

Эффективность применения кальцидиола в рационах кур-несушек при различных технологиях кормопроизводства

А. Г. Мусин¹✉, А. С. Мустафин², Р. Р. Гадиев¹, Д. Д. Хазиев¹

¹ Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

² ООО «Оллтек», Москва, Россия

✉ E-mail: almas-musin@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного анализа влияния изменения витаминного состава кормов на продуктивность кур-несушек и качество яичной скорлупы. **Целью** исследования было сравнение эффективности замены традиционного источника витамина D3 (холекальциферол) на его метаболитически активный аналог 25-ОН-D3 (кальцидиол) в различных сочетаниях. Также было изучено воздействие процесса парообработки корма (с восполнением потерь жирорастворимых витаминов, вызванных термическим воздействием) и полного замещения холекальциферола кальцидиолом на показатели яйценоскости, физические и химические характеристики скорлупы в условиях промышленного птицеводства. **Методы.** Данные для анализа получены на базе опытного птичника ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (г. Уфа). Объект исследования – куры-несушки кросса СуперНик, разделенные на группы в зависимости от типа потребляемого рациона. В первом опыте птица потребляла комбикорм с различными уровнями ввода кальцидиола взамен холекальциферола, во втором опыте испытывали кальцидиол в составе термически не обработанного и термически обработанного корма без введения и с введением дополнительных доз жирорастворимых витаминов с целью компенсации их термически индуцированной деградации. В ходе исследовательской работы оценивались следующие показатели: яйценоскость, масса яйца, выход яйцемассы за период проведения опыта, доля яиц с насечкой, прочность скорлупы, упругая деформация, масса и толщина скорлупы, содержание кальция в скорлупе. **Научная новизна.** Впервые проведен сравнительный анализ влияния двух источников витамина D3 – холекальциферола и кальцидиола – при различных технологиях производства корма на показатели продуктивности кур-несушек и качественные характеристики скорлупы яиц. **Результаты.** Установлено, что применение 25-ОН-D3 положительно влияет на яичную продуктивность кур-несушек, повышая толщину и прочность скорлупы, что способствует снижению доли яиц с насечкой. Также отмечено благоприятное влияние парообработки кормов в сочетании с введением компенсаторных доз витаминов А, D3, Е и заменой холекальциферола на 25-ОН-D3 на химические свойства яичной скорлупы.

Ключевые слова: куры-несушки, термическая обработка комбикормов, парообработка, жирорастворимые витамины, ретинол, токоферол, холекальциферол, кальцидиол, 25-ОН-D3, кальций, яйценоскость на среднюю несушку, яйцемасса, прочность, упругая деформация, толщина скорлупы

Для цитирования: Мусин А. Г., Мустафин А. С., Гадиев Р. Р., Хазиев Д. Д. Эффективность применения кальцидиола в рационах кур-несушек при различных технологиях кормопроизводства // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1721–1730. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1721-1730>.

Дата поступления статьи: 05.05.2026, **дата рецензирования:** 08.07.2026, **дата принятия:** 23.07.2026.

Efficiency of calcidiol application in laying hen diets under various feed production technologies

A. G. Musin^{1✉}, A. S. Mustafin², R. R. Gadiev¹, D. D. Khaziev¹

¹ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

² Alltech LLC, Moscow, Russia

✉ E-mail: almas-musin@yandex.ru

Abstract. This article presents the results of a comprehensive analysis of the impact of varying the vitamin composition of feed on the productivity of laying hens and eggshell quality. **The purpose** of the study was to compare the effectiveness of replacing the traditional source of vitamin D3 (cholecalciferol) with its metabolically active analogue 25-OH-D3 (calcidiol) in various combinations. We also examined the effects of feed steaming (replenishing the loss of fat-soluble vitamins caused by thermal exposure) and complete replacement of cholecalciferol with calcidiol on egg production and the physical and chemical characteristics of eggshells under industrial poultry farming conditions. **Methods.** Data for the analysis were obtained from the experimental poultry house of the Bashkir State Agricultural University (Ufa). The study subjects were SuperNik laying hens, divided into groups depending on the type of diet consumed. In the first experiment, birds consumed feed with varying levels of calcidiol supplementation instead of cholecalciferol. In the second experiment, calcidiol was tested in both unheated and heat-treated feed, with and without the addition of additional doses of fat-soluble vitamins to compensate for their heat-induced degradation. The following parameters were evaluated during the study: egg production, egg weight, egg yield over the experimental period, proportion of eggs with cracks, shell strength, elastic deformation, shell weight and thickness, and shell calcium content. **Scientific novelty.** For the first time, a comparative analysis was conducted of the effects of two sources of vitamin D3 – cholecalciferol and calcidiol – on the productivity of laying hens and the quality of eggshells using various feed production technologies. **Results.** It has been established that the use of 25-OH-D3 has a positive effect on egg production in laying hens, increasing shell thickness and strength, which helps reduce the incidence of cracked eggs. A beneficial effect on eggshell chemical properties has also been observed with steam treatment of feed, supplemental doses of vitamins A, D3, and E, and the replacement of cholecalciferol with 25-OH-D3.

Keywords: laying hens, feed thermal processing, steam treatment, fat-soluble vitamins, retinol, tocopherol, cholecalciferol, calcidiol, 25-OH-D3, calcium, hen-day egg production, egg mass, shell strength, elastic deformation, shell thickness

For citation: Musin A. G., Mustafin A. S., Gadiev R. R., Khaziev D. D. Efficiency of calcidiol application in laying hen diets under various feed production technologies. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1721–1730. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1721-1730>. (In Russ.)

Date of paper submission: 05.05.2026, **date of review:** 08.07.2026, **date of acceptance:** 23.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Непрерывное совершенствование технологий в современном птицеводстве привело к созданию высокопродуктивных кроссов с интенсивным метаболизмом, что, в свою очередь, диктует новые требования к качественным характеристикам кормов. В данных условиях приоритетной задачей кормопроизводства становится разработка сбалансированных рационов, способных удовлетворить высокую потребность птицы в биологически активных веществах при обеспечении экономической рентабельности производства. Основой таких рационов служат полнорационные комбикорма, максимально отвечающие алиментарным потребностям поголовья. Для оптимизации питательной ценности и реализации генетического потенциала птицы в составе современных кормов в обязательном порядке при-

меняются синтетические формы жирорастворимых витаминов А, D3, Е [1]. Однако, несмотря на обязательность их применения, жирорастворимые витамины зачастую характеризуются феноменом конкурентного антагонизма, реализуемого в организме птицы, что существенно осложняет нормирование их дозирования.

В частности, избыточное поступление ретинола (витамина А) способно спровоцировать функциональный дефицит токоферола (витамина Е) вследствие конкуренции при всасывании в кишечнике и ускорения его системного выведения. Особого внимания также требует контроль уровня холекальциферола (витамина D3), поскольку его гипервитаминоз провоцирует дестабилизацию минерального обмена, гиперкальциемию и эктопическую кальцификацию мягких тканей. Согласно данным некото-

рых авторов [2], конкурентное ингибирование жирорастворимых витаминов проявляется на уровне энтероцитов, где эти соединения соперничают за общие транспортные системы и белки-переносчики. Данный факт актуализирует необходимость оптимизации не столько количественного содержания отдельных витаминных компонентов, сколько их баланса в составе рационов [3; 4].

Эволюция научных подходов к применению витамина D3 в птицеводстве демонстрирует переход от использования традиционных форм (холекальциферол) к стратегическому внедрению активных метаболитов (кальцидиол или 25-ОН-D3) для оптимизации производственных показателей.

Являясь жирорастворимым стероидным соединением, витамин D3 выполняет фундаментальную роль в поддержании фосфорно-кальциевого гомеостаза. Его регуляторное воздействие охватывает кишечную абсорбцию нутриентов корма, почечную экскрецию, метаболизм костной ткани и биоминерализацию яичной скорлупы [5]. Данные процессы опосредованы контролем экспрессии специфических кальций-связывающих белков, обеспечивающих направленный транспорт ионов [6].

Наряду с эндокринной регуляцией минерального обмена критически важной функцией витамина D3 является поддержание структурной целостности кишечного барьера. Он стимулирует развитие межклеточных контактов за счет усиления синтеза белков и супрессии провоспалительных реакций в слизистой оболочке и укрепляет барьерную функцию кишечника, оптимизируя состав микробиоты [7; 8].

Классический путь активации холекальциферола включает двухэтапное гидроксилирование: первичное – в печени с образованием 25-ОН-D3, вторичное – в почках до гормонально активной формы 1,25-(ОН)₂-D3. При этом именно 25-ОН-D3 выступает ключевым депо-метаболитом в системном кровотоке и служит объективным биомаркером статуса обеспеченности организма витамином D3 [9].

В современной индустрии кормопроизводства сохраняется технологический парадокс: повсеместное внедрение термической обработки, направленное на обеспечение микробиологической чистоты, на практике сопровождается неучтенной деградацией термолабильных витаминов, в частности витаминов А, D3 и Е [10]. Если в мясном птицеводстве (бройлеры, индейка) использование гранулированных кормов является стандартом, то в сегменте промышленных кур-несушек паробработка рассыпных комбикормов лишь в последние годы начала приобретать актуальность [11; 12]. Данный метод признан эффективным инструментом снижения бактериальной и вирусной контаминации кормов, а также способом повышения обменной энергии и доступности питательных веществ, однако его негативное влияние на стабильность витамин-

ных компонентов рациона требует более детального изучения [13; 14].

Наряду с яйценоскостью несушек качество скорлупы является важным показателем, определяющим эффективность хозяйства. Товарный вид, микробиологическая безопасность и технологическая пригодность яиц к длительному хранению и транспортировке напрямую зависят от прочностных характеристик скорлупы. Выполняя роль первичного механического барьера, скорлупа защищает внутреннее содержимое яйца от повреждений и контаминации патогенной микрофлорой, а также обеспечивает его оптимальный газо- и влагообмен. Снижение качества скорлупы – повышение хрупкости и упругой деформации или наличие дефектов в виде насечки – коррелирует с ростом экономического ущерба вследствие увеличения доли боя и технологического брака [15].

С учетом вышеизложенного значительный научно-практический интерес представляет комплексная оценка влияния на продуктивность кур-несушек и качественные показатели яиц сочетанного применения различных методов модификации рационов. К ним относятся использование биологически активных форм витаминов, а также паробработка комбикормов с введением компенсаторных доз жирорастворимых витаминов, направленная на нивелирование последствий их термически индуцированных потерь.

Целью настоящего исследования явилась комплексная оценка влияния различных уровней замещения холекальциферола кальцидиолом, а также применения паробработки комбикормов в сочетании с введением корректирующих дозировок жирорастворимых витаминов на показатели яичной продуктивности и качественные характеристики скорлупы кур-несушек.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Оценить влияние исследуемых факторов кормления на показатели яичной продуктивности птицы (яйценоскость на среднюю несушку, выход яйцемассы).
2. Выявить закономерности изменения физических (масса, толщина, прочность, упругая деформация) и химических свойств скорлупы (содержание кальция) под воздействием различных рационов.

Методология и методы исследования (Methods)

В рамках первого научно-хозяйственного опыта изучали эффективность включения в состав комбикормов различных дозировок кальцидиола (25-ОН-D3) – метаболически активного аналога витамина D3. Исследования продолжительностью 10,5 месяца проводили в 2025 году в условиях опытного птичника ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (г. Уфа) на курах-несушках кросса СуперНик. Для этого в возрасте 173 дней методом случайной выборки были

сформированы три группы птиц согласно схеме, представленной в таблице 1. Несушки контрольной группы получали базовый рацион (БР), в котором источником витамина D3 служил холекальциферол. В рационах I и II опытных групп холекальциферол был заменен кальцидиолом в эквиваленте 50 % и 100 % соответственно. Условия содержания птицы на протяжении всего опыта соответствовали установленным технологическим нормативам.

В рамках подготовки ко второму научно-хозяйственному опыту (2024 год) была организована рекогносцировочная стадия исследований на базе производственно-технической лаборатории премиксного завода ООО «ЭйВи НутриСмарт» (Оренбург). В лабораторных условиях был изготовлен модельный комбикорм, рецептура которого была составлена и сбалансирована в соответствии с нормами для промышленного стада кур-несушек кросса СуперНик. Кормосмесь подвергали парообработке по режимам, принятым в комбикормовой промышленности: температура продукта в потоке $80 \pm 1^\circ\text{C}$, экспозиция в течение 5 мин. Образцы опытных кормов до и после парообработки исследовали на содержание массовой доли витаминов (А, D3, Е) согласно М-02-1006-08 «Биологически активные добавки, премиксы, корма, комбикормовое сырье. Методика выполнения измерений мас-

совой доли жирорастворимых витаминов методом ВЭЖХ». Выявленные уровни деградации витаминов при термической обработке кормовой смеси (витамин А – 19 %, витамин D3 – 10 %, витамин Е – 8 %) далее принимались за корректировочные при составлении рецептур кормов для использования во втором опыте.

Второй научно-хозяйственный опыт продолжительностью 11 месяцев был проведен в 2025–2026 годах в условиях опытного птичника ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. Для его реализации методом случайной выборки было сформировано 4 группы кур-несушек кросса СуперНик в возрасте 266 дней. Контрольная группа получала базовый рацион (БР) – полнорационный рассыпной комбикорм с включением стандартных дозировок витаминов А, D3 (холекальциферол), Е. В опытных группах схема кормления варьировалась по способу обработки корма и источнику витамина D3: I опытная группа получала БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3; II опытная группа – БР с парообработкой и добавлением компенсаторных доз витаминов А, D3 и Е с целью компенсации их термически индуцированной деградации; III опытная группа – БР с парообработкой, введением компенсаторных доз витаминов А, Е и полной заменой D3 на 25-ОН-D3.

Таблица 1
Общая схема проведения научно-хозяйственных опытов

Группа	Количество, гол.	Условия кормления
Первый научно-хозяйственный опыт		
Контрольная	21	Базовый рацион (БР)
I опытная	21	БР с заменой 50 % дозы D3 на 25-ОН-D3 (в соотношении 1 : 1)
II опытная	21	БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3
Второй научно-хозяйственный опыт		
Контрольная	63	Базовый рацион (БР)
I опытная	63	БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3
II опытная	63	Парообработанный БР с введением корректировочных дозировок витаминов: А (19 %), D3 (10 %), Е (8 %)
III опытная	63	Парообработанный БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3 и введением корректировочных дозировок витаминов: А (19 %), Е (8 %)

Table 1
General procedure for conducting scientific and economic experiments

Group	Number of birds	Feeding conditions
First scientific and economic experiment		
Control	21	Basic diet
I experimental	21	Basic diet with replacement of 50 % of the D3 dose with 25-OH-D3 (in a 1 : 1 ratio)
II experimental	21	Basic diet with complete replacement of D3 with 25-OH-D3
Second scientific and economic experiment		
Control	63	Basic diet
I experimental	63	Basic diet with complete replacement of D3 with 25-OH-D3
II experimental	63	Steamed basic diet with the introduction of corrective doses of vitamins: A (19 %), D3 (10 %), E (8 %)
III experimental	63	Steamed basic diet with complete replacement of D3 with 25-OH-D3 and introduction of corrective doses of vitamins: A (19 %), E (8 %)

В подготовительный период все поголовье получало базовый рацион. С переходом к учетному периоду контрольная группа продолжила получать базовый рацион, а птица опытных групп была переведена на соответствующие экспериментальные корма.

Яйценоскость на среднюю несушку определяли расчетным методом по данным ежедневного группового учета снесенных яиц. Яйцемассу от одной курицы рассчитывали как производное количества снесенных яиц на среднюю несушку и усредненной массы яиц по каждой группе. Учет яиц с насечкой производили путем визуальной оценки ежедневно в процессе яйцесбора. Оценка качества скорлупы проводилась в первые сутки хранения по следующим показателям: масса яйца, прочность скорлупы, упругая деформация, вес скорлупы, толщина скорлупы. Массу яйца и скорлупы определяли гравиметрическим методом – взвешиванием на электронных весах с точностью до 0,01 г. Для измерения прочности скорлупы применяли комбинированное устройство для контроля качества яиц, разработанное для оценки товарного и инкубационного яйца (диапазон измерения силы воздействия наконечника от 0 до 20 кг, или 196 Н, с фиксацией пикового значения силы разрушения, точность измерения 0,01 кг при измерении в килограммах и 0,1 Н в ньютонах) [16]. Модернизированный прибор ПУД-3 (с давлением груза в точке приложения его к скорлупе 500 г) использовался для определения упругой деформации скорлупы. Толщину скорлупы определяли прямым способом путем разбивания яйца и измерения толщины скорлупы без подскорлупной оболочки при помощи электронного микрометра. Определение количественного содержания кальция в скорлупе яиц осуществляли методом капиллярного электрофореза в системе «Капель 105-М» по адаптированной методике М 04-65-2010.

Анализ цифровых данных выполнен в Microsoft Excel. Проверка на нормальность осуществлялась

критерием Шапиро – Уилка, расчет статистической значимости – критерием Стьюдента.

Результаты (Results)

Результаты оценки продуктивности кур при различных вариантах замены в рационах холекальциферола метаболическим аналогом 25-ОН-D3 отражены в таблице 2. Установлено, что полная замена витамина D3 на 25-ОН-D3 коррелирует с ростом продуктивности: анализ показал превосходство опытных групп над контрольной по яйценоскости в расчете на среднюю несушку. Так, в I опытной группе данный показатель вырос на 1,1 % (3,37 шт.), во II опытной – на 2,0% (6,48 шт.). Аналогичная положительная динамика была отмечена и в отношении показателя массы яиц, который в I опытной группе достоверно превысил контрольные значения на 1,6 % ($p < 0,05$), во II опытной – на 2,9 % ($p < 0,001$).

Показатель валовой яйцемассы был выше контроля на 2,7 и 5,0 % в I и II опытной группе соответственно. Яйцемасса напрямую зависит от того, насколько эффективно птица трансформирует питательные вещества корма в продукцию, в связи с этим рост данного показателя в опытных группах говорит о повышении усвояемости кальция и фосфора в комбикормах.

Количество яиц с насечкой снизилось с 3,82 % в контрольной до 3,29 % и 2,38 % в I и II опытной группе соответственно (рис. 1).

Схожая дозозависимая тенденция была установлена и по массе скорлупы: показатели в I и II опытной группе превысили значения в контрольной на 2,3 % ($p < 0,05$) и 3,3 % ($p < 0,01$) соответственно (рис. 2).

Таким образом, исходя из представленных данных, можно сделать вывод о том, что использование 25-ОН-D3 – биологически активной формы витамина D3 – в первом опыте способствовало росту выхода товарной продукции в том числе и за счет снижения доли яиц с насечкой, что косвенно указывает на укрепление структуры скорлупы.

Таблица 2
Показатели яичной продуктивности кур-несушек при разных вариантах замещения холекальциферола 25-ОН-D3

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Яйценоскость на среднюю несушку, шт.	319,83	323,20	326,31
Масса яйца, г	60,32 ±0,35	61,29 ±0,34 ^a	62,06 ±0,39 ^c
Яйцемасса от 1 несушки за период опыта, кг	19,29	19,81	20,25

Примечание. $a p < 0,05$; $c p < 0,001$.

Table 2
Productivity parameters of laying hens with various 25-OH-D3 substitution levels for cholecalciferol

Indicator	Group		
	Control	I experimental	II experimental
Hen-day egg production, pcs.	319.83	323.20	326.31
Egg weight, g	60.32 ±0.35	61.29 ±0.34 ^a	62.06 ±0.39 ^c
Egg mass per layer for the experimental period, kg	19.29	19.81	20.25

Note. $a p < 0,05$; $c p < 0,001$.

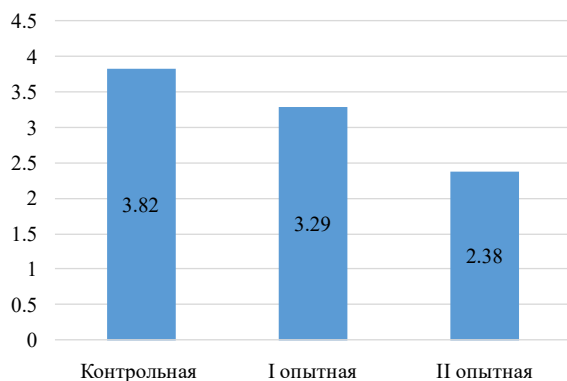


Рис. 1. Яйца с насечкой, %

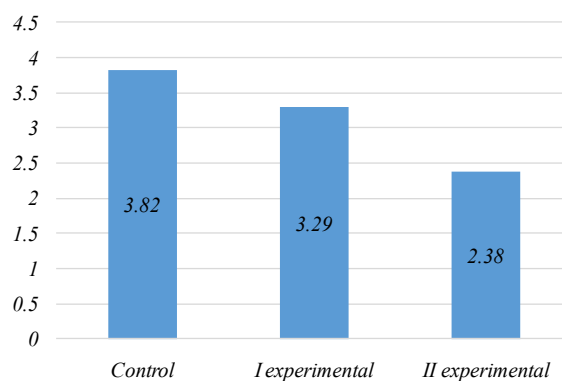


Fig. 1. Cracked eggs, %

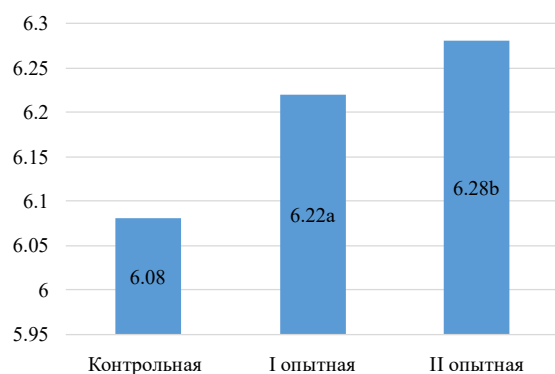


Рис. 2. Масса скорлупы, г
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

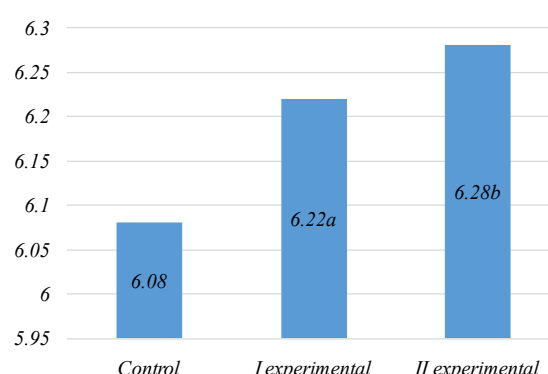


Fig. 2. Eggshell weight, g
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

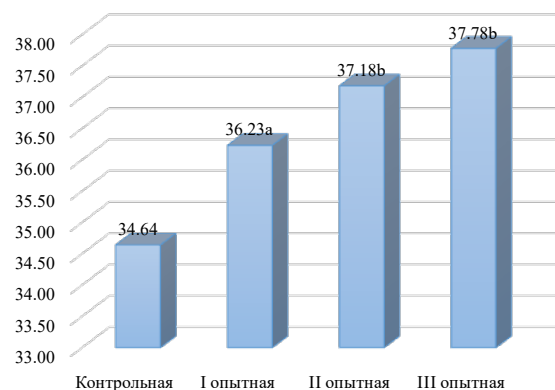


Рис. 3. Прочность скорлупы яиц кур-несушек, Н
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

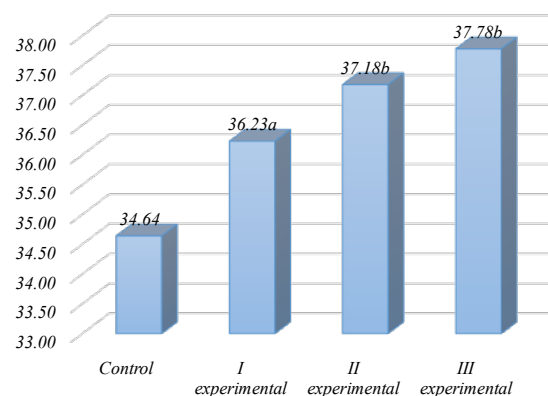


Fig. 3. Shell strength of laying hens' eggs, H
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

Для верификации данных результатов во втором опыте был проведен комплексный анализ качественных характеристик скорлупы в различных технологических условиях. В частности, оценивалась эффективность замены холекальциферола метаболитом 25-ОН-D3 при использовании рассыпных комбикормов без парообработки, а также в составе парообработанных кормов с параллельной компенсацией технологических потерь витаминов А, D3 и Е.

Динамика прочности скорлупы, представленная на рис. 3, подтверждает преимущество используемых схем кормления. Во всех опытных группах было отмечено достоверное улучшение изучаемых

показателей относительно контроля. При использовании комбикормов без парообработки замена холекальциферола на 25-ОН-D3 обеспечила прирост прочности скорлупы на 4,6 % ($p < 0,05$) (I опытная группа). При этом наиболее существенные изменения были выявлены в группах, получавших парообработанный комбикорм: введение компенсаторных доз витаминов А, D3 и Е во II опытной группе повысило прочность скорлупы на 7,3 % ($p < 0,01$), а использование метаболитически активного аналога витамина D3 с компенсацией термически индуцированных потерь витаминов А и Е позволило достичь максимального значения – 9,1 % (III опытная группа, $p < 0,01$).

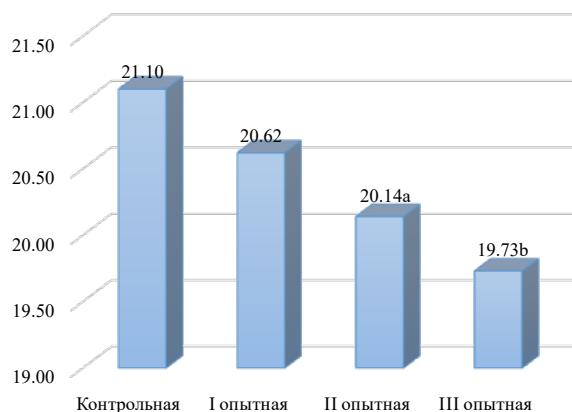


Рис. 4. Упругая деформация скорлупы яиц, мкм
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

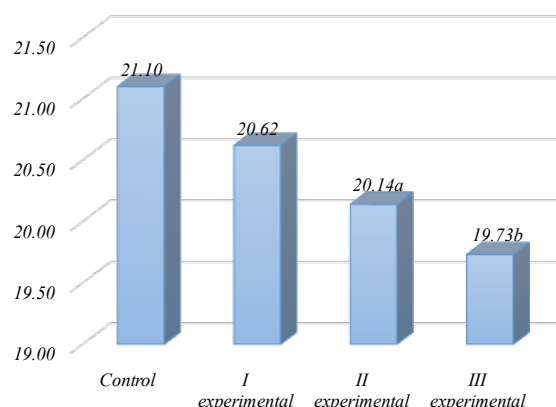


Fig. 4. Elastic deformation of eggshells, μm
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

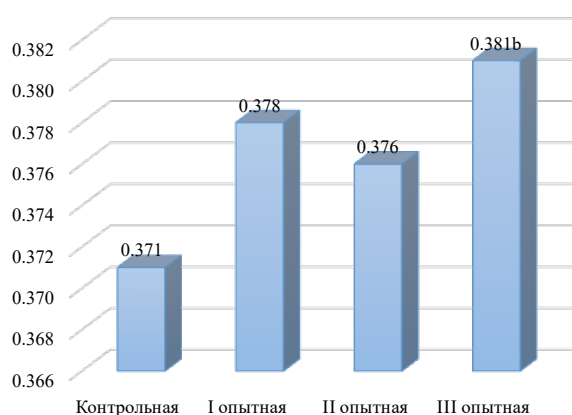


Рис. 5. Толщина скорлупы яиц, мм
^b $p < 0,01$

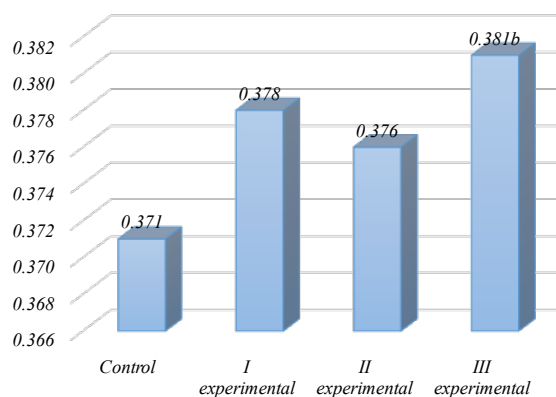


Fig. 5. Eggshell thickness, mm
^b $p < 0,01$

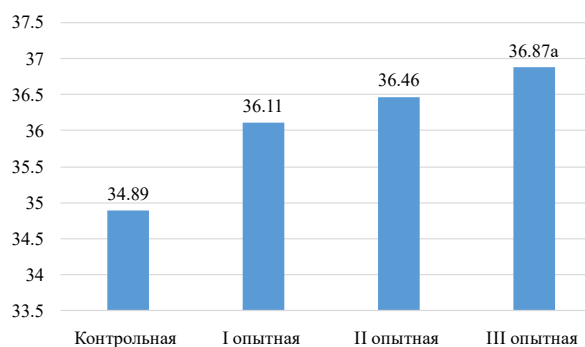


Рис. 6. Содержание кальция в скорлупе яиц кур-несушек, %
^a $p < 0,05$

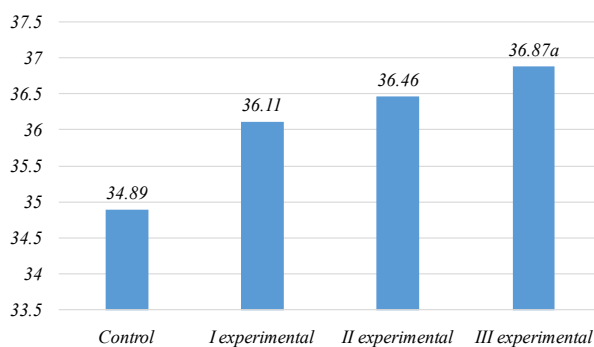


Fig. 6. Calcium content in eggshells of laying hens, %
^a $p < 0,05$

Показатель упругой деформации (рис. 4), находящийся в обратной зависимости от прочности скорлупы, продемонстрировал аналогичную направленность изменений. Наиболее выраженное и статистически значимое снижение данного параметра относительно контроля отмечено во II и III опытной группе: на 4,5 % ($p < 0,05$) и 6,5 % ($p < 0,01$) соответственно. В I опытной группе (замена витамина D3 в корме без паровой обработки) также зафиксировано улучшение показателя на 2,3 %,

однако эта разница не достигла порога статистической достоверности ($p > 0,05$).

Позитивная динамика прочностных характеристик скорлупы коррелировала с изменением ее толщины (рис. 5). Установлено, что замена витамина D3 на 25-ОН-D3 в составе рассыпного комбикорма (I опытная группа) способствовала увеличению данного показателя на 1,9 % относительно контроля, однако эти изменения носили характер тенденции ($p > 0,05$). Паровая обработка корма при одновременной компенсации потерь витаминов А, D3, Е

без замены источника D3 (II опытная группа) обеспечила аналогичный уровень прироста, не выявив преимуществ перед I опытной группой. Наиболее значимый эффект был отмечен при сочетании паровой обработки рациона с компенсацией термически индуцированных потерь витаминов А и Е и использованием метаболически активной формы витамина D3 (III опытная группа): в данном случае было зафиксировано статистически достоверное увеличение толщины скорлупы на 2,7 % ($p < 0,01$) относительно контрольных значений. Высокая достоверность результатов в III опытной группе указывает на наличие синергии между термической обработкой корма и биологической активностью 25-ОН-D3, что позволяет наиболее полно реализовать потенциал минерализации скорлупы у кур-несушек. При этом важно подчеркнуть, что прочность скорлупы зависит не только от геометрического параметра (толщины), но и от насыщения скорлупы минеральными веществами (в частности кальцием). Для подтверждения данной теории были проведены лабораторные исследования содержания кальция в составе скорлупы.

На рис. 6 представлены результаты анализа химического состава скорлупы яиц кур-несушек.

Наблюдаемая динамика по содержанию кальция в скорлупе яиц положительно коррелирует с показателями ее прочности, что, вероятно, определяется структурной трансформацией матрицы скорлупы. Таким образом, было установлено, что применение 25-ОН-D3 в кормах как с паровой обработкой, так и без нее сопровождается увеличением содержания кальция в составе скорлупы, при этом статистически значимым был результат III опытной группы (5,7 % к контролю, $p < 0,05$). Данный эффект предположительно обусловлен комплексным воздействием: оптимизацией витаминной обеспеченности за счет дополнительного введения компенсаторных доз витаминов А и Е и высокой биологической активностью кальцидиола. Обладая высокой усвояемостью, эта форма витамина D3 интенсивно включается в метаболические циклы, обеспечивая более эффективный процесс кальцификации скорлупы [9].

Несмотря на положительную динамику в I и II опытной группе (превышение контроля на 3,5 % и 4,5 %), установленные различия носили характер статистически недостоверной тенденции.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе двух научно-хозяйственных опытов была проведена сравнительная оценка продуктивных качеств кур-несушек промышленного стада при частичном и полном замещении холекальциферола кальцидиолом, а также изучено изменение прочности скорлупы в ответ на применение в кормлении птицы паровых обработанных комбикормов с вводом корректирующих доз витаминов А, D3 и Е для нивелирования уровня их деградации при термиче-

ской обработке и вместе с тем исследовано влияние замены холекальциферола на 25-ОН-D3 в составе паровых обработанных кормов.

По показателям продуктивности птицы, изученным в ходе первого опыта, частичная замена традиционного источника витамина D3 биологически активным метаболитом 25-ОН-D3 способствовала достоверному увеличению массы яйца на 1,6 % ($p < 0,05$), а полная замена позволила укрепить тенденцию, повысив массу яйца во II опытной группе на 2,9 % ($p < 0,001$). Использование метаболического аналога 25-ОН-D3 вместо холекальциферола способствовало росту яйценоскости кур-несушек. Оптимальные результаты по массе скорлупы ($p < 0,01$) также были отмечены во II опытной группе (при полной замене холекальциферола).

Результаты второго научно-хозяйственного опыта во всех опытных группах продемонстрировали статистически значимое улучшение показателей относительно контроля. Без термической обработки замена холекальциферола на 25-ОН-D3 повысила прочность скорлупы на 4,6 % ($p < 0,05$). В условиях паровой обработки эффект был более выраженным: введение компенсаторных доз витаминов (А, D3, Е) увеличило показатель на 7,3 % ($p < 0,01$), а применение 25-ОН-D3 обеспечило максимальные значения: +9,1 % ($p < 0,01$). Упругая деформация при этом продемонстрировала обратную пропорциональную динамику, что указывает на высокую степень корреляции между данными параметрами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что уровень витаминов в рационах опытных групп удовлетворял текущие физиологические потребности птицы в условиях паровой обработки комбикорма.

Качество скорлупы определяется уровнем продуктивности и физиологическим статусом птицы. Известно, что резкое снижение качественных показателей скорлупы характерно для высокопродуктивного поголовья в условиях стрессового воздействия [15]. В настоящем исследовании существенных отклонений в характеристиках скорлупы зафиксировано не было; наблюдалось лишь закономерное и постепенное снижение прочности, обусловленное возрастными изменениями в организме птицы.

Учитывая, что прочность скорлупы напрямую зависит от динамического баланса между алиментарным кальцием и его костным депо, ключевую роль играет эффективность его метаболизма. Совместное применение 25-ОН-D3, паровой обработки корма и ввод компенсаторных доз витаминов А и Е обеспечили статистически значимое повышение содержания кальция в скорлупе – на 5,7 % ($p < 0,05$). Данный эффект обусловлен высокой биодоступностью кальцидиола и оптимизацией витаминного профиля рациона, что интенсифицирует процессы кальцификации и, как следствие, улучшает прочностные характеристики скорлупы.

На основе результатов двух научно-хозяйственных опытов можно сделать вывод о том, что замена холекальциферола его метаболическим аналогом 25-ОН-D3 в рационах кур-несушек повышает их продуктивность: яйценоскость на среднюю несушку увеличивается на 1,1–2,0 %, масса яиц – на 1,6–2,9 %, выход яйцемассы – на 2,7–5,0 %. Вместе с тем усиливающий эффект в улучшении качества скорлупы достигается за счет совместного приме-

нения трех технологических подходов: термической обработки комбикормов, компенсации термически индуцированных потерь жирорастворимых витаминов (А, D3, Е) и замены холекальциферола кальцидиолом. Комбинация данных приемов обеспечивает повышение прочности скорлупы до 9,1 %, толщина скорлупы возрастает до 2,7 %, а содержание кальция в скорлупе – до 5,7 %.

Библиографический список

1. Ozturk E. Vitamins and minerals in poultry. Ankara: Iksad Publishing house, 2024. 360 p.
2. Gonçalves de Castro L. C. O sistema endocrinológico vitamina D // Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia. 2011. Vol. 55, No. 8. Pp. 566–575. DOI: 10.1590/s0004-27302011000800010.
3. Leeson S., Summers J. D. Commercial poultry nutrition, third edition. Nottingham: University books, 2005. 413 p.
4. Marques R. H., Gravena R. A., Torre da Silva J. D., et al. Effect of supplementation of diets for quails with vitamins A, D and E on performance of the birds and quality and enrichment of eggs // Revista Brasileira de Zootecnia. 2011. No. 6. Pp. 1222–1232.
5. Zhuang L., Zhou W., Jin Y., et al. Multi-omics analyses reveal the regulatory mechanisms of 25-hydroxycholecalciferol to improve meat quality in Pekin ducks // Journal of Agriculture and Food Research. 2026. No. 25. Article number 102543. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102543.
6. Sinclair-Black M., Alejandra Garcia R., Ellestad L. E. Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens // Frontiers in Physiology. 2023. Vol. 14. Article number 1112499. DOI: 10.3389/fphys.2023.1112499.
7. Cantorna M. T., Snyder L., Arora J. Vitamin A and vitamin D regulate the microbial complexity, barrier function and the mucosal immune responses to ensure intestinal homeostasis // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. 2019. No. 54 (2). Pp. 184–192.
8. Fakhoury H. M. A., Kvietys P. R., Al Kattan W., et al. Vitamin D and intestinal homeostasis: barrier, microbiota, and immune modulation // Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology. 2020. Vol. 200. Article number 105663. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2020.105663.
9. Эрнандес Х. М., Литта Г., Чунг Т. К. [и др.] Различные метаболиты витамина D3 в питании животных // Комбикорма. 2020. № 5. С. 44–46.
10. Ward N. E. Vitamin product forms and stability and retention through processing and storage // Feedstuffs. 1991. No. 41. Pp. 18–20.
11. Wang H., Li L., Zhang N., Zhang T., Ma Y. Effects of pelleting and long-term high-temperature stabilization on vitamin retention in swine feed // Animals. 2022. Vol. 12. Article number 1058. DOI: 10.3390/ani12091058.
12. Vaccari Mores I. C., Muramatsu K., Maiorka A., et al. Pelleting on the nutritional quality of broiler feeds // Journal of Agricultural Studies. 2020. No. 3. P. 193–206.
13. Yang P., Wang H., Zhu M., Ma Y. Evaluation of extrusion temperatures, pelleting parameters, and vitamin forms on vitamin stability in feed // Animals. 2020. Vol. 10. No. 5. Article number 894. DOI: 10.3390/ani10050894.
14. Брагинцев С. В., Деев К. А., Бахчевников, О. Н. Влияние различных параметров на процесс гранулирования растительного сырья и качество гранул (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (1). С. 30–45. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.30-45.
15. Околелова Т. М., Енгашев С. В. Факторы, влияющие на качество скорлупы яиц // Птицеводство. 2020. № 11. С. 57–65.
16. Патент № 233838, Российская Федерация, МПК А01К 43/00, G01N 33/08. Комбинированное устройство для контроля качества яиц: № 2024136959 [Электронный ресурс]. Заявл. 09.12.2024; опубл. 06.05.2025, Бюл. № 13 / Мустафин А. С., Мусин А. Г., заявитель и патентообладатель Мустафин А. С. URL: <https://fips.ru/EGD/2eaa40c1-c843-457c-b7ed-10d68f99c881> (дата обращения: 06.04.2026).

Об авторах:

Алмаз Газнавинович Мусин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия; ORCID 0009-0001-3977-624X, AuthorID 1319074. E-mail: almas-musin@yandex.ru

Азат Сагитович Мустафин, кандидат сельскохозяйственных наук, консультант по птицеводству, ООО «Оллтек», Москва, Россия; ORCID 0009-0007-5989-2508, AuthorID 1359201.

E-mail: azmustafin@yandex.ru

Ринат Равилович Гадиев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия; ORCID 0000-0001-8779-3047, AuthorID 158815. *E-mail: rgadiev@mail.ru*

Данис Дамирович Хазиев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия; ORCID 0000-0002-4615-6428, AuthorID 463758.

E-mail: haziev_danis@mail.ru

References

1. Ozturk E. *Vitamins and minerals in poultry*. Ankara: Iksad Publishing house, 2024. 360 p.
2. Gonçalves de Castro L. C. O sistema endocrinológico vitamin D. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*. 2011; 55 (8): 566–575. DOI: 10.1590/s0004-27302011000800010.
3. Leeson S., Summers J. D. *Commercial poultry nutrition*. 3rd edition. Nottingham: University books, 2005. 413 p.
4. Marques R. H., Gravena R. A., Torre da Silva J. D., et al. Effect of supplementation of diets for quails with vitamins A, D and E on the performance of the birds and quality and enrichment of eggs. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2011; 6: 1222–1232.
5. Zhuang L., Zhou W., Jin Y., et al. Multi-omics analyzes reveal the regulatory mechanisms of 25-hydroxycholecalciferol to improve meat quality in Pekin ducks. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2026; 25: 102543. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102543.
6. Sinclair-Black M., Alejandra Garcia R., Ellestad L. E. Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens. *Frontiers in Physiology*. 2023; 14: 1112499. DOI: 10.3389/fphys.2023.1112499.
7. Cantorna M. T., Snyder L., Arora J. Vitamin A and vitamin D regulate the microbial complexity, barrier function and the mucosal immune responses to ensure intestinal homeostasis. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*. 2019; 54 (2): 184–192.
8. Fakhoury H. M. A., Kvietys P. R., Al Kattan W., et al. Vitamin D and intestinal homeostasis: barrier, microbiota, and immune modulation. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. 2020; 200: 105663. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2020.105663.
9. Hernandez H. M., Litta G., Cheung T. K., et al. Various metabolites of vitamin D3 in animal nutrition. *Compound Feeds*. 2020; 5: 44–46.
10. Ward N. E. Vitamin product forms and stability and retention through processing and storage. *Feedstuffs*. 1991; 41: 18–20.
11. Wang H., Li L., Zhang N., Zhang T., Ma Y. Effects of pelleting and long-term high-temperature stabilization on vitamin retention in swine feed. *Animals*. 2022; 12 (9): 1058. 8 p.
12. Vaccari Mores I. C., Muramatsu K., Maiorka A., et al. Pelleting on the nutritional quality of broiler feeds. *Journal of Agricultural Studies*. 2020; 3: 193-206.
13. Yang P., Wang H., Zhu M., Ma Y. Evaluation of Extrusion Temperatures, pelletizing parameters, and vitamin forms on vitamin stability in feed. *Animals*. 2020. 10: 19. DOI: 10.3390/ani10050894.
14. Braginets S. V., Deev K. A., Bakhchevnikov O. N. Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality (review). *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2023; 24 (1): 30–45. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.30-45.
15. Okolelova T. M., Engashev S. V. Factors affecting eggshell quality. *Pticevodstvo*. 2020; 11: 57–65.
16. Patent No. 233838, Russian Federation, IPC A01K 43/00, G01N 33/08. Combined device for egg quality control: No. 2024136959 [Internet] [cited 2026 Apr 06]. Declared 09.12.2024, published 06.05.2025, Bulletin No. 13 / Mustafin A. S., Musin A. G., applicant and patent holder Mustafin A. S. Available from: <https://fips.ru/EGD/2eaa40c1-c843-457c-b7ed-10d68f99c881>. (In Russ.)

Authors' information:

Almaz G. Musin, candidate of agricultural sciences, senior lecturer, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia; ORCID 0009-0001-3977-624X, AuthorID 1319074. *E-mail: almas-musin@yandex.ru*

Azat S. Mustafin, candidate of agricultural sciences, poultry farming consultant, Alltech LLC, Moscow, Russia; ORCID 0009-0007-5989-2508, AuthorID 1359201. *E-mail: azmustafin@yandex.ru*

Rinat R. Gadiev, doctor of agricultural sciences, professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia; ORCID 0000-0001-8779-3047, AuthorID 158815. *E-mail: rgadiev@mail.ru*

Danis D. Khaziev, doctor of agricultural sciences, professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia; ORCID 0000-0002-4615-6428, AuthorID 463758. *E-mail: haziev_danis@mail.ru*