

Дмитрий Гладин, к. с.-х. н. | gdv72.72@mail.ru

Концепция светодиодного освещения в птицеводстве

➔ Современные светодиоды, благодаря которым удалось провести революционные изменения в современных технологиях освещения, дали возможность значительно увеличить эффективность, качество и срок службы осветительного оборудования и в птицеводстве. На основе проведенных исследований и опыта эксплуатации светодиодных систем освещения в птичниках сформулирована концепция светодиодного освещения, которая отражает современный взгляд не только на эффективность его использования в настоящее время, но и определяет пути дальнейшего развития.



11 октября 2021 года президент Российской Федерации Владимир Путин провел совещание, посвященное научно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса страны.

Одним из главных вопросов, поднятых президентом на совещании, стало формирование отечественной племенной базы для отрасли птицеводства. В. В. Путин отметил успехи российских селекционеров в птицеводстве, которые вывели новый отечественный кросс мясных кур — «Смена 9».

Для людей, далеких от отрасли животноводства, эта новость прошла практически незамеченной. Однако в среде специалистов важность события оценена по достоинству. После развала Советского Союза птицеводческая отрасль России пришла в упадок, как в принципе почти вся экономика новоиспеченных стран, образовавшихся на месте великой державы. Перед Российской Федерацией последующие годы поставили гораздо более важные проблемы, которые отодвинули птицеводство и его состояние с горизонта актуальных задач. Однако в нашей стране достаточно быстро поняли, что накормить людей «ножками Буша» не получится, а помогать нам «сладкоголосые» в то время западные демократии не спешили. Постановление Правительства РФ № 717 от 14 июля 2012 года «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» положило начало восстановлению, в том числе и птицеводства, на 2013–2020 гг. Мероприятия, проводимые в рамках программы, должны были обеспечить достижение установленных Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации значений основных показателей.

По данным экспертов Росптицесоюза (табл. 1), в мировом производстве ведущее место занимает мясо птицы с планируемым приростом в 2050 году по отношению к 2010-му в 122,5% и потреблением 23,68 кг на человека в год. Согласно данным (табл. 2), в нашей стране производство мяса птицы на душу населения в 2018 году по отношению к 1961 году возросло на 1268%. По отношению к 2000 году в 2018 году Россия заняла одну из лидирующих позиций в мире с приростом в 545,3%, а производство мяса птицы на душу населения в 2018 году составило 34,2 кг, что на 44,4%

больше, чем планируемое среднее мировое к 2050 году.

В мировом производстве яиц (табл. 3) Российская Федерация в 2016 году обеспечивала 2,9% с 43,6 млрд шт. в год, с приростом 27,9% в 2016 году по отношению к 2000 году [1].

На основе этих данных можно сделать вывод, что усилия нашего государства в развитии птицеводства достигли определенного успеха, однако остается еще разрыв с некоторыми странами мира.

Мероприятия, определенные в Постановлении Правительства и позволившие достичь вышеуказанных показателей, касались в первую очередь улучшения эффективности предприятий за счет внедрения новых технологий, обеспечения конкурентоспособности и безопасности продукции птицеводства.

Слабым звеном отечественного птицеводства до недавнего времени оставалось племенное дело. Подавляющую часть племенной продукции приходилось приобретать за рубежом, оставаясь в полной зависимости от иностранных дорогостоящих кроссов птицы. Выведение отечественного полноценного кросса мясных кур «Смена 9» позволяет говорить о существенных достижениях в области развития собственного селекционного дела и производства племенной продукции, снижении зависимости от иностранной продукции в птицеводстве, а также ее стоимости [2].

Финансовая помощь государства птицеводческим предприятиям, позволившая существенно повысить их эффективность, направлялась на модернизацию производства, приобретение нового современного оборудования, реорганизацию управленческих структур птицефабрик. В основном использовались зарубежные технологии и оборудование, но одним из направлений, которое успешно развивается на основе отечественного научного потенциала и производственной базы, стало освещение птичников твердотельными источниками света — светодиодами. В 2009 году, когда в России появились первые птичники со светодиодными системами освещения, за рубежом еще шел процесс начального обсуждения такой возможности и планирования исследований в этом направлении. С 2005 года на базе ФНЦ «ВНИТИП» РАН (Московская область) активно проводятся исследования по изучению влияния светодиодного освещения на птицу и повышения его эффективности. Компания «

ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» активно сотрудничает с научным учреждением, предоставляя свое оборудование для опытов и внедряя полученные результаты на птицеводческих предприятиях. В настоящее время светодиодные системы освещения компании установлены более чем на 5270 птичниках 320 предприятий нашей страны и зарубежья. В общей сложности свыше 80% птицефабрик России используют светодиодное освещение нескольких отечественных производителей. Результаты исследований, опыт по внедрению и эксплуатации светодиодных систем освещения на птицеводческих предприятиях позво-

лили сотрудникам ФНЦ «ВНИТИП» РАН и специалистам компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» сформировать систему взглядов и правил эффективного использования светодиодного освещения в птицеводстве. Основой такой концепции можно считать следующие положения.

«Каждой птице свой светильник»

В птицеводстве существуют рекомендации по освещенности для каждого этапа содержания птицы. Максимальная освещенность в птичнике может варьировать от 3–10 лк для промышленного стада яичных кур до 200–250 лк

Таблица 1. Динамика мирового производства мяса

Годы	Мясо всех видов	КРС	Свинина	Птица	Овцы и козы	Прочее	Население мира, тыс. чел.
	млн т						
2010	296 107	67 776	109 370	99 050	13 459	6452	6 842 923
2015	310 656	65 951	115 090	110 513	13 434	5667	7 284 296
2020	337 341	69 089	123 740	124 961	13 974	5577	7 656 528
2030	398 342	76 090	143 606	158 236	15 058	5353	8 321 380
2040	456 759	82 811	160 842	191 756	16 258	5091	8 874 041
2050	505 438	88 794	174 183	220 358	17 260	4842	9 306 128
Прирост 2050 г. к 2010 г., %	70,7	31,0	59,3	122,5	28,2	-24,9	36,0
Потребление в 2050 г., на чел./год, кг	54,31	9,54	18,72	23,68	1,85	0,52	

Таблица 2. Производство мяса птицы на душу населения в мире

Страна	1961 г.	1980 г.	2000 г.	2018 г.	Прирост, %	
	кг/год				2018 г./1961 г.	2018 г./2000 г.
Израиль	19,7	40,1	68,6	78,2	296,9	14,0
Бразилия	1,7	11,5	34,9	74	4252,9	112,0
США	17,4	28,2	58,8	68,2	291,9	16,0
Нидерланды	7,2	23,5	48,1	63,0	775	31,0
Польша	2,4	11,8	15,3	45,1	1779,2	194,8
Малайзия	3,5	9,9	30,8	59,4	1597,1	92,8
Бруней	4,4	17,2	35,7	59	1240,9	65,3
Барбадос	1,0	20,8	39,9	58,1	5710,0	45,6
Венгрия	12,9	32,7	46,0	54,0	318,6	17,4
Чили	2,5	9,7	28,3	40,7	1628,0	43,8
Канада	14,1	21,5	34,6	39,8	182,3	15,0
Мир	2,8	5,7	11,4	16,2	478,6	42,1
Россия	2,5	8,2	5,3	34,2	1268,0	545,3

Таблица 3. Мировое производство яиц

Страна	1961 г.	1980 г.	2000 г.	2016 г.		Прирост, % 2016 г./2000 г.
	млрд шт.				%	
Мир	279,8	494,3	1019,6	1494,9	100	46,6
Китай	35,8	59	429,1	621,8	41,6	44,9
США	62,4	69,7	84,7	102,0	6,8	20,4
Индия	3,6	10,6	36,6	82,9	5,5	126,5
Мексика	3,5	11,0	35,8	54,4	3,6	52,0
Бразилия	4,8	15,8	31,2	49,1	3,3	57,4
Россия	–	39,5	34,1	43,6	2,9	27,9
Япония	15,7	33,4	42,3	42,7	2,9	1,0
Индонезия	1,1	5,7	16,6	39,0	2,6	134,9
Иран	1,1	2,9	9,7	19,8	1,3	104,1
Турция	1,3	4,1	13,5	18,1	1,2	34,0
Пакистан	0,2	2,1	7,4	16,4	1,1	121,6

для родительского поголовья мясного направления птицеводства. В отличие от ламп накаливания (ЛН) и люминесцентных источников света (ЛЛ), светодиодные (СД) благодаря малой мощности

каждого источника света в своем составе позволяют создавать для птицеводства светильники с широким диапазоном светового потока и мощности: 63–2625 лм и 0,5–21 Вт соответственно. При этом

появление светодиодных светильников с напряжением питания до 50 В и мощностью до 1,5 Вт впервые позволило при клеточном содержании птицы обеспечить локальное (индивидуальное) освещение клетки, создав практически одинаковый световой микроклимат для всего поголовья птицы (рис. 1).

Таблица 4. Технические характеристики светодиодных светильников с рабочим напряжением 48 В для птицеводства

Артикул светильника	Габариты, (длина и диаметр), мм	Количество светодиодов SMD 2835, шт.	Максимальная мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Материал корпуса светильника
1	2	3	4	5	6	7
ЛОКАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ КЛЕТОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ						
СК170-Т(Х)	170×15	13	0,5;1;1,5	63;125;187	125	ПК/ПММА (соэкструзия)
СК200-Т(Х)	200×15	13	0,5;1;1,5	63;125;187		
СК400-Т(Х)	400×15	13	0,5;1;1,5	63; 125;187		
ОСВЕЩЕНИЕ В ПРОХОДАХ МЕЖДУ КЛЕТОЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ						
СН170-2-13-Т(Х) СН170-3-13-Т(Х)	170×15	13	2;3	250;375	125	ПК/ПММА (соэкструзия)
СН200-4,5-13-Т(Х)	200×15	13	4,5	565		
НАПОЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПТИЦЫ						
СН300-6-13-Т(Х)	300×15	13	6	750	125	Алюминий, ПК/ПММА (соэкструзия)
СН500-12-26-Т(Х)	500×15	26	12	1500		
СН825-18-39-Т(Х)	825×15	39	18	2250		
СН825-21-39-Т(Х)	825×15	39	21	2625		

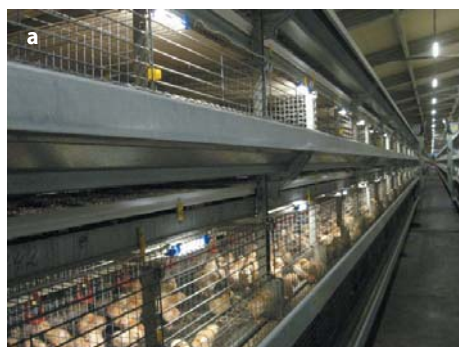


Рис. 1. Комбинированный способ освещения клеточного оборудования для содержания ремонтного молодняка, при котором светильники локального освещения на нижних ярусах расположены на краю каждой клетки со стороны прохода между батареями птицефабрика «Кинешемская» Ивановская область (а) и между двумя клеточными отсеками птицефабрика «Енисейская» Алтайский край (б)

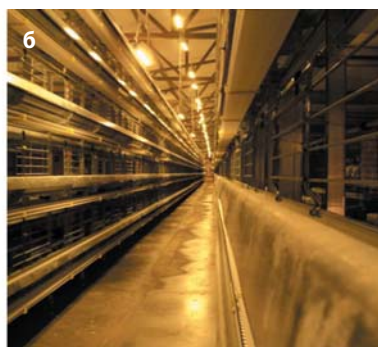


Рис. 2. Светодиодное освещение птичника 21×120 м напольного содержания цыплят-бройлеров: ГАП «Ресурс», Краснодарский край (а) и промышленного стада яичных кур в шестиярусных клеточных батареях птицефабрики «Волжанин», Ярославская область (б)

Большой выбор светодиодных источников света по размеру, мощности и световому потоку, основные характеристики которых представлены в таблице 4, позволяет существенно улучшить качество освещения в птицеводстве.

Так, в исследованиях в ФНЦ «ВНИТИП» РАН, проведенных в 2005–2008 годах, по изучению сравнительной эффективности различных спектров излучения (белый, синий, красный, зеленый) и источников света (накаливания, люминесцентные и светодиодные) при содержании яичных кур промышленного стада в многоярусных клеточных батареях было установлено, что среди испытанных источников света наиболее эффективными являются светодиодные белого спектра излучения. По сравнению с другими источниками света они позволили повысить яйценоскость на начальную и среднюю несушку на 2,7–12,9 и 2,5–8,0%, массу яиц — на 1,7–2,3%, выход яичной массы на начальную и среднюю несушку — соответственно на 4,6–9,9 и 4,9–14,5% и яиц категории «Отборное» — на 5,3–7,8% при снижении расхода корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы на 2,1–7,2 и 4,5–9,4% и расхода электроэнергии на освещение — в 1,1–9,1 раза. В ходе производственной проверки при использовании светодиодных источников белого спектра освещения экономический эффект в расчете на птичник 18×96 м составил 261 972 рубля, на 1000 начальных несушек — 10 831 рубль, на 1000 яиц — 38 рублей по сравнению с базовым вариантом (лампы накаливания) [3].

Внедрение светодиодных источников света многократно повысило энергоэффективность освещения на птицефабриках [4]. Как показала практика, экономия электроэнергии системами светодиодного освещения, установленными компанией «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» в птичниках за последние несколько лет, в сравнении с ЛН и ЛЛ, составила более 0,4 млрд рублей в год.

«Лучше меньше да больше»

Одним из основных факторов успешного достижения максимальных зоотехниче-

ских показателей птицы является однородность ее стада [5]. При содержании в промышленном птичнике нескольких десятков тысяч птиц, а в некоторых современных и свыше 100 000 поголовья, крайне важно, чтобы начальный возраст, вес, физиологическое состояние птицы, а также условия ее содержания были максимально схожими. Освещение является важной частью общего микроклимата в птичнике, как при напольном, так и клеточном содержании птицы. При этом большая площадь птичника, в котором содержится птица, а особенно при ее расположении на нескольких вертикальных ярусах клеточного оборудования, требует решать сложную задачу обеспечения равномерной освещенности, создав для всего поголовья одинаковый световой микроклимат.

Подход к организации равномерного освещения при напольном и клеточном содержании имеет существенные различия. При напольном содержании (рис. 2а) вся птица содержится на одном уровне (полу или подстилке), и решить эту задачу относительно просто в отличие от клеточного содержания (рис. 2б), когда птица находится на нескольких вертикальных клеточных ярусах, а сложная металлическая конструкция клеточных батарей обуславливает дополнительное затемнение (загораживание света) [6, 7].

При напольном содержании птицы равномерность освещения в общем случае зависит от количества используемых источников света, их расположения и геометрических размеров [8]. Кроме того, важным фактором является кривая силы света (КСС) светодиодных светильников. На рис. 3 представлена КСС светильника СН500-12-26-Т на 26 светодиодах SMD 2835 Samsung.

Для обеспечения достаточной равномерности освещения при напольном содержании птицы на стандартной для птичников высоте подвеса 2,5–4 м на один светодиодный светильник предполагается 14–36 м² площади освещаемой поверхности $S_{ед}$ согласно эмпирической формуле (1) и в зависимости от высоты подвеса $H_{под}$:

$$S_{ед} = (H_{под} \times 1,5)^2. \quad (1)$$

При этом светодиодные светильники должны быть расположены в шахматном порядке, со сдвигом в половину расстояния между ними на соседних линиях

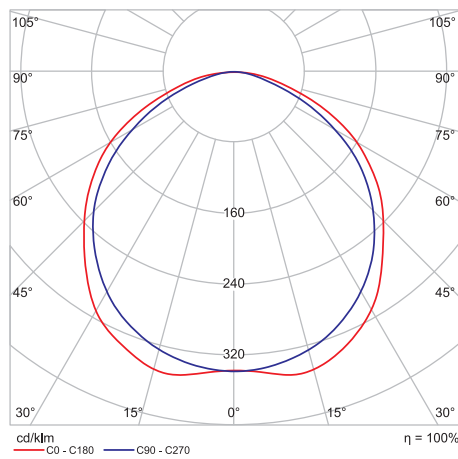


Рис. 3. КСС светильника СН575-12-26-Т

освещения, расстояние между которыми и до стен определяется по формулам:

$$K_{от\ стен} = H_{под} \times (0,5 - 0,7), \quad (2)$$

$$K_{между\ линий} = H_{под} \times (1 - 1,5). \quad (3)$$

Требуемый уровень освещенности достигается выбором мощности, а значит, и светового потока светильника. Для этого по формуле (4), где $S_{общ}$ — общая площадь освещаемой поверхности птичника, можно определить оптимальное расчетное количество светильников $N_{свет}$:

$$N_{свет} = \frac{S_{общ}}{S_{ед}}. \quad (4)$$

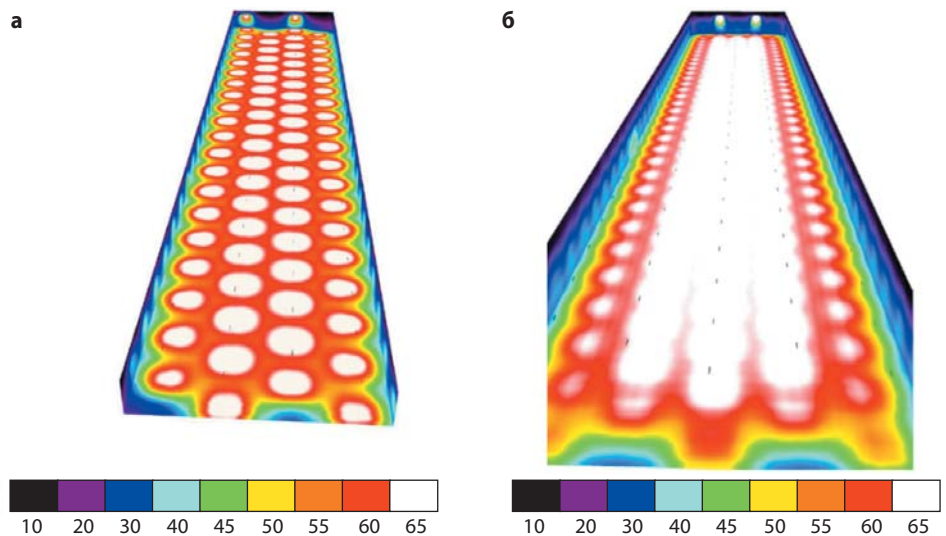


Рис. 4. Светотехнический расчет птичника для напольного содержания цыплят-бройлеров с освещенностью 60 лк, оборудованном на высоте 3 м с 84 светодиодными светильниками СН500-12-26-Т мощностью 12 Вт (а) и 165 светильниками СН300-6-13-Т 6 Вт (б) с 4 и 5 линиями освещения соответственно

Далее эмпирически найденный коэффициент позволяет определить общую мощность светодиодного осветительного оборудования $P_{общ}$ в птичнике в зависимости от площади пола $S_{общ}$, где необходим требуемый уровень освещенности L и высоты подвеса светильников $H_{под}$:

$$P_{общ} = 0,0033 \times S_{общ} \times L \times H_{под}. \quad (5)$$

Затем можно рассчитать необходимую мощность светодиодных светильников $P_{свет}$:

$$P_{свет} = \frac{P_{общ}}{N_{свет}}. \quad (6)$$

Зная расчетное значение $P_{свет}$, по таблице 4 можно выбрать светодиодные светильники для напольного содержания птицы. При этом от их количества и мощности зависит равномерность освещения. На рис. 4 представлены светотехнические расчеты для птичника размерами 18×96 м и площадью 1728 м²: слева — с 84 светильниками СН500-12-26-Т мощностью 12 Вт; справа — с 165 светильниками СН300-6-13-Т мощностью 6 Вт.

Увеличение количества светильников и линий освещения в птичнике напольного содержания птицы с одновременным пропорциональным уменьшением их мощности позволяет при сохранении энергопотребления осветительного оборудования и увеличения его стоимости

не более чем на 10–15% существенно улучшить равномерность освещения, а следовательно, и условия содержания птицы и ее зоотехнические показатели.

Для клеточного оборудования в птичнике размещение светодиодных источников света возможно тремя основными способами [9]:

- традиционный способ размещения светильников в проходах между клеточными батареями;
- локальный способ расположения маломощных светодиодных светильников, при котором в каждой клетке с птицей организуется индивидуальное освещение;
- комбинированный способ, при котором в дополнение к традиционному способу размещения светильников в проходах между батареями часть клеток, как правило, на нижних ярусах клеточных батарей, оборудуется индивидуальными светодиодными светильниками.

Безопасное размещение и использование светильников в каждой клетке (локальный способ освещения) стало возможным только после появления светодиодных источников света. Преимуществами локального светодиодного освещения являются:

- одинаковый световой микроклимат для всего поголовья птицы, положительно влияющий на зоотехнические показатели;
- безопасность эксплуатации за счет использования напряжения питания не более 48 В;
- окупаемость не более 1–3 лет за счет сокращения потребления электроэнергии.

Этот способ предпочтителен для обеспечения одинакового светового микро-

климата в клетках на разных ярусах, но для его реализации, например в птичнике размерами 18×96 м с четырехъярусным клеточным оборудованием, при выращивании цыплят-бройлеров и содержании кур-несушек понадобится соответственно свыше 1700 и 5000 светильников.

Сегодня практически каждый комплект клеточного оборудования для выращивания цыплят-бройлеров устанавливается с локальным светодиодным освещением (рис. 5), а клеточное оборудование для содержания кур-несушек с ним пока используется мало из-за высокой стоимости.

Тем не менее, как показывают исследования в ФНЦ «ВНИТИП» РАН в 2010–2013 годах, индивидуальное освещение каждой клетки светодиодными источниками света с коррелированной цветовой температурой (КЦТ) 2800–3200 К оказывает положительное влияние на жизнеспособность кур [10].

Сохранность поголовья промышленного и родительского стада увеличилась на 2,8–4,6 и 2,9–5,9% по сравнению с традиционным способом освещения в проходах между клеточными батареями соответственно. Применение локального освещения светодиодными источниками света с КЦТ 2800–3200 К позволяет повысить живую массу кур промышленного и родительского стада в 20-недельном возрасте на 1,4–4,5 и 0,2–3,0%, 30-недельном — на 6,9–8,5 и 0,9–3,6%, 40-недельном — на 3,2–8,1 и 2,0–4,2%, 50-недельном — на 3,6–9,2 и 4,8–6,1% и в 59-недельном возрасте — на 2,2–2,6 и 5,6–5,8% соответственно по сравнению с традиционным освещением, также способствует более раннему половому созреванию птицы: куры промышленного и родительского стада на 4–9 и 4–8 суток соответственно раньше

достигают 50%-ной интенсивности яйценоскости по сравнению с традиционным способом размещения светильников в проходах между клеточными батареями, что подтверждается и лучшим развитием их репродуктивных органов. За счет быстрого нарастания яйценоскости, более высокого ее пика, а также устойчивой яйцекладки при локальном освещении светодиодными светильниками с КЦТ 2800–3200 К увеличивается яйценоскость в расчете на начальную и среднюю несушку у кур промышленного стада — на 9,8–16,0 и 9,1–12,6%, кур родительского стада — на 10,6–17,9 и 9,6–14,0%, при снижении затрат корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы на 8,6–11,7; 9,0–12,4 и 10,9–12,7% соответственно. Наряду с увеличением яйценоскости птицы, локальное освещение светодиодными источниками с КЦТ 2800–3200 К приводит к увеличению у кур промышленного стада: средней массы яиц на 1,9–2,9%, выхода яичной массы на начальную и среднюю несушку — на 12,8–17,7 и 12,4–14,2%, выхода яиц отборной и первой категории — на 2,1–6,0 и 5,4–7,3%; у кур родительского стада: средней массы яиц — на 0,7–2,7%, выхода инкубационных яиц — на 0,8–3,2%, оплодотворенности яиц на — 2,0–2,7% и вывода цыплят — на 1,6–2,0% соответственно. Производственные проверки, проведенные на большом поголовье птицы, подтверждают результаты опытов. Рентабельность производства пищевых и инкубационных яиц при локальном освещении составляют 12,0 и 36,2%, что выше соответственно на 2,4 и 7,3%. Экономический эффект в расчете на одну начальную несушку и 1000 произведенных яиц при содержании кур промышленного стада составляет 21,5 и 66,0 рублей, а при содержании птицы родительского стада — 78,2 и 264,0 рублей соответственно.

При принятии решения об использовании относительно дорогостоящего локального светодиодного освещения следует учитывать, кроме экономического, еще два фактора — возраст птицы и места расположения в клетке кормушек и поилок. Локальное освещение экономически целесообразно в случаях расположения кормушек и поилок внутри клетки, а также при нахождении внутри клетки только поилок, если в нее сажаются цыплята. Только локальное освещение при расположении одного или нескольких светодиодных светильников в каждой клетке над поилками и кормушками позволяет создать

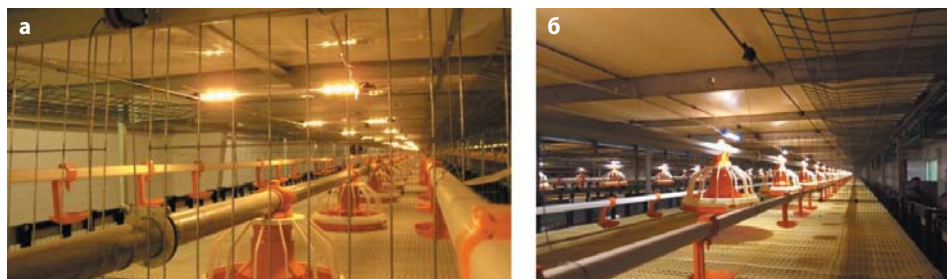


Рис. 5. Светодиодные светильники локального освещения в клеточном оборудовании для выращивания цыплят-бройлеров СК400-Т длиной 40 см на птицефабрике «Витебская», Республика Беларусь (а) и СК200-Т длиной 20 см на птицефабрике «Удмуртская», г. Ижевск (б), расположенные на расстоянии 1,2 м друг от друга поперек и вдоль линии кормления и поения

более равномерную нормативную освещенность, что стимулирует потребление корма и воды птицей в первые дни выращивания. При использовании локального светодиодного освещения существенно снижается падеж в начальный период выращивания птицы: она быстрее набирает живую массу и меньше подвержена стрессу.

Однако относительно небольшая стоимость осветительного оборудования, расположенного в проходах между клеточными батареями, определяет необходимость поиска недорогих вариантов улучшения равномерности освещения в рамках этого способа расположения светодиодных светильников.

До недавнего времени существующие нормативы предписывали расположение светильников при традиционном способе размещения в проходах между клеточными батареями на расстоянии 2,5–3,5 м друг от друга и высоте на 20–30 см выше верхнего края клеточного оборудования, но в любом случае выше человеческого роста. При этом равномерность освещения находилась на недопустимо низком уровне, а увеличение количества светильников с целью ее улучшения приводило к экономически невыгодному расходу электроэнергии при использовании ЛН и невозможности создания требуемых низких уровней освещенности из-за отсутствия надежного управления световым потоком ЛЛ. Известно, что как повышенная, так и пониженная освещенность от нормативного уровня вызывает у птицы состояние хронического стресса и в конечном счете приводит к снижению ее жизнеспособности и продуктивности. При этом более сильным стресс-фактором является чрезмерная освещенность.

Светодиодные светильники мощностью 0,3–6 Вт позволяют значительно улучшить равномерность освещения. В случае клеточного содержания промышленного стада яичных кур нормативные уровни освещенности находятся в пределах 0–10 лк, что позволяет использовать светодиодные источники света мощностью от 2 Вт при традиционном способе расположения светильников в проходе между клеточными батареями, расстояние между светильниками сокращается до 1,5 м для существенного улучшения равномерности освещения (рис. 6).

Расчет мощности светодиодных светильников $P_{свет}$ необходимых для обеспечения требуемого уровня освещенности на нижнем ярусе L_{hc} при использовании одной

линии освещения на уровне 0,3–0,4 м выше верхнего яруса клеточной батареи с количеством ярусов от двух до шести ($N_{кя}$) и расстоянием между центрами светильников $R_{свет}$ можно выполнить по следующей формуле:

$$P_{свет} = 0,015 \times L_{hc} \times R_{свет} \times N_{кя}. \quad (7)$$

При изучении на базе ФНЦ «ВНИТИП» РАН в 2011 году современного состояния технологического освещения птичников с содержанием кур промышленного стада в многоярусных клеточных батареях было установлено, что при расположении источников света в проходах между батареями на высоте 3 м от пола на расстоянии 3 м, в условиях нормативной средней освещенности 10 лк, традиционные системы не обеспечивают оптимальную равномерность освещения — на уровне кормушек 4-, 3-, 2- и 1-го ярусов батареи средние его значения при использовании ЛН составляют 18,5; 12,3; 6,3 и 1,0 лк, ЛЛ — 15,5; 12,8; 7,5 и 4,3 лк соответственно. Светодиодные светильники с углом половинной яркости 120° по сравнению с ними обеспечивают экономию электроэнергии в 10 и 1,8 раза и лучшую равномерность освещения в вертикальной (освещенность на уровне кормушек 4-, 3-, 2- и 1-го ярусов составила 11,8; 12; 9 и 6,8 лк соответственно) и несколько худшую в горизонтальной плоскости батареи (разности значения под источником и между источниками света на уровне кормушек 4-, 3-, 2- и 1-го ярусов составили 14,5; 10,0; 3 и 1,5 лк соответственно). Однако

установлено, что сокращение расстояния между светодиодными источниками с 3 до 1,5 м позволяет существенно улучшить равномерность освещения в горизонтальной плоскости — до разности значений освещенности под светильником и между светильниками до величины не более 0,7 лк, в отличие от максимальной для люминесцентных и ламп накаливания 9 лк, а также светодиодных светильников, расположенных на расстоянии 3 м — 14,5 лк, при сохранении освещенности в вертикальной плоскости.

Особенностью организации освещения для ремонтного молодняка в клеточных батареях является необходимость создания заданной освещенности 40–60 лк не только на кормовом фронте, но и внутри каждой клетки, особенно на поилках. Для обеспечения требуемого светового микроклимата цыплятам, как показывает практика, уже начиная с четырехъярусной клетки и более при традиционном способе расположения светодиодных светильников в одну линию, недостаточно. В таких случаях освещенность внутри клетки и на поилках с четвертого яруса сверху и ниже не соответствует нормам и ведет к значительному ухудшению равномерности освещения по ярусам. Улучшение равномерности освещения в этом случае можно обеспечить либо опусканием светильников на монтажной цепи до середины высоты клеточной батареи, либо организацией локального освещения на нижних ярусах. В этом случае способ организации освещения является комбинированным — общее освещение организуется тради-

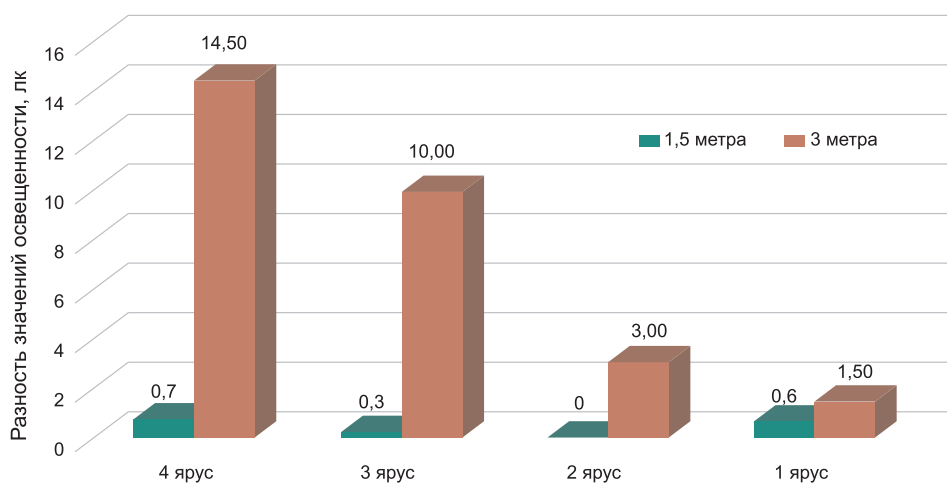


Рис. 6. Разность значений освещенности под светодиодными светильниками и между ними на высоте 3 м от пола на расстоянии друг от друга 1,5 и 3 м, средней освещенности 10 лк по ярусам клеточных батарей птичника для содержания кур-несушек

ционным способом в проходах между батареями, а нижние ярусы либо те, в которые изначально сажаются цыплята, дополнительно оборудуются локальным освещением (рис. 1). Снизить стоимость осветительного оборудования можно использованием одного светильника на две клетки (рис. 1б).

Таким образом, использование светодиодных источников света в птицеводстве позволило как при напольном, так и при клеточном содержании птицы поднять на качественно новый уровень создание одинакового светового микроклимата для всего поголовья птицы в птичниках. Увеличение количества источников света при одновременном уменьшении их мощности положительно сказалось на эффективности производства мяса и яйца птицы, улучшив ее зоотехнические показатели. В настоящее время себестоимость систем светодиодного освещения для птицеводства значительно упала за счет развития технологий производства светодиодов, источников их питания и управления. Сейчас даже начальная стоимость светодиодного осветительного оборудования в большинстве случаев меньше, чем на ЛЛ и сравнима с ЛН.

«Назад к природе благодаря современным технологиям»

Содержание птицы в специально оборудованных помещениях — птичниках позволило многократно повысить эф-

фективность птицеводства и перейти к промышленным масштабам производства. Однако человек в своем стремлении получить больше и быстрее мало обращал внимания на соответствие условий содержания птицы естественным в природе, тем более когда это не давало экономического эффекта.

Сейчас ситуация меняется: еще в 2012 году Евросоюз принял закон, запрещающий содержание птицы в маленьких и тесных клетках. В 2021 году в развитие этого законодательного акта Европарламент проголосовал за отказ от такого негуманного содержания любых животных начиная с 2027 года. Однако решать данный вопрос без учета экономических последствий невозможно. Существенное возрастание себестоимости продукции, снижение эффективности производства и в результате — взлет цен для потребителя, нехватка продуктов питания, особенно для небогатых стран, требует грамотного и постепенного внедрения передовых технологий по улучшению условий содержания птицы.

Совместные исследования ФНЦ «ВНИТИП» РАН и компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» определили направления развития светодиодного осветительного оборудования, которые позволяют улучшить условия содержания птицы, приблизив их к естественным и увеличив при этом эффективность производства:

- имитация восхода и заката солнца плавным включением и выключением света в птичнике;
- выбор эффективной и комфортной для птицы и человека КЦТ излучения светодиодных светильников;
- имитация естественного изменения цветовой температуры в течение светового дня в рамках режимов прерывистого освещения в птичнике светодиодными источниками света изменяемой КЦТ;
- исключение негативного влияния пульсации освещенности при использовании широтно-импульсной модуляции (ШИМ) питающего низковольтного напряжения светодиодных светильников для управления их световым потоком.

В 2013 году в двух исследованиях была изучена эффективность имитации восхода и заката солнца при светодиодных источниках белого теплого спектра с цветовой температурой 2800–3200 К на фоне прерывистого светового дня 1С:5Т:4С:2Т:3С:9Т (поочередно в течение суток начиная с 00:00 ч: 1 ч — свет включен на заданный уровень, далее 5 ч — выключен, затем 4 ч — включен и далее по формуле).

Установлено, при содержании яичных кур промышленного стада на фоне режима прерывистого освещения лучшие результаты достигаются при имитации восхода солнца при первом включении света и заката солнца при последнем выключении света продолжительностью 3 мин. Так, использование имитации восхода и заката солнца в опытной группе по сравнению с контролем (без имитации) позволило повысить сохранность поголовья на 1,9%, яйценоскость на начальную и среднюю несущку — на 7,3 и 5,8% при снижении затрат корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы — на 6,5 и 5,1% и электроэнергии на освещение в расчете на 1000 яиц — на 2,8% соответственно.

При выборе КЦТ светодиодных светильников, используемых в птицеводстве, следует учитывать особенности зрения птицы (рис. 7) — их диапазон длин волн видимого излучения шире человеческого, а в его нижней части (синий цвет) и верхней (красный цвет) чувствительность зрения выше [11].

Зрение птицы отличается от зрения человека и является более развитым в некоторых аспектах. У человека трихроматическое цветное зрение, которое включает

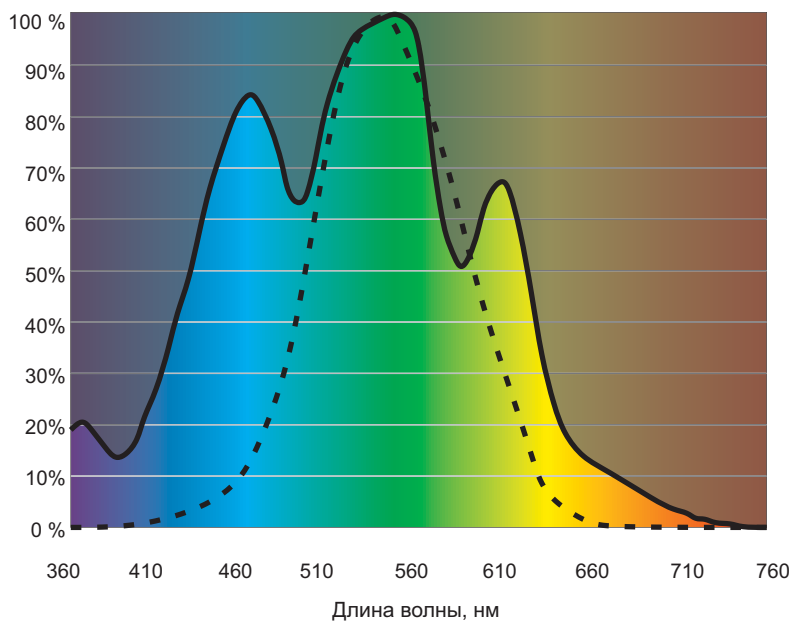


Рис. 7. Чувствительность органов зрения человека (пунктирная линия) и птицы (сплошная линия) в диапазоне видимого излучения

три типа фоторецепторов — колбочек в сетчатке глаза с максимальным поглощением (λ_{max}) на уровне 420, 530 и 560 нм, чувствительными к синей, зеленой и красной части спектра соответственно. Птицы обладают четырьмя особыми видами одинарных колбочек и двойных колбочек [12–14]. Дополнительный тип одинарных колбочек в сетчатке глаза птицы теоретически позволяет ей различать в два раза больше цветов, чем человек. Четвертый тип одинарных колбочек может быть чувствительным к ультрафиолетовой и фиолетовой части спектра. Птицы используют УФ-зрение для принятия решения о выборе партнера и поиска пищи [15].

Как показывают исследования, КЦТ светодиодных источников света существенно влияет на зоотехнические показатели [16]. В общем случае рекомендуется использование теплого белого спектра (2800–3200 К), но также следует ориентироваться и на рекомендации производителей кросса птицы.

Для достижения определенных целей в птицеводстве может использоваться освещение на цветных монохромных светодиодах — синих или зеленых (рис. 8), а также красных (рис. 9). При этом следует помнить, что их спектр представляет излучение практически на одной длине волны, что принципиально отличает их от цветных люминесцентных источников света, где спектр включает излучение и на других видимых длинах волн. В этом случае ощущение определенного цвета достигается использованием люминофоров, преобразующих основную энергию в соответствующую длину волны излучения, преобладающую в общем спектре.

Синие монохромные светодиоды используются в период забоя птицы, выращенной в течение всей жизни (35–42 дня) при освещении птичника белым светом (35–42 дня) с КЦТ 2800–3200 К. При резкой смене окружающей обстановки, когда освещение впервые для птицы переключается на светильники синего света излучением 430–460 нм, у нее наблюдается шок. Такое стрессовое состояние характеризуется резким снижением активности, подвижности птицы на некоторое время, достаточное персоналу птицефабрики для погрузки птицы в целях ее транспортировки. При этом снижается травматизм, что положительно сказывается в дальнейшем на качестве мяса.



Рис. 8. Светильники с синими светодиодами в птичнике для выращивания цыплят-бройлеров группы «Черкизово» (а) и с зелеными светодиодами в экспериментальном хозяйстве ФНЦ «ВНИТИП» РАН (б)

Исследования в ФНЦ «ВНИТИП» РАН и компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» по использованию светодиодных светильников зеленого света 520–540 нм (рис. 8б) при выращивании цыплят-бройлеров показали отсутствие положительного экономического эффекта по сравнению с освещением теплого белого спектра (2800–3200 К). При этом освещение в птичнике было дискомфортно для сотрудников птицеводческого предприятия.

Использование светодиодов красного света с длиной волны излучения 620–640 нм эффективно при содержании промышленного стада яичных кур со светлым

(белым) оперением. Клеточное содержание кур-несушек характеризуется продолжительным периодом (более года) и большой скученностью птицы (в некоторых случаях по 8–10 несушек в одной клетке с «жилой площадью» для каждой не более листа формата А4), при этом любой самый незначительный негативный фактор, связанный, например, с неправильным питанием, недостатком витаминов в рационе, нарушениями микроклимата в птичнике, в том числе светового (избыток освещенности) приводит к расклеву птицы, или так называемому каннибализму. В результате

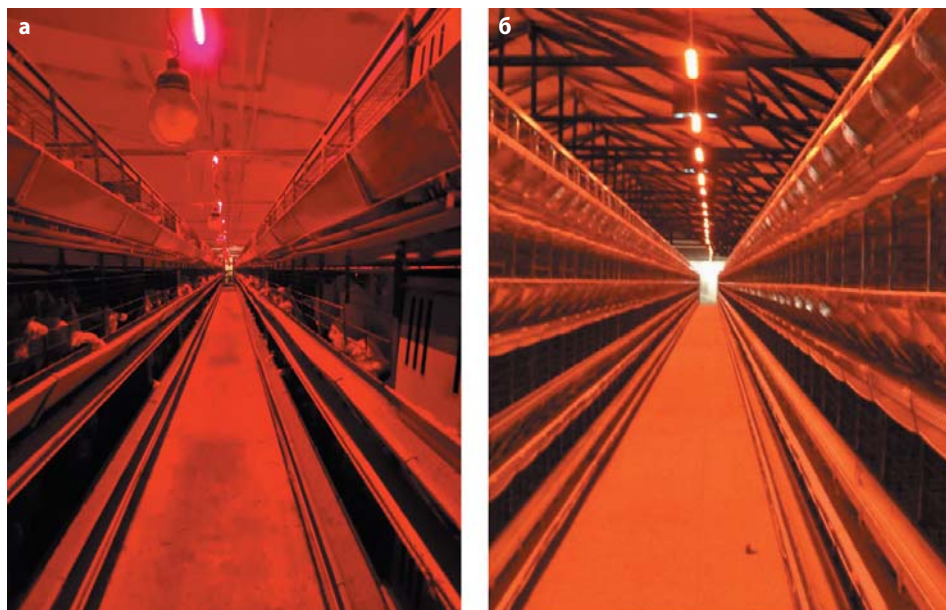


Рис. 9. Светильники с красными светодиодами в птичнике для содержания кур-несушек на птицефабрике «Ермаково», Вологодская область (а) и с красными и белыми светодиодами КЦТ 2800–3200 К в каждом светильнике на птицефабрике «Зуевская», г. Киров (б)

резко снижается эффективность, падают зоотехнические показатели, а птица наносит себе и своим соседям существенный вред, вплоть до смертельного исхода. Первоначальное появление на оперении, особенно светлом, даже незначительных пятен крови приводит к резкому возрастанию расклева. Снизить контрастность крови на оперении, ее заметность позволяет использование светодиодного освещения красного света. При этом для снижения дискомфорта сотрудников птицефабрики в каждом светильнике используются совместно светодиоды красного и белого света с КТЦ 2800–3200 К (рис. 9б).

В исследованиях 2016 года при изучении продуктивных качеств кур промышленного стада при различных режимах цветовой температуры излучения светодиодных светильников в условиях прерывистого освещения установлено, что содержание яичных кур промышленного стада на фоне прерывистого освещения 2С:5Т:3С:2Т:3С:9Т цветовой температуры излучения светодиодных светильников по режиму: в первый и последний периоды света 4800–5200 К, средний период света 2800–3200 К позволило по сравнению с контрольной группой (все периоды света с КЦТ 2800–3200 К) повысить яйценоскость кур на 4,6%, массу яиц — на 1,8% ($P < 0,001$), выход яичной массы на несушку — на 6,3% при снижении затрат корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы на 1,4 и 3% соответственно. Опытная группа превосходила контроль по содержанию в желтке каротиноидов на 23,6%, витамина

А — на 14,6%, витамина Е — на 27,6%, витамина В2 — на 13,4%.

Одним из важных параметров освещения считается его пульсация, характеризующая частотой периодического изменения освещенности и коэффициентом, отражающим ее глубину. В настоящее время подавляющее большинство систем светодиодного освещения в птицеводстве России в качестве способа регулирования освещенности использует ШИМ низковольтного питающего напряжения источников света. Неотъемлемым следствием этого является высокочастотное изменение светового потока светодиодных светильников, приводящее к пульсации освещенности в птичнике.

По результатам совместного исследования ФНЦ «ВНИТИП» РАН и компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП», проведенного в 2021 году, можно заключить, что при содержании яичных кур промышленного стада использование светодиодных светильников с частотой пульсации освещенности 488 Гц и выше по сравнению с контролем (без пульсации) не приводит к снижению жизнеспособности и продуктивности птицы. Пульсация освещенности с частотой 120 Гц по сравнению с другими изученными вариантами (без пульсации, 488 и 977 Гц) оказывает негативное влияние на организм кур и отражается на снижении сохранности поголовья на 4,1–5,5%, яйценоскости на начальную и среднюю несушку — на 4,1–4,8 и 2,7–3,1%, выхода яичной массы на начальную и среднюю

несушку — на 2,9–4,2 и 1,2–2,3% при повышении затрат кормов на 10 яиц и 1 кг яичной массы на 2,1–5,0 и 1,3–3,4% соответственно без существенных изменений морфологических, товарных и химических качеств яиц.

Таким образом, благодаря исследованиям отечественных ученых, быстрой и эффективной модернизации, а также внедрению в производство систем светодиодного освещения российскими компаниями, современное птицеводство активно развивается в направлении улучшения условий содержания птицы, повышая при этом свою эффективность, зоотехнические показатели птицы, а следовательно, и рентабельность птицеводческих предприятий.

Использование светодиодов в птицеводстве — залог эффективности, безопасности, качества и продолжительного срока службы осветительного оборудования

Появление светодиодов, пригодных для создания полноценных источников света, оказало большое влияние на развитие осветительного оборудования в птицеводстве, позволило существенно улучшить равномерность освещения, его качество и безопасность. Кратно увеличенный срок службы светодиодных светильников по сравнению с ЛН и ЛЛ значительно снизил затраты на обслуживание и ремонт осветительного оборудования. В птичниках, являющихся помещениями с повышенной опасностью и особо опасными по электробезопасности в период мойки и санитарной обработки (рис. 10), появление светодиодного освещения впервые позволило использовать безопасное локальное освещение в каждой клетке с птицей, обеспечив для всего поголовья одинаковый световой микроклимат (рис. 11а), а при традиционном расположении светильников в проходах между батареями (рис. 11б) заметно улучшить равномерность освещения [17–19].

Построение систем светодиодного освещения для птицеводства имеет следующие основные особенности:

- использование низковольтного постоянного напряжения (до 50 В) для электропитания светодиодных светильников во всех типах и размерах птичников;



Рис. 10. Санитарная обработка птичника с клеточным оборудованием для содержания птицы

- использование ШИМ для синхронного управления световым потоком всех светодиодных светильников в птичнике;
- использование материалов с повышенной устойчивостью к воздействию агрессивных сред в конструкции светодиодных светильников и оборудовании их электропитания и управления;
- использование специального аппаратно-программного комплекса для организации режимов прерывистого освещения в птичнике с изменяемой освещенностью до 20 раз в сутки общей длительностью до 500 суток с имитацией «рассвета-заката» и управлением КЦТ (длиной волны) излучения светодиодных светильников.

Расположение светодиодных светильников в проходах между клеточными батареями выше человеческого роста и в удалении от металлических частей клеточного оборудования позволяет обеспечить удовлетворительную безопасность при использовании источников света с потенциально опасным напряжением промышленной сети 220 В, таких как ЛН и ЛЛ. Однако разместить их внутри каждой клетки не представляется возможным, в том числе из-за существенного снижения электробезопасности для птицы и сотрудников птицеводческого предприятия, светодиодные светильники (рис. 11а) с рабочим постоянным напряжением 48 В позволили это реализовать. Кроме того, благодаря отсутствию необходимости включать в каждый светильник полноценный источник питания от промышленной сети 220 В позволило упростить их конструкцию и снизить себестоимость. Блоки питания, размещенные в герметичном металлическом шкафу, общей мощностью до 1,6 кВт (рис. 11б) могут обеспечить электропитание одновременно до 2880 светодиодных светильников мощностью 0,5 Вт каждый (табл. 4). По сравнению с ЛН и ЛЛ, светодиодные источники света рабочим напряжением 48 В позволяют кратно увеличить их количество при незначительном возрастании стоимости, принципиально улучшив равномерность освещения в птичниках.

В то же время снижение рабочего напряжения светильников приводит



Рис. 11. Светильники в каждой клетке птичника для содержания цыплят-бройлеров: а) на птицефабрике «Кубань», г. Усть-Лабинск; б) в проходах между клеточными батареями для содержания родительского стада на птицефабрике «Чебаркульская птица», Челябинская область

к увеличению их рабочего тока и, следовательно, потерь в кабельных линиях электропитания при фиксированном сечении жил. Падение напряжения на светильниках низковольтного рабочего напряжения с увеличением расстояния от источников питания без применения специальных технических решений может приводить к уменьшению светового потока. В птичниках длиной 100 м и более максимальная разница освещенности в различных местах в этом случае может составлять 2–3 раза [20]. Определить значение напряжения $U_{кон}$ на каждом светильнике можно, зная напряжение в начале линии освещения $U_{нач}$, общий ток $I_{общ}$, относительное электрическое сопротивление токопроводящей жилы кабеля $R_{каб}$ и длину кабеля $L_{общ}$ от источника питания до светильника:

$$U_{кон} = U_{нач} - (2 \times I_{общ} \times R_{каб} \times L_{общ}). \quad (8)$$

Специалистам компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» использование в конструкции светильника элементов стабилизации тока в диапазоне напряжений на его входе 40–55 В, при котором сохраняется одинаковый световой поток, подбор сечения питающего кабеля позволяет обеспечить равномерность освещения в птичнике, например, кабель с сечением жилы 2,5 мм² — в птичниках до 120 м длиной и освещенностью до 150 лк.

Управление светодиодными источниками света на основе ШИМ позволяет создавать надежные, недорогие и эффективные системы светодиодного освещения, а также интегрировать осветительное оборудование в общую систему микроклимата птичника (рис. 13). Превращение освещения



Рис. 12. а) Светодиодный светильник; б) блок сопряжения из состава системы светодиодного освещения для птицеводства компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП»

из вспомогательного инструмента в один из основных элементов микроклимата в птичнике позволяет существенно повысить зоотехнические показатели птицы при сокращении в десятки раз затрат на электроэнергию и обслуживание оборудования [21].

Как показала практика, эксплуатация осветительного оборудования в птичнике требует использования специальных материалов, устойчивых к агрессивным моющим и дезинфицирующим средствам, продуктам жизнедеятельности птицы. Особенно это касается светодиодных светильников, находящихся в помещении с птицей. Для их защиты и обеспечения продолжительного срока службы в системах светодиодного освещения для птицеводства компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» предусмотрены следующие технические решения:

1. Анодирование открытых участков алюминиевого корпуса светильников.
2. Созкструзия двух полимерных материалов поликарбоната (ПК) и полиметилметакрилата (ПММА) при изготовлении светопрозрачной части корпуса светильников. Нанесение тонкого слоя ПММА поверх ПК позволяет совместить механическую прочность одного и химическую устойчивость к агрессивной среде птичника другого.
3. Применение химически стойких полимерных материалов при изготовлении заглушек и уплотнителей в светильнике.

Светильники мощностью 6 Вт и выше для обеспечения оптимального теплового режима работы светодиодов имеют в своем составе алюминиевую часть корпуса в качестве радиатора (табл. 4). Для светодиодных источников света меньшей мощности разрешенная рабочая температура светодиодов достигается в корпусе, целиком состоящем из полимерных материалов.

Светодиодное освещение в птицеводстве имеет большой потенциал развития и увеличения эффективности в будущем.

В настоящее время ФНЦ «ВНИТИП» РАН и компания «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» проводят исследование по определению оптимальной КСС светодиодных светильников для клеточного содержания птицы, целью которого является дальнейшее



Рис. 13. Блок управления светодиодными светильниками из состава системы светодиодного освещения для птицеводства компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП»

улучшение равномерности освещения многоярусных клеточных батарей при расположении светильников в проходах между ними.

Совмещение различных технологий дает большой толчок развитию и освещению в птицеводстве. В 2017 году были проведены исследования в ФНЦ «ВНИТИП» РАН по изучению эффективности использования оптико-волоконных световодов со светодиодными источниками света (рис. 14). По результатам выявлено, что при содержании яичных кур промышленного стада в многоярусных клеточных батареях использование для локального освещения оптико-волоконных световодов в качестве вторичных источников света по сравнению с традиционным локальным светодиодным освещением позволяет повысить сохранность поголовья на 4%, яйценоскость на начальную несущку — на 2,6%, массу яиц — на 0,7%, выход яичной массы на начальную несущку — на 2,9%, выход яиц первой категории — на 7,1% при снижении затрат



Рис. 14. Исследования по определению эффективности оптико-волоконных технологий для освещения в птицеводстве на базе ФНЦ «ВНИТИП» РАН

корма 10 яиц и 1 кг яичной массы на 5,1% соответственно.

Таким образом, современные светодиоды, позволившие провести революционные изменения в технологиях освещения, дали возможность существенно увеличить эффективность, качество и срок службы, в том числе и осветительного оборудования в птицеводстве. На основе проведенных исследований и опыта эксплуатации светодиодных систем освещения в птичниках сформулирована концепция светодиодного освещения, которая отражает современный взгляд не только на эффективность его использования в настоящее время, но и определяет пути дальнейшего развития. ●

Литература

1. Фисинин В. И. Рынок продукции птицеводства стабилен // Животноводство России. 2019. № 3.
2. Емануйлова Ж. В., Егорова А. В., Ефимов Д. Н., Комаров А. А. Новый высокопродуктивный отечественный кросс мясных кур «Смена 9» // Аграрная наука. 2021. № 7, 8.
3. Промышленное птицеводство. Монография. Под общ. ред. Фисинина В. И. Сергиев Посад, 2016.
4. Фисинин В. И., Кавтарашвили А. Ш., Егоров И. А., Лукашенко В. С., Буяров В. С., Сахно О. Н. и др. Адаптивная ресурсосберегающая технология производства яиц. Монография. Под общ. ред. Фисинина В. И. и Кавтарашвили А. Ш. Сергиев Посад, 2016.
5. Кавтарашвили А., Новоторов Е., Гладин Д., Колокольников Т. Как добиться высокой однородности стада птицы // Птицеводство. 2012. № 4.
6. Гладин Д. В., Суровегин С. В., Кавтарашвили А. Ш. Организация светодиодного освещения при клеточном содержании птицы // Птица и птицепродукты. 2020. № 6.
7. Давыдов В. М., Мальцев А. Б., Спиридонов И. П. Ресурсосберегающие технологии производства птицеводческой продукции. Омск, 2004.
8. Гладин Д. В., Кавтарашвили А. Ш. Алгоритм организации светодиодного освещения при содержании птицы на полу // Птицеводство. 2020. № 9.
9. Кавтарашвили А. Ш., Гладин Д. В., Новоторов Е. Н. и др. Под общ. ред.

- Кавтарашвили А. Ш. и Гладина Д. В. Наставления по использованию светодиодного освещения в птицеводстве. Сергиев Посад, 2020.
10. Кавтарашвили А. Ш., Новоторов Е. Н., Гладин Д. В. Эффективность светодиодного локального освещения при производстве инкубационных и пищевых яиц // Сучасне птахівництво. 2012. № 2.
 11. Prescott N. B., Wathes C. M. Spectral sensitivity of the domestic fowl // Brit. Poultry Sci. 1999. Vol. 40.
 12. Bowmaker J. K., Heath, L. A., Wilkie S. E., Hunt D.M. 1997. Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptor in the retinas of birds. Vision Research 37: 2183-2194.
 13. Goldsmith T.H. Optimization, constraint and history in the evolution of eyes // The Quarterly Review of Biology 1990. Vol. 65.
 14. Osorio, D., Vorobyev, M. & Jones, C.D. Colour vision of domestic chicks // Journal of Experimental Biology. 1999. Vol. 202.
 15. Bennet A. T. D., Cuthill I. C., Partridge J. C., Maier E. J. Ultraviolet vision and mate choice in zebra finches // Nature. 1996. Vol. 380.
 16. Кавтарашвили А. Ш., Новоторов Е. Н., Гусев В. А., Гладин Д. В. Продуктивность кур при светодиодном освещении с изменяемой цветовой температурой // Птицеводство. 2017. № 3.
 17. Гладин Д. Локальное светодиодное освещение для клеточного выращивания цыплят-бройлеров. Требования нормативных документов по электробезопасности, особенности проектирования, производства, монтажа и эксплуатации светодиодного осветительного оборудования // Полупроводниковая светотехника. 2013. № 6.
 18. Гладин Д. Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 1.
 19. Гусев В. А., Дубровин А. В., Салеева И. П., Гладин Д. В. др. Патент РФ на полезную модель № 154984. Клеточная батарея для содержания птицы. Опубл. 20.09.2015, бюл. № 26.
 20. Гладин Д. В., Кавтарашвили А. Ш. Равномерность освещения в птичнике при низковольтном электропитании светодиодных светильников // Птицеводство. 2021. № 2.
 21. Гладин Д. В., Кавтарашвили А. Ш. Управление светодиодным освещением в птичнике на основе широтно-импульсной модуляции питающего напряжения // Птица и птицепродукты. 2020. № 4.