції повітря повинна бути зведена до мінімуму. Це необхідно для запобігання надмірного випаровування води з яєць [56].

Так, зі збільшенням терміну зберігання, температура повітря поступово знижується, а відносна вологість, навпаки, дещо зростає. Інкубаційні яєць відбирають за якістю шкаралупи, вагою та кольором. Для майбутньої інкубації залишають лише якісні неушкоджені яйця овальної форми, тоді як неякісні, такі як тріснуті, забруднені кров'ю, брудні, неправильної форми, вибраковуюються.

**Таблиця 2.1**

**Температура та вологість у приміщенні зберігання інкубаційних яєць [6]**

Тривалість зберігання, діб	Температура, °C	Відносна вологість, %
0-3	18-21	75
4-7	15-17	75
8-10	10-12	80-88
10 і більше	10-12	80-88

Відібрані яйця піддають фумігації, тобто знезараженню від небажаної мікрофлори, при цьому використовуючи дезінфікуючі засоби у газоподібному стані, наприклад пари формальдегіду. Обробка парами формальдегіду триває 20-30 хвилин, при температурі повітря 24-25 °C і відносній вологості 65-70 % [6]. Параметри температури і вологості повітря дезінфекційної камери (приміщення для фумігації) повинні становити при вимкненому технологічному обладнанні 20-25 °C і 40-80 %, а при працюючому – 32-35 °C і 60-80 % відповідно. Приміщення для фумігації повинно бути відносно герметичним і обладнаним вентилятором для циркуляції газу та його видалення. Далі проводять попереднє прогрівання яєць перед закладкою в інкубатори, яке допомагає уникнути появи температурного шоку у ембріонів, після їх попереднього зберігання або одразу після відбору та фумігації, це дає змогу забезпечити більш рівномірний початок інкубації і, також, мінімізує утворення конденсату на шкаралупі [6]. Попереднє прогрівання яєць проводять за температури 25-27 °C, відносної вологості – 50-55 %, та тривалістю мінімум від 8 до 12 годин [29].

Оптимальною температурою повітря інкубаційної зали вважається 25 °С, а відносною вологістю – 50-55 %. В цій залі яйця перебувають протягом 18 діб інкубації. Умови середовища інкубаційної зали беруться до уваги лише в тому випадку, коли повітря в інкубатори подається безпосередньо з неї. Інкубаційний зал повинен бути достатньо просторим, щоб можна було легко пересуватися навколо інкубаторів.

Перенесення яєць з лотків інкубаційної зали до вивідної є критичною фазою в процесу інкубації та відбувається у спеціально підготовлених приміщеннях для цього [56].

Параметри середовища приміщення для перенесення яєць з лотків інкубаційних шаф у кошики вивідних такі самі як і для інкубаційної зали. У таких приміщеннях слід уникати протягів, оскільки вони здатні спричинити небажане переохолодження яєць та призвести до зміни положення ембріона (голова над крилами) [56]. Таке положення голови ембріона перешкоджає нормальному руху та можливості повороту ембріона під час початку наддзьобування та знижує ймовірність виводу. Тоді як правильним положенням вважається, коли голова ембріона знаходиться під правим крилом, яке забезпечує більш сприятливі умови для повороту ембріона, подальшого наддзьобування шкаралупи та виводу. Тривалість перенесення яєць не повинна перевищувати 20-30 хвилин, щоб мінімізувати час перебування поза контрольованим середовищем інкубатора. Приміщення для перенесення яєць може також вважатися і кімнатою для овоскопування, необхідна лише наявність відповідного обладнання.

Кожне з приміщень чистої зони повинне бути з'єднане між собою у чіткій послідовності для забезпечення належного рівня біобезпеки. Такий рівень досягається завдяки контролю за рухом персоналу, біологічного матеріалу (інкубаційних яєць) та повітря, що знижує ризик перехресного забруднення та сприяє кращим результатам інкубації [32].

Брудною зоною вважаються вивідні зали, приміщення для виводу, сортування, завантаження та утримання молодняку у кошиках (ящиках) для

подальшого транспортування та мийної, та додаткових стерильних приміщень для зберігання продезінфікованого обладнання [6].

Умови середовища вивідної зали повинні бути наступними: мінімально допустима температура повітря повинна становити 21°C, максимально – 29 °C [32], оптимальна – 25-26 °C, а відносна вологість знаходиться в межах 55-60 % [29].

У приміщенні, де відбувається сортування курчат, підтримується температура на рівні 24-25 °C і вологість 70-75% [6].

Сортують курчат за категоріями, всього їх є три. Молодняк категорії А вважається найбільш придатним для вирощування, характеризується високим показником життєздатності, активний, з чіткою реакцією на звукові подразники та стійко тримається на ногах, ноги чисті, блискучі. Черевце м'яке, підтягнуте; пупкове кільце щільно закрите без ознак запалення або виділень. Клоака чиста, рожева, без патологічних змін. Очі блискучі, ясні. Пух повністю сухий, має м'яку та блискучу структуру, що свідчить про нормальний стан здоров'я курчати. Курчата, які належать до категорії В характеризуються хорошими показниками життєздатності, перевертаються на ноги за 4-10 секунд, п'ята може бути злегка почервоніла, збільшений живіт, підсохлий струпик пупка, ноги дещо сухі та блідні. Курчата категорії С вважаються браком, оскільки характеризуються малорухливістю, не реагують або слабо реагують на зовнішні подразники, не стійкі на ногах, рефлекс перевертання понад 10 секунд або взагалі відсутній. Очі тьмяні, запалі, часто напівзакриті. Черевце збільшене внаслідок наявності значної кількості залишкового жовтка. Пупкове кільце незакрите або має ознаки запального процесу. Клоака забруднена послідом. Пух зріджений, недорозвинений, із недостатнім покриттям [29].

Після сортування курчатам проводять вакцинацію, далі їх переносять у кошики (ящики), а далі готують до відправки, тобто завантажують у продезінфіковані транспортні засоби з термоконтролем. У таких транспортних засобах температура знаходиться на рівні 22-26 °C, а вологість становить 65-70 % [6].

Температура повітря та вологість у приміщенні для тимчасового утримання курчат повинна знаходитися в межах 21-27 °С і 40-50 %. До того ж, у такому приміщенні дуже важливо забезпечити належну вентиляцію для щойно виведеного молодняку, здатну забезпечити надходження відповідної кількості чистого зовнішнього повітря і виведення відпрацьованого. Хоча швидкість рециркуляції повітря повинна бути мінімальною, дуже важливо, щоб усі курчата мали доступ до достатньої кількості циркулюючого повітря насиченого киснем, оскільки навіть короткотривалий вплив повітря низької якості, особливо в першу добу життя, здатен негативно вплинути на показники продуктивності, а також підвищити ризик передачі інфекційних захворювань [32].

Приміщення для миття та дезінфекції устаткування та допоміжного обладнання інших кімнат брудної зони має мати контрольоване середовище з від'ємним тиском по відношенню до решти приміщень інкубаторію, оскільки це забезпечить надходження всього відпрацьованого повітря до цієї кімнати. У цьому приміщенні також повинен бути достатній приплив свіжого повітря. Температура повітря повинна становити 21-27 °С та 3,7-5,0 Па [32].

Додаткові приміщення для зберігання продезінфікованого обладнання повинні забезпечуватися достатнім припливом свіжого повітря, та навпаки, мати позитивний тиск відносно інших приміщень інкубаторію. Температура середовища цих приміщень повинна знаходитися в межах 21-27 °С [32].

Головне технологічне обладнанням будь-якого сучасного інкубаторію знаходиться в таких приміщеннях як інкубаційний та вивідний зали, кімнати для сортування та переведення яєць з інкубаційної зали у вивідну.

Інкубаційна та вивідна зали в основному оснащені інкубаторами, які є автоматичними або автоматизованими. Найважливішою метою цього обладнання є створення оптимальних умов (температура повітря, вологість, вентиляція, освітлення та поворот яєць), необхідних для нормального розвитку ембріона в штучно створеному середовищі, які виконуються за заданою програмою. Існує певна класифікація інкубаторів за способом компонування та

обслуговування (шафвий і кімнатний типи), за призначенням (попередньої інкубації (1-18 діб), вивідні (19-21 діб), інкубаційно-вивідні (1-21 діб)), за способом закладення яєць на інкубацію (багатостадійні, коли яйця в інкубаційних шафах розміщують певними партіями через деякі проміжки часу; одностадійні, в яких в інкубаційну шафу відразу розміщують і піддають інкубації всі яйця), за способом завантаження і типом поворотного механізму (барабанний і візковий типи) [1].

## **2.2. Характеристика сучасних інкубаторів**

Провідні компанії світу розробляють обладнання та устаткування, призначене для відтворення природного середовища інкубації шляхом підтримання штучно заданих параметрів і умов (температура, вологість, склад та потік повітря, поворот). Сучасні інкубатори – це великі машини оснащені передовими технологіями, що використовують електрику, мікропроцесори, комп'ютери, сенсори, напівпровідники, датчики та/або штучний інтелект.

Інкубатори за способом циркуляції повітря умовно поділяються на два типи: з застосуванням природньої або примусової вентиляція. Повітря в перших циркулює шляхом природньої конвекції без застосування вентиляторів або інших допоміжних пристроїв, створюючи при цьому температурні шари (тепле повітря піднімається вгору, а холодне – опускається вниз, тому на різних рівнях реєструються різні температури). Тоді як другі, навпаки, забезпечують циркуляцію повітря навколо яєць під час інкубації за допомогою вентилятора, який підтримує постійну температуру, вологість і рівень кисню [45, 49].

Такі інкубатори обладнанні нагрівальним елементом, термостатом, лотками для повороту яєць, термометром для вимірювання температури повітря, лотками для води і гігрометром для вимірювання вологості, а з примусовою, ще й вентилятором. Інкубатори з природньою вентиляцією зазвичай набагато менші за розмірами та місткістю завантаження яєць, тоді як з примусовою, навпаки [49].

Тому зважаючи на значні переваги інкубатори з примусовою вентиляцією є найкращим варіантом для промислового застосування, оскільки вони є

ефективнішими та здатними забезпечити належні умови для нормального розвитку ембріонів.

Що стосується систем інкубації, то вони бувають багатостадійними або одностадійними. Одностадійна система інкубації, згідно досліджень М. А. Mesquita et al. [42], виявилась кращою, ніж багатостадійна, щодо забезпечення потреб ембріонів під час розвитку, та надає можливість отримати кращі показники виводимості яєць та якості курчат.

Наразі існують різні типи інкубаторів, залежно від джерела енергії, що використовується для їх живлення. За даними М. М. Mohammedjuhar et al. [45], інкубатори можуть працювати на електриці, сонячній енергії, біогазі, твердому паливі (деревне вугілля) або викопному паливі (гас або газ). Різні типи інкубаторів мають свої особливості впливу на виводимість яєць.

Більшість сучасних інкубаторів працюють від електрики, мають автоматичні пристрої для повороту яєць та оснащені автоматичним мікроконтролерами для підтримання належного рівня температури і вологості. Такі інкубатори зручні у використанні та відзначаються низьким енергоспоживанням. Попри численні переваги, інкубатори з електричним живленням мають високу вартість рахунків за електроенергію та можуть стикатися з частими перебоями у роботі через нестабільне та ненадійне енергопостачання [27]. Загалом, електричні інкубатори є ефективними та надійними, але для оптимальної роботи вони потребують постійного електропостачання. За виникнення проблем з постачанням енергії застосовують інші, альтернативні способи живлення інкубатора.

Сонячна енергія набуває все більшої популярності як надійне джерело альтернативної енергії, що може вирішити проблему частих перебоїв в електропостачанні інкубаторіїв. М. М. Mohammedjuhar et al. [45], стверджують, що зосередження уваги на використанні сонячної енергії може в кінцевому підсумку вирішити проблему дефіциту енергії, та запевняють, що використання сонячної енергії є найпривабливішим варіантом для сталого енергопостачання у галузі птахівництва. Використання біогазу, твердого палива або викопного

палива як джерела енергії викликає значні проблеми, починаючи від забруднення навколишнього середовища і закінчуючи можливістю загорання та пожеж. Наприклад, використання викопного палива призводить до утворення токсичних газів, які є шкідливими для яєць і молодняку, а тверде паливо (викопне, нафтове або біогаз) генерують сажу та інші продукти згорання, які знижують відсоток виводимості яєць, що негативно впливає на показники ефективності інкубації [45]. Таким чином, використання таких джерел енергії не є ефективним або екологічно безпечним варіантом.

Встановлено, що серед усіх розглянутих варіантів найефективнішими джерелами є електроенергія та сонячна енергія. За використання електроенергії показники виводимості становлять 86-98 %, а за сонячної енергії – 86-92 % [45]. Через ризики перебоїв електропостачання та високу вартість сонячної енергії застосування лише одного з джерел є недостатньо ефективним. Найкращим рішенням, підтвердженим дослідженнями, є використання енергії з різних джерел у комбінованій або змінній формі для забезпечення енергетичних потреб інкубаторів. Це дає змогу, у разі виникнення проблем з одним із джерел енергії, перейти на інше без порушення технологічного процесу [49].

Оптимізація таких факторів, як дизайн і конструкція інкубатора, технологія інкубації, умови та тривалість зберігання яєць, а також параметри середовища інкубації (температура, вологість, освітлення, вентиляція), є сучасним підходом до підвищення ефективності інкубації, якості та продуктивності молодняку [4]. Крім оптимізації цих факторів, необхідно враховувати генетичну лінію плідників, їх вік, масу та якість інкубаційних яєць оскільки це також впливає на показники виводимості [25].

Нині багато зарубіжних виробників, а саме: “HatchTech”, “Petersime”, “Jamesway”, “Chick” “Master”, “EmTech Hatchery System”, “Innovatec Hatchery Automation”, “LINCO Incubator” пропонують устаткування, в першу чергу «розумні» інкубатори [30], які мають програмне забезпечення та підключенням до мережі, що дозволяє за допомогою програм для смартфонів віддалено контролювати температуру, вологість, вентиляцію і навіть розвиток ембріона;

«Розумні» інкубатори оснащені датчиками, мікропроцесорами, мікроконтролерами та сенсорами, які забезпечують миттєвий зворотний зв'язок і дозволяють проводити швидке налаштування параметрів та умов середовища інкубації, забезпечують оптимальні умови для розвитку яєць, які в решті-решт покращують рівень виводимості [30]; інтернетом речей (Internet of Things або IoT), що являє собою автоматизовану та розумну систему пристроїв, які під'єднані до мережі та можуть збирати, передавати й аналізувати дані без участі людини, забезпечуючи безперебійну координацію на різних етапах процесу інкубації в реальному часі, починаючи від обробки яєць до контролю життєво важливих параметрів навколишнього середовища. Ці можливості підключення полегшують віддалений доступ та управління процесом інкубації за допомогою спеціального мобільного додатку або веб-інтерфейсу. Це дає їм можливість залишатися на зв'язку та вносити необхідні корективи, забезпечуючи оптимальні умови та максимальну швидкість виведення [24].

Основна різниця між інкубаторами кімнатного та шафового типу (*рис. 3*) полягає в їх розмірах та особливостях експлуатації. Так, кімнатні інкубатори зазвичай використовують для інкубації дуже великої кількості яєць (до 120 тисяч і більше). Такі системи мають центральний прохід, з обох боків якого розміщені візки з яйцями, який дає можливість заходити всередину інкубатора для перевірки процесу інкубації. Шафові інкубатори, натомість, складаються з окремих теплоізоляційних панелей, які монтуються в приміщенні як модульні шафи, обладнані усім необхідним для процесу. Інкубатори кімнатного типу найкраще підходять у випадках, коли потрібно одночасно отримати велику партію курчат одного віку для подальшого комплектування одного або кількох пташників.



Рис. 2.1. Сучасні промислові інкубатори шафового типу з автоматичними системами повороту лотків, водопостачання та опалення (Джерело: FAMtech, <https://chickenscage.com/cabinet-incubator.html>)

Серед інших переваг інкубаторів кімнатного типу варто відзначити зниження капітальних вкладень на 10-25 % на одне яйцемісце. Це пояснюється меншою потребою в корпусних конструкціях. Крім того, придбання одного великого інкубатора економічно вигідніше, ніж купівля двох менших за розмірами. Також, завдяки масштабам обладнання, спостерігається певне зниження трудових і енергетичних витрат. У промислових інкубаторіях за потокової технології інкубації прийнято розділяти цей процес на два окремі етапи: власне інкубацію та вивід. Ці етапи проходять у спеціалізованих інкубаторах, оскільки для кожного періоду необхідно створювати різні мікрокліматичні умови, які відповідають потребам ембріонів на конкретному етапі розвитку. Інкубаційні інкубатори використовуються для інкубації яєць протягом перших 18 діб, а вивідні – для їх виводу протягом 3-х останніх. Відповідно, інкубатори для інкубації та виведення істотно відрізняються за конструкцією, режимами роботи, розмірами та місткістю. Вивідні інкубатори значно менші, в порівнянні з інкубаційними [1].

Одностадійна системи інкубації яєць характеризується завантаженням лише однієї партії в інкубатор, при цьому всі ембріони знаходяться на одній стадії розвитку. Така система закладки дає змогу створювати максимально сприятливі умови для ембріонів на кожному етапі їх розвитку [2, 26]. Основний принцип роботи цієї системи «все зайнято-все пусто».

За результатами досліджень М. А. Mesquita et al. [42], одноступінчаста система інкубації дозволяє підвищити виводимість, подовжити вікно виводу, а також покращити якість курчат – зокрема, забезпечити їх однорідність за живою масою і рівнем розвитку. З цієї причини багато комерційних інкубаторіїв та всі великі селекційні компанії використовують одноступеневу інкубацію.

Курчата, отримані таким способом, зазвичай демонструють кращі темпи росту, мають вищу збереженість і ефективніше засвоюють корм. Важливою перевагою одностадійної інкубації є також можливість повної санації інкубатора після кожної партії яєць, що істотно знижує ризики інфекційного зараження [1].

На відміну від одностадійного, багатоступеневий інкубатор зазвичай завантажується яйцями шести різних ембріонально-вікових груп. Тому багатоступенева інкубація за своєю природою не може створити оптимальні умови для кожного яйця. Температура, вологість і вентиляція встановлюються на фіксованому рівні протягом усього періоду інкубації [26]. За тиждень можна проводити три або чотири закладки яєць, що дозволяє інкубувати в одній машині велику кількість яєць [42]. Згідно даних М. А. Mesquita et al. [42], застосування багатоступеневої системи інкубації підвищує втрату маси яєць під час інкубації, ембріональну смертність, особливо пізню, а також знижує показники виводу та якості курчат. Курчата, отримані за багатоступеневою системою інкубації, можуть мати дещо нижчі показники якості (зокрема, за однорідністю та життєздатністю), однак за продуктивністю не поступаються тим, що були виведені при одноступеневій системі.

У разі використання інкубаторів барабанного типу, лотки з інкубаційними яйцями транспортують до них за допомогою спеціальних транспортних візків, після чого яйця вручну перекладають у стаціонарні поворотні барабани, розміщені в інкубаційних шафах [1]. Натомість більшість сучасних промислових інкубаторів є візкового типу (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Сучасний інкубатори візкового типу (Джерело: HatchTech, MicroCLimer Setter, <https://www.poultryworld.net/poultry/hatchtech-enters-south-korea-with-cherry-bro/> )

Кімната для переведення яєць з інкубаційної зали у вивідну характеризується наявністю наступного обладнання: автоматичний вакуумний укладач яєць та овоскоп або автоматична установка для овоскопування та одночасного перенесення яєць (рис. 2.3). Остання в свою чергу має високу швидкість просвічування та перенесення (продуктивність перенесення яєць за годину може бути різною), характеризується високою точністю визначення (99% і більше) незапліднених, завмерлих та мертвих ембріонів, які знаходяться в процесі інкубації, завдяки моніторингу тепла, серцебиття та руху.



Рис. 2.3. Автоматична установка для овоскопування та одночасного перенесення яєць (Джерело: Pas Reform Hatchery Technologies,

<https://www.agriexpo.ru/prod/pas-reform-hatchery-technologies/product-168152-62839.html>)

Сучасне приміщення для сортування яєць оснащено автоматичними установками для проведення цього процесу, основною з яких є сортувальна машина, яка калібрує яйця за масою. Використання таких машин забезпечує можливість точного добору яєць для інкубації, сприяє підвищенню рівномірності розвитку ембріонів та покращує загальні результати виводу. Обладнання інших технологічних приміщень інкубаторію: лотки для зберігання яєць та ящики (кошики) тимчасового утримання добового молодняку, транспортні візки, апарати для очищення та дезінфекції приміщень та обладнання, додаткові інкубаційні та вивідні візки-стелажі тощо.

## РОЗДІЛ 3

### ЧИННИКИ РЕЖИМУ ІНКУБАЦІЇ

#### 3.1. Температура

Ембріональний розвиток є динамічним процесом, у якому відбувається багато змін на різних фізичних і хімічних рівнях [11, 23]. Зазвичай на розвиток ембріона впливають п'ять чинників середовища інкубації, а саме температура, вологість, вентиляція, повертання яєць, освітлення, [11].

Температура середовища інкубації є одним із основних чинників, що впливають на розвиток ембріона та продуктивність птиці після виводу. Оскільки курячі ембріони є пойкилотермними від початку до 18-ї доби інкубації, то це означає, що протягом цього періоду їх метаболічний розвиток залежить від температури інкубації, яка впливає на використання поживних речовин яйця та розвиток ембріона [69]. Попри значну важливість температури середовища інкубації, температура поверхні яєчної шкаралупи є більш важливішою, оскільки вона характеризує тепло, яке виділяється як інкубатором, так і зростаючим ембріоном, а також змінюється залежно одна від одної [43]. Поняття тепла, що сприймається ембріоном, відрізняється від поняття тепла, що виробляється ним; перше напряму залежить від

інкубаційного середовища, тоді як друге є невід'ємною частиною метаболізму ембріона [29]. Температура ембріона варіабельна й залежить від балансу між теплопродукцією ембріона і теплообміном між шкаралупою яйця та навколишнім середовищем [69]. Загальновідомо, що під час ембріонального розвитку у перші 8-9 діб інкубації ембріон інтенсивно поглинає тепло, тоді як в останні 7-8 діб, навпаки, виділяє [29].

Оскільки її неможливо виміряти не пошкодивши яйце, звичайною практикою є визначення температури шкаралупи за допомогою інфрачервоного термометра. При цьому важливо, щоб вимірювання проводилося на «екваторі» яйця [25].

Для оптимального ембріонального розвитку та успішного виведення температура поверхні яєчної шкаралупи, тобто ембріона повинна становити 37,8 °C [68]. Але також за останні роки були проведені дослідження, які визначали вплив нижчих або вищих температур поверхні яєчної шкаралупи під час інкубації у певні періоди на рівень її ефективності. Так, коливання температури протягом коротких періодів часу, зазвичай, не мають значного впливу на виводимість або якість курчат, оскільки температура всередині яйця змінюється повільніше, ніж температура повітря в інкубаторі. Однак стабільно низька температура призводить до пізнього виводу та зниженої виводимості. Молодняк, зазвичай, характеризується значними розмірами, але є слабким. Стабільно висока температура веде до раннього виводу, і також зниженої виводимості. Більшість таких курчат неправильно розвинені, слабкі, і маленькі. Але попри виявлення негативних наслідків, були виявлені і позитивні.

К. О. Avşar et al. [8] стверджують, що підтримання 38,6 °C на поверхні яєчної шкаралупи в перші 3 доби інкубації підвищує виводимість, зменшує рівень ембріональної смертності та відсоток курчат, що належать до браку [8].

В. Miri et al. [43], вказують, що періодичне витримування інкубаційних яєць при температурі навколишнього середовища 15 °C протягом 1 години на 11, 13, 15 і 17 добу інкубації покращує якість і розвиток курчат, одночасно знижуючи смертність після виводу.

Як відомо, у сучасних реаліях досягнення максимальних передзабійних та післязабійних результатів в якомога найкоротші терміни, характеризується швидким ростом тіла бройлерів, а також порушенням їх здатності до нормальної ходьби та міцності кісток. Було проведено ряд досліджень, які засвідчили, що зміни температури під час інкубації здатні впливати, в першу чергу, на розвиток опорно-рухового апарату ембріона, тобто його м'язів і кісток. Тому, зміни температури під час інкубації курячих яєць можна розглядати як можливий інструмент для покращення міцності кісток та проліферації м'язів, тобто, процесу розростання м'язової тканини через поділ та ріст її клітин [36].

Таким чином, підвищення температури на 1–2 °C протягом короткого періоду на ранньому, середньому або пізньому ембріогенезі може стимулювати розвиток як грудних м'язів, так і м'язів ніг у курчат-бройлерів, але важливо врахувати і те, що під час пізнього ембріогенезу вплив високих температур не повинен бути безперервним, оскільки такі тривалі періоди, навпаки, перешкоджають розвитку м'язів ніг у більшій мірі, ніж розвитку м'язів грудей. T. Kettrukat et al. [36] припускають, що існує різниця в сприйнятливості груп м'язів до зміни температури.

Загальнорекомендованими температурними межами протягом перших 18 діб інкубації є показник від 37,2 до 38,2 °C, тоді як протягом останніх трьох діб – від 36,0–36,5 °C. При цьому оптимальна температура ембріона становить від 37,2 до 38,6 °C. Протягом перших 10 діб інкубаційного періоду температура ембріона повинна бути наближеною до нижньої межі оптимального діапазону (37,2 °C). Протягом періоду, що залишився (11-21 доба), температура ембріонів повинна бути близькою до верхньої межі (38,6 °C) оптимального діапазону [4].

Незважаючи на те, що промислова інкубації не передбачає наявності освітлення як постійного елемента, саме воно може впливати на розвиток ембріона, особливо на гормональну та нейронну систему, його фізіологію та поведінку після виводу, що характеризується проявом адаптивної поведінки, а саме зниженням стресових реакцій на навколишнє середовище після виводу,

покращенням просторових здібностей та когнітивних функцій курчат і, зрештою, впливати на продуктивність, поведінку та благополуччя птахів [69, 62].

### **3.2. Вологість повітря**

Вологість і спосіб її забезпечення можуть впливати на успіх інкубації. В першу чергу, вона впливає на втрату води під час інкубації через пори шкаралупи. На швидкість втрати води впливає провідність шкаралупи і різниця тиску водяної пари між яйцем і середовищем інкубації [25, 26].

Шкаралупа яйця пориста, що дає їй змогу пропускати воду, і незалежно від того, чи інкубуються яйця чи ні, вони повільно всихають. Кількість води, яку втрачає яйце під час інкубації, є важливою, і вона визначається рівнем вологості в інкубаторі. Якщо рівень вологості в середовищі інкубації вищий, то яйце буде всихати повільніше, ніж при нижчій вологості [15].

Відповідно до цього, вологість характеризується рівнем вмісту водяної пари в повітрі, який може змінюватися від нуля до насичення, що є максимумом, який може поглинути повітря. Коли повітря охолоджується, здатність повітря утримувати водяну пару зменшується, і рівень відносної вологості зростає, тоді як тепліше повітря, що містить таку саму кількість водяної пари, має набагато нижчий рівень відносної вологості [15]. Тобто цей максимум зростає зі підвищенням температури. Це означає, що тепле повітря може поглинати більше водяної пари, ніж холодне.

Всі яйця мають повітряну камеру на тупому кінці, і коли вода втрачається через шкаралупу, вона замінюється повітрям, що втягується через шкаралупу в повітряну камеру, яка поступово збільшується в розмірах – чим більші втрати води через шкаралупу, тим більша повітряна камера. Цей повітряний простір відіграє вирішальну роль в інкубації, оскільки в ньому знаходиться перше повітря, яке вдихає повністю сформований молодняк під час початку виводу. На додачу, цей простір забезпечує можливість руху курчати всередині шкаралупи під час виводу [20].

Так, якщо вологість інкубаційного середовища буде надмірно високою, яйця втратять занадто мало вологи, і молодняк виведений з таких яєць буде досить великим. При цьому, повітряний простір буде занадто малий, дихання курчат буде порушене, а звільнитися зі шкарлупи важко через брак простору. Зазвичай при надмірній вологості в інкубаторі пташенята гинуть, проклювавши шкаралупу лише в одному місці, або через слабкість, викликану нестачею повітря для дихання чи через брак простору, щоб розвернутися і продзьобати шкаралупу дзьобом. Низька відносна вологість під час інкубації може спричинити швидке всихання вмісту яєць[15]. Оптимальний діапазон відносної вологості повітря повинен становити 50-55%, іноді досягати навіть 65 % у перші 17-18 діб і 65-75% до на 19-21 добу [19, 16].

Тобто, вологість є однією з основних змінних і вважається найскладнішою для точного вимірювання і контролю. Належний рівень вологості є важливим для підтримки правильного балансу вологи в яйці, що має вирішальне значення для ембріонального розвитку та виводимості [5]. Вважається, що найточніший метод регулювання вологості – це контроль втрати маси яєць. Нормою є втрата 10-12 % своєї маси протягом перших 19 діб інкубації.

### **3.3. Повітрообмін та повертання яєць**

Вентиляція є ще одним критичним фактором, який визначає ефективність інкубації, оскільки вона забезпечує вільний рух повітря крізь пори та оболонки шкарлупи, що важливо для постійного надходження кисню та видалення вуглекислого газу та вологи під час розвитку ембріона [5].

Вуглекислий газ спочатку вивільняється під час інкубації з яєчного білка як природного резервуару, а вже потім як побічний метаболічний продукт ембріонів під час розвитку, тоді як кисень навпаки, спочатку проходить крізь пори шкарлупи, а потім споживається ембріоном для забезпечення нормального перебігу метаболічних процесів [22].

Газообмін між ембрионом та середовища інкубації забезпечується належним рівнем вентиляції. Рівні  $\text{CO}_2$  та  $\text{O}_2$  під час інкубації відіграють провідну роль у розвитку та життєздатності ембріона, впливають на результати виводу, росту і фізіології курчат.

Наразі відомо, що як низький (<17%), так і високий (25%) рівень  $\text{O}_2$  здатен негативно впливати на основні показники інкубації, в першу чергу на виводимість та життєздатність ембріонів [50]. Так, з кожним зниженням вмісту кисню в повітрі на 1% виводимість знижується на 5%. Щодо рівня  $\text{CO}_2$ , то R. Molenaar et al. [46] виявили, що ембріони мають певні рівні толерантності до цього газу, тобто, вони можуть витримувати до 1%  $\text{CO}_2$  протягом перших 4 діб, до 3% – з 5-ї доби інкубації і навіть до 5% – з 9-ї доби [4].

Зазвичай, загальноприйнятими рівнями кисню ( $\text{O}_2$ ) і вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) під час інкубації є 21% і 0,5% відповідно [22]. Для забезпечення наближення до цих показників, рівень вентиляції, починаючи з першої по останню добу інкубації (табл. 3.1) змінюють у залежності від інтенсивності виділення вуглекислого газу та поглинання кисню ембріоном [15].

Попри це було виявлено, що вплив підвищених концентрацій  $\text{CO}_2$  відіграє вирішальну роль у морфології та фізіологічному розвитку ембріона [38].

**Таблиця 3.1**

**Рівень вентиляції та концентрація вуглекислого газу [15]**

Доба інкубації	Рівень $\text{CO}_2$ під час інкубації, %	Рівень вентиляція, %
1	0,1-0,2	0
2	0,1-0,2	0
3	0,3-0,5	0
4	0,3-0,5	0-10
5	0,5-0,7	0-10
6	0,5-0,7	10-20
7	0,5-0,7	10-20

8	0,3-0,5	20-30
9	0,3-0,5	20-30
10	0,3-0,5	30-40
11	0,3-0,5	30-40
12	0,2-0,4	40-50
13	0,2-0,4	40-50
14	0,2-0,4	40-50
15	0,2-0,4	50-60
16	0,2-0,4	50-60
17	0,2-0,4	50-60
18	0,2-0,4	60-70
19	0,2-0,4	30-50
20	0,4-0,6	30-50
21	0,2-0,4	50-70

Так, CO<sub>2</sub> на рівні 3% протягом перших 4 діб інкубації підвищує смертність ембріонів, але така ж концентрація протягом пізнього періоду інкубації не впливає на швидкість вилуплення [46]. Високі концентрації CO<sub>2</sub> під час ранньої або пізньої інкубації можуть спричинити низку фізіологічних реакцій. У дослідженнях С. Liu et al. [38] та W. A. Fares et al. [22] було вказано, що підвищення концентрації CO<sub>2</sub> у ранній період інкубації (від початку до 10-ї доби інкубації) приблизно до 0,7–1,5% може сприяти розвитку ембріона, зниженню рН білка, а також посиленню ембріонального росту, покращенню виводимості та скорочувати час виводу.

Відомо, що при забезпеченні середовища 1,5% CO<sub>2</sub> з 4-ї по 10-у добу інкубації ембріони швидко розвивалися, що супроводжувалося раннім початком виводу. Також було доведено, що 1% CO<sub>2</sub> від початку до 10-ї доби інкубації скорочує час виводу, збільшує масу ембріонів і виведених курчат [38].

Q. Tong et al. [65] повідомляють, що обробка 1% CO<sub>2</sub> з 18-ї по 20-у добу інкубації не вплинула на показники крові, масу органів, живу масу або здатність до виведення, але змінила «вікно виводу».

Тобто, підвищені рівні CO<sub>2</sub> на ранніх та пізніх стадіях інкубації покращують якість курчат, прискорюючи розвиток органів, збільшуючи секрецію гормонів і зменшуючи «вікно виводу» без шкоди для виводимості [68, 38]. Недавні дослідження, що провів M. El Ashram [20] вказують, що підвищений рівень CO<sub>2</sub> (приблизно 1,2%) на ранніх стадіях інкубації (до 7 діб прискорює розвиток, скорочує час виведення курчат і покращує якість курчат.

Ще одними із критичних чинників, які здатні впливати на ембріональний розвиток та виводимість вважаються положення яєць при закладці на інкубацію і їх поворот. При закладці у лотки яйця повинні бути розміщені тупим кінцем догори, при цьому, більш ніж 90 % ембріонів матимуть правильне положення голови відносно повітряної камери. При розміщенні інкубаційних яєць гострим кінцем догори, 60 % ембріонів займатимуть неправильне положення, тобто будуть спрямовані головою до гострого кінця, що в результаті спричинятиме зменшення показників виводимості та збільшення смертності [16].

Поворот яєць під час інкубації необхідний для уникнення прилипання ембріональних шарів до внутрішніх оболонок шкаралупи, оптимального розвитку ембріона, підтримання поглинання та засвоєння поживних речовин білка й жовтка ембріоном [40, 52, 31]. Також, він може запобігти неправильному прикріпленню алантоїса до жовткового мішка на ранніх стадіях ембріонального розвитку. У свою чергу, неналежний поворот, навпаки, може стати однією з основних причин високої ембріональної смертності та низької виводимості закладених інкубаційних яєць. Зміна кута, частоти та періодів поворотів також впливають на ці показники ефективності інкубації [40, 31]. Визначення найбільш ефективного кута повороту зайняло деякий час. Порівнюючи всі можливі кути повороту, а саме 15, 30, 45, 60 і 75°, вчені виявили, що найкращі результати показників ефективності отримують при куті

45° [29]. Що стосується частоти поворотів, то вона також може різнитися, а також і її результати (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

### Виводимість яєць, рання та пізня ембріональна [52]

Частота поворотів, раз/доба	Виводимість, %	Рання ембріональна смертність, %	Пізня ембріональна смертність, %
24	91,84 ± 2,73	2,84 ± 1,89	3,57 ± 1,39
12	85,77 ± 3,05	6,22 ± 1,99	5,46 ± 0,69
6	77,60 ± 3,34	12,45 ± 2,05	7,37 ± 3,09
3	73,75 ± 3,89	14,31 ± 1,82	8,05 ± 1,24

Було проведено ряд досліджень, які стосувалися визначення найбільш економічно та ефективно доцільної частоти поворотів. Не залежно від частоти поворотів, оптимальний період їх застосування вважають протягом перших 18 діб інкубації [29].

За результатами досліджень G. D. S. Oliveira et al. [52] використання високих частот обертання призводить до отримання кращих результатів інкубації. Було виявлено, що оптимальна частота обертання становить 96 разів на добу, хоча 24 рази на добу було визнано найбільш практичним у комерційних умовах через відносно невелику різницю між 24 та 96 поворотами та отриманими показниками. Яйця, які поверталися 24 рази на добу під кутом 45°, не відрізнялися суттєво за показниками виводимості та смертності порівняно з яйцями, які повертали 96 разів на добу під тим самим кутом. Тобто, частота повороту яєць кожену годину, тобто 24 рази на добу, під час інкубації забезпечує високі показники виводимості та низькі – смертності. Тоді як, частоти перевертання 12, 6 і 3 разів на добу показали значне зниження виводимості та зростання смертності.

### 3.4. Освітлення

За останні десятиліття спостерігається впровадження штучного освітлення під час інкубації яєць як м'ясних, так і яєчних курей. До уваги при

цьому беруть такі ключові аспекти як колір, джерело, форма та інтенсивність світла, фотоперіод, колір та пігментація яєчної шкаралупи [62].

Світло – це комплексний стимул, який включає довжину хвилі (колір), інтенсивність та розподіл фаз протягом 24-годинного циклу. Яєчна шкаралупа впливає на спектр та інтенсивність світла, що сприймається ембріоном [58].

Зорова сенсорна система курчат вже повністю сформована до початку виводу [18]. Кровоносні судини, очне яблуко, кришталік та епіфіз починають розвиватися протягом перших діб інкубації, але фоторецептори розвиваються трохи пізніше і починають реагувати на світлову стимуляцію, починаючи з 14-16 доби. Повної функціональності очі досягають на 17-18-у добу інкубації. Інтенсивний синтез мелатоніну епіфізом припадає на 10-у добу інкубації, але реакція на світлові подразники зафіксована навіть на третю. Це свідчить, що світло може впливати на розвиток ембріона починаючи з ранніх фаз інкубації. Мелатонін є одним з найважливіших гормонів в будь-якому організмі, оскільки він запускає реакцію на цикл світло-темрява [58].

Відомо, що застосування штучного освітлення протягом останніх трьох діб інкубації позитивно впливає на розвиток латералізації та міжпівкульної асиметрії головного мозку ембріона. Латералізація – це так звана різниця в анатомічній і фізіологічній структурі двох півкуль мозку, яка дозволяє спеціалізувати функції нейронів у різних частинах мозку. Через перехрестя зорового нерва права півкуля головного мозку з'єднується з лівим оком і навпаки. Отже, інформація про навколишнє середовище, отримана правим і лівим оком, стосується різних частин мозку і характеризується різними поведінковими реакціями [58].

У птиці система правого ока, тобто праве око і ліва півкуля, класифікує подразники і, таким чином, реагує лише на більші, категоричні відмінності між ними, тоді як система лівого ока (ліве око і права півкуля) виявляє і реагує на навіть невеликі відмінності, чітко вказуючи на перевагу системи лівого ока у відповіді на нові подразники [59].

Відповідно до цього, а також за підтвердженням досліджень L.J. Rogers та G. Kaplan [59], ліве око та права півкуля мозку птиці спеціалізується на формуванні соціальної поведінки, аналізує інформацією, необхідну для формування соціальної ієрархії та навчання шляхом спостереження, зосереджується на розпізнаванні соціальних подразників, зверненні уваги на потенційних хижаків, які викликають страх, стрес чи занепокоєння, контролює напад, реакції втечі. Тоді як праве око та ліва півкуля контролюють засвоєну та рутинну поведінку в умовах відсутності стресу, як увагу та здатність розрізняти предмети.

Завдяки положенню ембріона, праве око спрямоване на яєчну шкаралупу і, таким чином, стимулюється світлом, ліве око в той час закрите тілом ембріона. У свою чергу, асиметрична стимуляція світлом веде до посиленого розвитку ділянок лівої частини мозку, які беруть участь в обробці візуальної інформації [58].

Було виявлено, що втручання у функціонування лівої півкулі погіршує здатність курчат навчитися розпізнавати зерна пшениці на фоні дрібних камінчиків, провокує сутички між ними, що веде до розкльовування пір'я та травмування. Саме така поведінка, зазвичай, пригнічуються цією півкулею головного мозку. Функціональна асиметрія мозку ембріона не виявляється в курчат, виведених у темряві [59].

Колір, джерело та програми освітлення, які використовуються під час інкубації, відіграють ключову роль для отримання бажаних результатів. У *таблиці 3.3* наведено вплив цих чиників на результати інкубації та подальше вирощування.

**Таблиця 3.3**

**Вплив програм освітлення на результати інкубації та подальше вирощування курчат [70, 64, 54, 58]**

Колір	Програма	Інтенсивність,	Результати
-------	----------	----------------	------------

	освітлення	лк	
Білий	12С:12Т 24С:0Т	250	Підвищує стресостійкість та вихід тушок, інтенсивність росту, покращує виводимість і якість курчат, позитивно впливає на вікно виводу, міцність кісток та здоров'я ніг до забійного віку, позитивно впливають на розвиток нормальної поведінки клювання та здатності розрізняти їстівні та неїстівні об'єкти [70]
Зелений	16С:8Т 12С:12Т	150-250	Позитивно впливає на живу масу після виводу, прискорює розвиток ембріонів та змінює рівень гормонів, пов'язаних з вилюпленням [64], зменшує час виводу, підвищує споживання корму, що сприяє збільшенню живої маси тіла курчат від 0 до 6 доби після виводу, особливо посилюючи розвиток грудних м'язів, пригнічує поведінку вищипування пір'я та розкльовування один одного [70]
Червоний	12С:12Т	100-250	Підвищує стресостійкість, покращує виводимість і якість курчат, сприяє збільшенню їх живої маси тіла після виводу [54]
Жовтий	12С:12Т	250	Підвищує живу масу під час виводу, збереженість і скорочує період інкубації [58]
Синій	12С:12Т	250	Позитивно впливає на розвиток м'язової маси, живу масу після виводу [70]

Дослідження В. Таїніка та Ö.N. Bayraktar [62] свідчать, що фотостимуляція істотно впливає на розвиток ембріона, підвищує виводимість та стресостійкість, покращує розвиток м'язової тканини у курчат-бройлерів, пригнічує поведінку вищипування пір'я та канібалізму загалом у курей-несучок. Інкубація яєць під зеленим та синім світлом збільшує ріст м'язів та масу курчат, під червоним і білим світлом – покращує виводимість у порівнянні з іншими кольорами і темрявою тощо. Так, світловий період 12С:12Т при

помірній інтенсивності в загальному покращує виводимість, розвиток м'язової маси і здоров'я ніг, поведінкові реакції.

Не менш важливим є й те, в які саме періоди відбувається фотостимуляція. У таблиці 3.4 наведено вплив тривалості освітлення під час інкубації на показники виводу, виводимість, ембріональну смертність, масу курчат та їх якість.

**Таблиця 3.4**

**Вплив тривалості освітлення під час інкубації на вивід, виводимість, ембріональну смертність, масу курчат та їх якість [53]**

Показник	ТА	ТВ	ТС	ТD
Загальний час виводу, год.	482,13	476,47	477,47	476,27
Тривалість виводу, год.	30,87	23,33	24,13	24,20
Вікно виводу, год.	26,00	22,00	24,00	24,00
Виводимість, %	92,26	95,45	93,00	93,65
Загальна ембріональна смертність, %	7,80	4,55	7,07	6,35
Маса курчат після виводу, г	43,97	44,90	44,14	42,20
Загальна якість курчат, %	97,04	97,19	97,93	97,06

Примітка: ТА = інкубація в темряві, ТВ = під впливом світла з 1-21 доба, ТС = освітлення з 7-21 доба, ТD = освітлення з 14-21 доба.

Згідно з дослідженнями, проведеними О. М. Oso et al. [53] у 2023 році, рання світлова стимуляція під час інкубації (1–21 доба) характеризується коротшим часом, тривалістю та вікном виводу, підвищеним відсотком виводимості, зниженим – ембріональної смертності, підвищеною живою масою добового молодняку, досить високим відсотком якості курчат, в порівнянні з світловою стимуляцією від середини до пізньої інкубації (7–21 доба, 14–21 доба) або в цілковитій темряві. Попри ці результати найбільш оптимальним є застосування світлової стимуляції під час інкубації, коли яйця піддаються впливу світла з середини або лише протягом останнього тижня або трьох днів

інкубації, з 7-ї, 14-ї або 18-ї по 21-шу добу. Будь-які отримані результати за використання фотостимуляції під час інкубації є кращими в порівнянні з загальноприйнятою інкубацією в темряві.

Отже, виводимість яєць залежить від різних чинників інкубації. До них належать: температура і вологість повітря, повітрообмін та повертання яєць. Останнім часом чимало досліджень присвячено впливу світла на розвиток ембріонів та вивід курчат.

## **РОЗДІЛ 4**

### **ІННОВАЦІЇ У ВИЗНАЧЕННІ СТАТІ ЕМБРІОНІВ**

Завдяки своєму центральному положенню у виробничому ланцюжку, розвиток in-ovo, залежить від багатьох передінкубаційних чинників, які мають прямий вплив на якість яєць та умови їх інкубації, і обидва ці чинники

впливають на показники виводимості яєць, якості курчат, а також на збереженість птиці, показники росту тощо [14].

За останні кілька років система штучної інкубації яєць пережила технологічну, економічну та соціальну еволюцію. Значні технологічні та наукові розробки дозволили перейти від ручної інкубації до промислової [14]. Зміна підходу до виведення молодняку – від традиційного, де за температурою та вологістю, іншими параметрами та умовами середовища стежать вручну, до сучасного, автоматизованого процесу з використанням великих промислових інкубаторів, дала змогу одноразово інкубувати набагато більшу кількість яєць зі зменшеним використанням робочої сили, людського чинника та помилок, збільшити кількість виведеного молодняку високої якості протягом усього року. З іншого боку, така еволюція спричинила значні витрати, пов'язані з будівництвом більш складних об'єктів – інкубаторіїв, проєктні плани яких повинні бути ретельно продуманими, здатними забезпечити належний рівень біобезпеки, з налагодженою роботою систем енергозабезпечення, водопостачання, вентиляції, автоматичного моніторингу мікрокліматичних параметрів для підтримання належних умов інкубації. Крім того, інкубаторії повинні бути облаштовані висококваліфікованим технічним обладнанням, забезпечені належним обслуговуванням як при встановленні, так і при періодичній перевірці.

На даний час основними напрямками для проведення досліджень є маніпулювання умовами інкубації, застосування комплексного впливу чинників, використання комп'ютеризованих систем, штучного інтелекту, передових технологій, пошук нових джерел енергії для функціонування інкубаторіїв, безпечних та ефективних засобів обробки та дезінфекції яєць, порівняння нового технічного устаткування різного спрямування роботи та його виробників.

Проблема виводимості має велике економічне значення для галузі птахівництва, оскільки від цього показника залежить кількість одержаного товарного молодняку. В свою чергу, ці два показники взаємопов'язані та

визначають ефективність функціонування інкубаторію. Вирішення цієї проблеми можливе завдяки впровадженню інноваційних та сучасних рішень, щодо способів, методів та засобів відбору, сортування, дезінфекції, закладання яєць інкубаційні лотки, транспортування в інкубаційні зали, овоскопування, перенесення у вивідні зали, сортування молодняку, його тимчасового утримання перед реалізацією у ящиках, обробки устаткування та обладнання, моніторингу та регулювання окремих факторів та їх сукупності, які здатні вплинути на рівень виводимості. Останнім часом дедалі частіше проводяться дослідження, спрямовані на визначення статі ембріона *in vivo*. Найбільше значення результати таких досліджень мають саме для яєчного напряму птахівництва, де отримання курочок є пріоритетним та бажаним результатом інкубації, тоді як півники не становлять господарської цінності для галузі, оскільки є не придатними ні для виробництва яєць, ні для виробництва м'яса, та вважаються браком, що стосується м'ясної галузі, то стать молодняку значення не має, оскільки курочки та півники до кінця вирощування мають приблизно однакову живу масу. Масове вибракування добових півників стає дедалі серйознішою проблемою для яєчної промисловості, оскільки порушує принципи благополуччя та гуманного поводження з птицею, викликаючи значне етичне занепокоєння. Тому виникає необхідність розробки та впровадження методів визначення статі на етапі розвитку *in vivo*. В останні десятиліття вчені та дослідники використовували різні стратегії визначення статі в курячих яйцях перед виводом або інкубацією. Загалом, дослідження для визначення статі курячих яєць були поділені на інвазивні та неінвазивні. Інвазивними вважаються молекулярні та спектральні методи, тоді як неінвазивними – акустичні, морфологічні методи і методи на основі летючих органічних сполук (запаху). Комерційно застосовні методи повинні бути неінвазивними, достатньо швидкими для застосування в режимі реального часу, економічно доцільними та етично прийнятними [34].

До молекулярних методів визначення статі *in vivo* належать: вміст хромосом у ядрі клітини, концентрація гормону в алантоїсній рідині, тест ДНК

методом полімеразної ланцюгової реакції, молекулярно-генетичний аналіз бластодермічних клітин. До спектральних методів належать: інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є, раман-спектроскопія, гіперспектральний метод візуалізації, тривимірна рентгенівська мікрокомп'ютерна томографія, оптична когерентна томографія, магнітно-резонансна томографія. Основним акустичним методом є визначення частоти серцевих скорочень ембріона. До морфологічних методів належать: зовнішня форма яєчної шкаралупи, розподіл кровоносних судин. До методів на основі летючих органічних сполук належать: метод виявлення змін запаху у курячих яйцях залежно від статі. Молекулярними методами можна досягнути високої точності визначення статі курячих яєць *in ovo*, більшість з яких підходить для лабораторних досліджень, ніж для широкомасштабного використання, але є і виключення. Цим виключенням є метод визначення концентрації гормону в алантоїсній рідині. Алантоїсна рідина є екскреторним середовищем для азотистих метаболітів ембріонів, містить ембріональні клітини, які дозволяють визначити стать ембріона на основі присутності естрогенних сполук. Цей метод дозволяє визначити стать на дев'яту добу інкубації з точністю понад 98 %, але знижує швидкість вилуплення на 3 %. Методи, засновані на спектроскопії, показують надзвичайний потенціал для швидкого та неінвазивного *in ovo* визначення статі курячих яєць. Так, гіперспектральний метод візуалізації показав, що визначення статі *in ovo* можна провести протягом 3-4 діб, а точність становить 93-96 %, що значно скорочує час інкубації та витрати. Точність визначення статі за використання раман-спектроскопії становить 91-95 %. За такого методу ембріони чоловічої статі мають сильнішу інтенсивність флуоресценції, ніж ембріони жіночої статі, що може бути пов'язано з більшою щільністю клітин крові, що спостерігається на 13, 15 і 18 добу інкубації [17].

Що стосується акустичного методу, то результати показали, що середня частота серцевих скорочень жіночих ембріонів була в 2-4 рази/хв. вище, ніж чоловічих після 17 діб інкубації. Через високу щільність шкаралупи сигнал серцебиття, що проходить через яєчну шкаралупу, зазвичай дуже слабкий, і

тому результати визначення часто є недостовірними. Тому, визначення статі курячих яєць на основі акустики *in ovo* ще далеке від практичного застосування [34].

Морфологічні методи, засновані на зовнішній формі яєчної шкаралупи та розподілі кровоносних судин, є швидкими, недорогими та неінвазивними методами визначення статі *in ovo*. Розподіл кровоносних судин можна використовувати для визначення статі на 4-ту добу інкубації, тоді як зовнішні ознаки форми можна використовувати для визначення статі до початку інкубації, що значно знижує витрати на неї. Точність цих методів становить приблизно 80-86 %, що менше, ніж точність молекулярних і спектральних методів [34]. Так, результати морфологічних досліджень показали, що індекс форми яйця, довжина яйця, ширина яйця та об'єм яйця суттєво відрізнялися залежно від статі ембріонів, тоді як маса яйця – ні. Яйця зі ступенем відхилення форми від кола, меншим за порогове значення, вважаються із жіночими ембріонами, тоді як яйця з відхиленням, рівним або більшим за цей поріг – з чоловічими. Точність прогнозу за цим методом становила до 86 %.

Для визначення статі яєць за розподілом кровоносних судин була створена модель гендерної ідентифікації на основі нейронної мережі генетичного алгоритму, яка функціонувала за рахунок визначення 10 параметрів опису розташування кровоносних судин і одного геометричного параметру. Точність цього методу досягала майже 83 % на 4-ту добу інкубації, час розпізнавання до 8 с [34]. Недоліком даного методу є те, що він більше підходить для яєць з білим кольором шкаралупи, оскільки вони мають кращу світлопроникність, ніж темні.

Останніми роками активно досліджується можливість визначення статі курчат за змінами летких органічних сполук у яйцях. Основним маркером у цьому методі є метилнонілкетон – кетон, концентрація якого відрізняється в яйцях самців і самок у результаті метаболізму та який раніше був ідентифікований як гормональний компонент запаху птиці. Зокрема, було встановлено, що леткі органічні сполуки зазнають змін уже в перші години

інкубації, що дозволяє визначити стать ембріона вже на першу добу інкубації [34]. Цей неінвазивний метод виявлення статі курячих ембріонів має перспективи розвитку, оскільки збір і визначення запаху має значно менший вплив на ембріони яєць, ніж методи спектрального опромінення. Водночас, він вимагає подальшого вдосконалення апаратного забезпечення, тобто розробки інтелектуального обладнання, яке здатне до інтеграції з інкубаторами, оптимізації параметрів вимірювань та забезпечувати нейронні мережі даними з підвищеною точністю прогнозування статі курячих яєць [34].

Одними із економічно обґрунтованих підходів до визначення статі *in ovo* для широкомасштабних застосувань є використання в основному методів спектроскопії, які показують високі результати, а вимірювання не потребують дорогих витратних матеріалів, що робить їх значно дешевшими за інші методи, а головне – більш екологічними. На даний момент спектроскопічний метод є єдиним методом визначення статі *in ovo*, який може відповідати як експлуатаційним вимогам інкубаторів, так і етичним принципам або правовим вимогам благополуччя тварин [17]. Згідно з якими, сенсорна нервова система формується на сьому добу інкубації, що свідчить про те, що стать *in ovo* повинна бути визначена раніше цього моменту.

Таким чином, незважаючи на значні досягнення вчених у царині вивчення та розробки визначення статі ембріонів, дослідження у цьому напрямі продовжуються, оскільки існуючі відповідні методи та обладнання мають ряд недоліків.

## РОЗДІЛ 5

### АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Узагальнюючи результати аналізу літературних джерел слід відмітити, що є чимало досліджень, присвячених визначенню та впливу якості інкубаційних яєць курей на результати інкубації. Низка авторів вивчали взаємозв'язок терміну зберігання яєць до закладання в інкубатор з показниками виводу молодняку, його масою тощо [3, 5, 28].

Так, зокрема, М. О. Абіоја et al. [3] довели залежність між якістю отриманого молодняку та попередньою тривалістю зберігання інкубаційних яєць. За їх даними, зберігання інкубаційних яєць протягом 3, 6, 9 і 12 діб обумовило виводимість яєць на рівні, відповідно, 67, 45, 42 і 36%. Найкращої виводимості (85%) досягають яйця, закладені на інкубацію в межах між 2 та 14 годинами після знесення, а найоптимальнішою тривалістю зберігання вважаються перші 3 доби. Тривале зберігання викликає зміну багатьох характеристик якості яєць, включаючи зниження параметрів якості жовтка та білка і втрату води [5].

На рівень виводимості та пізньої ембріональної смертності за результатами досліджень Е. Helander [28] також впливає маса інкубаційних яєць. Так, найвищу виводимість (97,2 %) мають яйця масою 55-59 г, при цьому пізня смертність ембріонів становить лише 1,6 %, яйця середньої маси мають наближені показники 96,2 % і 1,5 %, відповідно. Яйця масою 66-70 г – 76,1 і 8,6 %, відповідно.

G. D. S. Oliveira et al. [51] стверджують, що використання ефективного дезінфікуючого засобу для обробки яєць перед інкубацією зменшує можливість зовнішнього та внутрішнього забруднення. На думку G. Motola et al. [47], дезінфікуючі засоби повинні не тільки знешкоджувати мікроорганізми на поверхні шкаралупи, але бути здатними проникати крізь пори, при цьому не впливаючи на життєздатність ембріона, виводимість або загальну продуктивність виведених курчат.

Основним дезінфікуючим засобом нині вважається формальдегід, який є недорогим, простим у застосуванні та ефективним. Основний недолік цього засобу – здатність подразнювати верхні дихальні шляхи, а на додачу він є

канцерогенним, що робить його використання небезпечним для персоналу інкубаторію та молодняку птиці [63].

Проведення значної кількості досліджень вченими різних країн дали змогу виявити нові та альтернативні дезінфікуючі засоби, що вирізняються високою ефективністю застосування. Найперспективнішим вважається застосування ультрафіолетового світла, електронів низької енергії та надацетатної кислоти.

За дослідженнями E. F. Melo et al. [40] обробка ультрафіолетовим світлом характеризуються досить високим відсотком виводимості та низьким – смертності. Використання вказаного способу надає можливість отримати 98,43% кондиційного молодняку з партії.

Дослідження G. Motola et al. [47] виявили, що опромінення електронами низької енергії забезпечує зниження смертності та живої маси добового молодняку під час виводу, високий рівень виводу та бактерицидної ефективності.

E. F. Melo et al. [40] також підтвердили, що надацетатна кислота має високу бактерицидну ефективність, навіть дещо вищу, ніж при застосуванні формальдегіду, виводимість яєць після обробки була високою, а смертність – низькою. Відсоток придатних для реалізації курчат – 98,86 %.

Будівля або приміщення, призначенням якого є проведення штучної інкубації та одержання молодняку птиці в комерційних цілях та інших допоміжних операцій, називається інкубаторієм [6]. Така будівля, зазвичай, поділена на дві основні зони, а саме: чисту та брудну. Чистою зоною вважається в'їзд та вхід, окремі приміщення для прийому, зберігання, класифікації яєць, фумігації та попереднього прогрівання, інкубаційні зали, приміщення для перенесення яєць з лотків інкубаційних шаф у вивідні та додаткові приміщень для зберігання продезінфікованого найбільш необхідного обладнання, тоді як брудною – вивідні зали, приміщення для виводу, сортування, завантаження та утримання молодняку у кошиках (ящиках) для подальшого транспортування та мийної, та додаткових стерильних приміщень

для зберігання продезінфікованого обладнання. Розмежування зон інкубаторію унеможлиблює перетин потоків персоналу, обладнання та інших матеріально-технічних ресурсів. До того ж, кожне виробниче приміщення інкубаторію оснащено спеціалізованим обладнанням та устаткуванням, що відповідає його функціональному призначенню і забезпечує ефективне виконання поставлених завдань.

Сучасні «розумні» інкубатори – це великі машини оснащені передовими технологіями, що використовують електрику, мікропроцесори, комп'ютери, сенсори, напівпровідники, датчики та/або штучний інтелект. Такі інкубатори можуть працювати на електриці, сонячній енергії, біогазі, твердому паливі (деревне вугілля) або викопному паливі (гас або газ) [45].

За даними М. М. Mohammedjuhar et al. [45] було встановлено, що серед усіх розглянутих варіантів найефективнішими джерелами є електроенергія та сонячна енергія. За використання електроенергії показники виводимості становлять 86-98 %, а за сонячної енергії – 86-92 %.

Можливість забезпечення належних умов за допомогою якісного та багатофункціонального обладнання, в першу чергу інкубаторів, відіграє важливу роль для правильного початку та перебігу ембріонального розвитку птиці, оскільки цей процес є складним і динамічним та супроводжується численними фізико-хімічними змінами [11, 23]. J. Viesek et al. [11] виділяють п'ять основних чинників, що впливають на цей процес під час інкубації, а саме: температура, освітлення, рівень вологості, вентиляція та повертання яєць [11].

Протягом перших 18 діб інкубації рекомендовано підтримувати температуру в межах 37,2–38,2 °С, тоді як у останні три доби – знижувати її до 36,0–36,5 °С. Температура ембріона при цьому повинна знаходитися в межах 37,2–38,6 °С. Упродовж перших 10 діб інкубації температура ембріона має бути ближчою до нижньої межі цього діапазону (37,2 °С), а впродовж наступних одинадцяти діб (з 11 по 21 добу) – наближеною до верхньої межі (38,6 °С) [4].

Оптимальний діапазон відносної вологості повітря повинен знаходитися в межах від 50% до 55%, а іноді досягати навіть 65 % у перші 17-18 діб і 65-75% – на 19-21 добу [19, 16].

За рекомендаціями M. El Ashram [20], починаючи з 6–7-ї доби інкубації, коли рівень CO<sub>2</sub> досягає приблизно 1,2%, рекомендується поступово знижувати його концентрацію та утримувати у межах не більше ніж 0,4% до моменту переміщення яєць у вивідні інкубатори (19 доба). Після цього вміст вуглекислого газу знову слід підвищити до максимуму 0,7%, однак під час безпосереднього виведення він не повинен перевищувати 0,3% [20].

Такий підхід регулювання CO<sub>2</sub> сприяє активнішому розвитку органів ембріона, зменшує «вікно виводу» та забезпечує більш узгоджене вилуплення без шкоди для якості молодняку. Дотримання режиму (збільшення CO<sub>2</sub> до 0,7% перед виводом і його подальше зниження до 0,3% або нижче під час вилуплення) є важливим, оскільки пов'язане зі зменшенням ембріональної смертності та підвищенням показників продуктивності курчат [20].

За рекомендаціями G. D. S. Oliveira et al. [52] оптимальна частота повороту яєць становить один раз на годину, тобто 24 рази на добу. Така частота повороту забезпечує високі показники виводимості та низькі – смертності. Що стосується кута нахилу, то він повинен становити 45°.

C. Riedel та B. Tzschentke [58], повідомляють, що застосування штучного освітлення протягом останніх трьох діб інкубації позитивно впливає на розвиток латералізації та міжпівкульної асиметрії головного мозку ембріона. Ці нейрофізіологічні та морфофункціональні показники характеризують спеціалізацію та функціональний розподіл діяльності між лівою і правою півкулями мозку, саме належний їх розвиток визначає подальші адаптаційні можливості молодняку. Порушення розвитку цих функцій негативно впливає на показники продуктивності молодняку. До того ж колір, джерело та програми освітлення здатні впливати на отримання бажаних результатів. Так, білий [70] та червоний [54] колір під час інкубації підвищує рівень стресостійкості молодняку, зелений – посилює розвиток грудних м'язів, пригнічує поведінку

вискубування пір'я та роздзьобування однією особиною іншої [70], синій – позитивно впливає на розвиток м'язової маси [70], жовтий – підвищує живу масу під час виводу та збереженість, скорочує період інкубації [58].

Останнім часом дедалі частіше почали проводити дослідження, спрямовані на визначення статі ембріона *in vivo*. Загалом, Jia, N. et al. [34] поділили дослідження для визначення статі курячих яєць на інвазивні та неінвазивні. Інвазивними вважаються молекулярні та спектральні методи, тоді як неінвазивними – акустичні, морфологічні методи і методи на основі летючих органічних сполук (запаху).

Найбільш економічно доцільним методом визначення статі *in ovo* для широкомасштабного застосування є спектроскопія. Як стверджує M. Corion et al. [17] цей метод є єдиним методом визначення статі *in ovo*, який може відповідати як експлуатаційним вимогам інкубаторів, так і етичним принципам або правовим вимогам добробуту тварин. Застосування цього методу надає можливість визначення статі *in ovo* протягом перших 3-4 діб інкубації з точністю 93-96 % для гіперспектрального методу, а за використання раман-спектроскопії – 91-95 %.

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить, що результати інкубації яєць залежать від багатьох чинників. У сучасній технології інкубації поширюється використання інноваційних інкубаторів та починають використовувати метод визначення статі ембріонів, видаляючи з інкубатора яйця, в яких розвиваються самці, що є необхідним за промислового виробництва харчових яєць.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Якість інкубаційних яєць є основним показником, який характеризує ефективність інкубації, оскільки від цього залежить кількість отриманого кондиційного молодняку та його подальші показники продуктивності. Інкубаційні яйця повинні відповідати встановленим вимогам, зокрема, для відтворення промислового стада яєчних курей їхня маса може коливатися у межах 50-67 г, м'ясних – 50-70 г, товщина шкаралупи становити не менше 0,30 і 0,32 мм, висота повітряної камери – 2,2 і 2,0, вміст каротиноїдів у жовтку – 15 і 18 мкг/г, відповідно.

2. Виводимість яєць залежить від терміну їх зберігання. Встановлено, що кожна додаткова доба зберігання яєць після знесення, яка перевищує 7 діб, обумовлює подовження середнього часу виводу на одну годину та призводить до втрати їх виводимості на 1,17%.

3. Наразі провідні виробники інкубаційного обладнання (“HatchTech”, “Petersime”, “Jamesway”, “Chick Master”, “EmTech Hatchery System”, “Innovatec Hatchery Automation”, “LINCO Incubator”) виготовляють різне інноваційне устаткування, в першу чергу «розумні» інкубатори котрі які мають програмне забезпечення та підключенням до мережі, що дозволяє за допомогою програм для смартфонів дистанційно контролювати температуру, вологість, вентиляцію і розвиток ембріонів загалом.

4. Умови середовища інкубації відіграють одну із вирішальних ролей для отримання якісного молодняку. До чинників інкубації належать температура, вологість, повітрообмін та повертання яєць. Наразі науковцями доведено і вплив освітлення під час інкубування яєць на ембріогенез.

5. Масове вибракування добових півників стало проблемою для яєчного птахівництва, оскільки порушуються принципи благополуччя та гуманного поводження з птицею. Останнім часом проводиться багато досліджень, спрямованих на визначення статі ембріона *in vivo*. Наразі розроблено і

використовується на практиці у виробництві обладнання для визначення статі ембріонів, з метою видалення яєць, в яких розвиваються півники.

З метою поліпшення результатів виводимості курячих яєць пропонуємо керівникам вітчизняних птахогосподарств, які мають інкубаторії, вивчати сучасні наукові досягнення та практичний досвід провідних птахівничих компаній світу щодо промислового виведення молодняку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інкубація, хвороби ембріонів та незаразні хвороби птиці: навчально-методичний посібник / Слівінська Л. Г., Щербатий А. Р., Личук М. Г. та ін. Львів, 2022. 200 с.
2. Мельник В.В., Пономаренко Н.П., Базиволяк С.М., Статнік І.Я. Оцінювання якості інкубаційних яєць сільськогосподарської птиці: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Інкубація яєць сільськогосподарської птиці з основами ембріології». Київ, 2014. 17 с.
3. Abioja M. O., Abiona J. A., Akinjute O. F., Ojoawo H. T., Adebowale V. A., Oni B., Omotara P. O. Research Note: Effect of egg storage length on spread of hatch window, chick quality, and organ development in Transylvanian naked neck chickens. *Poultry science*. 2022. Vol. 101, No. 6. Article 101834. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101834>
4. Adame M.M., Ameha N. Review on Egg Handling and Management of Incubation and Hatchery Environment. *Asian Journal of Biological Sciences*. 2023. Vol. 16, No. 4. P. 474-484. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajbs.2023.474.484>
5. Adriaensen H., Parasote V., Castilla I., Bernardet N., Halgrain M., Lecompte F., Réhault-Godbert, S. How Egg Storage Duration Prior to Incubation Impairs Egg Quality and Chicken Embryonic Development: Contribution of Imaging Technologies. *Frontiers in physiology*. 2022. Vol. 13. Article 902154. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.902154>
6. Amin M., Mohammad J., Sikandar R., Zaidi B., Murtaza G., Sajid M., Farooq U. Comprehensive Management of Poultry Hatcheries: Ensuring Biosecurity, Chicks Quality, and Economic Sustainability, A Mini Review. *Biological times*. 2023. Vol. 2, No. 11. P. 1-2. DOI: [https://biologicaltimes.com/wp-content/uploads/journal/published\\_paper/volume-2/issue-11/BT\\_2023\\_800801.pdf](https://biologicaltimes.com/wp-content/uploads/journal/published_paper/volume-2/issue-11/BT_2023_800801.pdf)
7. Aviagen. Ross 308, Ross 308 FF. Performance Objectives. *Aviagen*. 2022.. URL: [https://aviagen.com/assets/Tech\\_Center/Ross\\_Broiler/RossexRoss308-BroilerPerformanceObjectives2022-EN.pdf](https://aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/RossexRoss308-BroilerPerformanceObjectives2022-EN.pdf) (дата звернення: 15.03.2025).

8. Avşar K. O., Uçar A., Özlü S., Elibo O. Effect of high eggshell temperature during the early period of incubation on hatchability, hatch time, residual yolk, and first-week broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research*. Vol. 31, No. 1. Article 100197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100197>
9. Ayeni A.O., Agbede J.O., Igbasan F.A., Onibi G.E., Ayeni M.A. Effects of storage periods and positioning during storage on hatchability and weight of the hatched chicks from different egg sizes. *Bulletin of the National Research Centre*. 2020. Vol. 44, No. 101. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00362-4>
10. Bekhet G., Khalifa A.Y. Z. Essential oil sanitizers to sanitize hatching eggs. *Journal of Applied Animal Research*. 2022. Vol. 50, No. 1. P. 695-701. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2138894>
11. Biesek, J. Wlaźlak S., Adamski M. The biological value of hatching eggs of broiler chicken in the early-mid incubation period based on physicochemical and morphologic features. *Poultry science*. 2023. Vol. 102, No. 6. Article 102689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102689>
12. Bilalissi A., Meteyake H.T., Kouame Y. A. E, Oke O.E., Lin H., Onagbesan O., Decuypere E., Tona K. Effects of pre-incubation storage duration and nonventilation incubation procedure on embryonic physiology and post-hatch chick performance. *Poultry Science*. 2022. Vol. 101, No. 5. Article 101810. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101810>
13. Boga Y. E., Çimen Ö., Kepezkaya A. Factors Affecting Hatching Efficiency in Poultry and Newly Applied Methods. *MAS Journal of Applied Sciences*. 2024. Vol. 9, No. 3. P. 578–589. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13294051>
14. Boleli I. C., Morita V. S., Matos Junior J. B., Thimotheo M., Almeida V. R. Poultry Egg Incubation: Integrating and Optimizing Production Efficiency. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. 2016. Vol. 18, No. 2. P. 1-16. DOI: <http://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0292>
15. Brinsea. Humidity In Incubation. *Brinsea*. 2017. Accessed 25.03.2025. URL: <https://brinsea.co.uk/latest/wp-content/uploads/2017/10/Humidity-in-Incubation.pdf>

16. Çam M., Kaya Z. K., Güler S., Harman H., Kırıkçı K. Influence of egg storage time, position and turning on egg weight loss, embryonic mortality and hatching traits in chukar partridge (*Alectoris chukar*). *Italian Journal of Animal Science*. 2022. Vol. 21, No. 1. P. 1632–1641. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2150095>
17. Corion M., Keresztes J., De Ketelaere B., Saeys W. In ovo sexing of eggs from brown breeds with a gender-specific color using visible-near-infrared spectroscopy: effect of incubation day and measurement configuration. *Poultry science*. 2022. Vol. 101, No. 5. Article 101782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101782>
18. De Haas E. N., Newberry R. C., Edgar J., Riber A. B., Estevez I., Ferrante V., Hernandez C. E., Kjaer J. B., Ozkan S., Dimitrov I., Rodenburg T. B., Janczak A. M. Prenatal and Early Postnatal Behavioural Programming in Laying Hens, With Possible Implications for the Development of Injurious Pecking. *Frontiers in veterinary science*. 2021. Vol. 8. Article 678500. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.678500>
19. Dutta P., Anjum N. Optimization of Temperature and Relative Humidity in an Automatic Egg Incubator Using Mamdani Fuzzy Inference System. *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*. 2021. P. 12-16. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICREST51555.2021.9331155>
20. El Ashram M. Balancing CO<sub>2</sub> and humidity for superior hatch rates and chick quality. *International Hatchery Practice*. 2024. Vol. 38, No. 7. P. 6-9. [https://agriinsightpublications.com/wp-content/uploads/2024/12/hp38\\_7p6.pdf](https://agriinsightpublications.com/wp-content/uploads/2024/12/hp38_7p6.pdf)
21. Epimahova E., Shpygova V., Zinchenko D. Techniques to improve the efficiency of egg incubation. 2024. DOI: <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2024-1-53-23-26>
22. Fares W. A., Ahmed M. R. M., Rizk R. E., Shahein E. H. A., Boutrous N. G., El-Sabrouk K. Influence of non-ventilating intervals during early incubation stage on egg hatching process. *Veterinary world*. 2023. Vol. 16, No. 7. P. 1534–1540. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.1534-1540>
23. Givisiez P. E. N., Moreira Filho A. L. B., Santos M. R. B., Oliveira H. B., Ferket P. R., Oliveira C. J. B., Malheiros R. D. Chicken embryo development:

- metabolic and morphological basis for in ovo feeding technology. *Poultry science*. 2020. Vol. 99, No. 12. P. 6774–6782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.074>
24. Guragain A., Shankar P. R., Wilson I. G. Examining authorship in publications in selected health professions education journals. *Academia Medicine*. 2024. Vol. 1, No. 2. P. 1-35. DOI: <https://doi.org/10.20935/AcadMed6221>
25. H & N International GmbH. Hatchery. Incubation under control. Management Guide. *H & N International GmbH*. 2018.. URL: <https://hn-int.com/wp-content/uploads/2021/03/HN-eMG-Hatchery-incubation-under-control.pdf> (дата звернення: 05.03.2025)
26. H & N International GmbH. Incubation. Management Guide. *H & N International GmbH*. 2024. URL: [https://hn-int.com/wp-content/uploads/2024/05/HN\\_MG\\_Incubation\\_EN\\_05.2024\\_high.pdf](https://hn-int.com/wp-content/uploads/2024/05/HN_MG_Incubation_EN_05.2024_high.pdf) (Retrieved from 05.03.2025).
27. Hasan S.Q., Elattar M., Moustafaa M., Abdo M.S. Using Thermochemical Materials as a Heat Source for Poultry Egg Incubation. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 29, No. 1. P. 243-262. DOI: <http://doi.org/10.21608/ajs.2021.54048.1313>
28. Helander E. Feeding the breeder of today to optimize performance results. *International Hatchery Practice*. 2015. Vol. 30, No. 2. P. 7-9. [https://www.researchgate.net/publication/297622919\\_Lighted\\_incubation\\_and\\_leg\\_bone\\_development](https://www.researchgate.net/publication/297622919_Lighted_incubation_and_leg_bone_development)
29. Hubbard. Incubation Guide. *Hubbard*. 2011. URL: [https://www.hubbardbreeders.com/media/incubation\\_guideen\\_053407700\\_1525\\_26062017.pdf](https://www.hubbardbreeders.com/media/incubation_guideen_053407700_1525_26062017.pdf) . (дата звернення: 16.03.2025).
30. Izadeen G. Y., Kocher I. S. H. Smart egg incubator based on microcontroller: a review. *Academic Journal of Nawroz University*. 2022. Vol. 11, No. 4. P. 139–146. DOI: <https://doi.org/10.25007/ajnu.v11n4a1401>
31. Jabbar A. The Eggs Turning Frequencies and Turning Angle During Incubation. *International Journal of Animal Science and Technology*. 2023. Vol. 7, No. 2. P. 31-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.11648/j.ijast.20230702.14>

32. Jamesway. Hatchery Design Manual. Single-Stage Chicken. *Jamesway Incubation Systems*. 2019. URL: <https://www.jamesway.com/storage/2019/04/MANHDPS-Revision-Temp-News-Cover-SS-Chicken.pdf> (дата звернення: 08.04.2025).
33. Janikovičová L., Demčišáková Z., Luptáková L., Petrovová E. Pre-Incubation and its Effect on the Development and Malformations of The Chick Embryo. *Folia Veterinaria*. 2019. Vol. 63, No. 1. P. 24-31. DOI: <https://doi.org/10.2478/fv-2019-0004>
34. Jia N., Li B., Zhu J., Wang H., Zhao Y., Zhao W. A Review of Key Techniques for in Ovo Sexing of Chicken Eggs. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 3. Article 677. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030677>
35. Junaedi J., Husnaeni H. Relationship of Hatching Egg Weights with Egg Weight Loss and DOC Weights of Chickens from Bangkok Male Crossbreeding with Pelung Chicken Broodstock. *Chalaza Journal of Animal Husbandry*. 2020. Vol. 5, No. 1, P. 35-39 DOI: <https://doi.org/10.31327/chalaza.v5i1.1261>
36. Kettrukat T., Grochowska E., Therkildsen M. The effect of incubation temperature on the development of the locomotory system and welfare in broiler chickens: A review. *Livestock Science*. 2023. Vol. 276. Article 105326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105326>
37. Lartey S. Exploring the Impact of Technological Innovations on Egg Hatching and the Consequences for Natural Poultry Practices: Future Recommendations and Studies. 2024. URL: [https://www.researchgate.net/publication/383876244\\_Exploring\\_the\\_Impact\\_of\\_Technological\\_Innovations\\_on\\_Egg\\_Hatching\\_and\\_the\\_Consequences\\_for\\_Natural\\_Poultry\\_Practices\\_Future\\_Recommendations\\_and\\_Studies](https://www.researchgate.net/publication/383876244_Exploring_the_Impact_of_Technological_Innovations_on_Egg_Hatching_and_the_Consequences_for_Natural_Poultry_Practices_Future_Recommendations_and_Studies) (дата звернення: 08.04.2025).
38. Liu C., Zheng W., Zhu L., Tong Q., Li D. Effect of elevated carbon dioxide on chicken eggs during the early and late incubation periods. *Animal: an international journal of animal bioscience*. 2022. Vol. 16, No. 4. Article 100499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100499>

39. Maaño R., Chavez E. P., Maano R. Towards the Development of a Smart Photovoltaic-Powered Temperature Controlled Poultry Egg Incubator. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*. 2018. Vol. 19, No. 3. Article 19.1-19.5 DOI: <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.19.03.19>
40. Melo E. F., Araújo I. C. S., Triginelli M. V., Castro F. L. S., Baião N. C., Lara L. J. C. Effect of egg storage duration and egg turning during storage on egg quality and hatching of broiler hatching eggs. *Animal: an international journal of animal biosciences*. 2020. Vol. 15, No. 2. Article 100111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100111>
41. Melo E. F., Clímaco W. L. S., Triginelli M.V., Vaz D. P., de Souza M. R., Baião N. C., Pompeu M. A., Lara L. J. C. An evaluation of alternative methods for sanitizing hatching eggs. *Poultry Science*. 2019. Vol. 98, No. 6. P. 2466–2473. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pez022>
42. Mesquita M. A., Araújo I. C. S., Café M. B., Arnhold E., Mascarenhas A. G., Carvalho F. B., Stringhini J. H., Leandro N. S. M., Gonzales E. Results of hatching and rearing broiler chickens in different incubation systems. *Poultry science*. 2021. Vol. 100, No. 1. P. 94–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.028>
43. Miri B., Ghasemi H. A., Hajkhodadadi I., Khaltabadi Farahani A. H. Effects of low eggshell temperatures during incubation, in ovo feeding of L-arginine, and post-hatch dietary guanidinoacetic acid on hatching traits, performance, and physiological responses of broilers reared at low ambient temperature. *Poultry science*. 2022. Vol. 101, No. 1. Article 101548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101548>
44. Mohammadi-Aragh M.K., Linhoss J.E., Evans J. Effects of various disinfectants on the bacterial load and microbiome of broiler hatching eggs using electrostatic spray. *Journal of Applied Poultry Research*. 2022. Vol. 31, No. 3. Article 100278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100278>
45. Mohammedjuhar M. M., Yesihak Y., Nabiyyu T. K. Influences of Types of Incubators on Hatchability of Eggs. *Advances in Applied Sciences*. 2023. Vol. 8, No. 3. P. 80-85. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.aas.20230803.13>

46. Molenaar R., Reijrink I.A., Meijerhof R., Brand H.V. (2010). Meeting embryonic requirements of broilers throughout incubation: a review. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2010. Vol. 12. P. 137-148. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2010000300001>
47. Motola G., Hafez H. M., Brüggemann-Schwarze S. Assessment of three alternative methods for bacterial disinfection of hatching eggs in comparison with conventional approach in commercial broiler hatcheries. *PloS one*. 2023. Vol. 18, No. 3. Article e0283699. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283699>
48. Nasri H., van den Brand H., Najar T., Bouzouaia M. Interactions between Egg Storage Duration and Breeder Age on Selected Egg Quality, Hatching Results, and Chicken Quality. *Animals: an open access journal from MDPI*. 2020. Vol. 10, No. 10. Article 1719. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10101719>
49. Ojike O., Okonkwo W. I., Ezenne G., Nwoke O. A., Ohagwu C. J. Energy sources for poultry egg incubators' efficiency and hatchability. *Nigerian Journal of Technology*. 2024. Vol. 43, No. 1. P. 189-197. DOI: <https://doi.org/10.4314/njt.v43i1.20>
50. Okur N., Eratarlar S. A. Effects of ventilation programme and eggshell thickness on hatchability rate and hatching time of broiler eggs. *South African Journal of Animal Science*. 2021. Vol. 51, No. 2. P. 205-211. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v51i2.8>
51. Oliveira G. D. S., Dos Santos V. M., Nascimento S. T., Rodrigues J. C. Alternative sanitizers to paraformaldehyde for incubation of fertile eggs. *Poultry science*. 2020. Vol. 99, No. 4. P. 2001–2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.032>
52. Oliveira G. D. S., Dos Santos V. M., Rodrigues J. C., Nascimento S. T. Effects of different egg turning frequencies on incubation efficiency parameters. *Poultry science*. 2020. Vol. 99, No. 9. P. 4417–4420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.045>
53. Oso O. M., Metowogo K., Adjei-Mensah B., Onagbesan O., Tona K. Effects of Timing and Duration of LED Light Supply during Incubation on Embryonic

Development and Hatching Parameters of Sasso Eggs. *International Journal of Veterinary Science*. 2023. Vol. 12, No. 4. P. 572–579. DOI: <https://doi.org/10.47278/journal.ijvs/2023.003>

54. Özkan S., Yalçın S., Bayraktar Ö. H., Bilgen G., Dayıoğlu M., Bolhuis J. E., Rodenburg T. B. Effects of incubation lighting with green or white light on brown layers: hatching performance, feather pecking and hypothalamic expressions of genes related with photoreception, serotonin, and stress systems. *Poultry science*. 2022. Vol. 101, No. 11. Article 102114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102114>

55. Pashudhan praharee. Incubation and Hatching of poultry eggs. Management of Chicken. *Pashudhan praharee*. 2023. URL: <https://www.pashudhanpraharee.com/wp-content/uploads/2023/10/INCUBATION-AND-HATCHING-OF-POULTRY-EGGS.pdf> (дата звернення: 07.03.2025).

56. Peters B. Optimising egg transfer: Key considerations and best practices. *International Hatchery Practice*. 2024. Vol. 38, No. 8. P. 12-13. URL: <https://agriinsightpublications.com/wp-content/uploads/2024/11/Candling-Hendrix.pdf>

57. Rahardja D. P., Hakim M. R., Empira T, Sahrul, Savitri R. D. (2020). Effects of weight and storage duration of hatching eggs of Indonesian Local Chicken on several measures of internal quality and hatchability. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 492, No. 1. Article 012034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012034>

58. Riedel C. Tzschentke B. The effect of light during incubation on embryonic development and post-hatch behaviour, health and performance of domestic chicken. *Lohmann Information*. 2023. URL: <https://lohmann-breeders.com/files/downloads/PUBLICATIONS/LI/2024/LOHMANN-INFORMATION-EFFECT-LIGHT-EN.pdf> (дата звернення 17.03.2025).

59. Rogers L.J., Kaplan G. Does Functional Lateralization in Birds Have any Implications for Their Welfare? *Symmetry*. 2019. Vol. 11, Article 1043. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym11081043>

60. Sobejana N.P., Bacalso E.J. Development and Construction of Poultry Egg Incubator Temperature and Humidity Controller (Peitch) With SMS Notification. *Social Science Research Network*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.2139/SSRN.3779301>
61. Steiner J. J. Disinfection of hatching eggs using low-energy electron beam. *University of Zurich, Vetsuisse Faculty*. 2020. P. 1-50. DOI: <https://doi.org/10.5167/uzh-192196>
62. Tainika B., Bayraktar Ö.H. Lighted incubation: embryonic development, hatchability and hatching quality of broiler chicks. *World's Poultry Science Journal*. 2021. Vol. 78. P. 161-178. DOI: <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.1988806>
63. Tebrün W., Motola G., Hafez M. H., Bachmeier J., Schmidt V., Renfert K., Reichelt C., Brüggemann-Schwarze S., Pees M. Preliminary study: Health and performance assessment in broiler chicks following application of six different hatching egg disinfection protocols. *PloS one*. 2020. Vol. 15, No. 5. Article e0232825. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232825>
64. Tong Q., McGonnell I. M., Demmers T. G. M., Roulston N., Bergoug H., Romanini C. E., Verhelst R., Guinebretière M., Eterradossi N., Berckmans D., Exadaktylos V. Effect of a photoperiodic green light programme during incubation on embryo development and hatch process. *Animal : an international journal of animal bioscience*. 2018. Vol. 12, No. 4. P. 765–773. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731117002117>
65. Tong Q., McGonnell I. M., Roulston N., Bergoug H., Romanini C. E., Garain P., Eterradossi N., Exadaktylos V., Bahr C., Berckmans D., Demmers T. G. Higher levels of CO<sub>2</sub> during late incubation alter the hatch time of chicken embryos. *British poultry science*. 2015. Vol. 565, No. 4. P. 503–509. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1041097>
66. Underwood G.P., Andrews D., Phung T., Edwards L.E. Incubation, hatchery practice and the welfare of layer hens. *Animal Production Science*. 2021. Vol. 61. P. 867-875. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN20391>
67. Uyanga V. A., Onagbesan O. M., Abiona J. A., Egbeyale L. T., Oke O. E., Akinjute O. F. Blastodermal development, hatchability and chick quality of

Marshall® broiler breeders of different flock ages during egg storage. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2020. Vol. 104, No. 6. P. 1748-1756. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13403>

68. Van den Brand H., Meijerhof R., Heetkamp M. J. W., van den Anker I., Ooms M., Kemp B., Molenaar R. Interaction between eggshell temperature and carbon dioxide concentration after day 8 of incubation on broiler chicken embryo development. *Animal: an international journal of animal bioscience*. 2021. Vol. 15, No. 6. Article 100223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100223>

69. Yalcin S., Özkan S., Shah T. Incubation Temperature and Lighting: Effect on Embryonic Development, Post-Hatch Growth, and Adaptive Response. *Frontiers in Physiology*. 2022. Vol. 13. Article 899977. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.899977>

70. Yin P., Wei S., Tong Q., Li B., Zheng W., Xue X., Shi C. Effects of Incubation Light on Behaviour, Growth Performance, Blood Parameters, and Digestive Enzymes in Post-Hatch Layer Chicks. *Animals*. 2024. Vol. 14, No. 15. Article 2197. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14152197>